

Pamukkale (Denizli) ve yakın çevresi jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri

Duygu Sengül Kutlu^a, Nevzat Özgür^b

^a Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

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

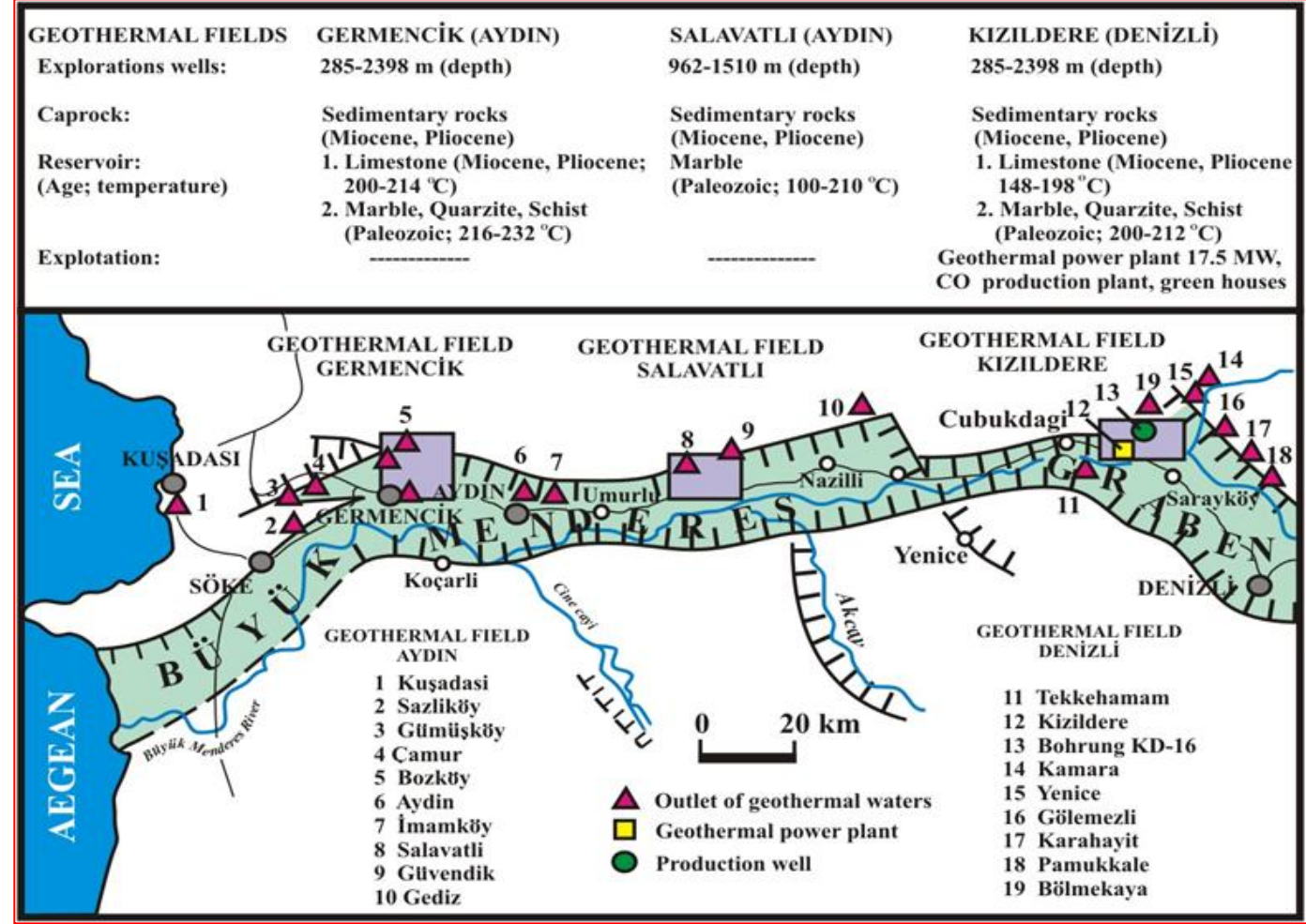


ÖZ

Çalışma alanında, jeolojik olarak Menderes Masifine ait metmorfik kayalar ile Mesozoyik, Pliyosen ve Kuvarterner yaşlı kayalardan oluşmaktadır. Paleozoik yaşlı metamorfik kayalar, Neojen yaşlı Kızılburun formasyonu, Sazak formasyonu, Kolonkaya formasyonu ve Tosunlar formasyonu bulunur. Çalışma alanı ve yakın çevresinde Paleozoik yaşlı mermerler, Mesozoyik yaşlı kireçtaşları ve Pliyosen yaşlı alüvyon ve travertenler geçirimli kayaç görevini üstlenirken hidrojeolojik olarak önemli rol oynamaktadır. İnceleme alanında esas kaynak suları yaklaşık 35°C sıcaklığa sahip olup genel olarak Ca-Mg-HCO₃ tipi sular olarak adlandırılabilir. Pamukkale ve yakın çevresi jeotermal suları Ca>Mg>Na+K baskın katyonlar ve HCO₃>SO₄>Cl baskın anyonlar olarak sınıflandırılabilir. İnceleme alanındaki jeotermal sular Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramına göre magmatik ısıtıcı tarafından ısıtılmış sular sınıfına girmektedir. Sülfat içeriğinin yüksek olduğu da gözlenmektedir. Çalışma alanındaki sıcak sulara jeokimyasal termometre analizleri uygulanmış ve ortaya çıkan diyagramlarda sıcak suların belli bir kısmının kısmi dengelenmiş sular sınıfına girdiği bir kısmının ise ham sular sınıfına düşükleri saptanmıştır. Tüm jeotermometre sonuçları ve mevcut kuyuların rezervuar sıcaklıkları birlikte değerlendirildiğinde jeotermal suların 160- 250°C arasında olarak gözlenmektedir.

