

**T. C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİKİLİ (İZMİR) VE YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL SULARININ
HİDROJEOLJİK MODELLEMESİ**

Esra KOYUNCU

**Danışman
Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019**

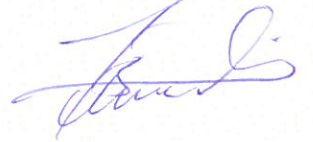


© 2019 [Esra KOYUNCU]

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm kaynak bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Esra KOYUNCU

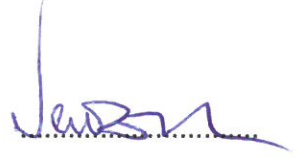


TEZ ONAYI

Esra KOYUNCU tarafından hazırlanan "**Dikili (İzmir) ve Yakın Çevresi Jeotermal Sularının Hidrojeolojik Modellemesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi **Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

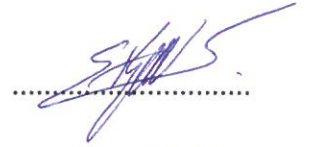
Danışman

Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR
Süleyman Demirel Üniversitesi



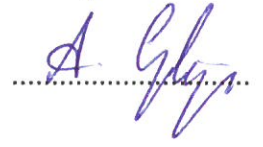
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Enis Kemal SAGULAR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ
Pamukkale Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doc. Dr. Şule Sultan UĞUR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Jeotermal Sistemler	2
1.2. Çalışma Alanının Jeotektonik Konumu	5
1.3. Çalışmanın Amacı	6
2. KAYNAK BİLGİSİ	9
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ	13
4. MATERYAL VE METOD.....	17
4.1. Metod	17
4.1.1. Jeolojik Çalışma.....	17
4.1.2. Örnekleme ve İn-situ Analizleri	17
4.1.3. Hidrojeokimyasal analizler	19
4.1.4. Termometreler	20
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	22
5.1. Hidrojeoloji	22
5.2. Hidrojeokimya	23
5.2.1. Hidrojeokimyasal analizler	23
5.2.2. Doygunluk indeksi.....	28
5.3. Jeokimyasal termometre.....	29
5.3.1. Jeokimyasal jeotermometreler.....	30
5.3.1.1. Silis jeotermometresi	31
5.3.1.2. Katyon jeotermometresi.....	32
5.3.2. Birleşik jeotermometreler	33
5.3.3. Çalışma alanında termometrelerin jeokimyasal değerlendirmesi	34
5.4. İzotop Jeokimyasal Özellikleri	35
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	39
6.1. Dikili Jeotermal Bölgesinin Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri	39
6.2. Dikili Jeotermal Bölgesinin Hidrojeolojik Modellemesi.....	41
KAYNAKLAR	44
ÖZGEÇMİŞ	49

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİKİLİ (İZMİR) VE YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOLJİK MODELLEMESİ

Esra KOYUNCU

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

Bu çalışma içerisinde Dikili (İzmir) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik modellemesi yapılmıştır. Bu bağlamda Dikili (İzmir) ve yakın çevresi jeotermal alanlarının jeoloji haritasının güncellenmesi, jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal yöntemlerle oluşumunu ve gelişimini incelemek, mineralojik, petrografik ve jeokimyasal çalışma yöntemleriyle jeotermal akışkan-kayaç etkileşimini tanımlayabilmek ve jeotermal akışkan-kayaç etkileşimi doğrultusunda jeotermal sistemin oluşumunu modellemek bu çalışmanın çeşitli aşamalarını oluşturmuştur.

İlk olarak Dikili ve yakın çevresi jeotermal suları alanlarının kapladığı toplam alan için şimdiye değin yapılan jeolojik haritalar derlenmiş ve bunlar güncellenerek, jeotermal su noktaları ve aktif tektonik faylar jeolojik formasyonlarla birlikte harita üzerine taşınma çalışması yapılmıştır. İnceleme alanı içerisinde temelde Miyosen yaşlı Yuntdağ Volkaniti-I bulunmaktadır. Bu kayalar yaygın alterasyonla birlikte tektonik zonlarda ikincil gözenekliliğin ve geçirgenliğin artmasından dolayı rezervuar kaya özelliğindedir. Yuntdağ Volkaniti-I formasyonu Demirtaş Piroklastiklerini üstler. Bu birim düşük porozite özelliğine sahip olduğundan geçirimsizdir ve jeotermal alanda örtü kaya özelliği göstermektedir. Bunların üzerine gelen Yuntdağ Volkaniti-III'e ait Dikili biotit-hornblend andezit birimi ısıtıcı kaya özelliği taşıyan bir formasyondur. İnceleme alanı içerisinde bulunan akifer olma özelliği taşıyan en önemli birim ise alüvyondur.

İnceleme alanında bulunan sular meteorik kökenli sulardır. Yerin derinliklerine inen bu sular yoğun kayaç-su etkileşimi gösterirler. İnceleme sahasındaki sıcak sular yapılan hidrojeokimyasal analizlere göre genel olarak Na-SO₄-HCO₃ tipi sulardır. Yapılan anyon analizlerine göre çalışma alanındaki sıcak sular SO₄ ve HCO₃ yönünden zengin iken Cl yönünden oldukça fakirdir. Bölgede önemli derece de buharlaşma olduğu da belirlenmiştir. Dikili ve çevresindeki mevcut suların olgun olmayan sular ile kısmi dengelenmiş ve ya olgun sular arasında yer aldığı belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki sıcak suların yüzeye çıkış sıcaklıkları 36-68 °C arasında değişkenlik göstermektedir. Dikili jeotermal sahası rezervuar kaya sıcaklıkları için yapılan çeşitli

jeotermometre yöntemlerine göre rezervuar kaya sıcaklıkları 68-235 °C arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dikili, termal sular, jeotermal, hidrojeoloji, hidrojeokimya.

2019, 49 sayfa



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HYDROGEOLOGICAL MODELING OF THE GEOTHERMAL WATERS IN DİKİLİ (İZMİR) AND ENVIRONS

Esra KOYUNCU

**Suleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

In this work, Hydrogeological modeling of the geothermal waters in Dikili (İzmir) and environs has been carried out. Within this framework, updating the geological maps of the geothermal fields in Dikili (İzmir) and environs; analyzing the formation and the progress of the geothermal waters with the hydrogeological, hydrogeochemical and the isotopic geochemical methods, determining the interaction between geothermal fluid rock with the mineralogical, petrographical and geochemical working methods are the different stages of this study.

First, geological mappings for the total area where Dikili and environs geothermal waters cover have been compiled and updated. Then, the study of charting of geothermal water points and active tectonic faults with the geological formation have been fulfilled. In the area of investigation, there is basically Miocene-perioded the Yunt Mountain Volcanite. These rocks have the feature of reservoir rock due to the raise in secondary porosity and permeability with the prevalent alteration. The formation of the Yunt Mountain Volcanite recurs the Demirtaş Pyroclastics. This unit has lower porosity feature so it is impermeable and it shows the feature of seal rock in the geothermal fields. The most important unit that carries the feature of being aquifer in the investigation field is the alluvion.

Waters in the investigation area have the meteoric origin. These waters plumb the depths of the earth show intense rock-water interaction. According to the hydrogeochemical analyzes, the hot waters in the investigation area are generally of Na-SO₄-HCO₃ type. According to the anion analysis, the hot waters in the investigation area are rich in SO₄ and HCO₃ while lack of Cl. It is determined that the vaporization in the area is significant.

It is also determined that waters in Dikili and environs are located between immature waters and partially equilibrated or mature waters. Emerging temperatures of the hot waters in the field vary from 36 to 68 °C. According to geothermometer methods made for reservoir rock temperatures in Dikili geothermal field, reservoir temperatures vary from 68 to 235 °C.

Keywords: Turkey, western Anatolia, geothermal waters, hydrogeological modeling.

2019, 49 pages



TEŞEKKÜR

Sunulan bu yüksek lisans tez çalışması Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 4956-YL1-17 numaralı araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırma için beni yönlendiren, zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda ve literatür araştırmalarımnda yardımcı olan, yol gösteren değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Nevzat Özgür'e teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni her zaman destekleyen aileme, bana gösterdiği manevi destekten dolayı arkadaşım Esra Argun UZUNMEHMETOĞLU'na ve tez yazım aşamasındaki yardımlarından dolayı arkadaşım Mehmet Arıcı'ya sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Esra KOYUNCU

ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dünyanın değişik bölgelerinde bulunan jeotermal suların beklenen kompozisyonları: Jüvenil su ile yerel meteorik su arasındaki farklı karışım oranları.....	3
Şekil 1.2. İzmir-Dikili ve çevresinin ana tektonik hatlarını ve aktif gelişen havzalarını gösteren basitleştirilmiş jeoloji haritası	6
Şekil 1.3. Çalışma alanının yer bulduru haritası	7
Şekil 1.4. Dikili ve yakın çevresinde bulunan jeotermal suların lokasyonları ve örnek alma noktaları.....	8
Şekil 3.1. İnceleme alanının jeolojik haritası	15
Şekil 3.2. Dikili –Kaynarca jeotermal sahasının genelleştirilmiş stratigrafisi	16
Şekil 4.1. Su örneği alımında kullanılan polipropilen şişeler	18
Şekil 4.2. Saha çalışması esnasında yapılan in-situ ölçümü	19
Şekil 4.3. Çalışma sahası içerisinde bulunan Zeytin dalı jeotermal su çıkış noktasında sıcaklık ölçümü.....	21
Şekil 5.1. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi	26
Şekil 5.2. Dikili ve yakın çevresi jeotermal sularının Cl-SO ₄ -HCO ₃ üçgen diyagramı	27
Şekil 5.3. Dikili ve yakın çevresi jeotermal sularının Na+K-Ca-Mg diyagramında gösterilmesi	28
Şekil 5.4. Dikili ve yakın çevresi jeotermal sularının Giggenbach (1988) diyagramında gösterilmesi	34
Şekil 5.5. Dikili ve yakın çevresi jeotermal sularının $\delta^{18}O$ ve δ^2H diyagramında gösterilmesi	38
Şekil 6.1. Dikili ve yakın çevresinin jeotermal sisteminin basitleştirilmiş hidrojeolojik oluşum modeli.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. İn-situ cihazlarının özellikleri	19
Çizelge 4.2. Hidrojeokimyasal cihazlar ve özellikleri	20
Çizelge 5.1. Çalışma sahasındaki örneklerin su tipleri	24
Çizelge 5.2. Dikili ve yakın çevresi jeotermal suları koordinatları ve fiziksel verileri.	25
Çizelge 5.3. Dikili ve yakın çevresi jeotermal suları katyon değerleri.	25
Çizelge 5.4. Dikili ve yakın çevresi jeotermal suları anyon değerleri.	25
Çizelge 5.5. Dikili ve yakın çevresinin doygunluk indeksleri	29
Çizelge 5.6. Silis (SiO ₂) jeotermometreleri ve bağıntıları	32
Çizelge 5.7. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları	33
Çizelge 5.8. Dikili ve yakın çevresinin jeotermal sularının jeokimyasal termometre sonuçları	35
Çizelge 5.9. İzotop analizlerinin sonuçları	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Piston kesit alanı
°C	Sıcaklık
Ca ²⁺	Kalsiyum
Cl ⁻	Klorür
DASZ	Doğu Anadolu Sıkışma Zonu
Eh	Redoks Potansiyeli (mV)
EC	Suların Elektriksel iletkenliği (µs/cm)
HCO ₃	Bikarbonat
IC	İyon kromatografi
K ⁺	Potasyum
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KDAF	Kuzeydoğu Anadolu Fayı
mg/1	litrede miligram
Mg ²⁺	Magnezyum
meq/1	litrede miliekivalan
mol/1	molarite
MW	Jeotermal enerji gücü
Na ⁺	Sodyum
O ²	Çözünmüş oksijen mg/1
SAR	Sulama amaçlı sodyum tehlikesi
SO ₄	Sülfat
δ ¹⁸ O	Oksijen izotopu

1. GİRİŞ

Bir ülkenin gelişmişliği kişi başına tüketilen enerji miktarıyla doğru orantılı olarak değerlendirilmektedir. Bu orantı enerji üretimini arttırmayı zorunlu kılar. Yer kabuğunun bol ve çeşitli enerji kaynağına sahip olmasının yanı sıra yenilenebilen, tükenmeyen ve çevre kirliliğine neden olmayan jeotermal enerjinin daha yaygın kullanım alanlarını araştırılmaktadır. Jeotermal enerji; konutların ısıtılmasında, elektrik üretiminde, ziraat alanlarında kullanılmaktadır. Bunların yanında sağlıklı yaşama faydalarının bulunması neticesinde son zamanlarda yapılan araştırmalar bu doğrultuda yoğunlaşmıştır. Dünyada jeotermal kaplıca ve ısı uygulamalarında ülkemiz, ilk 5 ülke arasında bulunmaktadır. Alp Himalaya tektonik kuşağı üzerinde yer alır ve kaynak zenginliği açısından dünyanın ilk 7 ülkesi arasındadır. Türkiye’de 40 °C ‘nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 140 tane jeotermal saha bulunmakta ve buralarda 1300 civarında termal kaynak var olduğu belirlenmiştir. Yenilenebilen enerjinin sürdürülebilir enerji olması bu çalışmaların önemini arttırmıştır.

Jeotermal kaynaklar dünyanın her tarafında bulunabilmesine rağmen işletilebilir olanlar genel olarak normal ve ya anormal derecede yüksek jeotermal gradyan bölgelerinde yer almaktadır. Gezegenimizin yüzeyi ve çekirdeği arasındaki sıcaklık farkı olan jeotermal gradyan, çekirdekten yüzeye doğru ısı şeklinde termal enerjisinin devamlı kondüksiyonu şeklinde olmaktadır.

Dünya da belirli jeolojik formasyonlara bağlı olarak bulunan jeotermal alanlar, artan enerji kaynakları olarak isimlendirilmektedirler. Jeotermal sistemlerin farklı tipleri vardır ve bu tiplerin her biri belirli özelliklere sahiptir. Bunlar sahip oldukları bu özelliklerini kimyasal bileşimlerinde ve çeşitli potansiyel uygulamalarında belirli şekillerde ortaya koyarlar. Bunların hepsi birkaç kilometre derinlikte var olan, ortak ısı kaynaklarına sahip, konveksiyon içinde yer kabuğunun üst bölümlerinde gözlemlenen mevcut su birikimleridir (Nicholson, 1993).

Jeotermal sulardan, paleolitik çağlardan bu zamana termal banyo olarak ve antik Roma döneminden bu zamana da konut ısınmasında yararlanılmaktadır. Mevcut zamanda ise elektrik enerjisi üretimde kullanılmaktadır. Yaklaşık 10,715 MW gücüne sahip jeotermal enerji, dünya çapında 24 ülke de faaliyettedir. Buna ek olarak 28 GW doğrudan ısıtma kapasitesine sahip olan bir sistem; bölgesel ısıtma, mekan ısıtması, endüstriyel prosesler, kaplıcalar, tarımsal uygulamalar ve arıtma sistemleri için kurulmaktadır (Fridleifsson vd., 2008).

Jeotermal kuyular, yerin derinliklerinde sıkışık kalan sera gazlarının serbest kalmalarında rol oynarlar. Ancak bu emisyonların miktarı fosil yakıtların miktarından daha düşüktür. Bu da demek oluyor ki jeotermal enerji, yaygın fosil yakıtların yerine kullanılırsa küresel ısınmanın azalmasına yardımcı olma potansiyeline sahiptir.

