KUŞADASI (AYDIN) VE YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOLOJİSİ, HİDROJEOKİMYASI VE İZOTOP JEOKİMYASI

Serdar Kapucu[a], Nevzat Özgür[b], Tuğba Arife Çalışkan[c]

[a]*JRG Zemin Yerbimleri Mühendislik Hizmetleri, Kuşadası, Aydın*

[b]*Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta*

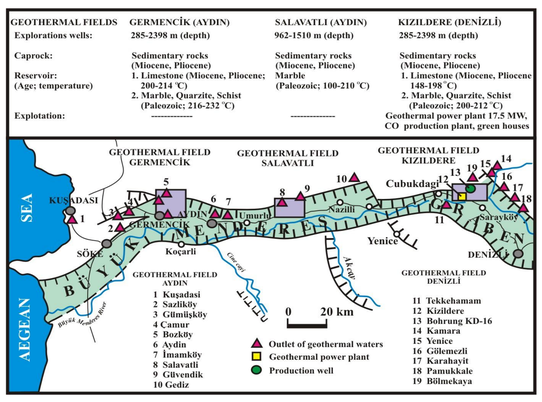
[c] *TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Gebze-Kocaeli*

ÖZ

Bu çalışma kapsamında Kuşadası (Aydın) ve yakın çevresinin hidrojeolojisi, hidrojeokimyası ve izotop jeokimyası incelenmiştir. Menderes Masifine ait olan mikaşistler yörede temeli oluştururlar ve hidrojeolojik açıdan geçirimsizdirler. Çalışılan alanda Mesozoyik yaşlı mermerler termal sular için rezervuar ve yeraltısuları için akifer kayacı özelliği taşırlar. Bu kayaçlar jeolojik olarak killi, karbonatlı ve çakıltaşlı seviyeler içeren Kuşadası birimi tarafından örtülürle ve yörede örtü kayaçları olarak önemli rol oynarlar. Yörede bulunan aktif faylar ve Pliyosen yaşlı bazik volkanik kayaçların varlığı burada yüksek ısı akısı ve jeotermal gradyanın varlığına işaret etmektedir. Jeolojik olarak en genç birim olan alüvyon Kuşadası ve yakın çevresi yeraltısuyu için akifer olabilecek özeliktedir. Güncel olarak çalışma alanında yeraltısularının fazla kullanımı nedeniyle yeraltı sularının seviyesinin düşmesi ve bu nedenle yeraltı sularına deniz suyu girişimi tehlikesi belirmiş bulunmaktadır. Bu duruma karşı acil önlemler alınması gerekmektedir.

1. GİRİŞ

Ülkemizde jeotermal kaynaklar incelendiğinde bunların en çok Menderes Masifine bağlı kıtasal rift zonlarında ve bunlardan da en yoğun olarak Büyük Menderes kıtasal rift zonunda ortaya çıktığı görülmektedir (Şekil 1; Özgür, 1998). Bu yüzden Büyük Menderes kıtasal rift zonunda 2018 yılı itibarıyla 750 Mwe olan jeotermal potansiyele sahip olabilecek bir jeotermal enerji gücünün varlığı ortaya çıkmış bulunmaktadır (Özgür ve Karamanderesi, 2015). Bu çalışma kapsamında Kuşadası (Aydın) ve yakın çevresinin (i) jeolojik haritası en son şekil olarak 1.25.000 ölçeğinde revize edilmiş, (ii) jeotermal suların hidrojeolojik konumu ve özellikleri belirlenmiş, (iii) aynı şekilde yeraltısuları ve jeotermal suların hidrojeokimyası ortaya çıkarılmış ve (iv) yeraltı suları ve jeotermal suların kökeni izotop jeokimyasal yöntemlerle açıklanmıştır. Bu araştırma sonunda ayrıca Kuşadası (Aydın) ve yakın çevresi yeraltısularına deniz suyu girişimi olup olmadığı araştırılmış ve jeotermal sulardan yararlanma olanakları araştırılmıştır.