1. GİRİŞ

Ülkemizde jeotermal sular, tektonik ve volkanik aktiviteye bağlı olarak geniş yayılım gösterirler. Bu dağılımda yüksek entalpili veya yüksek sıcaklıklı sular daha çok Menderes Masifisi önce sıkışma ve sonra gerilme tektoniği sonucu oluşan kıtasal rift zonlarına bağlı olarak oluşurlar. Pamukkale, Denizli ili sınırları içinde, ilin 20 km kuzeybatısında yer almaktadır (Şekil 1). Ege'ye dökülen Büyük Menderes nehrine eklenen Çürüksu Çayının geçtiği Çürüksu Ovasından 150 m, denizden ise 360 m yüksekliktedir. Çökelez Dağı'nın güney yamacında, bir traverten düzlüğünde, büyük bir kristal kitlenin önünde, kalker katlarının arasından çıkan su yeryüzünde tek örnek olan Pamukkale'yi oluşturur. Travertenlerden ve antik Hierapolis Kenti harabelerinden oluşan alan, özgün doğal yapısı ve barındırdığı tarihi değerler bakımından önemli bir merkezdir. Toplam alanı 44 km² olan Pamukkale Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırları içinde beş yerleşim yeri bulunmaktadır. Bunlar merkeze bağlı Develi, Karahayıt, Pamukkale, Yeniköy ve Akköy'dür. Bu çalışmanın amacı Pamukkale (Denizli) ve yakın çevresinin jeotermal alanlarının jeoloji haritasının güncellenmesi, mineralojik, petrografik ve jeokimyasal çalışma yöntemleriyle jeotermal akışkan - kayaç etkileşimini tanımlamak, jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal yöntemlerle oluşumunu ve gelişimini incelemek ve jeotermal akışkan - kayaç etkileşimi çerçevesinde jeotermal sistemin oluşumunu bir model içinde ortaya koymaktır



Şekil 1. Büyük Menderes kıtasal rift zonu ve Pamukkale dahil jeotermal su lokasyonları (Özgür, 1998).



Şekil 2. Güncel Pamukkale Travertenleri

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma alanının hidrojeokimyasal özelliklerini anlamak için, alanda bulunan farklı kaynaklardan toplam alanı temsil eden 3 adet su örneği alınmıştır. Su örneklerinin alınmasından önce, bölgede her lokasyonda in-situ ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3; Kutlu, 2015). Ölçülen in-situ parametreleri sıcaklık, pH, redoks potansiyeli (Eh), çözünmüş oksijen miktarı (O₂), elektriksel iletkenlik (EC) ve alkalilik olmaktadır. Belirtilen katyonlar Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Si⁴⁺, B³⁺ ICP-OES analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Buna karşın belirtilen anyonlar F⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, NO₃⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻ iyon kromatografisi (IC) yöntemi ile analiz edilmiştir. HCO₃⁻ ve CO₃²⁻ değerleri arazide gerçekleştirilen alkalilik ölçümlerinden hesaplanmıştır. Çalışma alanından duraylı izotoplar ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) ve trityum (³H) analizleri için 2 (iki) adet su örneği alınmış ve akredite olmuş Isotech Laboratories, Inc. (Illinois, ABD) İzotop Laboratuvarlarında su an gerçekleştirilmiştir. Ayrıca hidrojeokimyasal veriler Aquachem 3.7 yazılım programı (Calmbach, 1999) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