1.1. Jeotermal Sistemler

Uzun zaman tartışmalara konu olan jeotermal akışkanların kökeniyle ilgili, yapılan eski çalışmalarda, suyun juvenil ya da magmatik bir kaynaktan türediği düşüncesi hâkimdi. Ancak karasal alanlardan ve yüksek rakımlı bölgelerden alınan örnek yağmur ve kar sularının hafif izotoplarca zengin olduğu (düşük δ değerleri) ve bu δD ve $\delta_{18}O$ sulardaki değerlerinin meteorik su çizgisi üzerinde yer aldığının gözlemlenmesiyle bu görüş değişmiştir (Craig, 1963).

Tropik denizlerden uzaklaştıkça ağır izotoplarda ($^{18}O, D$) fakirleşme gözlenmiştir. Bu fakirleşme, izotopların kar ve yağmur suları gibi yoğun fazların içine girmeleri ve kalıntı buhar fazında da hafif izotopların zenginleşmesinin (Raleigh süreci) gözlemlenmesiyle açıklanmaktadır. Craig (1963), jeotermal sularda bulunan $\delta_{18}O$ değerlerinin yerel meteorik sulardan daha yüksek (pozitif) olduğunu ancak bunun yanında δD bolluklarının aynı kaldığını belirtmiştir. Craig, oksijen ve hidrojen izotopik bileşimlerini ölçmek şartıyla jeotermal suların ve buharların meteorik kökenli olduklarını ortaya çıkarmıştır.

Farklı jeotermal bölgelerde bulunan meteorik sular farklı izotop bileşimleri göstermektedirler. Yıllık ortalama yağışın izotop kompozisyonu, büyük oranda yerel

Jeotermal sistemlerin jeolojisinin karmaşık olmasıyla birlikte burada kayaçların

geçirgenliği, petrografik özellikleri, porozitesi ve bunlarla birlikte yörenin tektonik

kendini bu şekilde gösterir. Bunun yanında Saemundsson vd. (2009) jeotermal sistemlerle onların jeolojik konumlarını ve doğal özelliklerini göz önünde bulundurarak sınıflandırma yapmıştır:

- a) **Volkanik sistemler:** Volkanik aktivitelerle ilişkili olan bu sistemlerin ısı kaynağı magma sokulumlarıdır. Bunlar kalderalar gibi volkanik komplekslerin içinde ve ya çok yakınında, sıcak dom alanlarında ve plaka sınırlarında yer alırlar.
- b) **Konveksiyon sistemler:** Tektonik aktif alanlardaki sıcak derin kabuklar ısı kaynaklarıdır. Burada ısı akışı değeri ortalama değerden yüksek bir değerdedir. Ortalama ısı akışı üzerinde bulunan, tektonik olarak aktif bölgelerdeki derinlikler de sıcaktır. Buradaki jeotermal suların dikey çatlaklar boyunca >1km derinliğe kadar sirkülasyonu olabilir.
- c) **Sedimanter Sistemler:** Dünyanın ana majör hazarının birçoğunda bulunan bir sistemdir. Bu tür sistemlerin varlığını normal değerlerin üzerinde bulunan ortalama jeotermal gradyanlara (> 30 °C/km) ve derinde (>1 km) bulunan sedimanter katmanlara borçlu olmaktadır. Bu tür jeotermal sistemlerde doğal olarak bulunan faylar ve kırıklar bazı durumlarda önemli rol oynasa da konvektiften daha çok konduktiftir. Bazı konvektif sistemlerin tortul kayalarda gömülü oldukları da gözlemlenmiştir.
- d) **Geo-basınçlı Sistemler:** Jeo basınçlı petrolü oluşturan sistemlerdir. Buradaki stratigrafik yapıda bulunan sular, litostatik basınç üzerinde basınca sahip olmasının yanında derinde bulunurlar. Bu nedenle de bunlar jeotermal sular olarak kategorize edilmişlerdir.

Yerkabuğunda jeotermal sistemin oluşabilmesini yönlendiren ve dolaysız etkileyen yapısal jeoloji olgularıdır. Yani ısı akışının yüksek olduğu bir alanda bulunup, yüksek geçirimliliğe sahipse, kırıklı ve kırıkları arasında sistemli olarak birbirleri ile bağlantı zonları söz konusuysa, derinliklerde bulunan yüksek sıcaklıklı zonlardan ısı yüklenip, hızlı bir şekilde sığlara taşıyarak buradaki katman ya da cepteki çevrim hücrelerinde yüksek sıcaklıkların birikmesini sağlayan akışkanlar gereğince dolaşarak bu işlevi yerine getirirler.

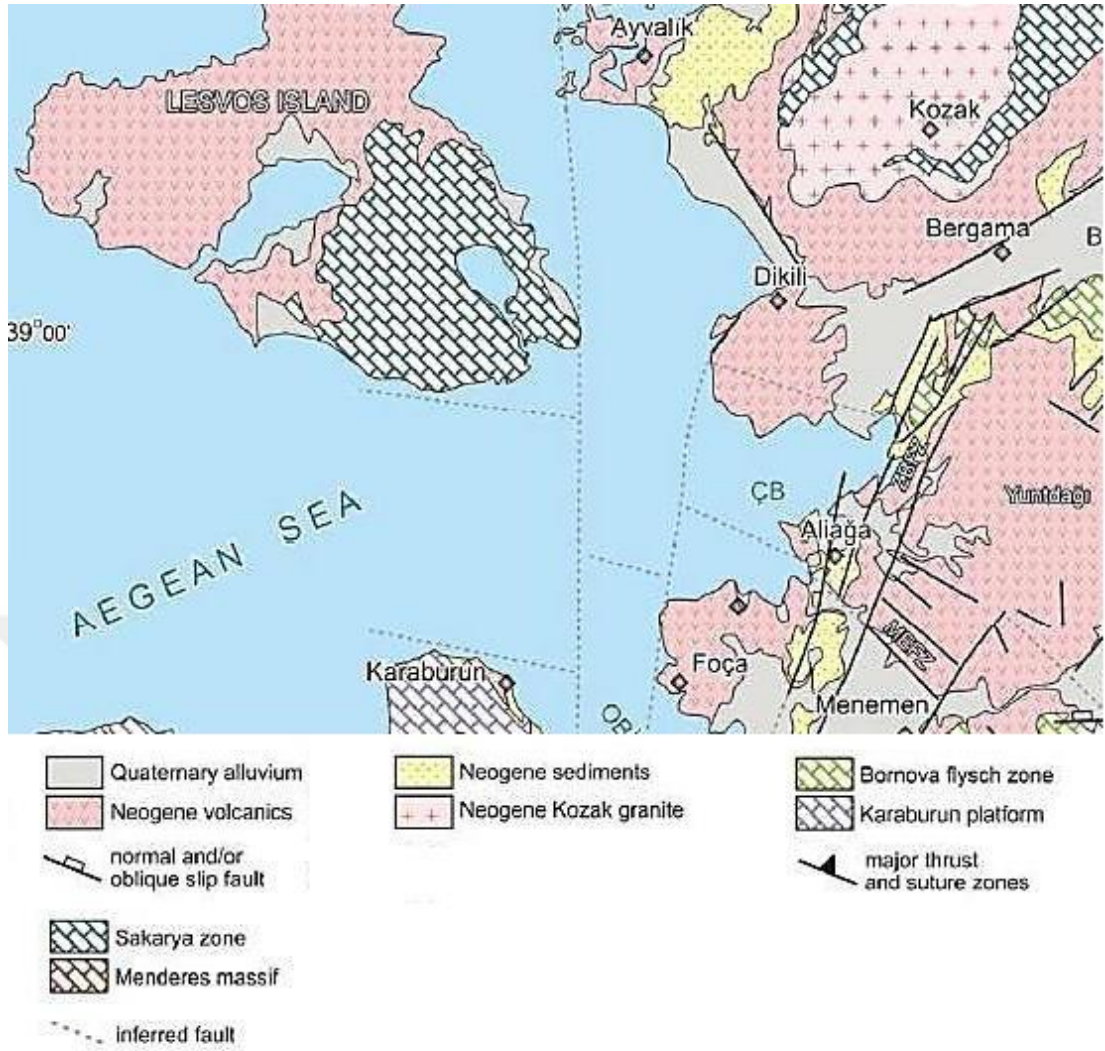
1.2. Çalışma Alanının Jeotektonik Konumu

Batı Anadolu plakasının doğudan batıya doğru hareket etmesi neticesinde Batı Anadolu Bölgesinde miyosen ve pliyosen zamanlarında açılma ve gerilme hareketleri olmuştur. Bu açılma ve gerilme hareketleri sonucunda; grabenler oluşmuş olup, grabenler ile tektonik zonlarda önemli jeotermal sistemler meydana gelmiştir. Dikili-Kaynarca jeotermal bölgesi de bu graben sistemi içerisinde bulunan önemli bir jeotermal sahadır (Şekil 1.2)

Kaynarca jeotermal bölgesinde KD-GB, KB-GD doğrultulu faylanmalar hakimdir. Gravite çalışmaları neticesinde grabeni oluşturan kuzeydeki fayın Kaynarca'nın olduğu yerden geçerek D-B doğrultusunda uzandığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde grabenin güneyini sınırlandıran fayın da Kargın Tepe'nin kuzeyinden geçtiği saptanmıştır (MTA-JICA, 1986).

Yapılan çalışmalardaki saptamalara göre, bir grabenin üzerinde yer alan Kaynarca Jeotermal kaynaklarının yüzeylenmesi faylanmalar boyunca olmaktadır. Grabeni oluşturan ana faylar, alüvyonlar tarafından örtülmüşlerdir. Bunun yanı sıra volkanikler içinde de etkin faylar bulunmaktadır (MTA-JICA, 1987).

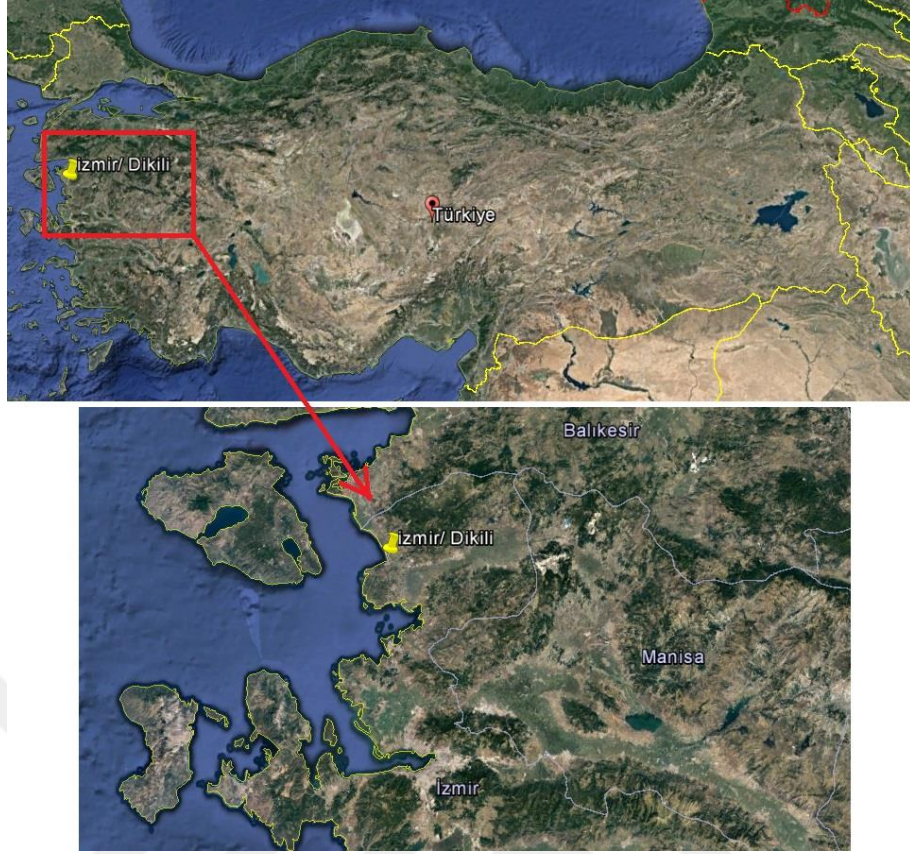
MTA-JICA (1987), tektonik zonda aktif fayları saptayabilmek amacıyla jeokimyasal çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar; gaz ölçümleri (CO₂), sıcaklık, hidrotermal alterasyon ve izotoplar ile ilgili yapılan çalışmalardır. Jeolojik, jeokimyasal, jeofizik olarak yapılan çalışmalar neticesinde; Kaynarca yöresi belirlenmiş ve bu jeotermal alandaki kaynakların bulunduğu bölgede yaklaşık olarak D-B uzanımlı ve grabeni oluşturan yüzey gravite fayının GB-KD, KD-GB doğrultulu faylarla kesildiği belirlenmiştir.



Şekil 1.2. İzmir-Dikili ve çevresinin ana tektonik hatlarını ve aktif gelişen havzalarını gösteren basitleştirilmiş jeoloji haritası (Uzel vd., 2012)

1.3. Çalışmanın Amacı

Çalışma alanı Batı Anadolu Bölgesinde, İzmir ilinin 118 km kuzey bölümünde, kuzey ve güney kısımları Ege Denizi ile çevrili olmak üzere Midilli Adası karşısında yer almaktadır. Komşu ilçeleri Ayvalık, Bergama ve Aliaga'dır. Dikili Bölgesinin yerel konumu 39° kuzey enlemi ile 26° doğu boylamı arasında bulunmaktadır. Doğal güzelliği ve İzmir'e yakınlığı sebebiyle turizm açısından önem arz etmektedir. Çalışma alanında Akdeniz iklimi hâkimiyeti bulunmaktadır. İnceleme alanı içerisinde büyük debili akarsu bulunmamaktadır. Daha çok küçük dereler bulunmaktadır (Şekil 1.3)



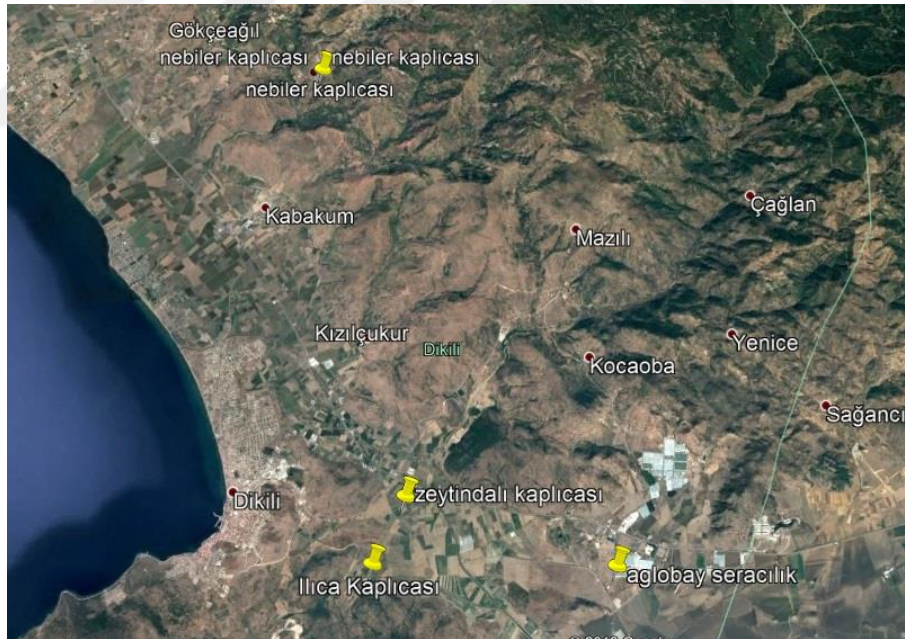
Şekil 1.3. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Bu çalışmada Dikili ve yakın çevresindeki jeotermal bölgede bulunan termal suların hidrojeolojik özelliklerinden yola çıkarak hidrojeolojik modellemesinin yapılması amaçlanmıştır. Bu kapsam doğrultusunda Dikili ve yakın çevresinin jeotermal bölgelerinin jeoloji haritalarının güncellenmesi, mineralojik, petrografik ve jeokimyasal yöntemlerle jeotermal akışkan ile kayaç etkileşimini yorumlayarak tanımlamak amaçlanmıştır. Bunun yanında jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal çalışmalarla oluşumunu ve bu oluşuma bağlı olarak gelişimini incelemek ve jeotermal akışkanın kayaçla olan etkileşimi doğrultusunda jeotermal sisteminin oluşumunun modellenmesi bu çalışmanın amaçları arasındadır.