Şekil 1. Büyük Menderes kıtasal rift zonu ve jeotermal su lokasyonları.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal suları ve yeraltısuları araştırmaları için arazi çalışmalarının ilki 2014 yazı Ağustos ayında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda 3 (üç) adedi yeraltısuyu ve 2 (iki) adedi jeotermal su olmak üzere toplam 5 (beş) ayrı lokasyonda İn-situ ölçümleri (sıcaklık, pH, Eh, çözünmüş oksijen miktarı, elektriksel iletkenlik değerleri, alkalinite değerleri ve lokasyon koordinatları) ve farklı amaçlı (anyon, katyon, duraylı izotop ve trityum analizleri) jeotermal su ve yeraltısuyu örnekleri alımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 2; Kapucu, 2015). Burada katyon analizleri için alınan örneklerin pH değerleri 2 ile 3 arasına getirilerek bunlar korumalı hale getirilmiştir. Alınan bu jeotermal su ve yeraltısuyu örneklerinde anyon ve katyon analizleri akredite olmuş Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı Laboratuvarlarında ve duraylı izotoplar (^{18}O ve ^{2}H) ile ^{3}H analizleri akredite olmuş Isotech Laboratories, Inc. (Illionis, ABD) Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2. Kuşadası (Aydın) Davutlar yöresi SK4 örneğinin alındığı ve in-situ ölçümlerini yapıldığı sıcak su kuyusu.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