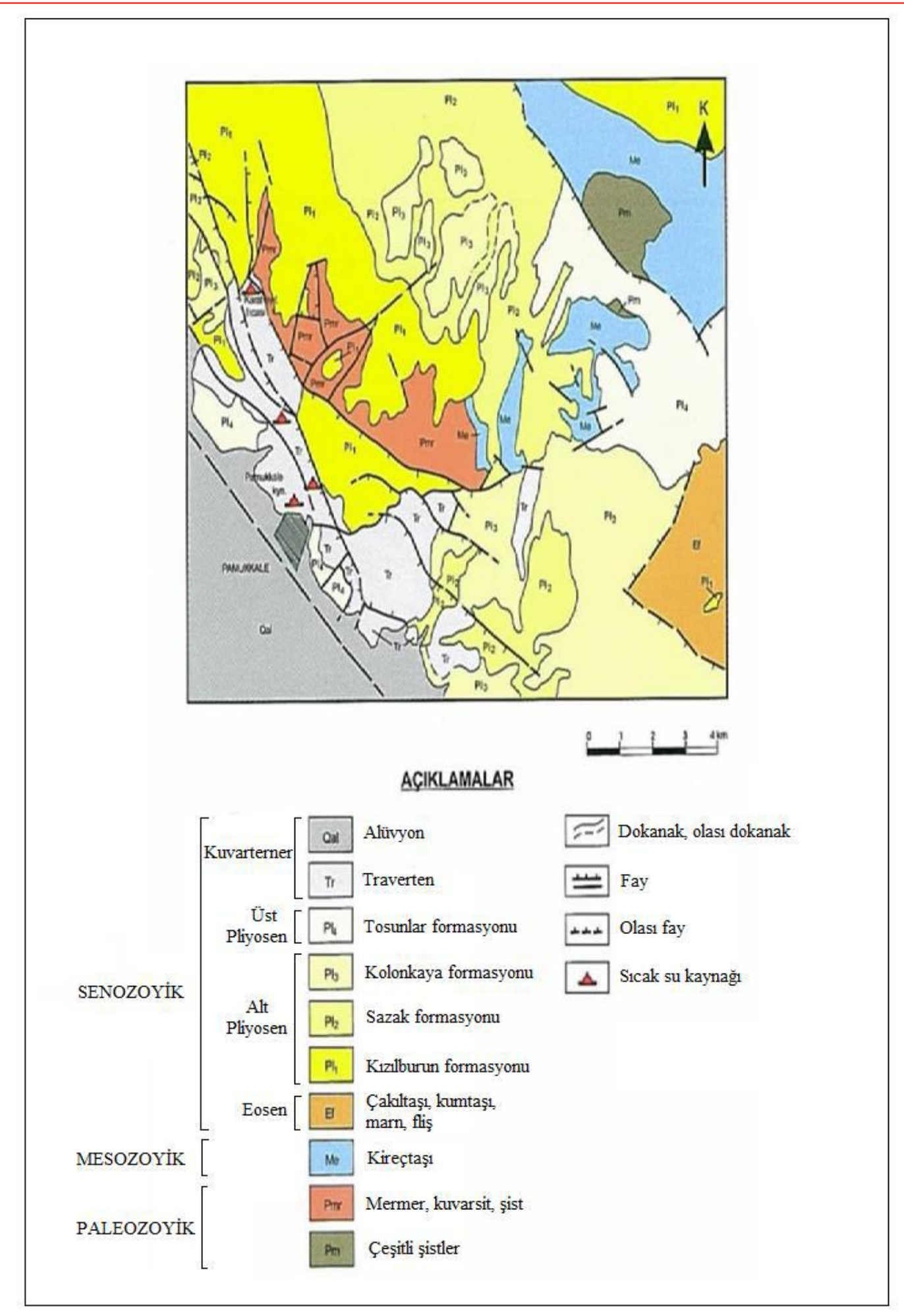


Şekil 3. Pamukkale ve yakın çevresi sıcak su kaynaklarından in-situ ölçümleri ile hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal analizler için su örneği alımı.

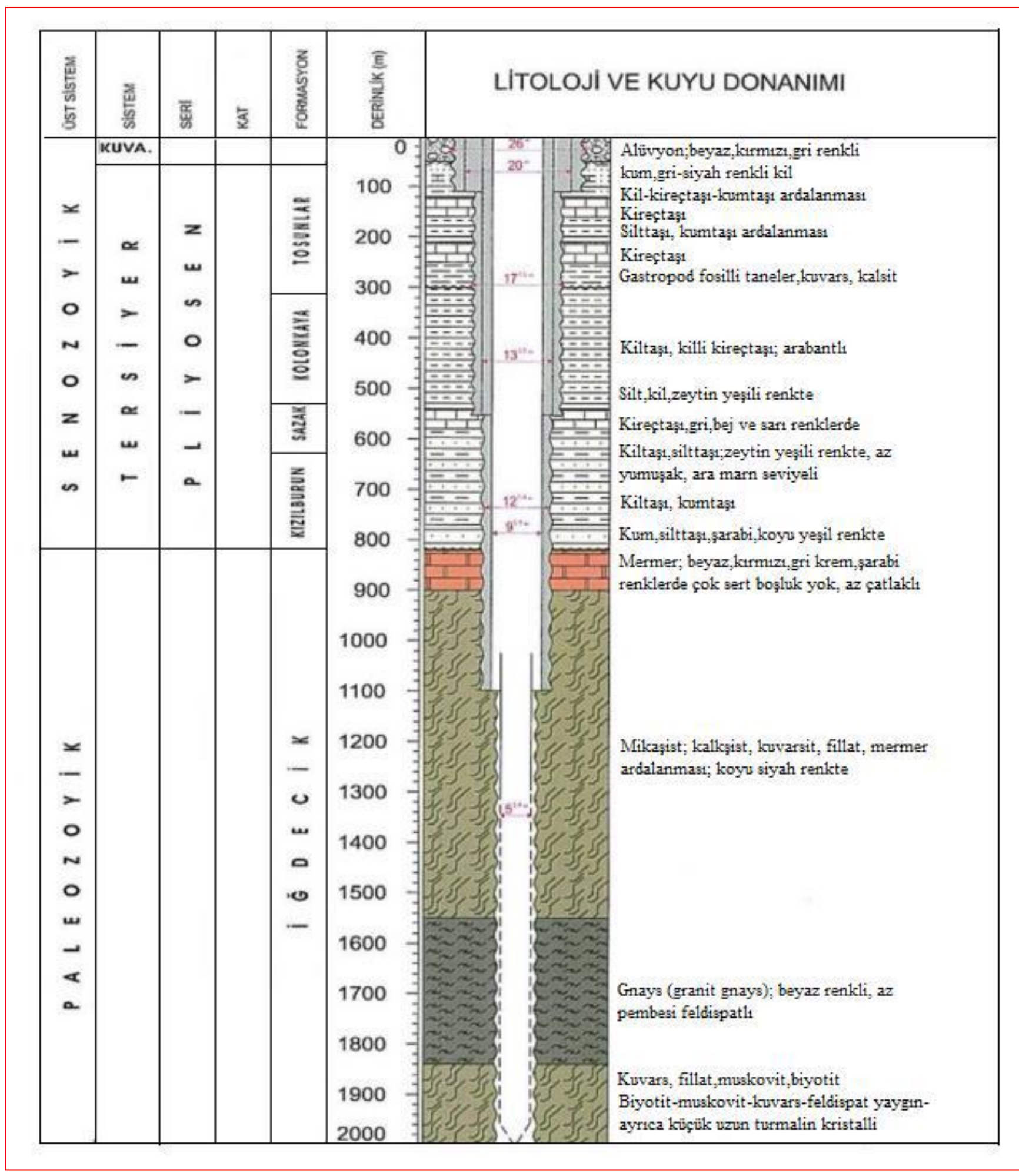
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 JEOLÖJİK KONUM

