

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

**ŞİFNE (İZMİR) ve YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL SULARININ
HİDROJEOLÖJİK, HİDROJEOKİMYASAL ve İZOTOP JEOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİ**

Saliha DEĞİRMENCİ

**Danışman
Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLÖJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**

©2017[Saliha DEĞİRMENCİ]

TEZ ONAYI

Saliha DEĞİRMENCİ tarafından hazırlanan “**Şifne (İzmir) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman **Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Erdal KOŞUN**
Akdeniz Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Prof. Dr. Yasin TUNCER**

TAAHHÜTNAME

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

Saliha DEĞİRMENCİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Jeotermal Akışkanların Kökeni	3
1.1.1. Jeotermal Sistemlerin Jeolojik Konumları.....	4
1.2. Araştırmanın Amacı	6
1.3. Çalışma Alanının Jeotektonik Konumu	6
2. KAYNAK BİLGİSİ	13
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ	17
3.1. Şifne (İzmir) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi	17
4. MATERYAL ve METOD.....	21
4.1. Metod	21
4.1.1. Jeolojik Çalışma.....	21
4.1.2. Örnekleme ve İn-Situ Analizleri.....	21
4.1.3. Hidrojeokimyasal Analizler.....	23
4.1.4. Jeotermometreler	24
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	26
5.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	26
5.2. Hidrojeokimya.....	27
5.2.1. Hidrojeokimyasal Analizler.....	28
5.2.2. Doygunluk İndeksi.....	32
5.3. Jeokimyasal Jeotermometre Uygulamaları	33
5.3.1. Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları	34
5.3.1.1. Silis Jeotermometreleri.....	34
5.3.1.2. Katyon Jeotermometreleri.....	35
5.3.2. Birleşik Jeotermometre Uygulamaları	37
5.3.3. Çalışma Alanındaki Termometrelerin Jeokimyasal Değerlendirmesi	39
5.4. İzotop Jeokimyasal Özellikler	39
6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	42
6.1. Şifne Jeotermal Alanında Olası Isı Kaynağı, Jeotermal Sistem ve Tektonik Arasındaki İlişki	42
6.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri	42
KAYNAKLAR	47
ÖZ GEÇMİŞ	56

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞİFNE (İZMİR) ve YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOLOJİK, HİDROJEOKİMYASAL ve İZOTOP JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Saliha DEĞİRMENCİ

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

Bu çalışma Şifne (İzmir) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri inceleyen tez çalışmasıdır. Çalışma alanı İzmir'in yaklaşık 70 km batısında yer alır. Bölgede gözlenmiş olan en yaşlı kayaç alt Triyas yaşlı olduğu düşünülen marn ve kireçtaşı ardalanmasıdır. Bunun üzerinde triyas yaşında olduğu tahmin edilen beyaz, bej renkli kireçtaşı yer alır. Daha üstte arazide ilgileri gözlenmemekle birlikte Jura yaşındaki gri, mavi renkli kireçtaşı olasılıkla uyumsuz olarak bulunur. Tersiyer (Neojen) yaşlı oluşuklar ise bölgede geniş bir alan kapsar. Bu birim bölgedeki iki ayrı fasiyes şeklinde gözlenir. Bölgede etkiyen kuvvetler etkilerini, yaklaşık N-S ve E-W doğrultulu faylarla göstermektedirler. Bu N-S doğrultulu faylar arasında ufak bir graben ve horst gelişmiştir. Bölgede kıvrım saptanamamış, genel eğimi doğuya doğru olduğu gözlenebilmiştir. Neojen ise genel olarak yataydır. Ilıca ve Şifne kapıcısı kaynaklarını besleyen sıcak suyun rezervuar kayacı, jura ve triyas yaşlarında olduğu düşünülen kireçtaşlarıdır. Alandaki önemli jeotermal çıkışlar; Ilıca, Şifne, Yıldızburnu, V Kampıdır.