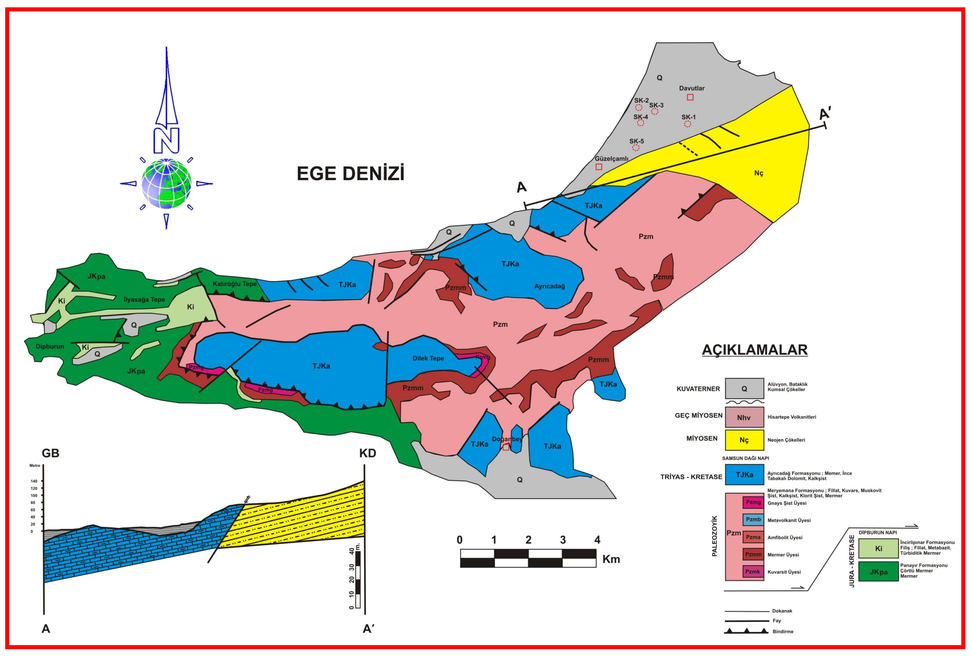
3.1 Jeolojik Konum

Yörede 1978 yılından beri jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal amaçlı çalışmalar yapılmıştır (DSİ, 1978, 1988: Ercan ve diğ., 1991; Pınar ve Akçığ, 1991; Altıkardeşler, 1992; Filiz ve Tarcan, 1993, 1995; Yılmazer ve diğ., 1994: Tarcan ve diğ. 1999, 2000). Bu çalışmalar kapsamında Kuşadası ve yakın çevresinin 2000 yılında 1;100.000 ölçekli jeoloji haritası tamamlanmıştır. Burada bulunan Mesozoyik yaşlı şistler muskovit-biyotitşist, kuvarsşist ve kalkşistlerden oluşmaktadır ve mermerler ile geçişli ve uyumludur (Şekil 3). Orta-kalın katmanlı, bol çatlaklı ve karstik boşluklu ve çok kez şist mercekleri de içeren mermerler Üst Triyas-Üst Kretase yaşlıdırlar (Çağlayan ve diğ., 1980). Miyosen-Pliyosen yaşlı Kuşadası birimi olarak adlandırılan gölsel tortullar metamorfik kayaçları uyumsuz olarak örterler. Neojen yaşlı genç volkanik kayaçlar metamorfik birimleri ve Kuşadası birimini keser. Çakıl, kum ve kilden oluşan alüvyon Kuşadası ve yakın çevresinde en genç birimdir ve geniş yayılım gösterir.

Burada Menderes Masifi metamorfik kayaçları hidrojeolojik olarak geçirimsiz taban kayaçlarını oluşturmaktadır. Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı mermerler karstik rezervuar kayacı özelliğinde olup jeotermal suları bünyelerinde barındırırlar. Bu mermerler üzerine örtü kayacı olarak geçirimsiz Kuşadası birimleri gelmektedir. Yörede sıcak suların ısınmasında Neojen yaşlı Davutlar volkanikleri önemli rol oynamaktadır.

3.2 Hidrojeoloji

Kuşadası ve yakın çevresinde Mesozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar geçirimsiz temel kayaçları oluştururlar. Mesozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar içinde ardalanmalı olarak bulunan mermerler karstik özelliklere sahip olup aynı zamanda jeotermal sular için rezervuar olmaktadır. Bunların üzerini örten Kuşadası birimi içerdiği killi seviyeler nedeniyle jeotermal sular için örtü kayaç özelliği ve içerdiği çakıltaşı ve kireçtaşları nedeniyle de yeraltısuları için akifer özelliği taşımaktadır. Ayrıca en genç birim olan alüvyon geniş yayılımı ve geçirgenliği nedeniyle akifer olabilecek niteliktedir. Çalışma alanının doğrudan deniz kenarında bulunması nedeniyle ilgili akiferlerin deniz suyu girişimi nedeniyle tuzlanması en önemli hidrojeolojik sorunlardan birisini oluşturmaktadır. Ayrıca mermerlerin kırıklı, çatlaklı ve karstik özelliklerinden dolayı bu yeraltısuyu akiferlerine ve jeotermal rezervuara deniz suyu girişimi daha fazla ve kolay olmaktadır. Bunun yanında çalışma alanında da yeraltısuyu taban seviyesini de deniz seviyesi belirlemektedir. Bu yüzden denize yakın lokasyonlarda mermer akiferlerde açılacak kuyularda deniz seviyesi altına inilmesi sakıncalı olmaktadır. Pliyosen yaşlı Kuşadası birimi ise değişik hidrojeolojik özelliklere sahip kayaçların ardalanmasından oluşması nedeniyle daha farklı bir görünüm sunmaktadır. İçerdikleri killi düzeyler geçirimsiz engel kaya olduğundan, denizin kıyısında bile açılacak sondajlarda tatlı su akiferinden yararlanma şansı vardır (Tarcan ve diğ., 2000).



Şekil 3. Kuşadası ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Çakmakoğlu,2007).