Ege bölgesinde diri ve normal faylar ile sınırlı doğu - batı uzanımlı Büyük Menderes ile kuzeybatı güneydoğu uzanımlı Gediz grabenlerinin birleştiği bölgede Denizli havzası yer alır (Şekil 3. 1; Alpman, 1963; Akkuş vd., 2005). Çalışma alanı tabanda Paleozoik yaşlı Menderes Masifisi metamorfik kayalar ve onları örten Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, Eosen ve Pliyosen yaşlı tortul kayalar ve Kuvarterner yaşlı alüvyon ve travertenler tarafından örtülmektedir. Pamukkale travertenleri havzanın doğu kesiminde yer alan ve havzaı kuzeyden sınırlayan Pamukkale fayının düşen bloğu üzerinde halen oluşmaya devam etmektedir (Altunel, 1996). Ana faya bağlı olarak traverten oluşumu vardır. Ana fayın kırık yaptığı alanlarda traverten oluşumları daha fazladır. Ana faya bağlı olarak paralel çatlaklar oluşmuştur. Çalışma alanında açılma çatlaklarına rastlanılmış ve açılma çatlaklarına bağlı olarak oluşmuş sırt tipi travertenler gözlenmiştir. Denizli bölgesindeki traverten oluşumları Pamukkale travertenleri dışında doğuya doğru Yeniköy, Küçükderneköy ve Irlaganlı yerleşim merkezlerinde, Kocabaş ve yakın çevresinde, Kocabaş'ın kuzeyinde (Balık travertenleri) ve Koyunallı, Karateke'de rastlanmaktadır. Traverten oluşumunu etkileyen faktörler, (1) sıcak ve minerali suların bileşimi ve doygunluk indeksleri ve kısmi CO₂ gazı basınçları, (2) sıcak ve minerali suların sıcaklığı ve debisi, (3) sıcak ve minerali suyun akış esnasındaki sıcaklığı ve (4) sıcak ve minerali suların bileşimi ve doygunluk indeksleri ve kısmi CO₂ gazı basınçları. Çalışma alanında otravertenler (Altunel, 1996) ve (Guo ve Riding, 1998) tarafından genel olarak teras, sırt ve kanal tipi travertenler olarak sınıflandırılmıştır. Kanal tipi travertenler de kendi içinde kristalin kabuk, çalı, karniş, breşik, sal, gaz boşluğu ve pizolitik tipi travertenler olarak sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3. Pamukkale ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Akkuş, vd. 2005).



Şekil 4. Çalışma alanının stratigrafik kesiti (Alpman, 1963)

