

Barutlusu ve Pınarbaşı Kaynak Sularının (Tefenni/ Burdur) Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi

Simge VAROL*, Ayşen DAVRAZ

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

Alınış tarihi:16.12.2009, Kabul tarihi:29.07.2010

Özet: Bu çalışmada, Burdur ili Tefenni ilçesinde bulunan, bölgede sıcaklıkları ve farklı kimyasal yapıları ile dikkati çeken Barutlusu ve Pınarbaşı kaynaklarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Barutlusu ve Pınarbaşı kaynakları, allokton konumlu Triyas yaşlı Kızıldadağ ofiyolitleri ve Duldere kireçtaşı dokanağı boyunca gelişen bindirme yüzeylerinden boşalmaktadır. Barutlusu kaynağının boşalım sıcaklığı 17.6 °C ve Pınarbaşı kaynağının ise 27 °C'dir. Barutlusu kaynağı Na-CO₃-Cl, Pınarbaşı kaynağı ise Ca-Mg-HCO₃ hidrojeokimyasal fasiyesindedir. Barutlusu kaynağı, adularya, albit, analsim, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, kuvars, sanidin, illit, kaolinit, mikroklin ve muskovit minerallerine doygundur. Pınarbaşı kaynağı ise adularya, albit, analsim, halit, muskovit, kuvars, sanidin, illit, kaolinit ve mikroklin minerallerine doygundur. Anhidrit, aragonit, kalsit, kalsedon, magnefit ve dolomit mineralleri ise doygunluk altındadır. Yöredeki su kaynaklarına göre daha sıcak olan Barutlusu kaynağının sıcaklığı örtü kayacının bulunmaması nedeni ile artmamıştır. Pınarbaşı kaynağının hazne kayacı Duldere kireçtaşları, örtü kayacını ise Çameli formasyonudur. Kaynağın ısıtıcı kaynağı tektonik rejim ile bağlantılı olarak yüksek jeotermal gradyandır. Pınarbaşı sıcak su kaynağının hazne kaya sıcaklığı silika jeotermometreleri ile maksimum 83.29 °C'de olarak belirlenmiştir. Suların doğal izotop içeriğine göre meteorik kökenli oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeokimya, İzotop, Mineral Doygunluk İndeksi, Jeotermometre

Hydrogeochemical Evaluation of Barutlusu and Pınarbaşı (Tefenni / Burdur) Spring Water

Abstract: In this study, hydrogeological and hydrogeochemical properties of Barutlusu and Pınarbaşı springs which are called attention due to temperatures and different hydrogeochemical properties and are situated in Tefenni district of Burdur province are investigated. Barutlusu and Pınarbaşı springs have been discharged from overthrust zone which are developed between allochthonous Kızıldadağ ophiolite and Duldere limestone. The discharge temperature of Barutlusu and Pınarbaşı springs are 17.6 °C and 27 °C, respectively. Hydrogeochemical facies of Barutlusu and Pınarbaşı springs are Na-CO₃-Cl and Ca-Mg-HCO₃, respectively. Barutlusu spring is oversaturated to adularia, albite, analcime, aragonite, calcite, chalcedony, dolomite, quartz, sanidine, illite, kaolinite, microcline and muscovite minerals. Pınarbaşı spring is also oversaturated to adularia, albite, analcime, halite, muscovite, quartz, sanidine, illite, kaolinite and microcline minerals. It is undersaturated to anhydrite, aragonite, calcite, chalcedony, magnesite and dolomite minerals. Although Barutlusu spring water has higher temperature than according to springs which are located in this region, its temperature is not increased due to absence of cover rock. The reservoir rock of Pınarbaşı spring is Duldere limestone and the cover rock is Çameli formation. The heat source of Pınarbaşı spring is probably the high geothermal gradient resulting from the tectonic regime. The reservoir temperature of the spring was determined max 83.29 °C according to silica geothermometer techniques. These waters are meteoric origin according to natural isotope contents.

Keywords: Hydrogeochemistry, İsoptop, Mineral Saturated İndex, Geothermometry

Giriş

Yeraltı suları oluşum sürecinde içerisinden geçtikleri kayalarla sürekli temas halindedir. Bu temas süresinin uzunluğu ve temasta bulunan ortamın jeokimyasal yapısına bağlı olarak yeraltı sularının hidrojeokimyasal yapısında değişiklik gözlenmektedir. Bu nedende aynı hidrojeolojik havza içerisinde farklı hidrojeokimyasal yapıya sahip sularla karşılaşılabilir. Bu yapı, su kaynaklarının kalitesiyle ilişkili olarak kullanım koşullarını sınırlandırmaktadır. Bu nedenle havza içerisinde bulunan her kaynağın optimum kullanım alanlarının değerlendirilebilmesi için hidrojeokimyasal açıdan ayrıntılı olarak araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, bölgede farklı özellikteki Barutlusu ve

Pınarbaşı kaynaklarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, aynı jeolojik birimler içerisinden boşalan bu kaynakların döngü sırasında, kaya-su etkileşim zamanı, suyun ve ortamın özellikleri ile yeraltı suyu miktarı ve akım hızına bağlı olarak hidrojeokimyasal yapılarındaki değişim de irdelenmiştir. Çalışma alanı, Burdur il sınırlarında ve Burdur Gölü kapalı havzasının alt havzalarından biri olan Tefenni ovası içerisinde yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında ova içerisinde yer alan farklı karakterdeki iki su kaynağının kaya-su etkileşimine bağlı olarak gelişen hidrojeokimyasal farklılıkları incelenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası (ölçeksiz)

Jeoloji ve Hidrojeoloji

Çalışma alanındaki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin yorumlanabilmesi amacıyla öncelikle kaynakların bulunduğu bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ortaya konulmuştur. Bölgede otokton ve allokton konumlu jeolojik birimler yüzeylemektedir. Allokton konumlu birimlerden Üst Triyas- Kretase yaşlı (Şenel vd., 1989). Kayalısirtı birimi çalışma alanındaki en yaşlı birim olup, pelletik kireçtaşı, mikrit, çörtlü mikrit, radyolarit gibi kaya türlerinden oluşmaktadır. Birim üzerinde Orta-Üst Triyas yaşlı (Şenel vd., 1989), çeşitli renk ve fasiyelerde rekristalize kireçtaşlarından oluşan Dutdere kireçtaşı yine allokton konumlu olarak yerleşmiştir. İnce- orta- kalın tabakalı, gri, krem renkli, çok sık kıvrımlı, yer yer bazik volkanit ve radyolarit-çörtşeyl ara düzeyli çörtlü mikritlerden oluşan (Şentürk, 2003) Orhaniye formasyonu ve tabakalı çört üyesi Dutdere kireçtaşlarının üzerine allokton olarak yerleşmiştir. Birim içerisinde yer alan fosil formlarına göre Şenel ve diğ., tarafından (1989) Jura-Kretase yaşlı olduğu belirtilmiş ve bu çalışmada da aynı yaş benimsenmiştir. Bu birimlerin üzerinde yer alan Marmaris ofiyolit napına ait ve Üst Senomaniyen yaşlı (Sarp 1976; Poisson 1977) Kızılcadağ ofiyolitli melanaj ve olistostromu, farklı renk tonlarında serpantin bir hamur içerisinde Permiyen yaşlı karbonat, Triyas, Jura, Kretase yaşlı karbonatlar, yaşı belirlenememiş olan radyolarit-çört, çörtlü kireçtaşı ile bazalt, split, tüf, gabro, diyabaz vb. blokları kapsamaktadır (Bilgin vd., 1990). Marmaris ofiyolit napı içerisindeki bir diğer birim ise alt ve üst ilişkisi tektonik olan ve Apsiyen- Albiyen (Thuizat vd., 1981) zaman aralığını temsil eden Marmaris Peridotitidir. genelde peridotit, serpantin ve serpantinleşmiş peridotitlerden oluşmaktadır. Birim içerisinde serpantinleşmenin ileri olduğu hakim kaya türü harzburjit olup, harzburjitlerle birlikte ardalanan dunitler de izlenmektedir. Marmaris peridotitinin içerisinde yer alan kümülatların, alt ilişkisi tektonik olup dunit, verlit,

piroksenit, tabakalı gabro vb. kaya türü ardalanmasından oluşmaktadır (Şenel vd., 1989). Çalışma alanında gözlemlenen allokton birimlerin sonuncusu Üst Lütisiyen-Priaboniyen (Bilgin vd., 1990; Şenel vd., 1989) yaşlı Varsakyayla formasyonudur. Polijenik konglomeralar, tabakalı kumtaşı, çakıltaşı, kumlu kireçtaşı, marn, kiltası, yumrulu kireçtaşlarından oluşmaktadır.