3.3 Hidrojeokimya

Kuşadası ve yakın çevresinde 2 (iki) adet Jeotermal su ve 3 (üç) adet yeraltısuyu örneği alınmış ve bunlarda anyon, katyon ve trityum değerleri ile birlikte duraylı izotoplar (δ18O ve δ2H) analiz edilmiştir (Çizelge 1). Araştırılan alandan alınan jeotermal su ve yeraltısuyu örnekleri Piper diyagramına düşürüldüklerinde Na-Cl-HCO3 veya Na-Ca-Cl-HCO3 tipi sular olarak adlandırılabilir (Şekil 4). Burada özellikle jeotermal sularda Na ve Cl yanında önemli miktarda Ca artışı da izlenmektedir. Bu durum doğrudan jeotermal rezervuarın aynı zamanda deniz suyu girişiminden beslendiğine işaret etmektedir. Burada jeotermal sular aşırı şekilde kullanıldığında deniz suyu girişiminin de aynı şekilde yoğun olacağına dair önemli bir işaret sayılmalıdır. Bunun yanında aynı şekilde jeotermal sulardaki değerlere paralel olarak yeraltısularında da deniz suyu girişimine bağlı olarak Na ve Cl yanında Ca artışı bariz bir şekilde izlenmektedir. Bu tuzlanmış olan yeraltısuları ileride özellikle kurak mevsimlerde aşırı derecede kullanıldığında geriye dönülmesi mümkün olmayan aşırı derecede yeraltısuyu tuzlanmasını meydana getirecektir.

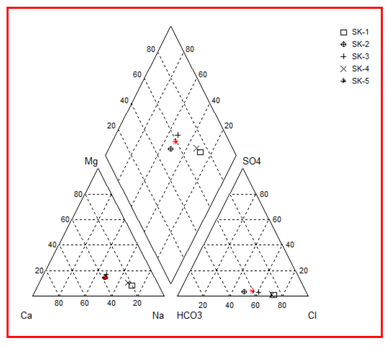
3.4 İzotop Jeokimyası

Kuşadası ve yakın çevresinden alınan 2 (iki) adet jeotermal su ve 2 (iki) adet yeraltısuyu örneğinde δ18O, δ2H ve 3H analizleri gerçekleştirildi. Duraylı izotoplar olan $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ diyagramı Şekil 5'de görülmektedir. Burada genel olarak yağmur suları ve karışım gösteren yeraltısuları ve thermal suları sistemi meteorik su çizgisi boyunca yeralmaktadır. Buna karşın yüksek sıcaklıkta bulunan derin kökenli termal sular bu meteorik su çizgisinden önemli ölçüde sapma göstermekte ve bu durumda yüksek sıcaklık koşulları altında kayaç-su etkileşim koşullarına işaret etmektedir. ^{18}O izotopundaki önemli farklılık ve sağa olan kayma sıcak suların soğuk yeraltısuları ile karışımına işaret etmektedir ve bu belirleme ^{2}H, $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$, ^{3}H, ve ^{14}C değerleri ile belgelenmiştir (Özgür, 1998). Burada ölçülen trityum değerleri (1) yüksek sıcaklık jeotermal sistemleri olan Kızıldere, Salavatlı ve Germencik sistemlerinde deteksiyon limitlerinin altında bulunmakta ve (2) diğer mineralize olmuş yeraltısuyu ve yeraltısuyu-termal su sistemlerinde atmosferik ve antropojenik değerler olarak bulunmaktadır.

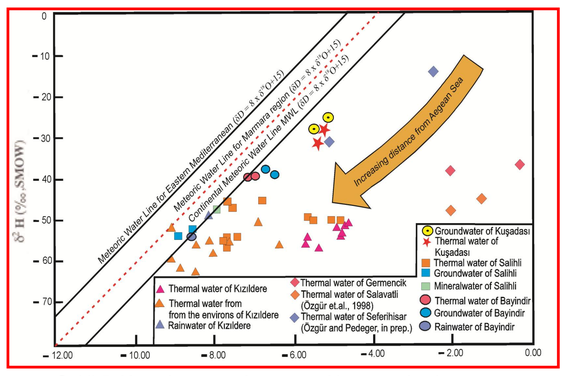
Çizelge 1. Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal suları ve yeraltısularının in-situ ölçümleri ve hidrojeokimyasal analizleri.