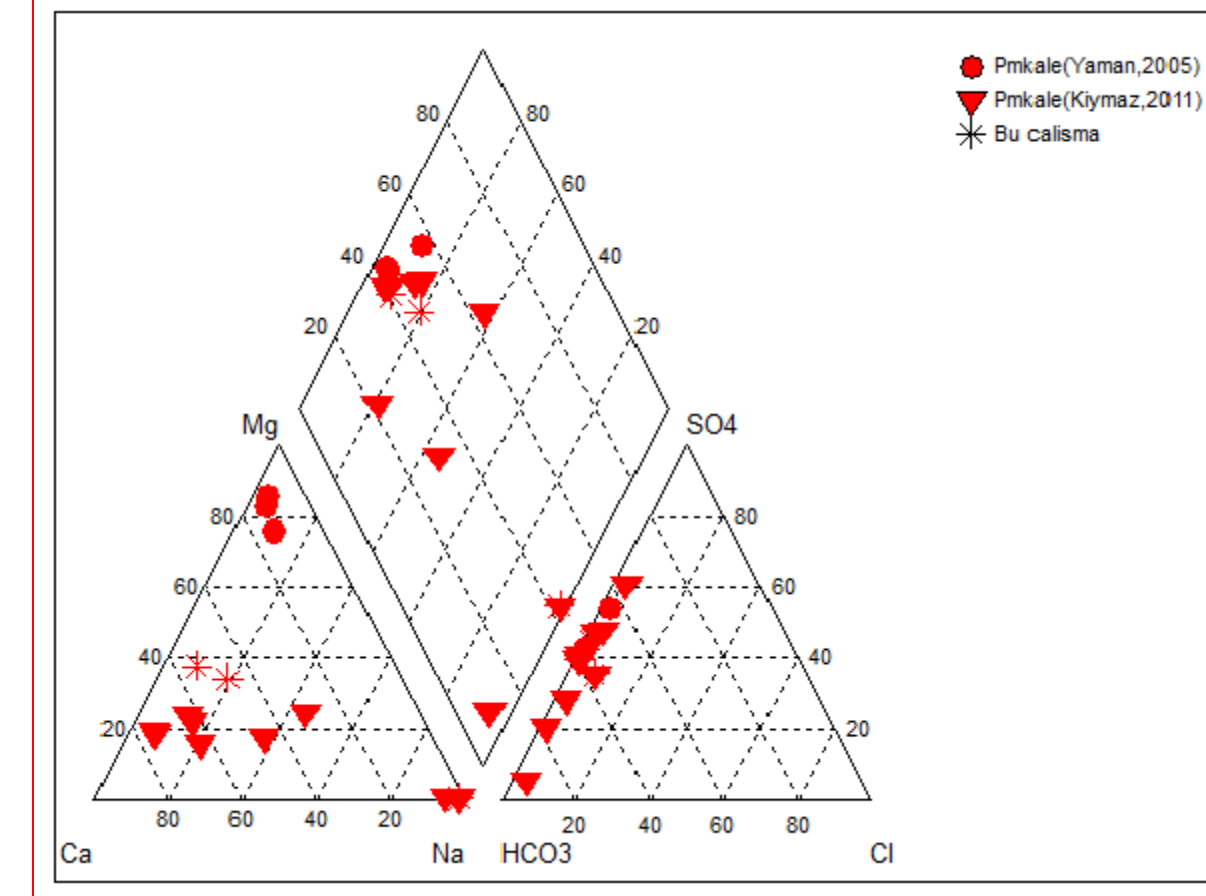
3.2 Hidrojeoloji, hidrojeokimya ve izotop jeokimyası

3.2.1 Hidrojeoloji

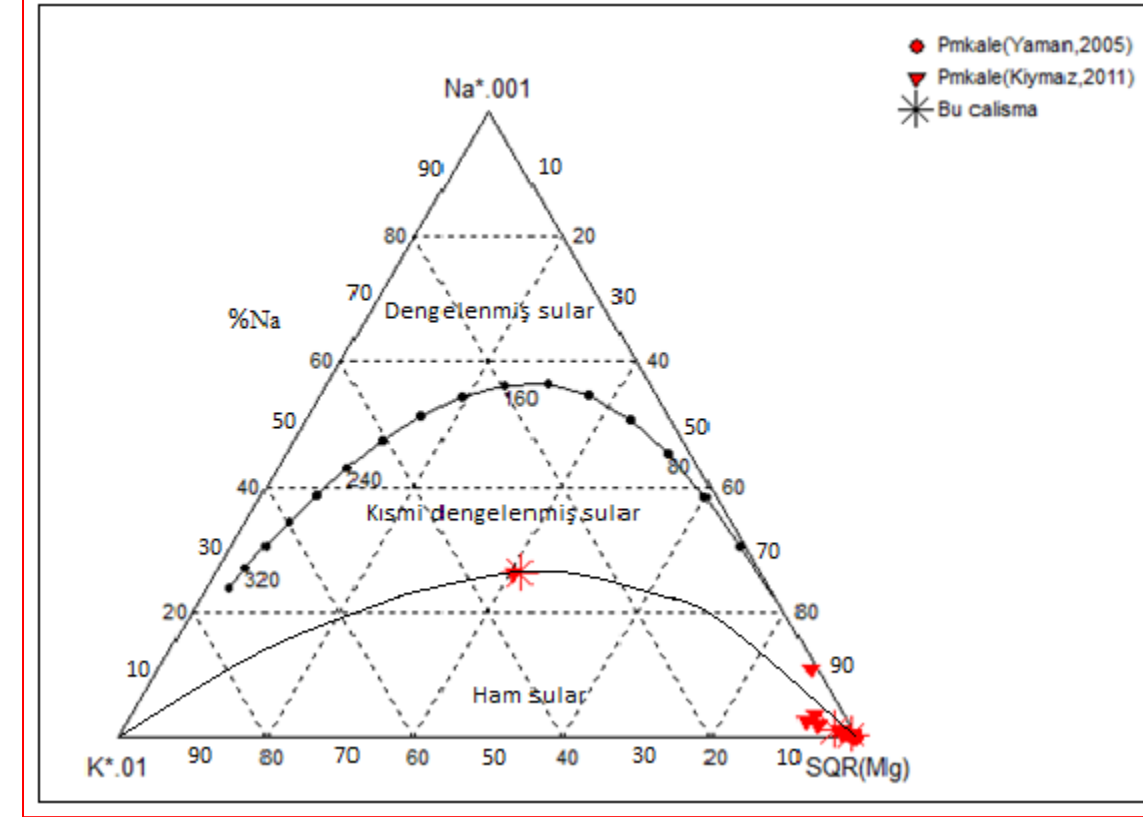
İnceleme alanında hidrojeolojik açıdan geçirimli birim olarak Paleozoik mermer, Mesozoyik kireçtaşı, Pliyosen kireçtaşları, alüvyon ve traverten yüzeylenmektedir. Paleozoik mermer Pamukkale-Karahayıt arasında ve Pamukkale termal kaynaklarının kuzeydoğusunda, Mesozoyik kireçtaşı Pamukkale Termal kaynaklarının hemen kuzeyinde yer alan tepelerde, Pliyosen çökeller Pamukkale kaynakları civarında ve Yenice Horst'u'nun üst kotlarında Pamukkale - Karahayıt arasında gözlenmektedir. Birinci rezervuar kayacı olan Sazak formasyonu üzerinde görülen Kolonkaya formasyonu ve Tosunlar formasyonunun kilitaşı, marn, kumtaşı ardalıması birinci rezervuar kaya için çok iyi bir örtü kayadır. olonkaya formasyonunda, eklem veya diğer süreksizlik düzlemlerinin, birimin geçirgenliğine etkisi yok denecek kadar azdır. Geçirimsizliği elirlen çok ince dokuda dentritik drenaj örneği bu birim için çok ayırtandır. Bu örtü içinde yapılan gradyan ölçüleride rezervuar kayanın yerinin saptanmasına da ışık tutmuştur. Birinci örtü kayanın kalınlığı 350 - 600 m arasında değişmektedir.