Çalışma alanında beş farklı sıcak su lokasyonundan su örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde katyon ve anyon analizleri yapılmıştır. İnceleme alanında sıcak sular genel olarak Na—Cl-Mg tipi sular olarak adlandırılabilir. Şifne ve yakın çevresi jeotermal suları $Na+K > Mg > K$ baskın katyonlar ve $HCO_3 > SO_4 > Cl$ baskın anyonlar olarak sınıflandırılabilir. İnceleme alanındaki jeotermal sular Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramına göre magma kaynağı tarafından ısıtılan sular sınıfına girmektedir. Sülfat içeriğinin yüksek olduğu da gözlenmektedir. Çalışma alanındaki sularda yapılan Na-K-Mg diyagramı sıcak suların belli bir kısmının kısmi dengelenmiş sular sınıfına girdiği bir kısmının ise ham sular sınıfına girdikleri saptanmıştır. Tüm jeotermometre sonuçları ve mevcut kuyuların rezervuar sıcaklıkları birlikte değerlendirildiğinde jeotermal suların hazne kaya sıcaklıkları 40-60 °C arasında olarak gözlenmektedir. Termal suların δ^2H değerleri -61.9 ile -51.8 arasında değişirken, $\delta^{18}O$ değerleri ise -9.23 ile -5.84 arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanındaki termal suların

trityum içerikleri 0.7 ile 3.3 TU arasındadır. Bu durumda araştırılan sıcak sularda soğuk su karışım oranının oldukça az veya hemen hemen hiç olmadığı söz konusu olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Menderes Masifi, Jeotermal sular, Şifne, Hidrojeokimya, Jeotermal Modelleme

2017, 56 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HYDROGEOLOGICAL, HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPE GEOCHEMICAL FEATURES OF THE GEOTHERMAL WATERS IN ŞİFNE(İZMİR) AND ENVIRONS

Saliha DEĞİRMENÇİ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geology Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

This study is a thesis study which is examining the the hydrogeological, hydrogeochemical and isotopic geochemical characteristics of the geothermal waters of Sifne (İzmir) and its close enviroment. The study area is located approximately 70 km west of Izmir. The oldest rock observed in this region is Sub-Trias alternation of marl and limestone. There is a white, beige colored limestone on it which is estimated to be Trias age. Eventhough not observed interest in the high level of the region, there is a gray, blue colored limestone of the Jurassic age is probably incompatible. Tertiary (Neogene) aged formations cover a large area in the region. This unit is observed as two separate facies in the region. The influences of the strength affecting in the region are shown by the N-S and E-W oriented faults. A small graben and horst occured between these N-S oriented faults. No folds could detected in the region, and the general slope could be observed towards the east. Neogene is generally horizontal. Reservoir rock's hot water, which is supplying to the Ilica and Sifne mineral spring resources, are limestones to estimated Jura and Trias age. Important geothermal exits in the area; Ilica, Şifne, Yıldızburnu, V Camp.

The samples of thermal waters were colleceted from five different locations. In these samples, cations and anions were analysed. Generally, the geothermal waters in the investigation area are classified as Na-Cl-Mg type waters. The geothermal waters of Şifne and environs are identified to be Na+K>Mg>K dominant cations and Cl >HCO₃>SO₄dominant anions. According to the diagram of Na-K-Mg, the thermal waters might be heated by a magmatic source due to high contents of sulfates in thermal waters Geochemical thermometer analyses were applied to the collected sample in the region. According to the diagram of Na-K-Mg, a certainly part of the thermal waters can be considered as equilibrated thermal waters during some waters are of raw waters. According to the results of geochemical thermometers, the reservoir temperatures of thermal waters range from 40 to 60 °C. the $\delta^2\text{H}$ values of thermal waters are between -61.9 to -51.8, while $\delta^{18}\text{O}$ values range from -9.23 to -

5.84. The tritium contents of thermal waters are between 0.7 to 3.3 TU. These results show that there is no mixing with cold groundwaters.