Number	Sample	x	y	Temperature (°C)	pH	Eh (mV)	EC (µS/cm)	O2 (mg/l)	Na+(mg/l)	K+(mg/l)	Ca2+ (mg/l)	Mg2+ (mg/l)	SiO2 (mg/l)	B3+ (mg/l)
1	SK-1	355525088	4175517	43.1	6.63	-219.9	9720	3.1	1690	91.1	422	105	37.7	2.3
2	SK-2	355524039	4175517	18.8	7.59	179	1213	6.6	128	2.66	87.3	21.5	10.8	0.3
3	SK-3	355524154	4176070	15.8	7.54	20.6	1520	6.8	154	7.01	99.6	28.9	11.5	0.3
4	SK-4	355524000	4175858	54.1	6.28	-263.6	7060	4.4	1121	63.1	324	95.3	34.5	1.6
5	SK-5	355521335	4173581	23.3	6.96	165.1	2010	5.5	219	9.34	145	34.7	9.65	0.3

Number	Sample	x	y	Li+ (mg/l)	Al3+ (mg/l)	Cl- (mg/l)	SO42- (mg/l)	NO3- (mg/l)	F- (mg/l)	PO43- (mg/l)	HCO3-(mg/l)	δ18O (‰)	δ2H(‰)	3H
1	SK-1	355525088	4175517	0.1	0.2	2687	48.4	0.2	0.8	0.1	1647	-5.16	-29.2	10
2	SK-2	355524039	4175517	0.1	0.2	214	20.1	14.3	0.1	0.1	353.8	-5.38	-28.5	10
3	SK-3	355524154	4176070	0.1	0.2	315	20.5	5.73	0.1	0.1	323.8			
4	SK-4	355524000	4175858	0.9	0.2	1869	52.5	0.7	0.7	0.1	1220	-5.43	-30.7	10
5	SK-5	355521335	4173581	0.1	0.2	397	39	2.18	0.1	0.1	500.2	-5.14	-28.3	10.2



Şekil.4. Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal suları ve yeraltısularının Piper diyagramında sınıflandırılması.



Şekil.5. Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal suları ve yeraltısularının $\delta^{18}O$ ve $\delta^{2}H$ diyagramında gösterilmesi.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Kuşadası ve yakın çevresinde Mesozoyik yaşlı metamorfik kayaçlar temel kayaçları oluşturmaktadır. Bunları uyumlu olarak örten Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı mermerler jeotermal sular için rezervuar ve yeraltısuları için akifer kayaçlarını oluşturmaktadır. Miyosen-Pliyosen yaşlı Kuşadası birimi tüm kayaçları uyumsuz olarak örter ve hem jeotermal sular ve hem de yeraltısuları için örtü kayaçlarını meydana getirirler. Tüm bunları örten ve Kuvaterner yaşlı olan alüvyonlar geniş yayılım gösterirler ve yeraltısuları için akifer oluştururlar.

Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal suları ve yeraltısuları hidrojeokimyasal olarak Na-Cl-HCO3 veya Na-Ca-Cl-HCO3 tipi sular olarak adlandırılabilir. Çalışma alanında jeotermal sular 1690 mg/l Na ve 2687 mg/l Cl değerlerine ve yeraltısuları 219 mg/l Na ve 397 mg/l Cl değerlerine varan içeriklerle oldukça fazla tuzlanmış bulunmaktadırlar. Bu jeotermal sular ve yeraltısuları δ18O ve δ2H diyagramında yoğun su-kayaç etkileşimi dolayısıyla sağa doğru kayma göstermektedir.