3.2.2 Hidrojeokimya

Pamukkale ve yakın çevresi jeotermal suları Piper diyagramına göre Ca-Mg-SO₄-HCO₃ tipi sular olarak adlandırılabilir (Şekil 5). Çalışma alanında bulunan jeotermal sular katyon sıralamasına göre Ca>Mg>Na+K şeklinde ve anyon sıralamasına göre HCO₃>SO₄>Cl şeklinde hidrojeokimyasal özellik göstermektedir. Yöre jeotermal suları Cl-SO₄-HCO₃ diyagramına göre daha çok çevresel ve sıg sular bölgesine düşmektedir (Kutlu, 2015). Buna göre yöre suları yüksek miktarda sülfat içermekte ve bu yüksek sülfat değerleri daha çok eveporitik ürün olan jips minerali ile ilişkilendirilmektedir. Bu özelliklere bağlı olarak Na/1000-K/100-SQR(MG) diyagramı ile yöre suları ham sular olarak değerlendirilmektedir (Şekil 6). Ayrıca yörede uygulanan Na/K jeokimyasal termometresi Pamukkale ve yakın çevresi jeotermal suları için 200 ile 280 °C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları vermektedir.



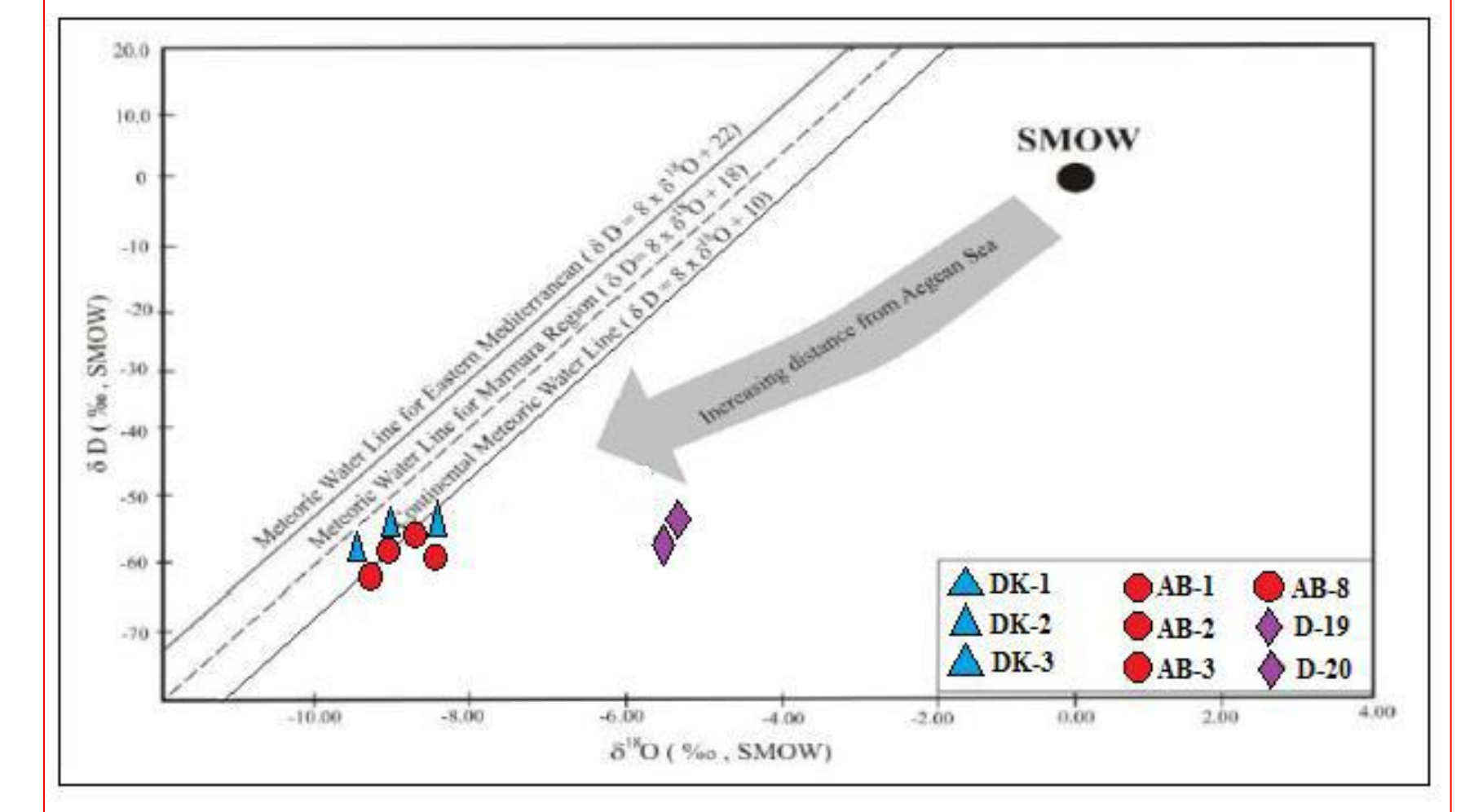