Keywords: Menderes massif, geothermal waters Şifne, hydrogeochemistry, geothermal modelling

2017, 56 pages

TEŞEKKÜR

Sunulan bu yüksek lisans tez çalışması Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 4492-YL1-15 nolu araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Sayın Prof. Dr. Nevzat Özgür’e bu tezin tamamlanmasında göstermiş olduğu destek, yapıcı eleştirileri ve özveriden dolayı teşekkür ederim. Tezin sonuçlanmasında ve başarı elde edilmesinde çabası çok büyüktür. Kendisine Süleyman Demirel Üniversitesi’nde bulunduğum süre zarfında şahsım adına başarılı bir öğrencilik hayatı geçirmemi sağladığı için çok şey borçluyum.

Şifne (İzmir) ve yakın çevresinde yapılan arazi çalışmamda su örnek alımlarında bizlere kaynaklarını açan Şifne Termal Hotel çalışanlarına yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca alınan örneklerimizin laboratuvar çalışmasını yaparak bizlere sonuçları ileten Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü’ne teşekkür ederim. Alınan su örneklerinde in-situ ölçümlerinin gerçekleştirilmesine kaynak sağlayan Jeoser Yerbilimleri Servisi Ltd. Şti.ne teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman destekçim olan aileme teşekkür ederim.

Saliha DEĞİRMENCİ
ISPARTA, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	3
Şekil 1.2. Dünyanın değişik bölgelerindeki jeotermal suların beklenen kompozisyonları: Yerel meteorik su ile juvenil su arasındaki farklı karışım oranları (Nutti, 1991)	4
Şekil 1.3. Ana tektonik hatlar ve aktif gelişen havzaları gösteren Batı Anadolu kıyı kesiminin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Uzel vd., 2012). Su örnekleri lokasyonları	7
Şekil 1.4. Doğu Akdeniz'in güncel tektoniğini kontrol eden ana yapılar ve çalışma alanının konumunu gösterir harita (Okay vd., 2000'den değiştirilerek alınmıştır)	9
Şekil 1.5. Ana tektoniği ve Batı Anadolu jeolojik birimleri (Yılmaz vd., 2000).....	11
Şekil 3.1. Çeşme- Şifne jeotermal alanların jeolojik haritası (Koçak, 1974).....	18
Şekil 3.2. Çeşme- ılıca -1 kuyusu litoloji ve kuyu donanımı (Ölmez, 1975).....	20
Şekil 4.1. Çalışma alanında gerçekleştirilen in-situ ölçümleri (Şifne termal Otel). 22	
Şekil 4.2. Çalışma alanında Çeşme ılıcalar'da örnek alımı ve in-situ ölçümleri.	23
Şekil 5.1. İnceleme alanının basitleştirilmiş jeoloji haritası ve sıcak su kaynaklarının yeri (Filiz ve Tarcan, 1993).....	27
Şekil 5.2. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi	30
Şekil 5.3. Şifne ve yakın çevresi jeotermal sularının Cl-SO ₄ -HCO ₃ üçgen diyagramı	31
Şekil 5.4. İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg diyagramındaki görünümü ve su-kayaç denge sıcaklıkları (Giggenbach, 1988)	38
Şekil 5.5. Çalışma alanındaki bazı su noktalarının $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramındaki yeri (Tarcan, 1993)	40
Şekil 6.1. Şifne jeotermal sisteminin basitleştirilmiş hidrojeolojik oluşum modeli	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 5.1. Çalışma alanındaki örneklerin su tipleri	28
Çizelge 5.2. Şifne ve yakın çevresi termal suların in-situ parametreleri	29
Çizelge 5.3. Şifne ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları.....	29
Çizelge 5.4. Şifne ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları.....	29
Çizelge 5.5. Suların sodyum adsorpsiyon oranı'na (SAR) göre sınıflaması.....	32
Çizelge 5.6. Çalışma alanındaki örneklerde rastlanabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksleri.....	33
Çizelge 5.7. Silis (SiO ₂) jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)...	35
Çizelge 5.8. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)	37
Çizelge 5.9. Şifne ve Yakın ÇevresiTermal Suların Çözünen jeotermometresine göre sonuçları.....	38
Çizelge 5.10. Seferihisar ve yakın çevresi bazı su noktalarının Oksijen-18, Döteryum ve Tirityum izotop bleşimleri (Filiz veTarcan, 1993).....	40