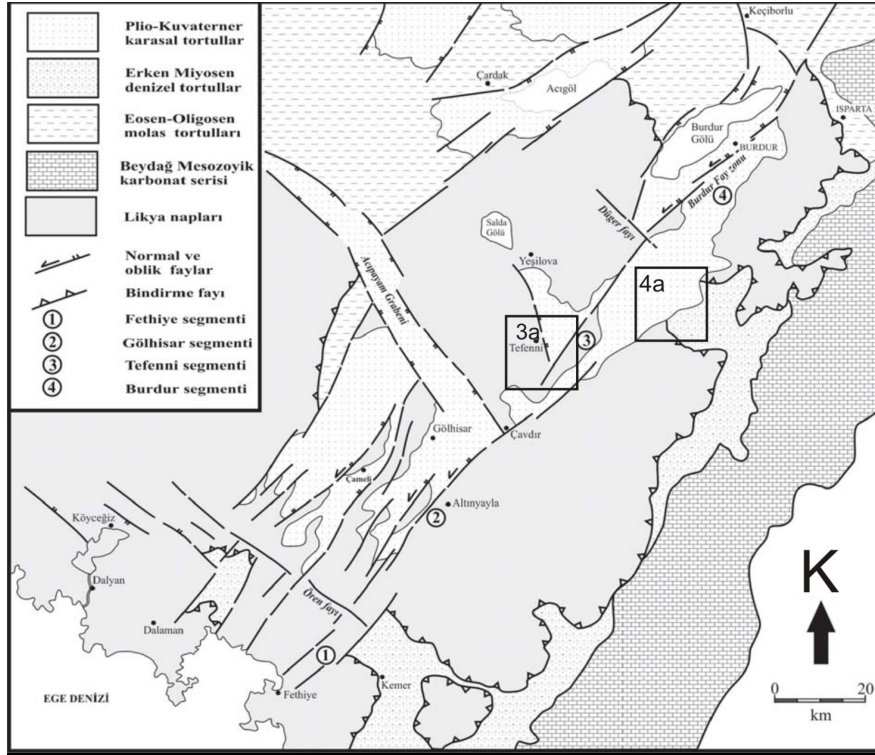
Çalışma alanında otokton konumlu birimlerden Üst Lütisiyen-Alt Burdigaliyen (Şenel vd., 1989) yaşlı Elmalı formasyonu, kumtaşı ve şeyllerden oluşmaktadır. Elmalı formasyonu üzerinde yaşca daha genç (Pliyosen yaşlı) (Şenel vd., 1994) ve gölsel kireçtaşı, kumtaşı, marn, konglomera vb. kaya türlerinden oluşan Çameli formasyonu bulunmaktadır. Bölgedeki tüm allokton ve otokton birimler üzerindeki en genç birimler, kuvaterner alüvyon, eski akarsu taraçaları ve yamaç molozu- birikinti konileridir. Çalışma alanında geniş bir yayılıma sahip ve en önemli akifer karakterindeki alüvyon birimi, akarsuların ve yamaç döküntülerinin oluşturduğu tutturulmamış güncel tortullar olan, zayıf pekleşmiş çakıl, kum ve çamurtaşı düzeylerinden oluşmaktadır. Eski akarsu taraçaları yuvarlak çakıllı, orta derecede tutturulmuş konglomeralardan Yamaç molozu ve birikinti konileri ise genellikle yuvarlak çakıl ile az oranda kum ve çamurtaşlarının bir arada bulunduğu kaba kırıntılılardan oluşmaktadır.

Yapısal Jeoloji

Jeolojik devirler boyunca Batı Anadolu'da neotektonik aktivitelerin sonucu olarak önemli fay zonları ve graben sistemleri gelişmiştir. Çalışma alanı da, önemli neotektonik yapılardan Fethiye ile Burdur Gölü arasındaki Fethiye-Burdur fay zonu içerisinde yer almaktadır. Fethiye ile Burdur Gölü arasındaki fay sistemlerini KD-

GB, KB-GD ve K-G uzanımlı olmak üzere başlıca üç grup içerisinde toplamak mümkündür. Özellikle Burdur Gölü'nü kuzeyden ve güneyden sınırlayan KD gidişli faylar sol oblik atımlı normal fay karakterine sahiptirler. Bu faylar çoğu yerde Kuvaterner oluşuklarını keserek, bunlara yüksek eğimler kazandırmakta ve alüvyonlar içerisinde gözlenebilen basamaklı yapılar oluşturmaktadırlar. KB uzanımlı faylar ise büyük bölümüyle normal fay karakterinde olup; KD gidişli fayları değişik lokasyonlarda keserek bu faylar üzerinde farklı segmentlerin oluşumuna sebep olmaktadır (Şekil 2; Bozcu vd., 2007). Çalışma alanı bu fay grupları içerisinde

KB-gidişli faylarla sınırlanmış olan başlıca dört ayrı segmentten biri olan Tefenni segmenti tarafından kontrol edilmektedir (Yağmurlu vd., 2005). Bilindiği gibi tektonizma sıcak su kaynaklarının oluşumunda önemli bir yer tutmaktadır. Çeşitli şekillerde yeryüzüne düşen yağmur suları faylar, kırık-çatlaklar ve geçirimli özellikteki kayalar aracılığıyla yeraltına süzülmekte, burada magmatik sokulumlarla temasa geçerek ısınmakta veya alçalan soğuk su ile yükselen sıcak su arasındaki yoğunluk farkından oluşan basınç kuvveti ve tektonik yapılar aracılığıyla yeryüzüne yükselmektedir (Grant vd., 1982).

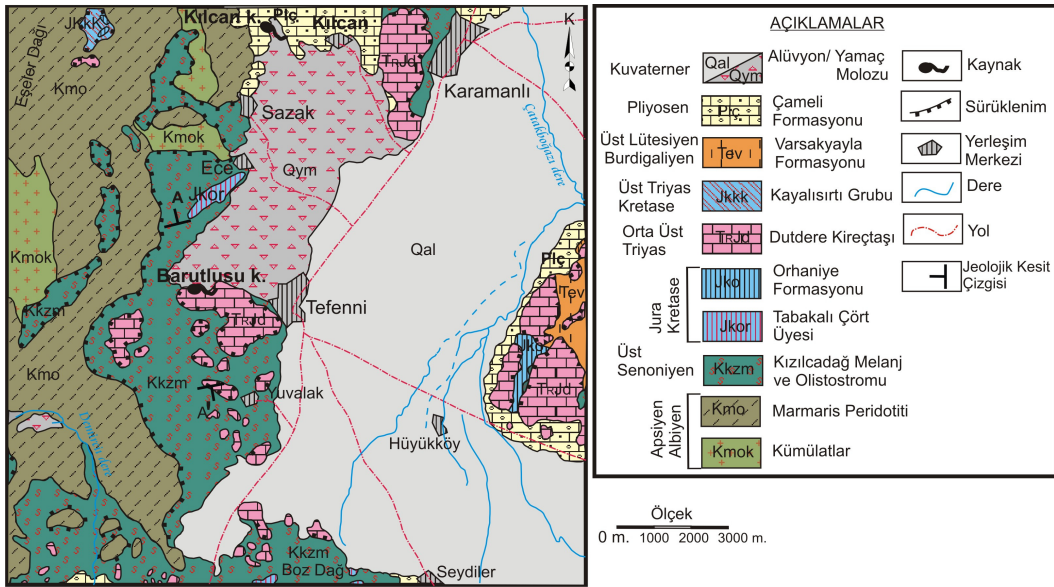


Şekil 2. Fethiye Körfezi ile Burdur Gölü arasındaki bölgede Burdur fayını oluşturan segmentlerin konumları ve diğer fay sistemleri ile olan ilişkileri (Bozcu vd., 2007'den alınmıştır).