Gerçekleştirilen saha çalışmasında Dikili ve yakın çevresinin jeotermal sularının bulunduğu alanda bazı lokasyon noktaları belirlenmiştir (Şekil 1.4). Bu lokasyon noktaları Zeytindağı, Çamur Ilıcaları, Nebiler ve Agrobay seracılığıdır. Bu lokasyonların koordinatları belirlenmiş olup, su sıcaklığı ölçümü, pH değeri ölçümü, Eh (mV) değeri

ölçümü, elektriksel iletkenlik ölçümü (EC; $\mu\text{S}/\text{cm}$), çözünmüş oksijen miktarı (mg/l) ve toplam çözünmüş iyon miktarı (TDS) in-situ olarak ölçülmüştür. Aynı zamanda bu arazi çalışması esnasında hidrojeokimyasal analizler (anyon ve katyonlar) ve izotop jeokimyasal analizleri yapabilmek amacıyla polipropilen şişeler içinde toplamda 5 adet su örneği alımı yapılmıştır. Katyonlar için alınan örnekler de bakterilere karşı koruma sağlamak amacıyla derişik HNO_3 ile pH değeri 2-3 arasında olması amacıyla asitlenerek muhafaza edilmiştir.

Alınan bu örneklerin hidrojeokimyasal analizleri Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeotermal Enerji, Yeraltı suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Hidrojeokimyasal analizler AquaChem (versiyon 3. 7) yazılım programı (Calmbach, 1999) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda ortaya çıkan diyagramlar bu rapor kapsamına alınmıştır.



Şekil 1.4. Dikili ve yakın çevresinde bulunan jeotermal suların lokasyonları ve örnek alma noktaları

2. KAYNAK BİLGİSİ

Çalışma alanı olan İzmir dikili ve çevresinde değişik zamanlarda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan ilki 1939 yılında Salomon-Calvi tarafından 1939 yılında meydana gelen 9 şiddetindeki depremi (Mercalli-Sierberg ölçeği verilerine göre) incelemek amacıyla yapılmıştır. Depremle ilişkili olarak incelediği eski sıcak su kaynaklarına (5 tane 90 °C) depremden sonra 2 tane maksimum 92 °C yeni kaynağın eklendiğini saptamıştır. 1940 yılında ortaya çıkan yeni sıcak su kaynaklarında yaptığı çalışmayla bu kaynaklardan elektrik üretilebileceğini ve Glauber tuzu (Mirabillit, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) elde edilebileceğini saptamıştır.

Ataberk (1940), Dikili-Kaynarca Çiftliği sıcak suları ile ilgili yaptığı araştırmasında, depremden sonra ortaya çıkan sıcak su kaynaklarından bir tanesinin 96 °C sıcaklıkta olduğunu belirtmiştir. Ortaya çıkan sıcak suların bataklık oluşturması nedeniyle hepsinin ölçülmesinin mümkün olmamasından yola çıkarak, suların toplandığı küçük ve büyük göllerden akan suyun debisi ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucu 22.8 l/s su debisi olarak saptanmıştır. Bu sıcak su kaynaklarının alüvyondan çıkması sonucu bir doğrultu üzerinde bulunmadığını, yapılacak olan sondajlarda yüksek sıcaklıkta ve yüksek debide su sağlanabileceği kanısına varmıştır.

Bistritschan (1957), Dikili, Menemen ve Bergama bölgelerindeki sıcak suların özelliklerini ve bu suların kullanım şekilleri üzerine araştırma yapmıştır. Bergama Grabeni'nin kuzey kısmı boyunca andezit ve andezitik tüflerin yüzeylendiğini saptamıştır. Vadi düzlüğünde sıcak sular tarafından oluşturulan bataklıkta 91 °C sıcaklığına ulaşan yaklaşık 25 tane sıcak su kaynağı olduğunu belirtmiştir. Sıcak su kaynaklarının tedavi edici özellikleri ortaya çıkartılırsa tedavi amaçlı olarak sağlık tesisi kurulabileceğini söylemiştir.

Ekingen (1970), Dikili-Bergama-Kınık karayolunun kuzey ve güney kısımlarında yer alan 1100 km²lik alanda yapıları tespit etmek ve incelemek amacıyla jeoloji ve rezistiviteden faydalanmış, görülemeyen yükselim ve kırıkları belirleyebilmek için gravite etüdünü yapmıştır. Bu çalışmalar sonucunda Dikili ve Kiroba yükselimleri

arasında kalan grabeni jeotermal alan olarak ifade etmiştir ve alanın yeterli kırık yapıya sahip olduğu belirtilmiştir. Ekingen'e göre örtü kaya geçirimsiz tüfler ve tüflerin örttüğü Neojen formasyonlarından oluşmakta, hazne kayaç ise Zeytindağ ve Kozak bölgelerinde yüzlek veren kireçtaşlarıdır.

Özçiçek (1970), Batı Anadolu Jeotermik Enerji Araştırmaları Projesi dahilinde jeolojik yapıyı aydınlatmak ve jeotermal enerji bakımından olumlu olan sahaları tespit etmek amacıyla Dikili-Bergama bölgesinde elektrik-rezistivite etüdünü yapmıştır. Yapmış olan bu çalışmada hazne ve örtü kayaların elektrik özellikleri ile kalınlıkları belirlenmiştir. Kaynarca bölgesinde; tabanda bir yükselme ve devamındaki kısımda alçalma meydana gelmiş bir çukurluk belirlenmiştir. Bu çukurluğun KD-GB yönlü muhtemel bir fay ile sınırlandığını ve bölgede gradyan sondajların yapılmasını tavsiye etmiştir.

Demirörer ve Öngür (1972), İzmir-Güzellik-Bergama kaplıcası dolaylarında ve ova çevresinde rezistivite çalışması yapmıştır. Bu çalışmasını Dikili civarında Özçiçek (1970) tarafından yapılan rezistivite çalışmasıyla birleştirmesiyle birlikte bir sonuca varmıştır. Bu sonuçlara göre Dikili-Bergama dolaylarındaki jeotermal alanlar için altı tane sondaj önermiştir. Öngür ise Dikili-Bergama jeotermal alanında jeotermal enerji olanaklarını belirleyebilmek amacıyla çalışma yapmış, bölgeyi genel olarak hidrotermal bir saha olarak ele almıştır. Bunun neticesinde hazne kaya olarak Kozak formasyonuna ait kireçtaşlarını, aynı formasyona ait fillit, şist ve grovakları ile birlikte Neojen yaşlı killi tortulları ve altere olmuş lavları da örtü kaya olarak saptamıştır. Kaynarca alanınca altı adet ve tüm Dikili-Bergama alanında toplamda on beş tane gradyan sondaj tavsiye etmiştir.

Akyürek ve Soysal (1978), Soma, Kırkağaç, Ayvalık ve Bergama dolaylarındaki çalışmalarında Menderes Masifi ile Kazdağ Masifi arasındaki bölgenin 1/25 000 ölçekli jeoloji haritalarını tamamlamışlardır.

Yılmaz ve Can (1978), Bergama-Dikili bölgesinin jeotermal açıdan önemini araştırmak amacıyla toplamda derinliği 641.5 metre olan 10 tane gradyan sondaj

yapmışlardır. Yapılan sondajlardan DG-7 sondajı dolaylarında önemli bir anomali (aykırılık) belirlenmiştir. Bunun neticesinde ise Kaynarca bölgesinin sera ve şehir ısıtma açısından önemi vurgulanmıştır.

Ercan vd. (1984), İzmir ve Balıkesir illerini kapsayan geniş bir bölgede çalışmışlardır. Bu çalışma jeolojik harita alımı ile magmatik kayaçların kökensel ve petrolojik açıdan yorumlarına ilişkin bir çalışmadır.

Yılmaz ve Özgüler (1986), Dikili ve Bergamayı kapsayan çalışma sahasında jeoloji, jeofizik, jeokimya, gradyan sondajı çalışmalarını değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirme sonucunda Kaynarca jeotermal içerisinde derin araştırma sondajı yapılmasını öngörmüşlerdir.

Yılmaz ve Gevrek (1990), Dikili-Kaynarca jeotermal sahasındaki ilk derin araştırma sondajını yapmayı başarmışlardır. Bu sondajlardan 1500 m'lik K-1 sondajında 130 °C sıcaklık ölçülmüştür. Fakat buna rağmen akışkan elde edilememiştir.

Dönmez vd. (1998), Batı Anadolu'nun Jeolojisi Projesi dahilinde Menderes Masifi ve dolaylarının jeolojik problemleri ve İzmir'in kuzeyinde bulunan Tersiyer Volkaniklerinin sorunlarına çare bulmak, 1/25000 ölçekli haritalarda bulunan eksiklikleri gidermek için bu çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu araştırmaya göre, İzmir'in kuzey bölgesinde en yaşlı kayaç olarak belirlenen Permien yaşlı kireçtaşı blokları yüzeilenmektedir. Eosen-Oligosen arası meydana gelen volkanizma neticesinde Erken Miyosen yaşlı Soma formaşyonu tarafından örtülmüştür. Aynı zamanda dumanlıdağ grubunu da içine alan volkanizmanın Orta Miyosene kadar devam ettiği saptanmış olup, Genç miyosen de tüm birimleri uyumsuzlukla örten Aliağa formaşyonunun çökeldiği tespit edilmiştir. Bazı karakterli Kızıldağ volkanikleri ise en genç volkanizma olarak eski birimleri kesip yüzeilenme gösterdiği belirlenmiştir.

Manav (2005), Dikili-Kaynarca jeotermal inceleme bölgesinde, İzmir Dikili ilçesinin köylerine Hizmet Götürme Birliği (BİRLİK) adına T-1 Sondajını yapmıştır. 357 metrelik sondajdan 130.7 °C sıcaklığına sahip ve 40,6 l/s debisi bulunan akışkan elde edilmiştir.

Özen (2002) ve Tarcan (2005), Dikili-Kaynarca bölgesinde sıcak ve soğuk suları inceleyerek hidrojeokimyasal ve hidrojeolojik çalışmalar yapmışlardır. İnceleme alanındaki sıcak suların iki ayrı hidrokimyasal fasiyeste olduğunu saptamışlardır. Buna göre Dikili ılıcaları $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$, Kaynarca'da $\text{Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ su tipindedirler. Bu suların tümünün meteorik kökenli ve nerdeyse hiç trityum içermeyen en az 50 yıllık sular olduğunu yorumlamışlardır. Uyguladıkları çeşitli jeotermometre yöntemleri ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıklarının Dikili jeotermal sahası için 100-120 °C, Kaynarca jeotermal sahası için 130-150 °C arasında değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu verilere dayanarak sıcak suların kullanım alanlarının konut ısıtmacılığının yanı sıra sera ısıtmacılığı, balneoterapik ve kaplıca turizmine yönelik alanların geliştirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Esina (2012), Dikili-Kaynarca bölgesinde YDA Tarım Tic. ve San. A.Ş. iş birliğinde C-7 sondajını yapmıştır. 432 m'lik sondaj sonucunda Yunt dağı volkaniklerinden 80°C sıcaklık ve yaklaşık 70 l/s debide akışkan elde edilmiştir.

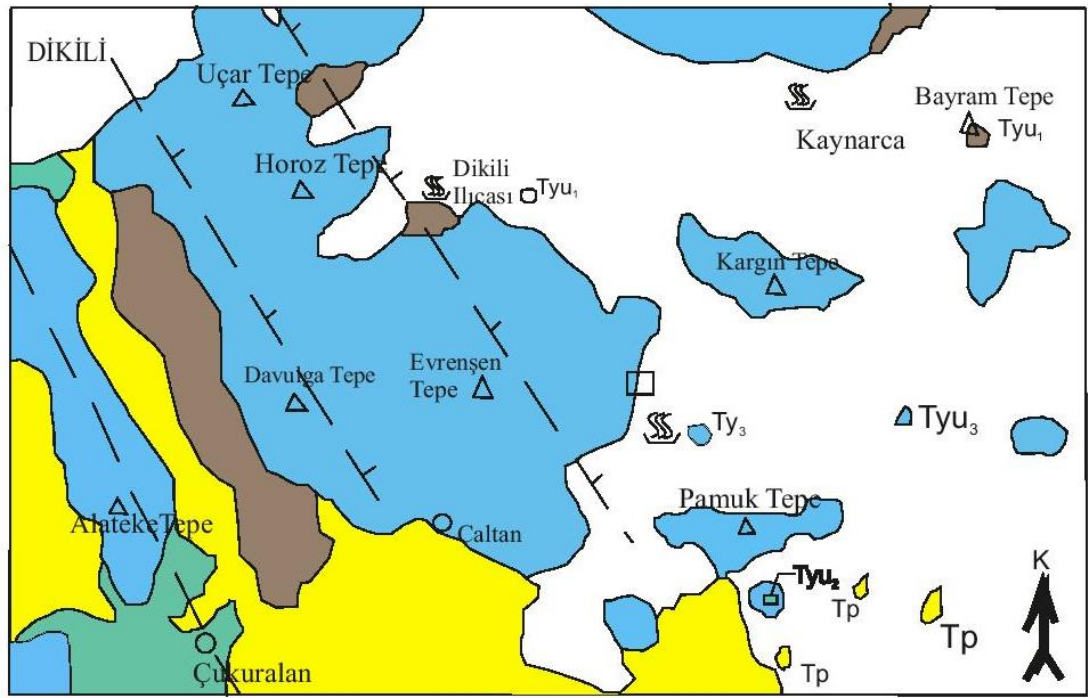
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Jeolojik oluşum olarak miyosen yaşlı volkanik kayaçlar çalışma sahası içerisindeki en yaşlı kayaçlardır. Bu kayaçlar Yuntdağı volkanik kayaçları olarak adlandırılmaktadırlar. Bu volkanik kayaçlar Dikili ılıcalarında ve bu ılıcaların KB kısmında yüzeylenmektedirler. Bu volkanik kayaçların hornblend andezit ve biyotit hornblend andezit lav akıntıları şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Bu kayaçlarda gerçekleşen hidrotermal alterasyon sonucunda renkleri açık griden koyu yeşilimsi renklere kadar olan renklerle karakterize edilmişlerdir. Bahsedilen kayaçların çatlak sistemlerinin iyi gelişmiş olması dolayısıyla sıcak sular için rezervuar kayaç özelliği taşımaktadır. Bu kayaçları pliyosen yaşlı Demirtaş piroklastikleri, ignimbritler ve dasit lavları ile örtülmüşlerdir. Demirtaş piroklastikleri, Dikili ılıcasının çok dar bir kısmında gözlenmektedir. Bu piroklastikler altere olmamış felsik piroklastikler, dasitik lav, andezit, ignimbrit ve volkanik çakılları bünyesinde bulundurmaktadır. Bu birim Yundağ volkaniklerinden kolayca ayırt edilebilmesi neticesinde bölgenin jeolojik yapısını ve jeolojik gelişimi hakkında ayırt edici bir özellik bulundurmaktadır. Bu adı geçen kayaçlar piroksen andezit lavları ile örtülürler (Özen ve Tarcan, 2005). Bu kayaçlar da pliyosen sonunda biyotit hornblend andezit lavları ile örtülürler ve tüm bu kayaçları da kuvaterner yaşlı alüvyon uygunsuz olarak örtmektedir.