Jeolojik olarak en genç birim olan alüvyon Kuşadası ve yakın çevresi yeraltısuyu için akifer olabilecek özeliktedir. Güncel olarak çalışma alanında yeraltısularının fazla kullanımı nedeniyle yeraltı sularının seviyesinin düşmesi ve bu nedenle yeraltı sularına deniz suyu girişimi tehlikesi belirmiş bulunmaktadır. Bu duruma karşı acil önlemler alınması gerekmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 3912-YL2-14 numaralı "Kuşadası (Aydın) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojisi, hidrojeokimyası ve izotop jeokimyası" adlı araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

6. FAYDALANILAN KAYNAKLAR

Altıkardeşler, Ş., 1992, Davutlar (Kuşadası-Aydın) ve çevresinin hidrojeolojisi: DEÜ Mühendislik Fakültesi Bitirme Projesi, 98 S.

Çakmakoğlu, A., 2007, Dilek yarımadası, Söke ve Selçuk çevresinin Neojen öncesi tektonostratigrafisi , MTA Dergisi 135, s.1-17. 978, Kuşadası-Davutlar ve çevresi ile ilgili hidrojeolojik etüd raporu: DSI Aydın Bölge Müdürlüğü (yayınlanmamış).

DSİ, 1988, Davutlar ve çevresi ile ilgili açılmış bulunan sondaj kuyusu verileri ve kimyasal analiz dökümanları: DSI Aydın Bölge Müdürlüğü (yayınlanmamış).

Filiz, Ş. ve Tarcan, G., 1993, Kuşadası dolaylarında aşırı yeraltı suyu çekiminin hidrojeolojik değerlendirilmesi: Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi 7, S. 175-196. Filiz, Ş. ve Tarcan, G., 1995, Kuşadası çevresinin hidrojeolojisi: Kıyı sorunları ve Çevre Sempozyumu, 10-11 Kasım 1994, Kuşadası-Türkiye, Belediye Yayınları 7, S. 60-70.

Kapucu, S., 2015, Kuşadası (Aydın) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojisi, hidrojeokimyası ve izotop jeokimyası. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (hazırlanmakta).

Özgür, N., 1998, Aktive und fossile Geothermalsysteme in den kontinentalen Riftzonen des Menderes-Massives, W-Anatolien/Türkei: Freie Universitaet Berlin, Habilitationsschrift, 171 p.

Özgür, N. ve Karamanderesi, İ. H., 2015, An Update of the Geothermal Potential in the Continental Rift Zone of the Büyük Menderes, Western Anatolia, Turkey, PROCEEDINGS, Thirty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, January 26-28, 2015, SGP-TR-204.

Pınar, R. ve Akçığ, Z., 1991, Mağriboğlu yöresindeki yer altı nehrinin ilişki katsayısı yöntemi ile belirlenmesi: Kuşadası Belediyesi Yer altı Kaynakları ve Çevre Sempozyumu Bildiri Metinleri Kitabı, Belediye Yayını 3, S. 89-113 (Kuşadası).

Tarcan, G., Filiz, Ş. ve Gemici, Ü., 1999, Davutlar-Kuşadası (Aydın) çevresinin hidrojeolojik incelenmesi: Kıyı sorunları ve Çevre Sempozyumu, 14-16 Kasım 1997, Kuşadası-Türkiye, Belediye Yayınları 8 (Baskıda).

Tarcan, G., Filiz, Ş. Ve Gemici, Ü., 2000, Davutlar (Kuşadası-Aydın) çevresinin hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası: DEÜ Fen Mühendislik Fakültesi Dergisi 2, S. 91-110.

Yılmazer, S., Şaroğlu, F., Özgür, R., Açıkgöz, S., Ercan, T., Gevrek, A.İ., Yıldırım, N. ve aydoğdu, Ö., 1994, Davutlar-Kuşadası arasının jeolojisi ve jeotermal enerji olanaklarının değerlendirilmesi: Türkiye 6. Enerji Kongresi, 17-22 Ekim 1994, İzmir, Teknik Oturum Tebliğleri 1, S. 156-167.