Şeki 5. Pamukkale ve yakın çevresi jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi.



Şekil 6. Na-K-Mg diyagramında inceleme alanının sularının görünümü ve su-kayaç denge sıcaklıkları

3.3.3 İzotop Jeokimyası

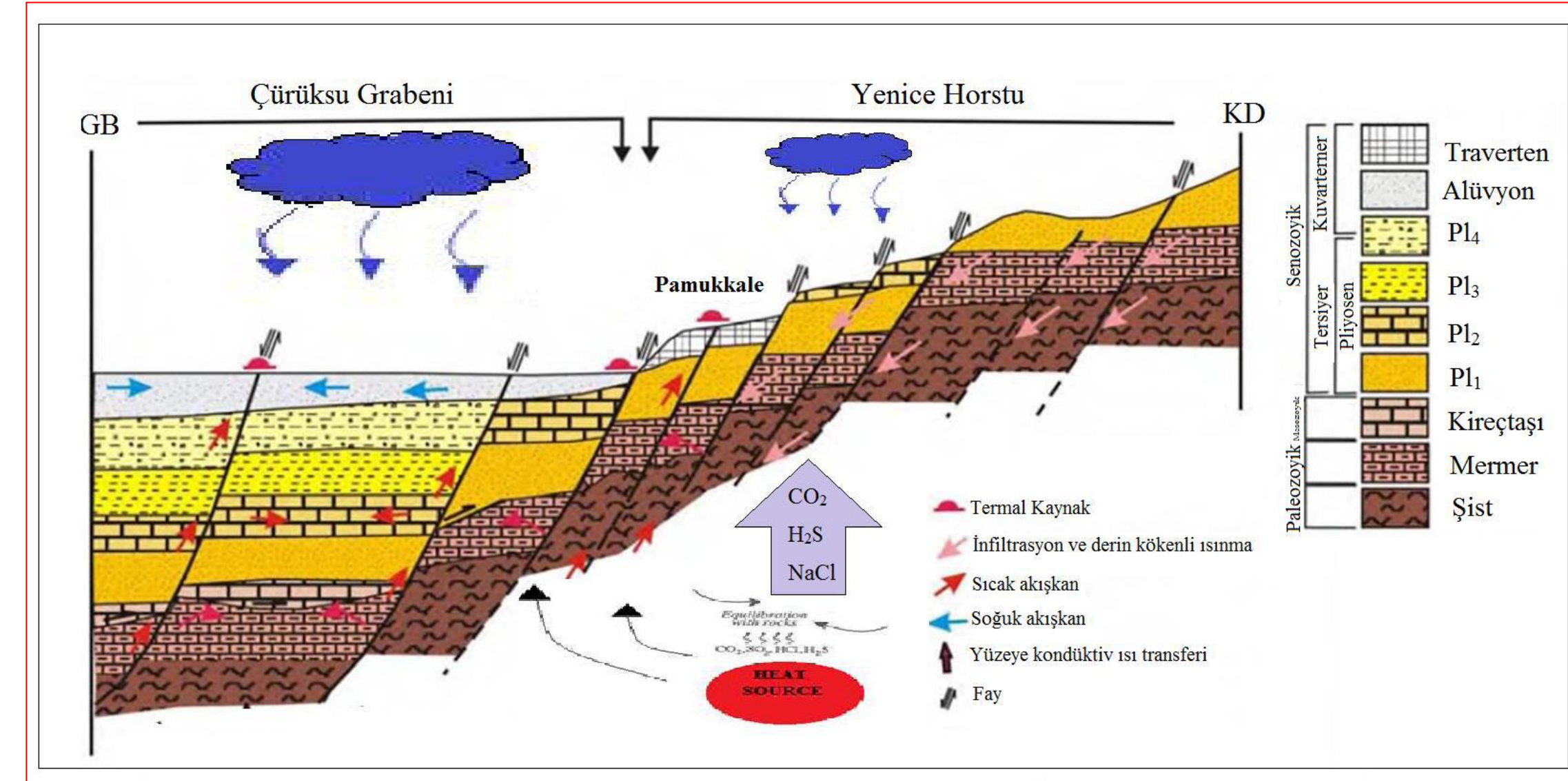
İnceleme alanı ve çevresinde yer alan kaynaklara ait sıcak su örnekleri $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ³H (TU) içerikleri bakımından incelenmiştir (Kutlu, 2015; Şekil 7). Termal suların $\delta^2\text{H}$ değerleri -61,9 ile -51,8 arasında değişirken, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -9,23 ile -5,84 arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanındaki termal suların trityum içerikleri 0,7 ile 3,3 TU arasındadır. Pamukkale ve yakın çevresi jeotermal suları diyagramda bulunan meteorik su çizgisi ile tam bir uyumluluk göstermekte ve bu var olan ³H değerleri ile birlikte yorumlandığında Pamukkale jeotermal sularına önemli miktarda soğuk yer altı sularının karışabileceğini göstermektedir.