Yörede ilk önce Madra, Bahçeliköy ve Nebiler dahil parasallı jeotermal alanı incelenmiştir (Akyürek ve Soysal, 1978). Bu bölgede tersiyer yaşlı Kozak granodiyoriti ve granodiyorit porfir gözlenmektedir. Bunların üzerine Yuntdağ volkanikleri, killi kireçtaşı, silttaşı, tüfler ve kumtaşı aralanmasından oluşan Soma formasyonu, andezit ve çakıl bloklarının tüf çimentosu ile tutturulmasından oluşan Soma formasyonu, andezit ve çakıl bloklarının tüf çimentosu ile tutturulmasından oluşan Rahmanlar aglomerası ile Dededağ bazaltı yer almaktadır. Bahsi geçen bu birimleri kuvaterner yaşlı alüvyonlar örtmektedir. Bu bölgeden yayılan sıcak su kaynakları Madra 32 °C, Bahçeliköy 25 °C, Parastallı 27 °C ve Nebiler 57 °C olarak sıcak su dereceleriyle belirlenmiştir. Bu adı geçen sıcak su kaynaklarından Nebiler haricinde yararlanmak mümkün değildir. Nebiler kaynağından oldukça iptidai olarak termal banyo olarak yararlanmak mümkündür.

Bir başka jeotermal alan olarak Karadede, Çoban Ilıcası, Kaynarca, Bademli ve Kocaoba jeotermallerinden oluşmaktadır. Bu jeotermal alanda jeolojik açıdan üste doğru sıralanması şu şekildedir; Esosen-Miyosen (?) Soğancı hornblendli andezitleri, pliyosen yaşlı Soma formasyonu, Demirtaş piroklastik kayalar, İslamlar andezitik piroklastikleri, Yuntdağı volkanik kayalar ve en üstte alüvyonlardan oluşmaktadır. Saha içerisinde rezervuar kayaç olma ihtimali olarak Yuntdağı volkanikleri kırık sistemleri ile önemli bir rol oynamaktadır. Soma formasyonu içinde yer alan çamurtaşları ve silttaşları örtü kayaç olarak değerlendirilebilir (Yılmaz vd., 1990). Bu bölgedeki jeotermal suların ısı kaynağı olarak için genç Yuntdağı volkanikleri değerlendirilmektedir. Buna ek olarak jeotermal alanda KB-GD, KD-GB ve BKB-DGD doğrultulu üç farklı fay sistemi bulunmaktadır. Bu jeotermal alanda Kaynarca 80-98 °C , Karadede 73 °C, Çoban 42 °C, Bademli kaplıcası 50-55 °C, Kocaoba 63 °C sıcaklıklarda sıcak su çıkışları bulunmaktadır. Bu alanlarda farklı zaman dilimlerinde 356 ile 1500 metre derinliklerinde MTA tarafında yapılan üç farklı sondaj kuyusu açılmıştır. Bu çalışma sonucunda 130 °C sıcaklığında ve yaklaşık 40 l/s jeotermal sular belirlenmiştir.

Özen ve Tarcan (2005) Dikili ve çevresinde yer alan jeotermal suları hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal olarak araştırmışlar. Bu çalışmalarla 46 örnekte hidrojeokimyasal analiz ve 27 örnekte izotop jeokimyasal analizlerin değerlendirilmesini yapmışlardır. Bu sularda genel olarak Na- (SO₄)-HCO₃ ve ya Na-Ca- (SO₄)-HCO₃ tipi sular olarak isimlendirilmişlerdir. Aynı şekilde Dikili termal suları için 100-120 °C, 130-150 °C ve 70-125 °C şeklinde sıcaklıkları belirlenmiştir. İzotop jeokimyasal analizler de $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramında $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin kıtasal meteorik su çizgisinin sağına kaydığı gözlenmiştir (Özen, 2002). Bu durum yoğun su kayaç etkileşiminin olduğunu göstermektedir. Aynı şekilde K/100-Na/1000-(Mg)0.5 diyagramında Dikili ve çevresindeki mevcut suların olgunlaşmamış sular ile kısmi dengelenmiş ve ya karışık sular arasında yer aldığı belirlenmiştir.



AÇIKLAMALAR

	Alüvyon	—	KUVATERNER
	Yuntdağ Volkanitleri-III (Dikili biyotit-Hornblend-Andezit)	}	NEOJEN
	Yuntdağ Volkanitleri-II		
	Demirtaş Proklastikleri		
	Yuntdağ Volkanitleri-I		
	Fay		
	Kaynak		

Şekil 3.1. İnceleme alanının jeolojik haritası (Jeckelman, 1996'dan alınarak değiştirilmiştir.)

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	GRUP	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA	JEOTERMAL AKTİVİTE
SENOZOYİK	KUVA TERNER	HALOSEN		Q (M)		Alüvyon	
	TERSİYER	PLİYOSEN	Yunt dağ Volkanitleri - 3	Tyu ₃		Dikili Biotit - Hornblend Andezit	
			Yunt dağ Volkanitleri - 2	Tyu ₂		Piroksen Andezit	
			Demirtaş Piroklastikleri	Tp		Demirtaş Piroklastikler Felsik Piroklastik kayalar Dasit lavları İgnimbrit	
		MİYOSEN	Yunt dağ Volkanitleri - 1	Tyu ₁		(Altere Andezit) Biotit Kırıklı Zon (Sıcak Su Rezervuarı)	

Ölçeksiz

Şekil 3.2. Dikili –Kaynarca jeotermal sahasının genelleştirilmiş stratigrafisi (Özen, 2002)

4. MATERYAL VE METOD

Çalışma sahası olan Dikili bölgesinin Jeotermal alanında hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özelliklerinin anlaşılması için bir çalışma yürütülmüştür. Bu amaç doğrultusunda farklı lokasyonlardan temsili olacak biçimde su örnekleri alınmış ve alınan bu örnekler gerekli standartlar ve uygun analiz yöntemleriyle analiz edilmişlerdir. Bu başlık adı altında kullanılan malzemeler, yöntemler, laboratuvar analizleri ve veriler yorumlanmış bulunmaktadır. Bu kapsamda yapılan arazi çalışmaları, yerinden alınan sıcak su örneklerini ve sahada ölçülen in-situ parametrelerini kapsamaktadır. Farklı lokasyonlardan alınan su örneklerinin fiziksel parametrelerinin, anyon ve katyonlarının da belirlenebilmesi için analizler yapılmıştır.

4.1. Metod

Bu başlıkta; yapılan çalışmanın bütün adımlarını içeren jeoloji, çalışılan jeotermal suların hidrojeokimyasal analizleri, izotop jeokimyası analizleri, su örneklerinin alınması ve laboratuvar analizlerinin yapılmasıyla elde edilen sonuçların değerlendirilmesi aşamasını kapsamaktadır.

4.1.1. Jeolojik Çalışma

Çalışma sahasının stratigrafik özellikleri ve yapısal jeoloji özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla farklı jeolojik haritalardan faydalanılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalar ışığında daha önce belirlenmiş olan verilerin varlığı arazide yapılan gözlemlenmiştir. Jeolojik enine kesitler, genel stratigrafik kesitler incelenmiş ve bu bilgiler yardımıyla jeolojik araştırma çalışmaları sonlandırılmıştır.

4.1.2. Örnekleme ve İn-situ Analizleri

Çalışma sahası içerisinde yapılan örnek alımında suların fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Yapılan bu örnek alımında aynı zamanda laboratuvar standartları da göz önünde bulundurulmuş ve doğru analiz yapılacak şekilde muhafaza edilmişlerdir.

Bu arazi çalışmaları esnasında hidrojeokimyasal analizler (anyon ve katyonlar) ve izotop jeokimyasal analizler için boyutları değişen polipropilen şişeler kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal analizler için 100 ml polipropilen şişeler kullanılmıştır (Şekil 4.1). Bütün lokasyonlardan alınan toplam su örneği sayısı 5 adet olup numunelerin ağzı kapatılırken hava kalmaması amacıyla ağzına kadar su ile doldurularak kapatılmıştır. Arazi çalışmasında alınan su örnekleriyle hidrojeokimyasal analizlerin yanı sıra in-situ analizleri de yapılmıştır (Şekil 4.2). Yapılan in-situ analizlerinin cihazları ve özellikleri Çizelge 4.1 'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Su örneği alımında kullanılan polipropilen şişeler

Katyonlar için alınan su örnekleri mümkün olan bakterilere karşı korumak amacıyla derişik HNO_3 koyularak pH değeri 2 ile 3 arasında olacak şekilde asitlenerek muhafaza edilmiştir. Su örnekleri laboratuarda 4 °C'de diğer analizleri yapabilmek maksadıyla bekletilir.

Çizelge 4.1. İn-situ cihazlarının özellikleri

In-situ Parametreleri	Ölçüm Birimleri	Cihaz adı ve marka
Sıcaklık	°C	Thermometer-Testo-95-1
pH		pH meter-WTW 330i
Elektriksel iletkenlik (EC)	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Electrical conductivity measurement-WTW cond 330i and 340i
Çözülmüş oksijen (O_2)	Mg/l	Oximeter-WTW Oxi 340
Redoks Potansiyeli (Eh)	mV	pH meter-WTW pH 95
Alkalinite	Mmol/l	Alkalinity Test kit- Merck Aquamerck 11109



Şekil 4.2. Saha çalışması esnasında yapılan in-situ ölçümü

4.1.3. Hidrojeokimyasal analizler

Bu çalışma kapsamında yapılan hidrojeokimyasal analizler Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeotermal enerji, Yer altı suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Hidrojeokimyasal analizler AquaChem yazılım programı (Calmbach, 1999) kullanılarak hazırlanan diyagramlar değerlendirilmiş ve bu rapor kapsamına alınmıştır.

Hidrojeokimyasal analizler için kullanılan parametreler ve cihazlar Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Hidrojeokimyasal cihazlar ve özellikleri

Analiz parametreleri	Analiz cinsi	Cihaz ismi
HCO_3^- , CO_3^{2-}	Titrasyon yöntemi	Merck-Aquamerck testkitleri
Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{+2} , Al^{+3} , Si^{+4} , As, Cr	Optik emisyon spektrometresi	Perkin Elmer ICPOES 2100 DV
F^- , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{2-}	İyon kromatografisi	Dionex ICS-3000

ICP-OES (Bağlı Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektroskopisi) hareketli atomları ve elemanların karakteristik dalga boyunda elektromanyetik radyasyon yayan iyonları üretmek amacıyla indüktif plazma ile birleştiğinde kullanılan emisyon spektroskopisi türüdür. Örnek içindeki elementleri konsantrasyonun göstergesi olan bu emisyon yoğunluğudur.

IC (İyon Kromatografi) şarja dayalı polar ve iyon moleküllerinin ayrılmasını sağlar. Ejekte edilecek çözelti, bir örnek olarak isimlendirilir. Ve bu örnek ayrı ayrı bileşenlerin analizleri olarak adlandırılır. Örnek döngü içine örnek hacmi elle ve ya otomatik örnekleyici yardımıyla tanıtılır. Mobil faz olarak bilinen tamponlu sulu bir çözelti, hareketsiz faz malzeme içeren kolon üzerine örnekler taşımaktadır. Hedef analit, sabit faz üzerinde muhafaza edilmektedir. Fakat ikinci durağan faz için, analit iyonlarının yerinin aynı yüklü türlerin konsantrasyonunun arttırılması ile ayrıştırılma işlemi yapılır. Bu analit daha sonra UV/VIS ışık absorbe ve ya tipik iletkenliği ile bazı yöntemlerle tespit edilmelidir.

ICP-MS kütle spektrometresi ile yüksek sıcaklık ICP'den meydana gelmektedir. ICP kaynağı örnek içindeki elementleri iyonlara dönüştürür ve bu iyonlar ayrılır. Ayrılan bu iyonlar sonar kütle spektrometresi ile belirlenir.

4.1.4. Termometreler

Jeotermal sistemlerin araştırılmasının yanı sıra geliştirilmesi açısından da önem taşıyan jeokimyasal termometreler, jeotermal rezervuarların üretimi sırasındaki etkilenmelerinin izlenmesi açısından da önemlidir.

Arama aşamasında jeotermetreler, sondaj çalışmaları esnasında beklenen çıkış sıcaklığını ölçmede kullanıldıkları gibi yeraltı sıcaklığının tahmin edilmesi için de kullanılmaktadır (Şekil 4.3). Burada f  marollerin ve sıcak suların kimyasal ve izotop jeokimyasal bileşimden yararlanılmaktadır. Jeotermal izleme ve gelişimlerin son kısmında jeokimyasal termometrelerden, kuyularda üretim seviyelerinin yerlerine riayet ederek kuyu deşarjının bileşimini yorumlayabilmekte faydalanılmaktadır. Ayrıca jeokimyasal termometrelerden kuyu   vresinde deşarj oluşturan soğuk sularla geliştirilen kaynama ve basınç olayları neticesinde meydana gelen azalma zonlarındaki kimyasal reaksiyonları a  klamak amacıyla da faydalanılmaktadır.



  kil 4.3. Çalışma sahası içerisinde bulunan Zeytin dalı jeotermal su çıkış noktasında sıcaklık   l      (Zeytin Dalı Ilıcası)

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Hidrojeoloji

Dikili-Bergama jeotermal alanları Türkiye'nin en önemli jeotermal alanlarından birisidir ve Bakırçay Havzası'nın kuzey kesiminde bulunmaktadır. Bu jeotermal alan içerisinde en yüksek sıcaklığa sahip alan Kaynarca jeotermal alanıdır. Daha önceki yapılan araştırmalarda 96 °C sıcaklık ve 200 l/s debide olduğu ifade edilen kaynakların bir kısmı, sahada kontrolsüz şekilde açılan sondajlarla kurumuştur. Debileri ölçülemeyen kaynaklar kanaletlerle Bakırçay Nehrine akıtılmaktadır.

Çalışma sahasının yakın çevresini gösteren jeolojik haritadan (Şekil 3.1) da görülebileceği şekilde inceleme alanının en yaşlı birimi Yuntdağ Volkaniti-I'dir. Yaygın alterasyona uğramalarından dolayı bu kayaların çatlaklarında silis, kalsit, jips dolguları bulunmaktadır. Tektonik zonlarda ikincil gözeneklilik ve geçirgenliğin artmasıyla bu kayalar rezervuar özelliği kazanmışlardır.

Genellikle Dikili bölgesinin güneydoğusunda bulunan Demirtaş yöresinde yaygın olarak gözlenen Demirtaş Piroklastikleri (Şekil 3.2) altere olmamış dasit, ignimbirit, felsik piroklastik kayalardan oluşmasından dolayı düşük porozite özelliğine sahiptir ve bu nedenle örtü kaya özelliğindedir. İnceleme alanı içerisinde çok fazla yayılım göstermeyen yuntdağ volkaniti-II formasyonu tektonik hatlar boyunca düşük dereceli rezervuar oluşturabilir.

İnceleme sahası içinde bulunan Yuntdağ Volkaniti-III formasyonu dahilinde inceleme alanı içinde yaygın olarak gözlemlenen, dikili biotit-hornblend andezit birimi (Şekil 3.2), yüzeyde kalmasından dolayı bünyesinde çok fazla sıcak su bulundurmamaktadır. Yuntdağ Volkaniti-III ısıtıcı kaya özelliğindedir. Bu sebeple altere zonlar ve sıcak kaynaklar bu birimin etrafında konumlanmışlardır. Çalışma alanı içerisinde akifer özelliği taşıyan en önemli birim alüvyondur. Bölge de sulama sularının büyük bir kısmı alüvyondan temin edilmektedir.