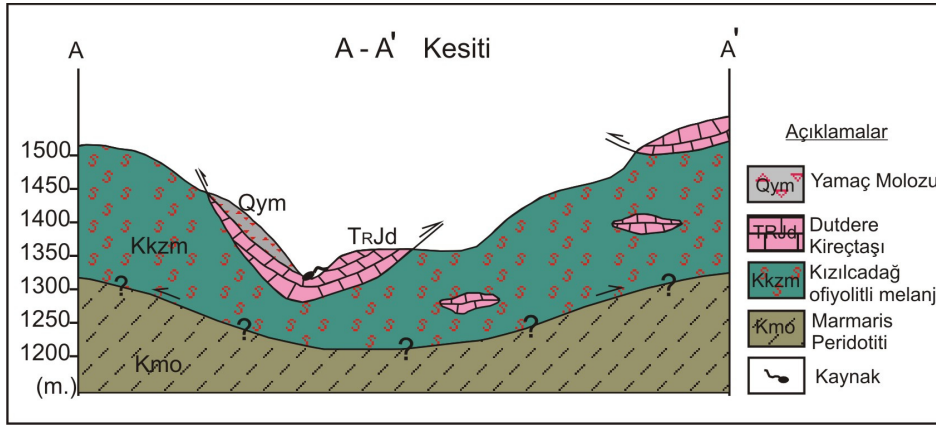
Çalışma alanında yer alan Marmaris peridotiti ve kümülatlar ile Kızıldağ ofiyolitli melanj ve olistostromu genel yapıları itibariyle geçirimsiz birimler olarak değerlendirilmiştir. Ancak, serpantin ve peridotitler kırık ve çatlaklarında bir miktar yeraltı suyu bulundurabilmektedir. Çameli formasyonu, Orhaniye formasyonu, Kayalısirtı birimi, Elmalı formasyonu bölgedeki yarı geçirimli birimlerdir. Duttur kireçtaşı, kırıklı ve çatlaklı yapıları ve bünyelerinde su depolayabilme özelliğinden dolayı geçirimli birim olarak tanımlanmaktadır. Varsakyayla formasyonu, içerisinde su

bulundurabilen kireçtaşı, kumtaşı, konglomera gibi birimlerle geçirimli özellikteki bir diğer birimi oluşturmaktadır. Çalışma alanındaki Kuvaterner oluşukları olan alüvyon, yamaç molozu ve eski akarsu taraçaları ise gözenekli akifer ortam niteliğindedir.

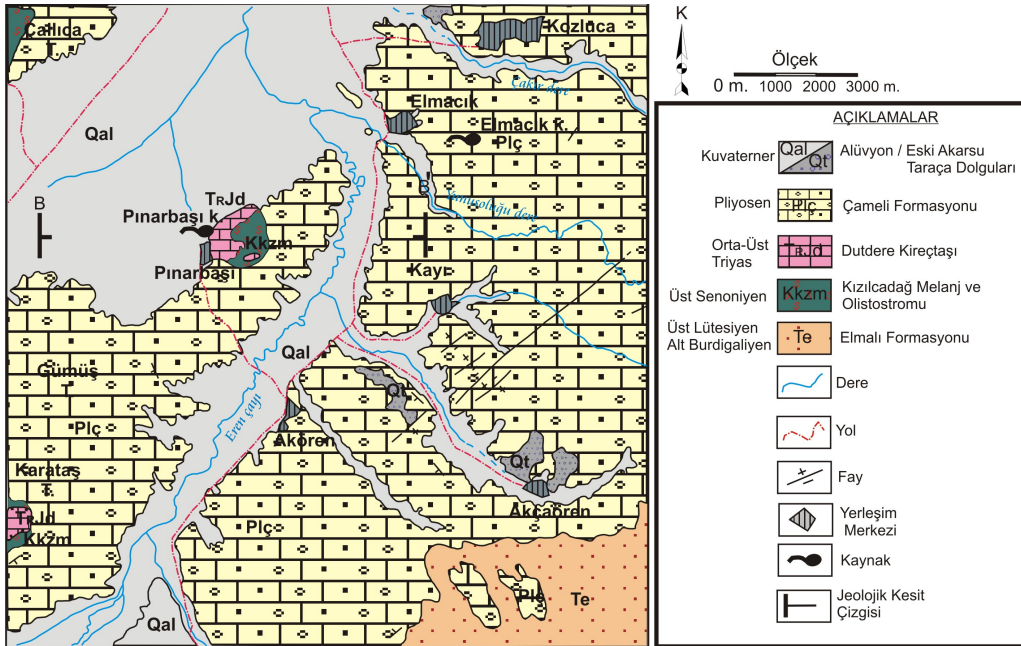
Çalışma alanında bulunan Barutlusu ve Pınarbaşı kaynakları, Kızıldağ ofiyolitleri ve Duttur kireçtaşı dokanağı boyunca gelişen bindirme yüzeylerinden boşalmaktadır (Şekil 3a,b; 4a,b).



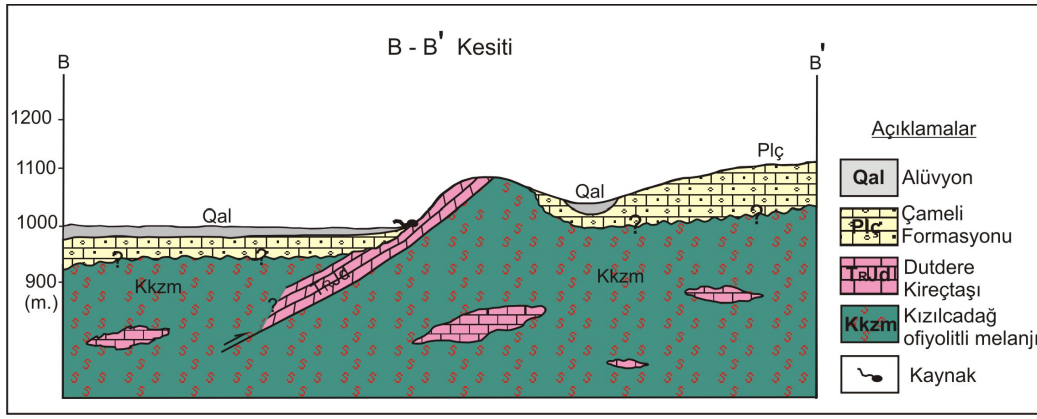
Şekil 3a. Barutlusu kaynağı ve çevresinin jeoloji haritası (Şenel vd., 1989'dan değiştirilerek alınmıştır.)



Şekil 3b. Barutlusu kaynağı ve çevresinin jeoloji enine kesiti



Şekil 4a. Pınarbaşı kaynağı ve çevresinin jeoloji haritası (Şenel vd., 1989'dan değiştirilerek alınmıştır.)



Şekil 4b. Pınarbaşı kaynağı ve çevresinin jeoloji enine kesiti

Hidrojeokimya

Hidrojeokimya çalışmalarında, yeraltısularının, kimyasal özelliklerinin ve kalitelerinin belirlenmesi, kökenlerinin araştırılması, yüzey ve yağış suları ile muhtemel ilişkilerinin incelenmesi, yeraltısularının kirliliği ve iyileştirme yöntemleri belirlenmeye çalışılmıştır. Hidrojeokimyasal tekniklerle birçok eser element ve izotop jeokimyasını, kaya ve gazların jeokimyasını araştırmada da kullanılan hidrojeolojik çalışmaların vazgeçilmez bir parçasını oluşturmaktadır. Bu çalışmada inceleme alanındaki kaynakların hidrojeokimyasal özellikleri, köken ve oluşum mekanizmaları gibi konulara açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

Çalışma alanındaki kaynak sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle kaynak sularından numuneler alınmıştır. 100 ml'lik sızdırmaz kapaklı polietilen şişelere alınan su numunelerinin kimyasal analizleri Acme-Analytical Lab. (Kanada), HCO_3 , CO_3 , Cl ve SO_4 analizleri DSİ kimya laboratuvarlarında, $\delta^{18}\text{O}$ izotop analizleri University of Waterloo Environmental Isotope Lab. (Kanada), $\delta^2\text{H}$ (D) ve tridyum izotop analizleri DSİ TAKK Dairesi İzotop Laboratuvarlarında yapılmıştır. Kaynak sularının sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) değerleri ise arazide yerinde ölçümlerle belirlenmiştir.