Şeki 7. Pamukkale ve yakın çevresi jeotermal sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramında gösterilmesi. DK-1, DK-2, DK-3 : Pamukkale; AB-1, AB-2, AB-3, AB-8 : Gölemezli; D-19, D-20: Kizildere.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Pamukkale ve yakın çevresi jeotermal suları hidrojeolojik olarak modellenmiştir (Şekil 8). Yöre meteorik suları aşağıya doğru süzülürler. Bunlar 3-5 km derinlikte faylar boyunca ilerlerler. Hareketleri Sazak ve İzdecik Formasyonları üzerinde olmaktadır. Buradaki sular magma kaynağı tarafından ısıtılırlar. Daha sonra 2 - 4 km derinde bulunan magma kaynağı yukarı kısmında reaksiyon zonu oluşturmaktadır. Büyük Menderes rift zonunda kalk - alkali, bazik ve ortaç volkanik kayalar Denizli ve Söke arasında bulunurlar ve bunlar Orta Miyosen - Üst Pliyosen yaşlıdır. Buna karşın Kula yöresinde 7,5 milyon yıl ile 18.000 yıl arasında değişen yaşlara sahip Kula volkanizması bulunmaktadır. Bu volkanizma yörede bulunan jeotermal suların ısıtılmasında önemli rol oynamış bulunmaktadır. Derinde bulunan suların sıcak magma kütesi tarafından ısıtılmış kayalarla yoğun etkileşimi söz konusudur. Bu etkileşim esnasında CO₂, SO₂, HCl, H₂S, HB, HF ve He gibi uçucu bileşenler magmadan ayrılarak gaz fazında jeotermal sulara ulaşmaktadır. Burada alterasyona uğrayan kayalar gazlar ve sirkülasyon yapan sular arasında dengelenme olayları meydana gelmektedir. Daha sonra yukarıya doğru hareket eden sular CO₂, H₂S ve NaCl gibi bileşimler ihtiva etmektedir. Hidrotermal konveksiyon ısıtılan sulara baskı uygulamaktadır ve böylece bu sular az olan yoğunlukla dolayısıyla yeryüzüne ulaşmaktadır. Bunlar böylece tektonik zayıf zonlarda pH nötr sıvılar olarak gaz ve buhar şeklinde yeryüzüne çıkmaktadır.



Şekil 8. Pamukkale jeotermal sularının basitleştirilmiş hidrojeolojik oluşum modeli.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 4137-YL-14 numaralı "Pamukkale (Denizli) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri" adlı araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z. 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Envanter Serisi No:201, 849 S. Ankara.
- Alpman, N. , 1963, Batı Anadolu tabii sıcak suları, içmeleri ve maden sularının teknik envanteri. M.T.A. Rap. no. 3629 (yayınlanmamış). Ankara.
- Altunel, E., , 1996, Pamukkale travertenlerinin morfolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik önemleri. MTA Dergisi 118, S. 47-64.
- Guo, L. ve Riding, R., 1998, Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolino Terme, Italy: Sedimentology, 45, S. 163-180.
- Kıymaz, İ., 2012, Karahayıt (Denizli) yöresinin jeotermal potansiyeli. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 46 S.
- Kutlu, D. S., 2015, Pamukkale [Denizli] ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 77 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.
- ÖZGÜR, N., 1998, Aktive und fossile Geothermalsysteme in den kontinentalen Riftzonen des Menderes-Massives, W-Anatolien/Türkei: Freie Universitaet Berlin, Habilitationsschrift, 171 S.