Dikili sıcak su kaynakları KB-GD doğrultulu fayın çatlaklarından gelerek alüvyon şeridinin üzerinde birkaç yerden yüzeye çıkmaktadırlar. Kaynaklardan yüksek sıcaklığa sahip olanları, koyu renkli andezitler (Yuntdağ Volkaniti-III) arasından çıkarak alüvyondan boşalmaktadır (Yilmazer, 1984). Yörede bulunan kaynaklar 1939 yılında meydana gelen depremden etkilenmiş olup, bu esnada beliren sıcak su kaynaklarından bazıları kısa zamanda kaybolmuşlardır. Kalanlar ise 1941 yılından bugüne kadar özelliklerini koruyarak varlıklarını sürdürmüşlerdir. Yapılan sondajlarla sıcaklık ve debileri arttırılmıştır. Bu kaynakların çevresi kaplıca uygulamalarının yanı sıra tarımsal uygulamalar için de oldukça elverişlidir (Yilmazer, 1984).

5.2. Hidrojeokimya

Çalışma sahasının hidrojeokimyasal özelliklerini yorumlayabilmek için sahada bulunan farklı lokasyon noktalarından toplamda 5 su örneği alınmıştır. Sahada belirlenen her lokasyonda in-situ ölçümleri gerçekleştirilmiş, su örnekleri bu ölçümlerden sonra alınmıştır. Ölçülen in-situ parametreleri şunlardır; sıcaklık, redoks potansiyeli (Eh), pH, elektriksel iletkenlik (EC) çözülmüş oksijen (O_2), ve alkalinite olmaktadır. Özet olarak 36.4 ile 65.4 °C arasında, PH 6.67 ile 7.28 arasında ve elektriksel iletkenlik 1466 ile 2730 $\mu S/cm$ arasında değişkenlik göstermektedir. Detaylı analiz sonuçları çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Aşağıdaki katyonlar ve elementler; Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Pb^{2+} , SiO_2 , Zn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} ve As^{3+} , ICP-OES ve ICP-MS analiz yöntemleri kullanılarak analizleri yapılmıştır (Çizelge 5.3). Buna karşılık anyonlar F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , Br^- , SO_4^{2-} , and PO_4^{3-} iyonkromatografisi (IC) yöntemi ile analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.4). HCO_3^- ve CO_3^{2-} değerleri arazide gerçekleştirilen alkalinite ölçümleriyle hesaplamaları yapılmıştır. Hidrojeokimyasal analizlerin değerlendirilmesinde, Aquachem v.3.7 (Calmbach, L., 1999), Solveq ve spreadsheet kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal analizleri, çizelge 5.2’de gösterilmektedir.

5.2.1. Hidrojeokimyasal analizler

İzmir Dikili ve yakın çevresinin alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçları AQUACHEM v.3.7 (Calmbach, L., 1999) ve Liquid analysis spreadsheet kullanılarak

değerlendirmeleri yapılmıştır. Jeotermal sularını tanımlayabilmek ve grafiksel olarak gösterebilmek için de Piper ve üçgen diyagramları hazırlanmıştır (şekil 5.1). Piper diyagramına göre EK-1 örneğinde Na-Ca-SO₄-HCO₃ tipi, diğer örneklerde ise genel olarak Na-SO₄-HCO₃ tipi sular mevcuttur (Çizelge 5.1)

Çizelge 5.1. Çalışma sahasındaki örneklerin su tipleri

ÖRNEK NO	LOKASYON	SU TİPİ
EK1	Zeytindalı	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃
EK2	Çamur Ilıcası	Na-SO ₄ -HCO ₃
EK3	Nebiler	Na-SO ₄ -HCO ₃
EK4	Nebiler	Na-SO ₄ -HCO ₃
EK5	Agrobay Seracılık	Na-HCO ₃ -SO ₄

Çizelge 5.2. Dikili ve yakın çevresi jeotermal suları koordinatları ve fiziksel verileri

Sıra No	Örnek	Lokasyon	Koordinat		T (°C)	pH	Eh (mV)	EC (µS/cm)	O ₂ (mg/l)	TDS (mg/l)
			X	Y						
1	EK-1	İzmir - Dikili	4324762,26	493925,15	36,4	7,28	161	1466	5,28	938
2	EK-2	İzmir - Dikili	4323380,12	493310,03	68,6	6,67	159	2730	5,12	1747
3	EK-3	İzmir - Dikili	4334369,14	491655,25	56,7	7,06	122	1526	5,35	977
4	EK-4	İzmir - Dikili	4334369,14	491655,25	58,2	7,16	106	1480	5,21	947
5	EK-5	İzmir - Dikili	4323334,59	498288,94	65,4	6,91	77	2430	5,19	1555

Çizelge 5.3. Dikili ve yakın çevresi jeotermal suları katyon değerleri

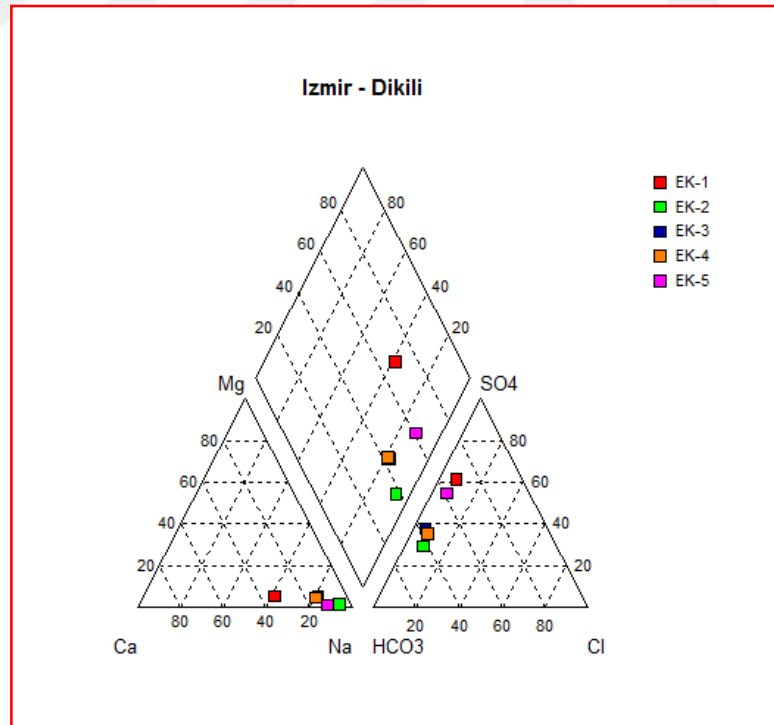
Sıra No	Örnek	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Si (mg/l)	Fe (mg/l)	Al (mg/l)	Pb (mg/l)	Zn (mg/l)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Cr (mg/l)	B (mg/l)	As (mg/l)	Sb (mg/l)	Sr (mg/l)	Ba (mg/l)	Li (mg/l)
1	EK-1	186,20	4,12	8,60	88,81	12,95	0,09	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,35	0,02	0,14
2	EK-2	537,90	24,86	4,30	27,46	45,07	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	7,22	0,50	0,01	1,77	0,06	2,39
3	EK-3	249,90	4,57	8,51	35,15	34,35	0,11	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,80	0,01	0,01	1,43	0,05	0,44
4	EK-4	243,50	5,33	7,49	38,31	36,34	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,82	0,01	0,01	1,25	0,05	0,44
5	EK-5	431,90	21,35	3,00	46,12	35,14	0,09	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	2,54	0,09	0,01	1,35	0,05	0,74

Çizelge 5.4. Dikili ve yakın çevresi jeotermal suları anyon değerleri

Sıra No	Örnek	F ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₂ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)
1	EK-1	2,04	40,87	0,01	0,58	0,01	428,71	0,00	274,59
2	EK-2	4,91	84,27	0,01	0,13	0,01	395,67	0,00	1073,95
3	EK-3	1,89	38,23	0,01	0,25	0,01	269,86	0,00	518,67
4	EK-4	2,01	38,88	0,01	1,04	0,01	247,57	0,00	512,57
5	EK-5	5,36	59,97	0,01	0,06	0,01	646,20	0,00	573,59s

Piper diyagramı, gerek iyonların bir arada tek bir diyagramda görüntülenmesi açısından gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırabilmesini kolaylaştırması bakımından hidrojeolojide sıklıkla kullanılan diyagramlar arasındadır. Majör anyonlar $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ baz alındığı zaman (Giggenbach, 1988), bu üçgen diyagramı jeotermal suları sınıflandırmak için kullanılmaktadır (şekil 5.2.). Bu diyagram olgunlaşmamış suları ayırt etmeye yardım ederek çalışma sahasında bulunan suların karışım ilişkileri ile ilgili belirteçleri verir.

Piper diyagramı anyon ve katyonların (% mek/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden meydana gelmektedir. Üçgen diyagramlar, suların hidrokimyasal su tiplerinin görülmesinde; dörtgen diyagram ise suların sınıflandırılmasında ve karşılaştırmasında kullanılmaktadır ve büyük kolaylık sağlamaktadır. Piper diyagramına göre araştırılan sular $\text{Na- (SO}_4\text{)-HCO}_3$ tipi sulardır (Şekil 5.1.).

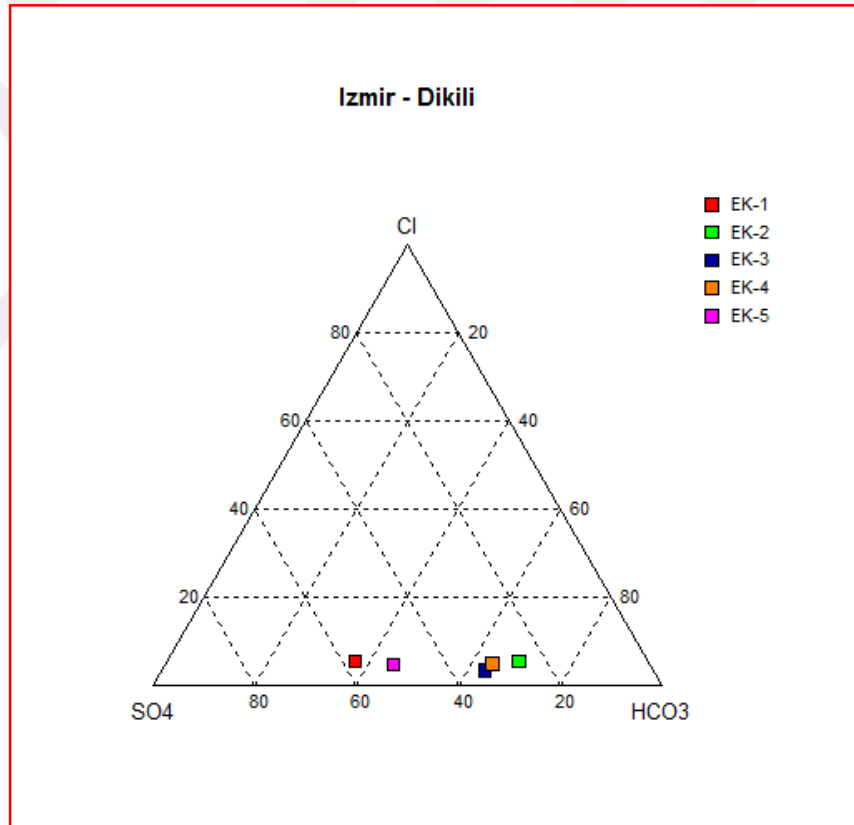


Şekil 5.1. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi

Suları isimlendirmek, birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimleri araştırmak ve kökenleriyle ilgili yorum yapabilmek maksadıyla suların hidrojeokimyasal su tipinin

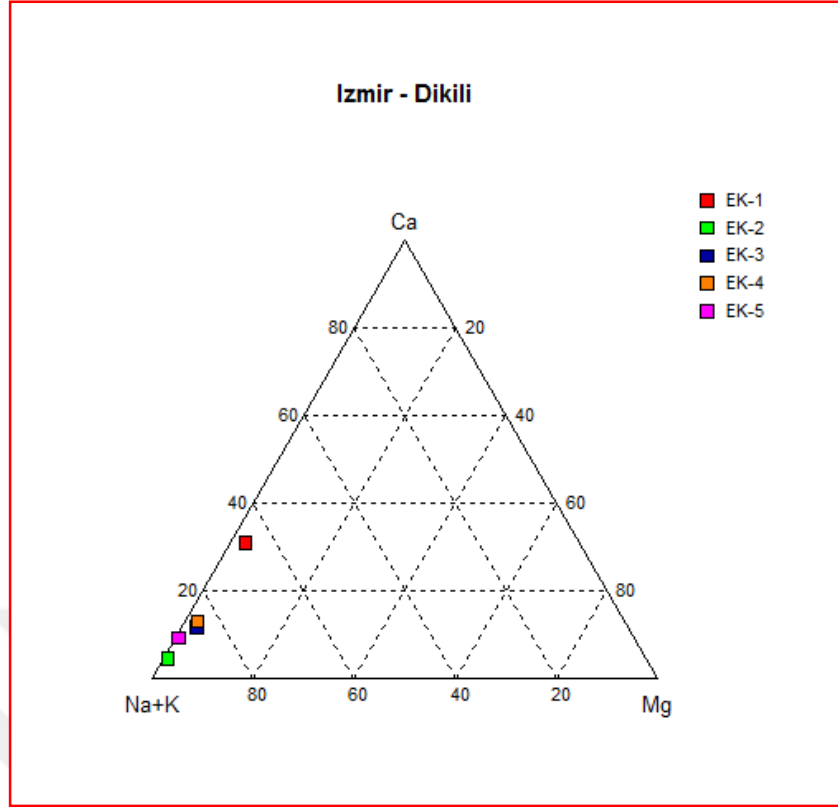
belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyes kavramı, suların içerdikleri başlıca iyonların oranlarına göre sınıflandırılmasına dayanmaktadır. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere meq/l cinsinden yazılırlar ve %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal su tipini belirtmektedir. Şayet iyonların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa bu sular karışık su olarak isimlendirilirler.

Sıcak ve mineralli suların bir diğer sınıflaması da başlıca anyonlara göre (Cl , HCO_3 , SO_4) yapılabilmektedir (Giggenbach, 1991). Çalışma alanındaki sıcak sular bu diyagrama göre SO_4 ve HCO_3 yönünden zengin iken Cl yönünden oldukça fakirdir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Dikili ve yakın çevresi jeotermal sularının Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramı

Çalışma sahasındaki jeotermal sular için Ca-Na+K-Mg üçgen diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 5.3). Alınan su örneklerinin içerdikleri katyon miktarına (meq/l) göre Na+K>Ca>Mg şeklinde sıralanabilir.



Şekil 5.3. Dikili ve yakın çevresi jeotermal sularının Na+K-Ca-Mg diyagramında gösterilmesi

5.2.2. Doygunluk indeksi

Doygunluk indeksleri, bir jeotermal sistemde kayaç ile su arasında meydana gelen kimyasal dengelenmeyi değerlendirirken yararlanılmaktadır. Bu indeks hidrotermal alterasyona uğrayan kayaçları oluşturan minerallerin çözünürlüğü ve minerallerin faaliyetleri ile ilgili bilgilerin elde edilmesi ile sonuçlandırılır.

Sıcak suların bir yerden bir yere taşınması esnasında kabuklaşma ya da korozyon gibi önemli sorunlar olabilmektedir. Bu sorunların meydana gelmesinde suyun mineral doygunluğu, çökme ve çözülme özellikleri büyük ölçüde etkindir. Genel olarak çökel ürün olarak gözlemlenen kalsit, dolomit ve jips minerallerinin, farklı sıcaklık değerlerinde mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması ve diyagramlarının çizilmesi, bu sorunların önlenmesinde önem göstermektedir. Bu amaçla kullanılan mineral sıcaklık diyagramlarında Pozitif doygunluk indeksi çöktürücü özelliği, negatif doygunluk indeksi ise çözündürücü özelliği belirtmektedir. Doygunluk indeksleri, jeotermal sistemde bulunan kayaç ve su arasındaki kimyasal etkileşimi incelemekte

ve bu hidrotermal alterasyona uğrayan kayaları oluşturan minerallerin çözünürlüğüyle birlikte bu minerallerin reaksiyonlarıyla ilgili bilgilerin toplanması ile sonuçlandırılır.