Suların kimyasal analizleri sırasında bazı hatalar ortaya çıkabilmektedir. Bu hataların büyüklüğü, anyon-kasyon dengesinden hesaplanabilir. İyon bilançosunda hata yüzdesinin genellikle % 5'den düşük olması istenmektedir. Pozitif değer kasyon fazlalığına, negatif değer ise anyon fazlalığına karşılık gelmektedir. Analiz yapımı sırasında ortaya çıkan hatalar dışındaki % 5'den yüksek hata, suda analizi yapılmamış iyonların yüksek derişimde olabileceği şeklinde yorumlanmaktadır. Çalışma alanındaki yeraltısularında yapılan kimyasal analizlerde anyon-kasyon dengesi ile belirlenen hata oranının % 5'den düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 1).

Barutlusu kaynağının yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre pH değeri 9.26, EC 1066.5 $\mu\text{mho/cm}$ ve sıcaklığı 17.6 °C olarak ölçülmüştür. Barutlu su kaynağı boşalım

sıcaklığının 20 °C'den düşük olması nedeni ile soğuk kaynak suları sınıfındadır. Barutlusu'ya ait majör kasyonlar $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$ şeklinde sıralanırken, majör anyonlar $\text{CO}_3 > \text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$ şeklinde bir dizilim göstermektedir. Kaynağın SiO_2 değeri ise 22.335 mg/l'dir (Çizelge 1).

Pınarbaşı sıcak su kaynağının ise, pH değeri 7.1, EC 1372 $\mu\text{mho/cm}$ 'dir. Pınarbaşı kaynağı 27 °C olması nedeni ile sıcak sular sınıfına girmektedir (Schoeller, 1962). Pınarbaşı sıcak suyunda majör kasyonlar $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$, majör anyonlar ise $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ şeklinde sıralanmışlardır. Kaynaktaki SiO_2 değeri 30.290 mg/l'dir (Çizelge 1).

Bunların yanı sıra kaynakların kimyasal analizleri sonucunda bazı eser elementlerin (B, Fe, Ti, S, Mn, Sr, Ba, Br, Zn, Ag, P, Al, Li, Si) varlığı da tespit edilmiş ancak bu değerlerin Barutlusu kaynağı için 0.2 mg/l'i, Pınarbaşı kaynağı için 0.5 mg/l'i aşmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle eser elementlerin bir kısmı tabloda gösterilmemiştir (Çizelge 1).

Çalışma alanındaki su kaynaklarının hidrojeokimyasal fasiyesini belirlemek amacıyla kimyasal analiz sonuçları, Piper diyagramı üzerine yerleştirilmiştir (Piper, 1944; Şekil 5). Bu diyagrama göre, Barutlusu kaynağı, alkali elementlerin ($\text{Na} + \text{K}$) toprak alkali elementlere ($\text{Ca} + \text{Mg}$) oranla daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$), güçlü asit köklerinden ($\text{Cl} + \text{SO}_4$) daha yoğun olduğu karışık sular alanına girmekte ve $\text{Na-CO}_3\text{-Cl}$ 'li su fasiyesindedir. Barutlusu kaynağının su tipinin şekillenmesinde, etkileşimde bulunduğu Dutdere kireçtaşları ile Marmaris ofiyolit napına ait serpantin, gabro, harzburjit, dunit gibi mağmatik ve ultrabazik kayaçlar etkili olmaktadır. Bu tür mağmatik kayaların egemen minerallerini silikat grubu oluşturmaktadır. Magmanın içindeki sekiz önemli kimyasal element (sodyum (Na), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) silisyum (Si), oksijen (O_2), alüminyum (Al), ve demir (Fe)) mağmatik kayaçların majör minerallerini oluşturmaktadır. Özellikle mağmatik kayaçlarda yüksek oranlarda sodyum, potasyum, magnezyum ve kalsiyum bulunmaktadır (Öngen, 2009). Yeraltısularındaki sodyumun bulunuşu mineral cinsine ve miktarına, pH'a,

bozunma süresine, yeraltısularının akım hızına ve ortamdaki kalsiyum iyon derişimine bağıdır (Şahinci, 1991). Barutlusu kaynağının yoğun karbonat içeriği, çalışma alanının pek çok noktasına allokon olarak yerleşmiş Dutedere kireçtaşlarına bağı olarak gelişmiştir. Buna ek olarak kireçtaşlarının bileşiminde bulunan CaCO_3 su içerisindeki H^+ iyonlarını azaltarak suyun pH değerini yükseltmekte ve bazik özellik kazandırmaktadır. Ca iyonlarının suda doyunluğa ulaşması ve ortamın bazikleşmesi CaCO_3 çökmesini sağlamaktadır. Genellikle pH değeri 8,5 ve üstünde olan yeraltısularında sodyum- karbonat+bikarbonat içeriği oldukça sık gözlenmektedir (Şahinci, 1991). Bununla birlikte mağmatik kayalardan ofiyolitik oluşumlar gösteren kayalar, yüksek Cl elementi içermekte ve genel yapısı itibariyle ayrışmalara karşı daha duraysız kayaç tiplerini oluşturmaktadır (Şahinci, 1991). Barutlusu kaynağı kayasu etkileşimi sırasında bu kayaları ayrıştırarak, bünyesine yüksek oranda Na, HCO_3+CO_3 ve Cl elementlerini kazandırmıştır. Barutlusu kaynağı ve çevresinin hidrojeolojik özellikleri dikkate alındığında, su kaynağının hazne kayacı niteliğindeki Dutedere kireçtaşının, yayılımı ve kalınlığının az olduğu gözlenmektedir. Kireçtaşının tabanında bulunan Kızılcaadağ ofiyolitlerinin geçirimsiz özellikte olması yeraltısuyu akımını sınırlandıracaktır. Bu durumda, kayasu etkileşim zamanının daha fazla olacağı düşünülmektedir.

Pınarbaşı kaynağı ise, alkali toprak elementlerinin alkali elementlerden fazla olduğu karbonat sertliğinin % 50'den fazla ve zayıf asit köklerinin güçlü asit köklerinden daha fazla bulunduğu Ca-Mg- HCO_3 lı su fasiyesindedir (Şekil 5). Kaynak suyunun HCO_3 iyonu bakımından zengin olması, rezervuar kayacının kireçtaşı birimlerinden oluştuğunu ve derin kökenli CO_2 gazının suda çözünmesi ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. İncelenen kaynaklardan Pınarbaşı sıcak su kaynağında SiO_2 miktarının Barutlusu kaynağına nazaran daha yüksek olması, derinlere inildikçe, artan sıcaklıkla doğru orantılı olarak silisli minerallerin daha çok çözünmekte olduğunu göstergesidir. Pınarbaşı kaynağı boşalım bölgesinin hidrojeolojik özellikleri değerlendirildiğinde, kaynağın hazne kayacı olan Dutedere kireçtaşının yayılımının Çameli formasyonu altında da geniş alanlara uzandığı gözlenmektedir.

Bölgeye bindirme ile yerleşen bu birimin Kızılcaadağ ofiyolitleri ile olan bindirme yüzeyi de daha derinlere ulaşmaktadır. Kaynağın fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alındığında kaynakta bindirme yüzeyi boyunca süzülen yeraltısuyu miktarı ve hızının daha fazla olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanında Barutlusu kaynağının boşalım noktasına en yakın mesafedeki Kılcan soğuk su kaynağı ile Pınarbaşı kaynağı civarından boşalan Elmacık soğuk su kaynağı, incelenen kaynaklarla hidrojeokimyasal özelliklerinin karşılaştırılması amacıyla verilmiştir. Yarı geçirimli Çameli formasyonu içerisinde bulunan gösel kireçtaşı, kumtaşı ve konglomera seviyeleri yayılımları ve kalınlıklarına bağı olarak bir miktar yeraltısuyu bulundurabilmektedir. Bu formasyondan boşalan Kılcan ve Elmacık soğuk su kaynakları, formasyon içerisindeki birimlerle etkileşimleri nedeni ile Mg-Ca- HCO_3 ve Ca-Mg- HCO_3 'lı hidrojeokimyasal su fasiyesini kazanmıştır (Çizelge 1).