1. GİRİŞ

Günümüzde dünya çapında artan enerji ihtiyacı gelecekte bir enerji kriziyle karşılaşmamak için özellikle gelişmiş ülkeler yeni enerji kaynaklarına yönelmektedir. Bu ülkeler enerji konusunda önemli yer tutan kömür, petrol ve doğalgazın yanı sıra gerek yenilenebilir gerekse çevre bilinci olan alternatif enerji kaynakları olan güneş, hidrojen, jeotermal ve biyokütleyle ilgi göstermektedirler.

Jeotermal enerji, sürdürülebilirliği nedeniyle yenilebilir enerji türüdür ve yerküre içinde bulunan termal sıcaklıkla doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda, termal enerji maddenin sıcaklığını belirleyen enerjidir. Yerkürenin jeotermal enerjisi gezegenimiz olan yerkürenin orijinal formasyonundan (%20) ve minerallerin radyoaktif bozunmasından kaynaklanmaktadır. (%80) (Turcotte ve Schubert, 2002). Günümüzde bu kavram yerküre ısısının belirli kısımları için kullanılmaktadır. Bu ısının kullanımı çeşitli sondaj yöntemleriyle ısıya ulaşılarak belirli amaçlar için kullanılır. Jeotermal kaynakları dünyanın birçok noktasında bulunur. Ancak, işletilebilir seviyede bulunanlar jeotermal gradyanı normal veya anormal derecede yüksek gradyanlara sahip yerlerdedir.

Jeotermal enerji, yer kabuğu içinde depolanmış olan ısı enerjisidir. Bu ısı enerjisi yeraltındaki kayaç formasyonlarında ve bu formasyonların çatlaklarında ve gözeneklerinde bulunan doğal akışkanlarda bulunur. Jeotermal sistemlerin farklı tiplerinin her biri belirli özelliklere sahiptir ve bunlar aynı zamanda bu özelliklerinin kimyasal bileşimlerinde ve çeşitli kimyasal uygulamalarında belirli bir şekilde ortaya koymaktadır. Ancak, hepsi birkaç kilometre derinlikte, ortak bir ısı kaynağı olan ve konveksiyon içine yer kabuğunun üst bölümlerinde bulunan, mevcut su birikimleridir (Nicholson, 1993).

Yağmur sularının ve yer altı sularının yer kabuğunda yer alan çatlaklardan sızarak magma tabakasına kadar ulaşması ile jeotermal kaynaklar oluşmaktadır. Magma tabakası ulaşan yağmur suları burada kaynayarak buharlaşır. Meydana gelen buhar yüksek basıncın etkisiyle yeryüzüne doğru hareketlenmeye başlar. Yeryüzüne çıkan

sıcak sularda jeotermal enerji kaynaklarını oluşturmaktadır. Eğer kabuğunda doğal su dolaşımı sağlayacak yeterli kırık yoksa ve ısı birikimi tespit edilirse, oluşturulacak yapay kırıklardan dolaştırılacak akışkanlardan enerji elde edilmesi mümkündür.

Yenilebilir enerji olarak tanımlanmasına rağmen jeotermal, birçok tanınmış jeotermal sahanın aşırı işletilmesi sonucu akışkan ve ısı üretimiyle belli bir derece tükenme (sıcaklık ve özellikle basınçta) sürecine girdiği gözlenmiştir. Ör-neğin; İyi tanınan Wairakei sahası geçmiş elli yıldır az düşümle ortalama 140 MWe üretim yapmaktaydı ve çalışmalar adı geçen sahanın bir elli yıl daha sür-dürülebilir olduğunu göstermektedir.