Çözeltilerde iyonların, iyon çiftlerinin ve komplekslerin çok sayıda olması sebebiyle, her tip mineral ve bu minerallerin reaksiyonları için doygunluk indeksleri geliştirmek yazılım programı kullanımını zorunlu tutmaktadır.

Bu çalışmada Aquachem programından doygunluk indeksini hesaplamak için faydalanılmıştır. Mineral doygunluk indekslerinin hesaplaması esnasında basınç 1 atm olarak alınmış, pH sabit tutulmuştur. Hesaplanan değerler Excel programına aktararak mineral sıcaklık denge diyagramı oluşturulmuştur (Çizelge 5.5)

Çizelge 5.5. Dikili ve yakın çevresinin doygunluk indeksleri

MİNERAL	EK1	EK2	EK3	EK4	EK5
Albit	12.18	16.50	13.17	13.61	15.25
Anortit	7.11	4.48	5.86	6.73	6.21
Ca- montmorillonit	19.26	21.12	19.59	20.41	20.91
Kalsedon	3.82	5.64	4.36	4.38	5.03
Klorit	17.61	20.24	16.91	17.88	20.21
Krizotil	6.79	11.00	7.25	7.46	9.94
Dolomit	2.84	2.99	2.52	2.38	2.86
Fe (OH) ₃	3.21	2.94	3.39	3.40	3.67
Gipsit	1.27	-0.62	0.63	0.94	0.14
Götit	10.10	9.83	10.28	10.29	10.56
Hematit	23.21	22.67	23.57	23.60	24.12
illit	18.14	20.30	18.41	19.29	20.06
Jarosit-K	-1.76	-1.51	-1.09	-1.28	0.96
PotasyumFeldispat	12.38	16.12	13.20	13.72	15.24
Potasyum mika	22.53	22.48	22.06	23.21	23.13
Kaolinit	12.86	12.71	12.66	13.31	13.03
Kuvars	4.25	6.07	4.79	4.80	5.46
Sepiyolit	8.51	14.35	9.73	9.89	12.63
Sepiyolit (d)	5.61	11.45	6.83	6.99	9.73
Silis	2.98	4.80	3.52	3.54	4.19
Talk	19.2	26.98	20.68	20.91	24.70

5.3. Jeokimyasal termometre

Termal sular farklı sıcaklık ve basınç altında bulunurken bu esnada da bulunduğu kayaç ile etkileşime girer. Bu etkileşim sonucunda rezervuar kayaçın mineralojisine

bağlı olarak suyun kimyasın da değişme olur. Jeotermometreler, suyun kimyasındaki bu değişimlerden yola çıkarak rezervuar kayacın sıcaklığının hesaplanması için oluşturulan denklemlerdir.

Jeotermometre eşitlikleri kullanım şekillerine göre Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları ve Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları olarak ikiye ayrılırlar. Kimyasal jeotermometre uygulamaları da kendi içerisinde katyon jeotermometreleri ve silis Jeotermometreler olarak iki çeşittir.

Her bir Jeotermometre kendi içerisinde bulunduğu hidrojeokimyasal durumu yansıtmakta ve bu nedenle de bazı jeotermometrelerin yapılan hesaplamalarda afaki değerler verdiği görülmüştür. K-Mg jeotermometresi, yüzeyde ölçülen sıcaklık değerinden daha düşük akifer sıcaklığı vermesiyle buna örnek oluşturmuştur. Amorf Silis (Fournier 1977), Amorf Silis (Arnorsson, 1995), Alfa ve Beta Kristobali (Fournier 1977) ve Maganit (Gislason ve Assthorsson, 1996) gibi Silis jeotermometreleri de benzer olumsuz sonuçları vermesinden dolayı tablolarda gösterilmemiştir. Grafik ve tablo sonuçları dikkatle incelenmiş ve yorumlamalarının gerçekçi sonuçlara ulaşması amaçlanmıştır. Çalışma sahasında bulunan rezervuar kayacın sıcaklığının belirlenmesinde Na-K, Na-K-Ca, Na-K-Ca-Mg, jeotermometrelerinden faydalanılmıştır.

5.3.1. Jeokimyasal jeotermometreler

Çalışma sahası içerisinden alınmış olan su örneklerinin akifer sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılan diğer bir yöntem de kimyasal jeotermometre uygulamalarıdır. Kimyasal jeotermometre eşitlikleri, kullandıkları kimyasal reaksiyon bakımından; mineralin sıcaklığa bağlı çözünürlüğünü temel alan Silis jeotermometreleri ve çözünmüş iyonların sıcaklığa bağlı iyon takas (ion exchange) reaksiyonlarına dayanan katyon jeotermometreleri olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar (Na-K, Na-Ca, Na-K-Ca, K-Mg, Li-Na vb.) (Doğdu, 2004).

5.3.1.1. Silis jeotermometresi

Silisin su içerisindeki çözünürlüğüne bağlı olan jeotermometrelere silis jeotermometreleri denilmektedir (Çizelge 5.6). Silisin çözünürlüğü basınç ve sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermektedir. Silis minerali su içinde kuvars, Kalsedon, kristobalit, opal ve amorf gibi çeşitli şekillerde bulunmaktadır. Bunlar su içinde birbirinden farklı kinetik özelliği göstermektedirler. Silis termometreleriyle bu farklılıktan yararlanarak hazne kayanın sıcaklığı tahmin edilebilmekte olup her silis formu için farklı hesaplamalar bulunmaktadır.

Yüksek sıcaklıklarda akifer kayaktan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanlar da hızlı silis çökelişi olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığı 180 °C' den düşük olan jeotermal sistemler de Kalsedon jeotermometresinin uygulanması, sıcaklığı 180 °C' den yüksek olan jeotermal sistemler de ise Kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygundur (D'Amore ve Arnorsson, 2000).

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, rezervuar sıcaklığının saptanmasında büyük ölçüde kullanılan jeotermometrelerdir. Bu jeotermometreler 150-225 °C sıcaklıklar arasında iyi sonuçlar vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanlarda hızlı silis çökelişi olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeptendir ki sıcaklığı 225 °C' nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sular da gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına ve ya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayandırılarak hazırlanmıştır. Silisyumun çözünürlüğü sıcaklıkla artış göstermektedir. Silisin bu özelliğine bağlı olarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır (Tarcan, 2002).

Çizelge 5.6. Silis (SiO₂) jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

No	Silis SiO ₂ Jeotermometreleri	Jeotermometre bağıntıları	Değınilen Belgeler
1	SiO ₂ (Amorf silis)	$t=731/ (4.52-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977
2	SiO ₂ (α Kristobalit)	$t=1000/ (4.78-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977
3	SiO ₂ (β Kristobalit)	$t=781/ (4.51-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977
4	SiO ₂ (Kalsedon)	$t=1032/ (4.69-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977
5	SiO ₂ (Kuars)	$t=1309/ (5.19-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977
6	SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1522/ (5.75-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977
7	SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1112/ (4.91-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Amorsson vd., 1983
8	SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1264/ (5.31-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Amorsson vd., 1983
9	SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1021/ (4.69-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Amorsson vd., 1983
10	SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1164/ (4.90-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Amorsson vd., 1983
11	SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1498/ (5.70-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Amorsson vd., 1983

5.3.1.2. Katyon jeotermometresi

Katyon jeotermometresi, bir çözeltideki iyonların başka iyonlarla yer değıştirmesi hususundan yola çıkılarak oluşturulmuştur (Çizelge 5.7). Katyon jeotermometrelerine; Na/K jeotermometresi, Magnezyum düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometresi ve Na-K-Ca jeotermometresi birer örnek oluştururlar. Her jeotermometre bağıntısı, kendi içerisinde bulunduğı hidrojeokimyasal durumu yansıtıyor olmasından dolayı aynı element kullanılmasına karşın formüller oluşturulmuştur. Mutlu 1999'un çalışmasına göre; katyon jeotermometreleri, belirli çözünmüş elementlerin oranlarını sabitleyen sıcaklık bağımlı değışik reaksiyonları baz almaktadır. Oluşum birlikteliğı gösteren alkali feldispatlar arasındaki Na ve K değışimi katyon jeotermometrelerinin esas alındığı oluşum için verilebilecek güzel bir örnektir.

Na/K jeotermometreleri, suda fazla miktarda Ca iyonu bulunuyorsa hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değıerler vermektedir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değıerleri nötr değıere yakın ve ya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, $\log (\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na})$ değıerinin 0.5'den az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri; nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350 oC sıcaklıktaki hazne kayadan gelen sularda iyi sonuçlar verdiğı belirlenmiştir (Fournier ve Truesdell (1973).

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\log(\text{Na}/\text{K}) + \beta \log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2,24} - 273,15$$

Yukarıda belirtilen bağıntıda Na, K, Ca, mol/l olarak alınır. β bir katsayıdır. Eğer $\log (V_{Ca}/Na)$ değeri (-) ise $\beta=1/3$, (+) ise $\beta=4/3$ olarak bağıntıda yer alır. Ayrıca $\beta=4/3$ olarak hesaplanan hazne kaya sıcaklığı 100 °C'den fazla ise $\beta=1/3$ alınarak hazne kaya sıcaklığı tekrar hesaplanabilir.

Çizelge 5.7. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

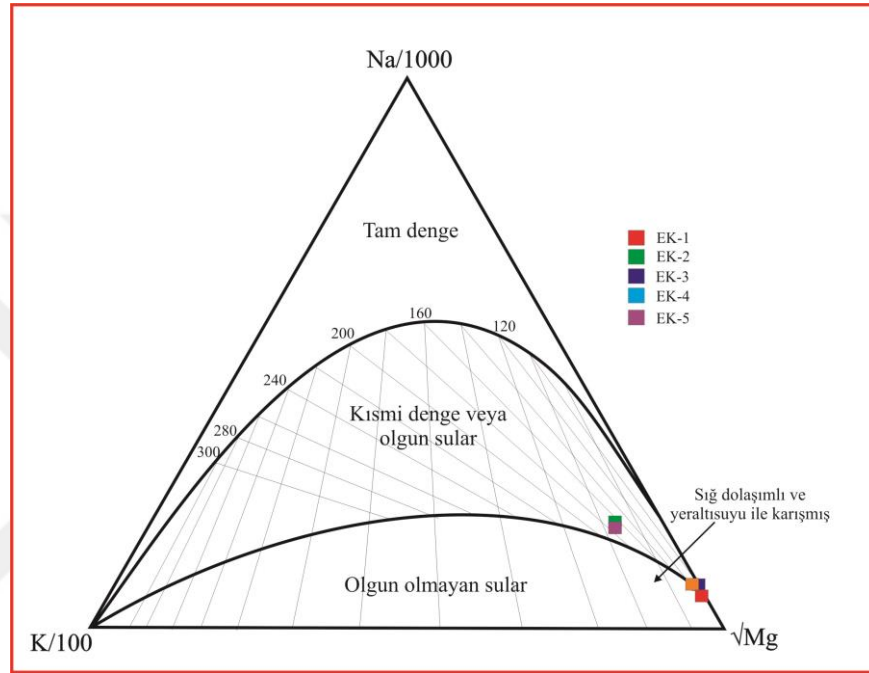
No	Na/K Jeotermometreleri	Jeotermometre bağıntıları	Değinen Belgeler
1	Na/K	$t=933/ (0.933+\log Na/K)-273.15$	Amorsson vd., 1983
2	Na/K	$t=1319/ (1.699+\log Na/K)-273.15$	Amorsson vd., 1983
3	Na/K	$t=777/ (0.70+\log Na/K)-273.15$	Amorsson vd., 1983
4	Na/K	$t=856/ (0.857+\log Na/K)-273.15$	Truesdell, 1976
5	Na/K	$t=1217/ (1.483+\log Na/K)-273.15$	Fournier, 1976b
6	Na/K	$t=1178/ (1.470+\log Na/K)-273.15$	Nieva ve Nieva, 1987
7	Na/K	$t=1390/ (1.1470+\log Na/K)-273.15$	Giggenbach vd., 1988
8	Na/K (mmol)	$t=908/ (0.692+\log SiO_2)-273.15$	Fournier, 1979a
9	K/Mg	$t=4410/ (13.95+\log SiO_2)-273.15$	Giggenbach vd., 1983
10	Li/Mg	$t=2200/ (5.470+\log SiO_2)-273.15$	Kharaka ve Mariner, 1989
11	Na/Li	$t=1590/ (0.779+\log SiO_2)-273.15$	Kharaka vd., 1982
12	Na/Li (mmol) Cl>0.3	$t=1000/ (0.389+\log Na/K)-273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
13	Na/Li (mmol) Cl<0.3	$t=1195/ (0.130+\log Na/K)-273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
14	Na/Ca	$t=1096 (3.08+\log Na/K)-273.15$	Tonani, 1980
15	K/Ca	$t=1930/ (3.861+\log Na/K)-273.15$	Tonani, 1980

5.3.2. Birleşik jeotermometreler

Giggenbach (1988) hazırladığı diyagramla suları içerdikleri Na, K ve Mg iyonlarının mg/l değerlerine göre sınıflamıştır. Bu sınıflamaya göre; I.Bölge de yer alan sular, su kayaç ilişkisi bakımından kısmen dengede, II. Bölge de yer alan sular, su-kayaç ilişkisi bakımından kimyasal dengelenmenin sağlanmamış olduğu sulardır.

Giggenbach (1988)'in hazırladığı bu diyagramı Fournier 1990 yılında yeniden düzenlemiş ve diyagram şu anki kullanılan şeklini almıştır. Bu yeni oluşan şekle göre diyagram üç bölgeden oluşmaktadır. I. bölge de, su kayaç ilişkisi açısından dengede sular; II. bölgede, kısmen dengelenmiş sular; III. bölgede ise ham sular olarak belirlenmiştir. Fournier II. ve III. bölgelerin ayrımını, oluşturduğu "Olgunluk Derecesi" (Maturity Index) kavramını göz önünde bulundurarak belirlemiştir. Olgunluk indeksi (MI) 2.0'ın altında bulunan sular ham sular sınıfında yer alırken (III.bölge), olgunluk

indeksi değeri 2.0'ın üzerinde bulunan sular kısmen ve ya tamamen olgunlaşmış, su-kaya ilişkisi dengede olan sular sınıfında yer almaktadırlar (I ve II. Bölge). Burada söz edilen olgunlaşma su-kayaç arasında bulunan kimyasal dengedir. Na-K-Mg jeotermometrelerinin doğru sonuçlar verebilmesi için örneklerin mg/l değerlerinin diyagramda dengelenmiş sular sınıfın da (I.bölge) yer alması gerekmektedir. Olgunluk indeksi (MI) = $[0.315 \log (K2/Mg)] - [\log (K/Na)]$ (Giggenbach, 1998)



Şekil 5.4. Dikili ve yakın çevresi jeotermal sularının Giggenbach (1988) diyagramında gösterilmesi

Na-K-Mg^{1/2} üçgen diyagramı solute termometre uygulamalarıyla rezervuar sıcaklığı uygun olan jeotermal sular arasında açık ayrım yapılabilmesi için Giggenbach (1988) tarafından bir yöntem olarak önerilmiştir. Dikili ve yakın çevresinden alınan su örneklerinin sonucunda EK-1 (Zeytindalı), EK-3 (Nebiler), EK-4 (Nebiler) olgun olmayan sular sınıfında; EK-2 (Çamur Ilıcısı) ve EK-5 (Agrobay Seracılık) kısmi denge ve ya olgun sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 5.4; Giggenbach, 1988).