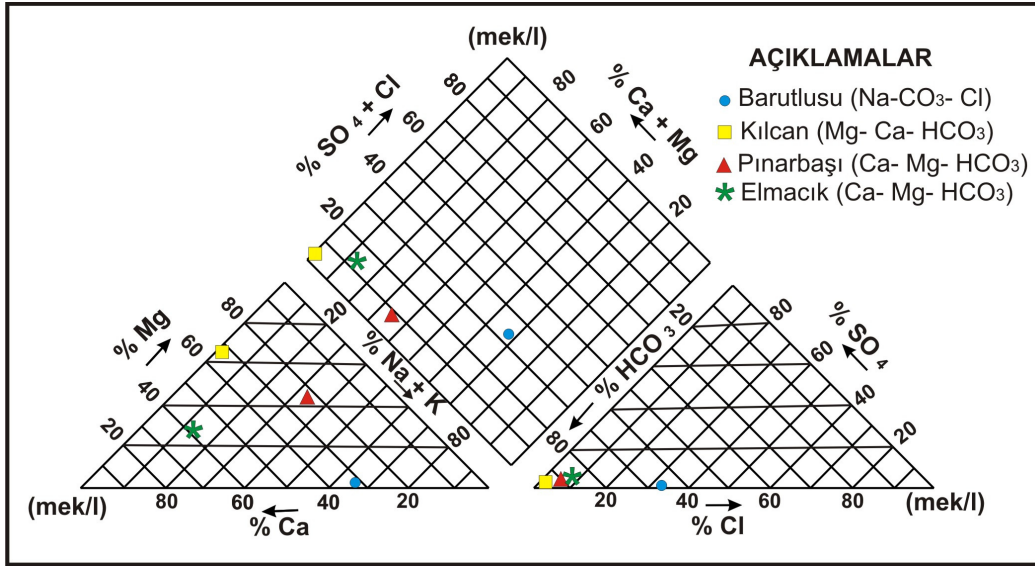
Barutlusu ve Pınarbaşı kaynak sularına ait kimyasal analiz sonuçları kullanılarak Solmineq 88 (Kharaka vd., 1988) bilgisayar programı yardımıyla mineral doyunluk indeksi değerleri hesaplanmıştır. Kaynak sularının boşalım sıcaklıkları ve arazide ölçülen pH değerine göre belirlenen mineral doyunluk indeksi değerleri çizelge 2'de verilmiştir. Barutlusu kaynağı, adularya, albit, analsim, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, kuvars, sanidin, illit, kaolinit, mikroklin ve muskovit minerallerine doygundur. Barutlusu kaynağının kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine doygun olması kireçtaşı akiferi ve ofiyolitik birimlerle etkileşimlerine işaret etmektedir. Manyezit, anhidrit ve halit mineralleri doygunluk altındadır. Bu durum Na ve Cl iyonlarının rezervuarda çözünürlüğünün hala devam ettiğini göstermektedir. Pınarbaşı kaynağı ise adularya, albit, analsim, halit, muskovit, kuvars, sanidin, illit, kaolinit ve mikroklin minerallerine doygundur. Anhidrit, aragonit, kalsit, kalsedon, magnesit ve dolomit mineralleri ise doygunluk altındadır. Bu durum Ca ve Mg iyonlarının rezervuarda çözünürlüğünün hala devam ettiğini ve kireçtaşı akiferi ile etkileşim halinde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 1. Kaynaklara ait kimyasal analiz sonuçları (* İyonlar mg/l cinsinden belirtilmiştir.)

Num. Adı	Sıc. (°C)	Ph	EC(µmho/cm)	δ ¹⁸ O (‰)	δ ² H (‰)	δ ³ H (TU)	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	B	Fe
Kılcan	12.6	6.6	976.5	-7.34	-45.4	6.45	46.84	59.63	3.69	0.41	9	7.45	370	0	0.01	0.05
Barutlusu	17.6	9.2	1066.5	-8.73	-58.9	1.05	16.76	1.25	35.25	0.33	1	46.44	39.5	51	0.03	0
Elmacık	17.2	6.0	1242	-8.90	-59.6	6.75	108.2	33.13	16.13	12.59	24	17.73	340	0	0.04	0.13
Pınarbaşı	27	7.1	1372	-8.38	-57.7	0.40	46.04	27.47	17.06	1.33	0.03	10.64	215	0	0.06	0
	Ti	S	Mn	Sr	Ba	Br	Zn	Ag	P	Al	Li	Si	SiO₂	Katyon	Anyon	% Hata
Kılcan	0.01	4	0	0.17	0	0.02	0.01	0	0.06	0.03	0	20.93	44.76	110.57	386.45	-1.10
Barutlusu	0.01	0	0	0	0	0.19	0.01	0	0.04	0.04	0	10.44	22.33	53.59	137.94	-0.88
Elmacık	0.01	11	0.01	0.52	0.12	0.10	1.57	0.03	0.09	0.06	0	7.62	16.29	170.06	381.73	-0.76
Pınarbaşı	0	0	0	0.42	0.02	0.03	0.07	0	0.02	0.02	0	14.16	30.29	91.9	225.67	-0.84

Çizelge 2. Barutlusu ve Pınarbaşı kaynaklarına ait doygunluk indeksleri

	Barutlusu	Pınarbaşı		Barutlusu	Pınarbaşı
Adularya	1.279	1.200	Halit	-7.328	1.594
Albit	2.251	2.431	Muskovit	6.755	9.360
Analsim	2.057	5.953	Kuvars	0.578	0.691
Anhidrit	-4.447	-4.331	Sanidin	1.417	1.492
Aragonit	0.846	-8.353	İllit	3.318	5.218
Kalsit	0.992	-8.491	Kaolinit	4.118	6.861
Kalsedon	0.413	-3.698	Magnezit	-0.425	-0.728
Dolomit	2.145	-18.100	Mikroklin	3.200	3.208



Şekil 5. Çalışma alanındaki kaynak sularının Piper diyagramı üzerinde gösterilmesi

Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermometre uygulamaları, jeotermal sistemlerde rezervuar sıcaklıklarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Kimyasal jeotermometreler yeraltındaki sıcaklık ile akışkanlar arasında kaya-su etkileşimine bağlı olarak gelişen kimyasal alış-veriş dengesinin belirlenmesine yardım etmektedir. Kimyasal jeotermometrelerin en sık kullanılanları, çeşitli silika minerallerinin çözünürlüklerindeki, sıcaklığa bağlı değişimlerini esas almakta olan silika jeotermometreleri ile Na, K, Ca, Mg içeriğine bağlı değişimlerin esas alındığı katyon jeotermometreleridir (Mutlu, 2009).

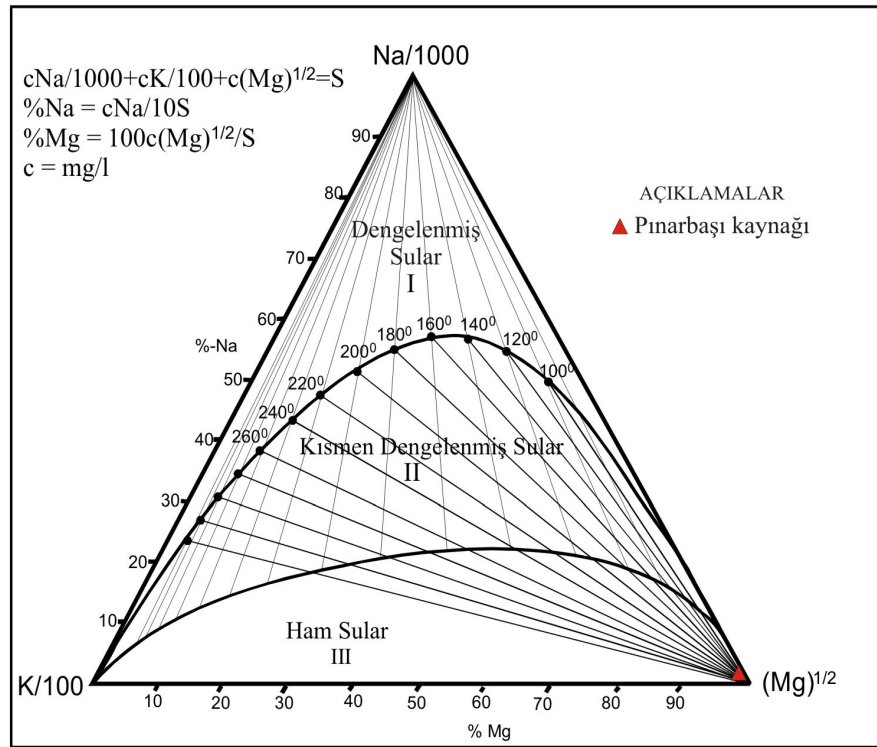
Jeotermometrelerin sıcak suyun kimyasal yapısına bağlı olarak uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla Giggenbach tarafından üçgen şekilli diyagram geliştirilmiştir (Giggenbach, 1988). Bu diyagram ile hem hızlı bir şekilde jeotermometre sonuçları görülebilmekte, hem de katyon jeotermometre bağıntılarının geçerliliği kontrol edilebilmektedir. Giggenbach (1988) tarafından sıcak suların akifer (hazne) sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayalarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmektedir. Diyagram kısaca, su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu (karışmış sular) ve su-kayaç ilişkisinin tam dengede olduğu sular olmak üzere 3 bölüme ayrılmaktadır (Tarcan vd., 2000). Giggenbach (1988) ham sular bölgesinde yer alan suların katyon jeotermometre sonuçlarının güvenilir olmayacağına dikkat çekmektedir (Davraz, 2003).

Bölgede yağışlarla beslenen kaynak suyu yerin derinliklerinde mağmatik oluşumlarla ısınarak tektonizma etkisiyle yüzeye ulaşmaktadır. Termal suların yüzeyde ölçülen sıcaklıkları rezervuar kayaç içindeki sıcaklıklarından düşüktür. Termal suların rezervuar kayaktan yüzeye yükselmeleri sırasında sıcaklıklarının azalmasına temas ettiği kayalarla ısı değişimi, soğuk yeraltı suları ile karışımı, rezervuar kayacın atmosferle ilişkisini kesen geçirimsiz kayaların (örtü kayaç) çok ince oluşu veya bulunmayışı gibi faktörler neden olmaktadır. Termal sular sıcaklık artışı ve kaya-su etkileşiminin yoğunluğuna bağlı olarak daha fazla mineral ve iyonu çözündürür ve bünyelerine katarlar (Şahinci, 1991; Tarcan, 2002).

Pınarbaşı sıcak su kaynağında olduğu gibi termal kaynakların boşalım sıcaklıkları genellikle rezervuar sıcaklıklarından daha düşüktür. Çalışma alanında Pınarbaşı kaynağının hazne (rezervuar) kayacını Dutdere kireçtaşları, örtü kayacını ise yarı geçirimli Çameli formasyonuna ait birimler oluşturmaktadır. Kaynağın ısıtıcı kaynağı tektonik rejim ile bağlantılı olarak yüksek jeotermal gradyandır. Barutlusu kaynağı, Pınarbaşı kaynağı gibi benzer birim dokanaklarından tektonik hatlar boyunca boşalmasına rağmen, üzerinde örtü kayacının bulunmaması nedeni ile sıcaklığı artmamıştır. Pınarbaşı sıcak su kaynağına ait analiz sonuçları Na-K-Mg diyagramı üzerine yerleştirilmiş ve kaynağın ham sular bölgesine yer aldığı gözlenmiştir. Buna bağlı olarak rezervuar kayacının sıcaklığını belirlemede silis jeotermometre bağıntıları üzerinde yoğunlaşmıştır. Silika jeotermometre bağıntılarından elde edilen sonuçlara göre; Pınarbaşı sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığının 30 ile 83.29 °C arasında olabileceği kabul edilmiştir (Çizelge 3; Şekil 6).

Çizelge 3. Pınarbaşı kaynağı için çeşitli jeotermometre bağıntılarına göre hazne kaya sıcaklıkları

Uygulanan Jeotermometreler	Bağıntılar (Tüm derişimler mg/l)	Hazne sıcaklığı (°C)	Değınilen Belgeler
SiO ₂ (Amorf silis)	$t = 731 / (4.52 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	- 32.68	Fournier, 1977a
SiO ₂ (α Kristobalit)	$t = 1000 / (4.78 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	29.88	Fournier, 1977a
SiO ₂ (β Kristobalit)	$t = 781 / (4.51 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	-15.39	Fournier, 1977a
SiO ₂ (Kalsedon)	$t = 1032 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	48.34	Fournier, 1977a
SiO ₂ (Kuars)	$t = 1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	79.68	Fournier, 1977a
SiO ₂ (Kuars buh. kaybı)	$t = 1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	83.29	Fournier, 1977a
Na/K	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	186.45	Arnorsson vd., 1983
Na/K	$t = 1319 / (1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	199.60	Arnorsson vd., 1983
Na/K	$t = 777 / (0.70 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	158.51	Arnorsson vd., 1983
Na/K	$t = 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	165.82	Truesdell, 1976
Na/K	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	198.55	Fournier, 1979a
Na/K	$t = 1178 / (1.470 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	185.21	Nieva ve Nieva, 1987
Na/K	$t = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	214.56	Giggenbach vd., 1983
K/Mg	$t = 4410 / (13.95 - \log \text{K}^2/\text{Mg}) - 273.15$	17.55	Giggenbach vd., 1983
Na/Ca	$t = 1096.7/[3.08 - \log(\text{Na}/\text{Ca}^{0.5})] - 273.15$	134.54	Tonani, 1980
K/Ca	$t = 1930/[3.861 - \log(\text{K}/\text{Ca}^{0.5})] - 273.15$	148.15	Tonani, 1980
Na/Li	$t = 1590/[\log(\text{Na}/\text{Li}) + 0,779] - 273.15$	114.80	Kharaka vd.,1982



Şekil 6. Na- K- Mg diyagramı (Giggenbach, 1988)

Çevresel İzotop Değerlendirmeleri

Doğada, doğal olarak bulunan ve hidrolojik çevrimin değişik aşamalarında hidrolojik sisteme giren çevresel izotoplar, günümüzde modern hidrolojik araştırmaların en önemli bileşenlerinden biri haline gelmiştir. İzotoplar, birçok laboratuvarında analiz edilebilir olmaları ve doğadaki davranış mekanizmalarının ayrıntılı bir biçimde ortaya konmuş olması nedeniyle, birçok hidrolojik