5.3.3. Çalışma alanında termometrelerin jeokimyasal değerlendirmesi

Çalışma sahasında bulunan rezervuarın sıcaklığını öğrenebilmek için çalışma sahasının jeotermal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Jeokimyasal

termometrelerin sonuçları Çizelge 5.8’de gösterilmiştir. Zeytindalı (EK-1) 68-134 °C, Çamur Ilıcısı (EK-2) 85-235 °C, Nebiler (EK-3) 70-177 °C, Nebiler (EK-4) 73-178 °C, Agrobay Seracılık (EK-5) 71-228 °C olarak sıcaklıkları belirlenmiştir.

Çizelge 5.8. Dikili ve yakın çevresinin jeotermal sularının jeokimyasal termometre sonuçları

Jeotermometreler	ÖRNEKLER					Faydalanılan Kaynaklar
	EK-1	EK-2	EK-3	EK-4	EK-5	
Cristobalite Alpha	-	85	70	73	71	Fournier 1977
Chalcedony	-	108	92	96	94	Fournier 1977
Quartz	79	135	121	124	122	Fournier 1977
Quartz steam loss	83	131	119	121	120	Fournier 1977
K/Mg	-	-	48	-	-	Giggenbach vd.,1983
Mg/Li	-	139	73	75	134	Kharaka 1989
Na/Li	134	235	177	178	228	Kharaka 1989
Na/Li C1<10000 ppm	-	128	72	74	121	Fouillac 1981
Na/Li C1<10000 ppm	-	125	78	79	119	Fouillac 1981
Na/K	-	109	-	-	114	Fournier 1973
Na/K	68	117	-	-	123	Truesdell 1976
Na/K	125	173	114	124	178	Fournier-Potter
Na/K	115	159	105	114	163	Fournier 1979
Na-K-Ca	103	158	105	111	154	Fournier 1979
Na-K-Ca Mg corrected	-	105	-	-	136	Fournier 1979

5.4. İzotop Jeokimyasal Özellikleri

Bir atomun aynı sayıda protona ve buna karşın farklı sayıda nötrona sahip olan türevlerine İzotop denilmektedir. Atomların ağırlıklarının proton ve nötronlarının toplam sayısına bağlı olmasından dolayı, aynı atomun izotopları farklı atomik ağırlıklara (atomic mass unit; amu: atomik kütle birimi) sahip olması durumu ortaya çıkmıştır. Belirtilen bu atomik ağırlık farklılığı aynı atomun farklı izotoplarının fiziksel ve kimyasal süreçlerde farklı davranmasına sebep olmaktadır. Bu durumun sonucunda, örnek olarak bahsedecek olursak su molekülünü oluşturan oksijen ve hidrojen atomlarının farklı izotoplarının birbirlerine olan oranları değişmektedir. Anılan izotop oranlarındaki değişimin incelenmesi neticesinde herhangi bir suyun etkilendiği kimyasal ve fiziksel süreçler belirlenebileceği gibi farklı sular arasındaki olası karışımlar hakkında da yorumlamalar yapabilmek mümkündür. Jeotermal araştırmalarda etkin bir akifer izleme yöntemi olarak İzotoplar, sıcaklık ve su kayaç etkileşimine hassasiyetlerinden ötürü kullanılmaktadır. Döteryum ($\delta^2\text{H}$), Oksijen

($\delta^{18}\text{O}$) ve Trityum izotopları termal suların yaşı, kökeni, beslenme alanı, yüksekliği ve yer altında kalış sürelerinin tahmin etmesinde kullanılmaktadırlar.

Hidrojen atomunun 1 proton ve 2 nötronlu izotopu olan trityum, radyoaktif bir izotoptur ve yarılanma ömrü 12.43 yıldır. Trityum izotopu çekirdekten elektron (P ışını) salınması ile yarılanır, elektronların enerjisi düşüktür ve doğal düzeydeki trityum 81 derişimi insanlar için sağlık riski oluşturmaz. Duraylı izotoplardakinden farklı olarak trityum izotop miktarı bir derişim birimi olan TU (tritium unit: trityum birimi) ile ifade edilmektedir. 1 TU, $\delta^{18}\text{O}$ hidrojen atomundan birisinin H olduğunu belirtmektedir. Atmosferik nemdeki trityumun doğal ve antropojenik olmak üzere başlıca iki kaynağı bulunmaktadır. Doğal trityum izotopu oluşumu, atmosferin üst tabakasında (stratosfer) kozmik 90 kökenli nötronların 5 N izotopuna çarparak onu 5 C ve 8 H'a ayrıştırmasıyla olmaktadır.

Doğal yoldan atmosfere yayılan trityumun yağış suyundaki eşdeğeri 10 TU'dir. Atmosferdeki trityumun bir bölümü antropojenik kaynaklı olmasının yanı sıra özellikle 1950'li yıllarda başlayan ve 1963 yılında uluslararası antlaşmalarla birlikte yasaklanan atmosfere açık yerüstü termonükleer bomba denemeleri sonucunda oluştuğu bilinmektedir. Bu yolla trityum üretimi 1963 yılında 1000 TU düzeyine ulaşmıştır ve 1963 yılından günümüze kadar doğal yarılanma yoluyla azalmıştır. Günümüz atmosferik neminde trityum derişimi doğal fon (natural background) değerine (10 TU) yaklaşmıştır. Radyoaktif özellikte olan trityumun, sürekli bozunmaya uğraması sebebiyle belirli bir bölgede yer altı suyunu besleyen yağışın trityum içeriğinin bilinmesi durumunda, yeraltı suyunun ağırlıklı ortalama yaşının belirlenebilmesi ve/veya farklı yer altı sularının karışımına ilişkin öngörülerde bulunulması mümkün olmaktadır (Tezcan, 1992).

Çalışma sahasında bulunan sıcak suların duraylı izotop sonuçları çizelge 5.9' da verilmiştir.

Çizelge 5.9. İzotop analizlerinin sonuçları (Jeckelman, 1996)

Örnekleme Yeri	Oksijen-18 $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Döteryum $\delta^2\text{H}$ (‰)	Trityum 3H (TU)	Kaynaklar
Dikili Ilıcaları	-6.4	-43.5	0.7	Jeckelman 1996
Dikili Ilıcaları	-5.9	-41.5	1.1	Jeckelman 1996
Dikili Ilıcaları	-6.4	-45.0	8.7	Jeckelman 1996
Dikili Ilıcaları	-6.3	-45.9	0.9	Jeckelman 1996
Dikili Ilıcaları	-6.5	-47.1	-	Jeckelman 1996
Dikili Ilıcaları	-4.7	-39.0	1.1	Jeckelman 1996
Dikili Ilıcaları	-5.2	-31.7	-	Jeckelman 1996
Eşek Tepe Yakını	-5.9	-33.8	-	Jeckelman 1996
Sülüklü Çeşme	-5.4	-32.6	-	Jeckelman 1996
Eşek Tepe Yakını	-6.2	-46.8	-	Jeckelman 1996
Kaynarca	-5.9	-41.8	<1.1	Jeckelman 1996
Kaynarca	-6.6	-40.6	0.8	Jeckelman 1996
Kaynarca	-4.8	-38.2	0.8	Jeckelman 1996
Kaynarca, Kuyu	-6.2	-36.8	<1.3	Jeckelman 1996
Kaynarca	-5.6	-35.5	7.6	Jeckelman 1996
Kaynarca doğusu	-5.0	-30.7	9.9	Jeckelman 1996
Kaynarca batısı	-5.7	-34.7	-	Jeckelman 1996

Dikili ve yakın çevresinden alınan Döteryum ($\delta^2\text{H}$), Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) değerleri Jeckelman (1996) tarafından gerçekleştirilen izotop analizlerine dayanmaktadır. Bu izotop analizlerinde Döteryum ($\delta^2\text{H}$) -31.7 ve -47.1 değerler arasında, Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) -4.7 ve -6.5 değerleri arasında değişmektedir (Çizelge 5.7). Bu değerler Döteryum ($\delta^2\text{H}$), Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) diyagramına işlenmiştir. Bu diyagramda çalışma alanından atanan suraylı izotop değerleri kıtasal meteorik su çizgi değerleriyle uyuşmayıp bir sapma göstermektedir. Bu sapma hem Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) değerleriyle bir zenginleşme hem de Döteryum ($\delta^2\text{H}$) değerleri dikkate alındığında önemli derecede buharlaşmaya işaret etmektedir. Çalışma alanından elde edilen Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) değerlerinin kıtasal meteorik su çizgisinden sağa doğru sapması kayaç su etkileşimi ile ilgili olmaktadır. Buradaki sular meteorik sulardır.

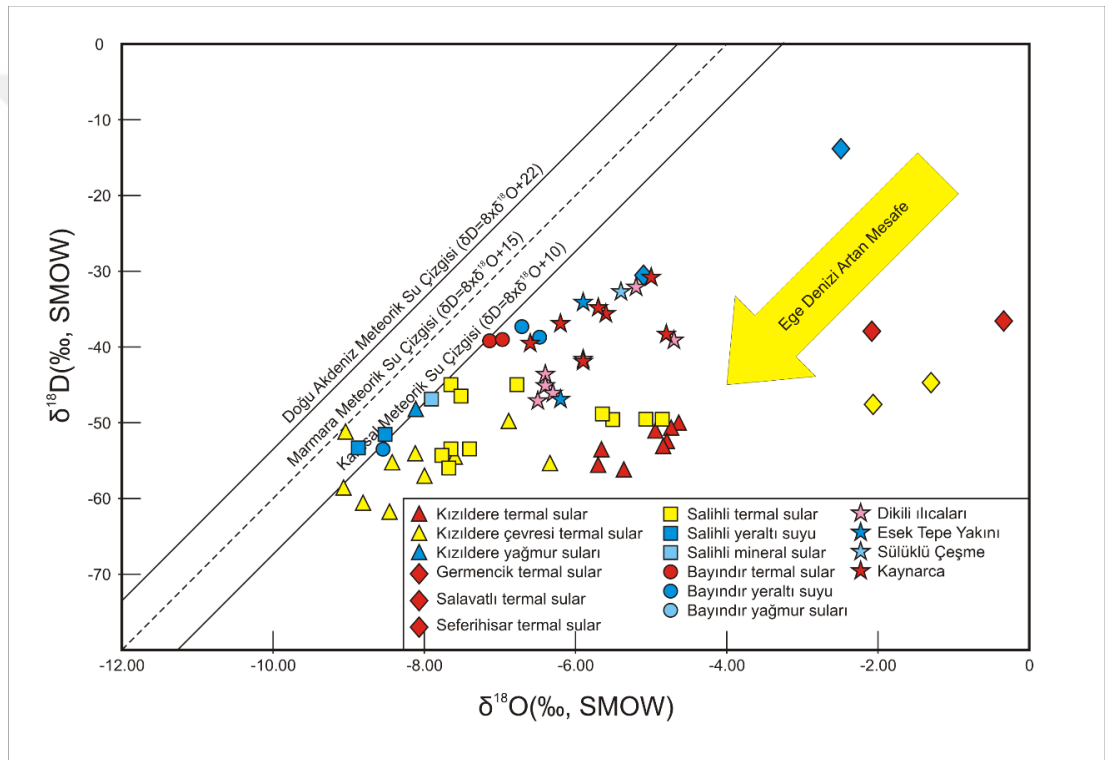
Çalışma alanında yine aynı şekilde bazı sıcak su örneklerinden Trityum değerleri ölçülmüştür. Bu değerler bazı sıcak su lokasyonlarında 9.9 TU değerine kadar ulaşmaktadır (Çizelge 5.9). Bu yüksek Trityum değerleri daha çok atmosferik ve antropojenik kökenlidir.

Yapılan bu çalışmada global meteorik su doğrusu, Marmara meteorik su doğrusu, Akdeniz meteorik su doğrusu kullanılmış olup bu doğrularının denklemleri ve referansları aşağıdaki gibidir:

Karasal Meteorik Su Doğrusu; (GMWL); $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 10 \text{ ‰ (SMOW)}$

Akdeniz Meteorik Su Doğrusu; $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 22 \text{ ‰ (SMOW)}$ (Gat & Carmi, 1970)

Marmara Meteorik Su Doğrusu; $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 15 \text{ (SMOW)}$.



Şekil 5.5. Dikili ve yakın çevresi jeotermal sularının $\delta^{18}O$ ve $\delta^{18}D$ diyagramında gösterilmesi (Özgür 1998, Jeckelman 1996)

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

6.1. Dikili Jeotermal Bölgesinin Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri

İnceleme alanı olan Dikili ve yakın çevresini gösteren jeolojik haritadan da görülebileceği gibi çalışma sahasının en yaşlı birimi Yuntdağ Volkaniti-I' dir. Bu kayalarda yaygın alterasyon gözlemlenmekte olup bu kayaların çatlaklarında silis, kalsit ve jips dolguları mevcuttur. Tektonik zonlarda ikincil gözeneklilik ve geçirgenliğin artmasından dolayı bu kayalar rezervuar özelliği kazanmışlardır.

Genellikle Dikili'nin güneydoğusundaki Demirtaş yöresinde yaygın olarak gözlemlenen Demirtaş Piroklastikleri, altere olmamış dasit, ignimbirit ve felsik proklastik kayalardan meydana gelmektedir. Bu kayalar düşük porozite özelliğine sahiptirler ve bu nedenle de örtü kaya özelliği gösterirler.

İnceleme alanı içerisinde çok fazla yaygınlık göstermeyen Yuntdağ Volkaniti-II formasyonu, tektonik hatlar boyunca düşük dereceli rezervuar oluşturur.

Genel olarak 6 ayrı volkanizma ürününden oluşan Yuntdağ Volkaniti-III formasyonunun, inceleme sahası içinde Dikili biotit–hornblend andezit birimi gözlemlenmektedir. Bu birim yüzeyde kalması sebebiyle çok fazla sıcak su içermez. Yuntdağ Volkaniti-III ısıtıcı kaya özelliğindedir. Sıcak kaynaklar ve altere zonların bu birimin etrafında olduğu belirlenmiştir.

İnceleme sahası içinde akifer özelliği taşıyan en önemli birim alüvyondur. Bölgedeki sulama sularının büyük bir kısmı alüvyondan temin edilmektedir.

Bu çalışma esnasında kullanılan Jeokimyasal termometrelerin sonuçlarına göre Zeytindalı 68-134 °C, Çamur Ilıcısı 85-235 °C, Nebiler 70-177 °C, Nebiler 73-178 °C, Agrobay Seracılık 71-228 °C sıcaklıkları belirlenmiştir (Çizelge 5.6).

Çalışma sahasının hidrojeokimyasal özelliklerini yorumlayabilmek için sahada bulunan farklı lokasyon noktalarından toplamda 5 su örneği alınmıştır. Sahada

belirlenen her lokasyonda in-situ ölçümleri gerçekleştirilmiş, su örnekleri bu ölçümlerden sonra alınmıştır. Ölçülen in-situ parametreleri şunlardır; sıcaklık, redoks potansiyeli (Eh), pH, elektriksel iletkenlik (EC) çözünmüş oksijen (O_2), ve alkalinite olmaktadır. Özet olarak 36.4 ile 68.6 °C arasında, pH 6.67 ile 7.28 arasında ve elektriksel iletkenlik 1466 ile 2730 $\mu S/cm$ arasında değişkenlik göstermektedir. Detaylı analiz sonuçları bölüm 5'te çizelge 5.2'de gösterilmiştir.

Katyonlar için alınan su örnekleri mümkün olan bakterilere karşı korumak amacıyla derişik HNO_3 koyularak pH değeri 2 ile 3 arasında olacak şekilde asitlenerek muhafaza edilmiştir. Su örnekleri laboratuarda 4 °C'de diğer analizleri yapabilmek maksadıyla bekletilir.