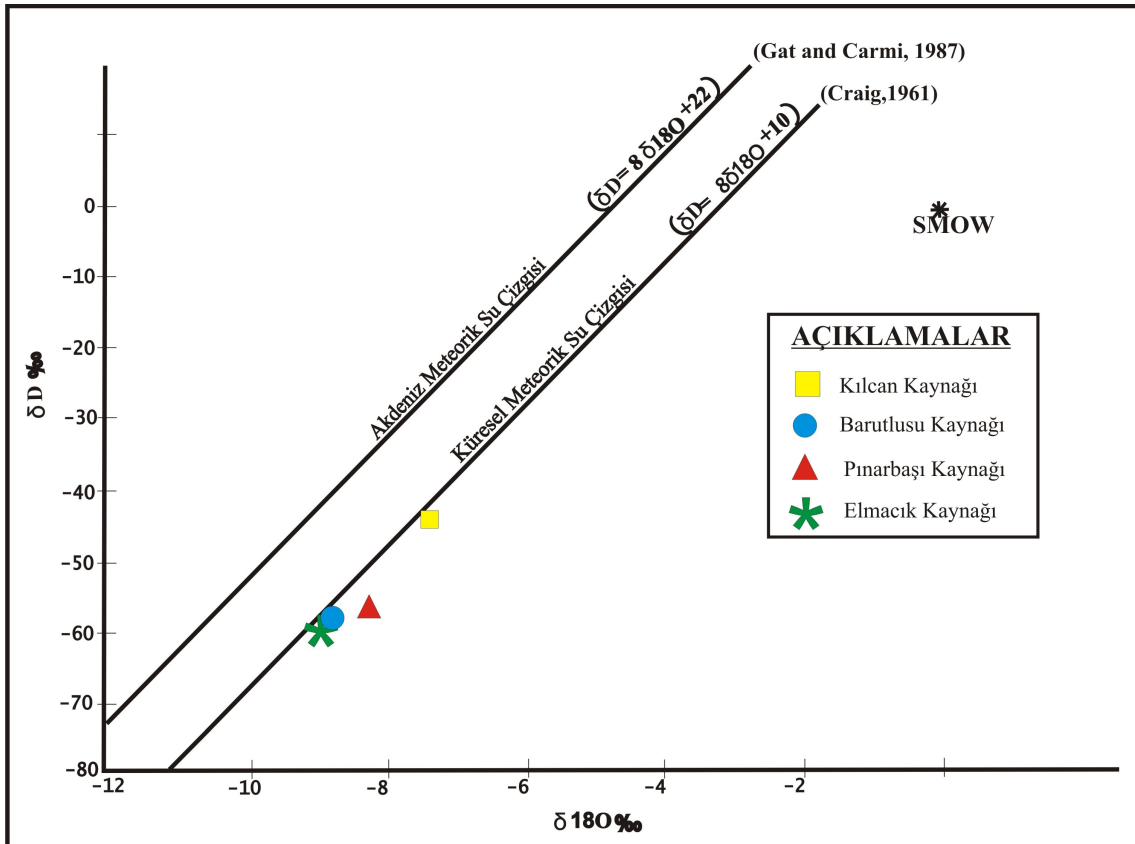
problemin çözümünde önemli rol oynamaktadır. Çevresel izotoplar aracılığı ile yeraltı suyu ve yüzey suyu ilişkileri, suların kökeni, beslenme alanları ve mekanizmalarının belirlenmesi, karışım süreçlerinin ortaya konması, yeraltı suyu yaş dağılımının belirlenmesi ve kısıtlı da olsa akiferlerin akım ve taşınım süreçlerini tanımlayan parametrelerin belirlenmesi konularında çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Çalışmada çevresel izotop araştırmalarına yönelik olarak yeraltı sularında oksijen -18

($\delta^{18}\text{O}$), döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve trityum analizleri ($\delta^3\text{H}$) yaptırılmıştır.

Çalışma alanındaki kaynakların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri (-7.37) - (-8.88), $\delta^2\text{H}$ değerleri (-45.4) - (-64.1) ve $\delta^3\text{H}$ değerleri (0.40) - (6.75) arasında değişmektedir (Çizelge 1). Bölgedeki kaynakların, $\delta^{18}\text{O}$ ile $\delta^2\text{H}$ izotopları arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla grafik (SMOW) üzerine yerleştirilmiştir. Grafikte, Pınarbaşı sıcak su kaynağı dışındaki soğuk su kaynaklarının Küresel Meteorik Su Çizgisi ($\delta\text{D}=8\delta^{18}\text{O} + 10$) ile çakıştıkları Pınarbaşı sıcak su kaynağının ise Küresel Meteorik Su Çizgisinden sağa doğru bir sapma gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 7). Küresel Meteorik Su çizgisi buharlaşma etkisi altında olmayan atmosferik suları temsil etmektedir (Craig 1961; Gat ve Carmi, 1987). Daha yüksek kotlardaki yağışların beslediği derin akifer suları, daha düşük kotlardan yerel yağışlarla beslenen yüzey akifer sularından, daha negatif ağır izotop içeriğine sahip değerler göstermektedir (Sayın, 1987). Meteorik kökenli Pınarbaşı sıcak su kaynağı, yüksek kotlardan beslenmekte ve yeraltında daha uzun bir dolaşım süresine sahiptir. Buna bağlı olarak da ^{18}O içeriğinde yüksek sıcaklıktan kaynaklanan su-kayaç etkileşimine bağlı bir zenginleşme gözlenmektedir. Kılcan kaynak suyunun $\delta^{18}\text{O}$ değerinin (-7.37) daha az negatif değerde olması ise kaynağın, daha düşük kotlardaki yerel yağışlarla beslendiğini göstermektedir. Barutlusu ve Elmacık soğuk kaynak sularına ait izotop değerlerinin ise giderek daha negatif değerler aldığı gözlenmektedir. $\delta^{18}\text{O}$

değerindeki bu artış kaynak sularının daha yüksek kotlardaki yağış suları tarafından beslendiğini göstermektedir.

Radyoaktif izotoplardan biri olan trityum, doğal yarılanma yoluyla sürekli bozunmaya uğramaktadır. Buna bağlı olarak belirli bir bölgede yeraltısını besleyen yağışın trityum içeriğinin bilinmesi durumunda, yeraltısınınun ağırlıklı ortalama yaşının belirlenmesi veya farklı yeraltısularının karışım durumlarına dair fikirler öne sürülebilmektedir (Tezcan, 1992). Trityum miktarı (TU) birimi olarak ifade edilmektedir. Trityum bulunmayan suların 50 yıldan daha yaşlı olduğu, 2 TU'dan daha düşük tridyum içeriğine sahip suların, nükleer bomba denemelerinden daha yaşlı yağışlardan etkilendiği belirtilmektedir (Sayın, 1987). Pınarbaşı sıcak su kaynağı ve Barutlusu kaynağının düşük trityum içeriği (0.40, 1.05) bu kaynakların derin dolaşım ve yaşlı sularından beslendiğini göstermektedir. 10-20 TU civarında tridyum içeriğine sahip yeraltıları son yıllardaki yağışlarla beslenmektedir. Yaklaşık 5 TU civarındaki değerler yeni yağışlar ile nükleer denemeler öncesi yağışların karışımı olarak yorumlanmaktadır. Çalışma alanındaki Kılcan ve Elmacık soğuk suları ise 6.45 ve 6.75 TU değerleri ile yeni yağışlar ve nükleer denemeler öncesi yağışların beslediği karışım suları arasına girmektedir. Yaşlı sular beslenmenin zayıf, genç sular ise beslenmenin güçlü olduğunun göstergesidir (Aksoy ve Filiz, 2001; Çizelge 1).



Şekil 7. Çalışma alanındaki kaynak sularının $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ izotop değerlendirmeleri

Sonuçlar

Bu çalışmada, aynı beslenme havzası içerisinde bulunan fakat farklı hidrojeokimyasal fasiyese sahip iki kaynağın hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Barutlusu ve Pınarbaşı kaynakları bölgede alloktan konumlu olarak bulunan Kızılcadağ ofiyolitleri ve Dutedere kireçtaşları arasında uzanan bindirme yüzeyinden boşalmaktadır. 17.6 °C boşalım sıcaklığına sahip Barutlusu kaynağı piper diyagramına göre Na-CO₃-Cl' lı su sınıfındadır. Sudaki en yoğun katyon sodyum (Na, 35.251 mg/ l), anyon ise klordur (CO₃, 51 mg/ l). Yeraltısu sodyumca zengin ofiyolitler ve karbonatca zengin kireçtaşları içerisinde geçişi sırasında kaya-su etkileşimiyle sodyum ve karbonat iyonlarını yoğun olarak bünyesine katmaktadır. Pınarbaşı kaynağı, piper diyagramına göre Ca-Mg-HCO₃' lı su fasiyesinde ve boşalım sıcaklığı 27 °C'dir. Bu nedenle su termal (sıcak) su sınıfına girmektedir.

Çalışma alanında Pınarbaşı kaynağının hazne (rezervuar) kayacını Dutedere kireçtaşları, örtü kayacını ise yarı geçirimli Çameli formasyonuna ait birimler oluşturmaktadır. Barutlusu kaynağı, Pınarbaşı kaynağı gibi benzer birim dokanaklarından tektonik hatlar boyunca boşalmasına rağmen, üzerinde örtü kayacının bulunmaması nedeni ile sıcaklığı düşmüştür. Pınarbaşı sıcak su kaynağının hazne kaya sıcaklığı, silika jeotermometreleri kullanılarak maksimum 83.29 °C'de olabileceği belirlenmiştir.

Yeraltısu kökenini belirlemek amacıyla yapılan çevresel izotop analizlerine göre çalışma alanındaki soğuk su kaynaklarının oksijen-18 ve döteryum değerlerinin tamamen buharlaşma etkisi altında olmayan atmosferik suları temsil eden Küresel Meteorik Su Çizgisi ($\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$) ile çakıştığı gözlenmiştir. Pınarbaşı sıcak su kaynağı meteorik kökenli olup yüksek kotlardan beslenen, yeraltında uzun dolaşım süresine sahip kaynak suyudur. Yapılan trityum analizlerine göre ise Pınarbaşı sıcak su kaynağı ve Barutlusu kaynağı beslenmenin zayıf olduğu derin dolaşimli ve yaşlı sulardan beslenen, Kılcan ve Elmacık soğuk suları ise yeni yağışlar ve nükleer denemeler öncesi yağışların beslediği karışım sularını temsil eden kaynaklar olarak belirlenmiştir.

Kaynaklar

Aksoy, N., Filiz, Ş. 2001. Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahasının Çevresel İzotoplarla İncelenmesi. 1. Çevre ve Jeoloji Sempozyumu, Yeraltısu ve Çevre Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 289-295 s.

Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H. 1983. the Chemistry of Geothermal Waters in Iceland. III. Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 47, 567-577.

Bilgin, Z.R., Karaman, T., Öztürk, Z., Şen, A.M. Demirci, A.R. 1990. Yeşilova- Acıgöl Civarının Jeolojisi: MTA Rap. 9429, Ankara (yayımlanmamış).

Bozcu, M., Yağmurlu, F., Şentürk, M. 2007. Fethiye-Burdur Fay Zonunun Bazı Neotektonik ve Paleosismolojik Özellikleri, GB-Türkiye. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 31 (1).

Craig, H. 1961. *Isotopic Variations in Meteoric Waters*, Science, vol. 133, 1833-1834.

Gat J. R., Carmi I. 1987. Effect of Climate Changes on The Precipitation Patterns and Isotopic Composition of Water in a Climate Transition Zone: Case of the Eastern Mediterranean Sea Area, the Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987). IAHS Publ. no. 168, 513- 523.

Davraz, A. 2003. Kaya- Su Etkileşimi Üzerine Bir Çalışma: Keçiborlu- Değirmendere Kaynağı (Isparta), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Özel Sayı, 7(2), 327-335.

Fournier, R.O. 1977a. A Review of Chemical and Isotopic Geothermometers for Geothermal Systems. In: *Proceedings of the Symp. on Geoth. Energy, Cento Scientific Programme, Ankara*, 133-143.

Fournier, R.O. 1979a. A Revised Equation for the Na-K Geothermometer. *Geothermal Res. Council Trans.*, 3, 221-224.

Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L., Truesdell, A.H. 1983. Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana. *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.

Grant, M.A., Donaldson, I.G., Bixley, P.F. 1982. *Geothermal Reservoir Engineering*. Academic Press., New York, 369 p.

Kharaka, Y. K., Lico, M.S., Law, L.M. 1982. Chemical Geothermometers Applied to Formation Waters, Gulf of Mexico and California Basins. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 66, 538-558.

Kharaka, Y.K., Gunter, W. D., Aggarwall, P. K., Perkins, E. H., De Braal, J. D. 1988. Solmineq.88: A Computer Program Code for Geochemical Modelling of Water Rock Interactions. In *U.S.Geological Survey Water Investigations Report 88-05*.

- Mutlu, H. 2009. Jeotermal Akışkanlarda Su- Kayaç Etkileşimi. Makine Mühendisleri Odası, IX. Ulusal Tesilat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Jeotermal Enerji Semineri Kitabı, Ankara, s: 45-58.
- Nieva, D., Nieva, R. 1987. Development in Geothermal Energy in Mexico, Part 12-A Cationic Composition Geothermometer for Prospection of Geothermal Resources. Heat Recovery Systems and CHP, 7, 243-258.
- Öngen, S. 2009. Magmatizma, Magmatik Kayalar Bölümü, Jeolojiye Giriş I. Ders Notları, s:13- 14.
- Piper, A.M. 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses, Trans. Am. Geophys. Union 25: 914- 923
- Poisson, A. 1977. Recherces Geologiques Dans Les Taurides Occidentales (Turquie). These Univ. Paris- Sud, Orsay, 795s.
- Sarp, H. 1976. Etude Geologi Que et Petrographique du Cortege Ophiolitique de la Region Situee au Nord-ouest de Yeşilova (Burdur- Turquie). These Department de Mineralogie, Universite'de Geneve no:1731, Geneve, 408 pages.
- Sayın, M. 1987. İzotop Teknikleri Kullanılarak Yeraltısuyu Orjininin Belirlenmesi. Hidrolojide İzotoplar ve Nükleer Teknikler Semineri. 9-14 Kasım, Bildiriler Kitabı, DŞİ Matbaası, Ankara, s.177-196.
- Schoeller, H. 1962. Les Eaux Souterraines. Masson et Cie. Paris
- Şahinci, A. 1991. Doğal Suların Jeokimyası, 3. Bölüm, Dokuz Eylül Üniv. Müh. Mim. Fak. Jeoloji Müh. Böl., Reform Matbaası, İzmir, s:46- 57.
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, A.M., Karaman, T., Dinçer, M.A., Durukan, E., Arbas, A., Örcen, S., Bilgi, C. 1989. Çameli (Denizli)- Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) ve Kuzeyinin Jeolojisi. MTA Rap: 9429 (yayımlanmamış), Ankara.
- Şenel, M., Akdeniz, N., Öztürk, E.M., Özdemir, T., Kadıncız, G., Metin, I., Öcal, H., Serdaroğlu, M., Örcen, S. 1994. Fethiye (Muğla)-Kalkan (Antalya) ve Kuzeyinin Jeolojisi. MTA Rap: 9761, Ankara (yayımlanmamış).
- Şentürk, M. 2003. Acıgöl ve Burdur Gölleri Arasındaki Bölgenin Sismotektonik Özellikleri. Süleyman Demirel Üniv. Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 96 s.
- Tarcan, G., Filiz, Ş., Gemici, Ü. 2000. Geology and Geochemistry of the Salihli Geothermal Fields, Turkey. WGC-2000 World Geothermal Congress 28 May-10 June, Congress Kyushu-Tohoku, Japan, CD-Books of Proceedings, R-922, v.6, 1829-1834.
- Tarcan, G. 2002. Jeotermal Su Kimyası. Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, Jenarum Yaz Okulu Ders Notları Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 11- 21 Haziran, İzmir, sayfa 191- 246.
- Tezcan, L. 1992. Karst Akifer Sistemlerinin Tritiyum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121 s.
- Thuizat, R., Whitechurch, H., Montigni, R., Juteau, T. 1981. K- Ar Dating of Some Infraophiolitic Metamorphic Soles From the Eastren Mediterranean. New Wvidence for Oceanic Thrusting Before Obduction. Earth and Planetari Sci. Let. 52, 302-310.
- Tonani, F. 1980. Some Remarks on the Application of Geochemical Techniques in Geothermal Exploration. Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp., Strasbourg, 428-443.
- Truesdell, A. H. 1976. Summary of Section III Geochemical Techniques in Exploration. In: Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources. San Francisco, 1975, vol.1, Washington D.C., U. S.Government Printing Office, pp. 815-825.
- Yağmurlu, F., Bozcu, M., Şentürk, M. 2005. Burdur-Fethiye Arasındaki Bölgede Burdur Fayının Sismotektonik Özellikleri: Tübitak ÇAYDAG, Proje No:101Y027, (Yayımlanmamış Rapor),79 s.