Aşağıdaki katyonlar ve elementler; Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Pb^{2+} , SiO_2 , Zn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} ve As^{3+} , ICP-OES ve ICP-MS analiz yöntemleri kullanılarak analizleri yapılmıştır (Çizelge 5.3). Buna karşılık anyonlar F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , Br^- , SO_4^{2-} , ve PO_4^{3-} iyonkromatografisi (IC) yöntemi ile analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.4). HCO_3^- ve CO_3^{2-} değerleri arazide gerçekleştirilen alkalinite ölçümleriyle hesaplamaları yapılmıştır. Hidrojeokimyasal analizlerin değerlendirilmesinde, Aquachem v.3.7 (Calmbach, 1999), Solveq ve spreadsheet kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal analizleri, çizelge 5.2' de gösterilmektedir.

İzmir Dikili ve yakın çevresinin alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçları AQUACHEM v.3.7 (Calmbach, L., 1999) ve Liquid analysis spreadsheet kullanılarak değerlendirmeleri yapılmıştır. Jeotermal sularını tanımlayabilmek ve grafiksel olarak gösterebilmek için de Piper ve üçgen diyagramları hazırlanmıştır (şekil 5.1). Piper diyagramına göre yapılan analiz sonuçları neticesinde çalışma sahası suları genel olarak $Na-SO_4-HCO_3$ tipi sular mevcuttur (Çizelge 5.1)

Dikili-Kaynarca jeotermal bölgesi içinde yer alan sular için yapılan izotop analiz değerleri sonucunda yöredeki sıcak suların atmosferik ve antropojenik kökenli olduğu görülmüş olup yoğun kayaç su etkileşimin olduğu da belirlenmiştir. Yine Analiz değerlendirmeleri sonucunda yoğun bir buharlaşma olduğu da belirlenmiştir. Aynı

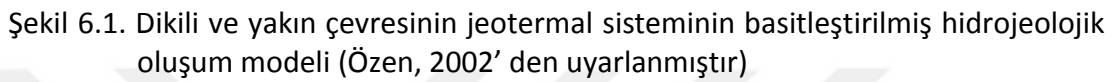
şekilde K/100-Na/1000- (Mg)0.5 diyagramında Dikili ve çevresindeki mevcut suların olgun olmayan sular ile kısmi dengelenmiş ve ya olgun sular arasında yer aldığı belirlenmiştir. Çalışma sahasındaki jeotermal sular için Ca-Na+K-Mg üçgen diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 5.3). Alınan su örneklerinin içerdikleri katyon miktarına (meq/l) göre Na+K>Ca>Mg şeklinde sıralanabilir.

Sıcak ve mineralli suların bir diğer sınıflaması da başlıca anyonlara göre (Cl, HCO₃, SO₄) yapılabilmektedir (Giggenbach, 1991). Çalışma alanındaki sıcak sular bu diyagrama göre SO₄ ve HCO₃ yönünden zengin iken Cl yönünden oldukça fakirdir (Şekil 5.2).

6.2. Dikili Jeotermal Bölgesinin Hidrojeolojik Modellemesi

Tektonik hareketlerle oluşan fay zonlarında magmanın yüzeye yaklaşması neticesinde ve ya aktivitesini kaybetmemiş magma ısısının kondüksiyon yoluyla yeraltı sularını ısıtması neticesinde jeotermal akışkanlar oluşmaktadır. Bu akışkanların gaz (CO₂) ve buhar olarak yüzeye çıkmaları neticesinde de jeotermal kaynakları meydana getirmektedirler (Yilmazer, 1984). Çalışma sahasın da MTA-JICA (1987) tarafında araştırmalar yapılmıştır ve bu araştırmaların sonucunda, inceleme alanının kuzeyinde kalan Kozak Plütonu Pre-Tersiyer yaşlı temel kayaları içerisine sokulum yapmaktadır. Yuntdağ Volkaniti-I kuzeybatıda komşu kozak masifini kesmektedir. Dikili'yi içine alan depresyon zonunun bir sonucu oluşan düzlük içinde Yuntdağ Volkaniti-II ve Yuntdağ Volkaniti-III' ün dom yapılı volkanizması meydana gelmiştir.

Jeotermal aktivite bu genç volkanizmanın çevresindeki sıcak kaynaklarda gözlemlenmiş olup çalışma sahasında bulunan jeotermal alanlar, Kozak Bölgesi'nden yer altına süzülen meteorik suların derinliklere inerek orada ısınıp, kırık ve faylanma yüzeyleri boyunca tekrar yeryüzüne ulaşması ile oluşan devirli bir sistem şeklindedir. Bahsi geçen sıcak sular bu yükselimleri sırasında belirli oranlarda yeraltında bulunan soğuk sular ile karışabilmektedirler.



42

sonra atık haline gelen jeotermal sular da mutlaka reenjeksiyon kuyularından hazneye geri basılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. ve Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in geothermal investigations. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. Pergamon Press. The United States of America, 567-577.
- Arnorsson, S., 1995. Scaling problems and treatment of separated water before injection. In:WGC-95, book of course on injection In:WGC-95, book of course on injection technology, International Geothermal Association, Florence, 65-77.
- Akyürek, B. ve Soysal, Y. 1978. Kırkağaç-Soma (Manisa)-Savaştepe-Korucu-Ayvalık (Balıkesir) - Bergama (İzmir) Civarının Jeolojisi : MTA Gen.Md., Der. Rap. No : 6432, Ankara, 65 S. (yayımlanmamış).
- Atabek, S, 1940. Sarayköy ve Dikili Civarındaki Sıcak Suların Tetkikatı : MTA Gen.Md., Der.Rap. No: 1182, Ankara, 4 S. (yayımlanmamış).
- Bistritschan, K. 1957. İzmir Vilayeti'nin Bergama, Dikili ve Menemen Kazaları dahilinde bulunan sıcak su ve maden suyu kaynakları hakkında rapor: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 2620, Ankara, 27 S. (yayımlanmamış).
- Calmbach, L., 1999, aquachem Computer Code-Version 3.7: Aqueous geochemical analyses, plotting and modelling, Waterloo Hydrogeologic, Waterloo, Ontario, Canada, 184 S.
- Craig, H., 1963, —The Isotopic Geochemistry Of Water And Carbon Ingeothermal Areas In: Tongiorgi, E. (ed), *Nuclear Geology in Geothermal Areas*, spoletto, 1963. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologia Nucleare, Pisa, S. 17-53.
- Çetiner, L., Pekatan, R., Çiçekli, K. 2000. Ege Bölgesinde Yer alan Önemli Jeotermal Sahalara Düzenlenen Teknik Gezi Rehberi, MTA, İzmir.
- D'Amore, F. ve Arnórsson, S., 2000. Geothermometry. S. Arnórsson, (Ed.). *Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use (152-199)*. International Atomic Energy Agency, Vienna, 351.
- Demirörer, M. ve Öngür, 1972. İzmir Dikili – Bergama Jeotermal Sahası, Bergama Çevresi Rezistivite Etüdü : MTA Gen.Md., Der. Rap. No: 5478, Ankara, 17 S. (yayımlanmamış).
- Doğdu, N., 2004. Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Denizli Bölgesi Jeotermal Enerji Raporu, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri 2005.
- Dönmez, M., Türkecan, A., Akçay, A.E., Hakyemez, Y. ve Sevin, D. 1998. İzmir ve Kuzeyinin Jeolojisi, Tersiyer Volkanizmasının Petrografik ve Kimyasal Özellikleri : MTA Gen. Md., Der. Rap. No: 10181, Ankara, 123 S. (yayımlanmamış).

- Ekingen, A. 1970. Jeotermik enerji araştırmaları, Dikili – Bergama gravite etüdü: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 10181, Ankara 123, S. (yayımlanmamış).
- Ercan, T., Türkecan, A., Günay, E., Çevikbař, A., Ateř, M., Can, B. ve Erkan M. 1984. Dikili – Çandarlı – Bergama (İzmir) ve Ayvalık – Edremit – Korucu (Balıkesir) jeolojisi ve magmatik kayaların petrolojisi: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 7600, Ankara, 70 S. (yayımlanmamış).
- Esina D., .2014. Dikili-Kaynarca (İzmir) Civarı Jeotermal Sahasının Kuyu Verileri İle Rezervuar Potansiyelinin Araştırılması, Ankara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi 77, S.
- Fouillac, C., Michard, G., 1981. Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. *Geothermics*, V.10, S. 55-70.
- Fournier, R. O., Tuesdall, A. 1973. An Emprical Na-K-Ca Geothermometer for Naturel Waters. *Geochim. et Geomochim Acta*, V 37.
- Fournier, R.O., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems, *Geothermics* S. 5, 41-50.
- Fournier, R.O. (1979a). A Revised Equation for the Na-K Geothermometer. *Geothermal Res. Council Trans.* S, 3, 221-224
- Fournier, R.O., (1979b), Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction conditions in hot-spring systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* S. 5, 1-16.
- Fournier, R. O and Potter R.W. (1979). Magnesium Correction to the Na-K-Ca Chemical Geothermometer. *Geochim et Cosmochim Acta.* S. 37, 1255-1275.
- Fournier, R.O., 1990. The interpretation of Na-K-Mg relaiton in geothermal waters *Geoth. Res. Counc. Trans.* S. 14, 1421-1425.
- Fridleifsson, Invgar B; Bertani, Ruggero; Huenges, Ernst; Lund, John W; Rignarsson Arni; Rybach Ladislaus., 2008. The Possible Role and Contribution of Geothermal Energy to The Mitigaiton of Climate Change. Huebeck, Germany, S. 59-80, retrieved 2009-04-06.
- Giggenbach, W.F. Gonfiantini, R., Jangi, B.L., Truesdell, A.H., 1983. Isotopic and Chemical Composition of Parbati Walley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiano *Geothermics.* S. 5, 51-62
- Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochim Cosmochim Acta*, S. 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. In: D'Amore, F., coordinator), *Application of geochemistry in geothermal reservoir development.* UNITAR/UNDP publications, Rome. S. 119- 143.

- Giggenbach, W.F. 1998. Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. S. 52, 2749-2765.
- Gislason, A. ve Assthorsson, O.S. , 1996. Food of capelin in the subarctic waters of north of Iceland.
- Jeckelmann, C. 1998. Genese Lokaler Thermal Wasser Vorkommen in der Region. Bergama/W-Türkei, Doktor der Naturwissenschaften der Eridgenössischen Technischen Hochschule, Zurich. (Doktora Tezi, Almanca, İngilizce Özetli).
- Khraka, Y.K., Lico, M.S., Law, L. M. 1982. Chemical thermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California Basins. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* S. 66,558
- Khraka, Y.K., Mariner, R.H. 1989. Chemical Geothermometers and their Application to formation waters from sedimentary basins. In: N. D. Naser & T. H. McCulloh (Eds.), *Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories*, S. 99-117. Springer Verlag.
- Manav, E. 2005. İzmir-Dikili-Kaynarca, T-1 jeotermal sondajının kuyu bitirme raporu: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 10846., (yayımlanmamış).
- M.T.A.-J.I.C.A., (1986), Pre-Feasibility Study on the Dikili Bergama Geothermal Development Project in the Republic of Turkey. Progress Report I, MTA, Ankara. S. 109.
- MTA-JICA, (1987), Pre-Feasibility Study on the Dikili Bergama Geothermal Development Project in the Republic of Turkey. Progress Report II, Final Report, M.T.A., Ankara.
- Mutlu, H. (1999). Kimyasal Modellemedeki Temel Prensipler. JENARUM (Jeotermal Enerji Araştırma ve uygulama Merkezi Yaz Okulu Ders Notları), İzmir, S. 38-54.
- Nicholson, K., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques*. Springer-Verlag, Berlin, S. 263.
- Nieva, D., Nieva, R., 1987, Development in Geothermal Energy in Mexico, par 12-A Composition Geothermometer for Prospection of Geothermal Resources. *Heat Recovery Systems and CHP*, S. 7, 243-258.
- Nutı, S., 1991 — Isotope Techniques in Geothermal Waters, In: F.D'Amore (Coordinator), *Application of geochemistry in Geothermal Reservoir Development*. Unitar, United Nations Development Program, Series of Technical Guides on The Use of Geothermal Energy, Rome, S. 408.
- Özçiçek, B. 1970. Jeotermik Enerji Araştırmaları, Dikili-Bergama Rezistivite Etütleri Raporu : MTA Gen. Md., Der. Rap. No: 4314, Ankara, 11 S. (yayımlanmamış).
- Özen, T. Ve Tarcan, 2002. Dikili Sıcak ve Soğuk Kaynaklarının Hidrojeolojik İncelemesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, S. 111.

- Özen, T. ve Tarcan, G. 2005. Dikili-Kaynarca (İzmir) Jeotermal Sistemlerinin Hidrojeolojik ve Jeokimyasal Değerlendirilmesi: DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 7 S. 87-100.
- Özgür, N., 1998, Aktive und fossile geothermal systemteme in den riftzonen des Menderes-Massives, WAnatolien, Türkei, Habilitationsschrift, Freie Universität Berlin, 171 s.
- Saemundsson, K., Axelsson G, and Steingrímsson B., 2009. Geothermal systems global perspective; short course on surface exploration for Geothermal resources, El-Salvador, United Nations University Geothermal Training Programme.
- Salomon-Calvi, W. 1940 Dikili'deki 92 °C 'lik Sıcak Sıvılarından İstifade : MTA Gen. Md., Der. Rap. No:1155, Ankara, 5 S. (yayımlanmamış).
- Tarcan, G., 2002. Jeotermal Su Kimyası. Jeotermal Enerji ve Araştırma ve Uygulama Merkezi (Jenarum) Yaz Okulu ders notları, İzmir, 230-272
- Tezcan, L., 1992. Karst Akifer sistemlerinin trityum izotopu yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121 S.
- Truesdell, A. H. 1976. Summary of section III geochemical techniques in geothermal exploration. In: Proceedings. II: United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources. San Francisco, 1975, Vol.1, Washington D. C., U. S. Government Printing Office, iii-ixxxix.
- Tonanni, F. 1980. Some remarks of the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp., Strasbourg, S. 428-443.
- Uzel, B., Sözbilir, H., ve Özkaymak, Ç., 2012. Neotectonic Evolution of an Actively Growing Superimposed Basin in Western Anatolia: The Inner Bay of İzmir, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), 21, 2012, S. 439 –471.
- Yilmazer, S., Can, A.R. 1978. Dikili-Bergama Gradyan Sondajları Değerlendirme Raporu. Rapor MTA Gen Md., Der. Rap. No:6645, Ankara 41 S. (yayımlanmamış).
- Yilmazer, S. 1984. Ege Bölgesindeki Bazı Sıcak Su Kaynaklarının Hidrokimyasal ve Hidrojeolojik İncelemeleri. Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Yilmazer, S. 1984. Dikili- Bergama (İzmir) Geothermal Field of Turkey, Seminar On Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, Florence (Italy).

Yilmazer, S., Özgüler, M.E 1986. Geological and Geophysical Studies in the Dikili Bergama (Izmir) Geothermal Field of Turkey. MTA, Ankara.

Yilmazer, S., Gevrek, A.I. (1990). Dikili (Izmir) Jeotermal Sistemi ve Yöre Sularinin Isitmada Kullanilmasi, Türkiye 5. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebligleri, Cilt no:2, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Esra KOYUNCU
Doğum Yeri ve Yılı : Çankaya/21.02.1988
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : eesrakoyuncu@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Yeşilöz Lisesi
Ön Lisans : SDÜ Teknik Bilimler Yüksekokulu Harita Kadastro
Lisans : SDÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği

Mesleki Deneyim

Protar Yapı AŞ. : Jeoloji Mühendisi
TÜMAŞ : Ankara Başkentray Projesi Kontrol Mühendisi