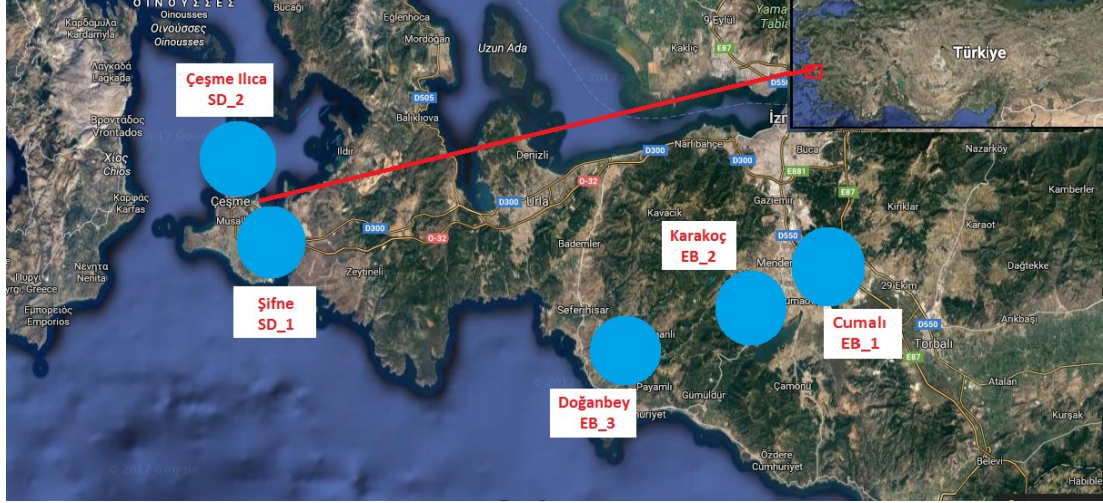
Yeryüzüne çıkan jeotermal sulardan İtalya, Amerika, Japonya, Filipinler ve Meksika borikasit, amonyum bikarbonat, ağır su (döteryum oksit), amonyum sülfat, potasyum klorür gibi kimyasal maddeler elde etmektedir. Jeotermal suların kullanım alanları çeşitlilik göstermektedir; (Rinehart, 1980) Elektrik enerjisi üretimi, balık ve kereste kurutma, tuz elde edilmesi, şeker sanayi, damıtma prosesleri, sera, ahır, kümes ısıtılması, mantar yetiştirme, toprak ısıtma, yüzme havuzları, turizm ve sağlık amaçlı banyolarda kullanımı söz konusudur.

Jeotermal suların kimyasal özelliklerinden dolayı koroziif maddelerin, kalıntı bırakan veya yoğunlaşmayan bileşenlerin doğrudan sisteme gönderilmesi çeşitli problemlere neden olmaktadır. Bu nedenle kullanılan suların kimyasal özelliklerine uygun inhibitörlerin seçimi ve uygun ekipman, sistem dizaynı ile jeotermal suların kabuklaşma ve korozyon sorunu çözülerek verimli olarak kullanmak mümkündür.

Dünya çapında jeotermal enerji yaklaşık olarak 10.715 MW gücünde, 24 ülkede kullanılmaktadır. Bununla birlikte; 28 GW doğrudan jeotermal ısıtma kapasitesi olan bir sistem bölgesel ısıtma, mekân ısıtması, kaplıcalar, endüstriyel prosesler, arıtma ve tarımsal uygulamalar için kurulmaktadır (Fridleifsson vd., 2008).

Türkiye'nin jeotermal enerji durumu; Türkiye'nin genç volkanik etkinliklerin sık rastlandığı Akdeniz Volkan kuşağı üzerinde olmasına ilaveten, Alp zincirinin meydana gelişi sırasında şiddetli kırılma tekniğine maruz kalması zengin bir

jeotermal potansiyel varlığına işaret etmektedir. Özellikle Denizli-Kızıldere, İzmir-seferihisar, Aydın-Germencik, Çanakkale-Tuzla, Afyon-Gecek, Manisa-Balıkesir, Kızılcahaman ve Kozaklı dolaylarında jeotermal enerji kaynakları tespit edilmiş olup, Kızıldere, Seferihisar ve Gecek’te de bununla ilgili sondajlar yapılmıştır.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.1. Jeotermal Akışkanların Kökeni

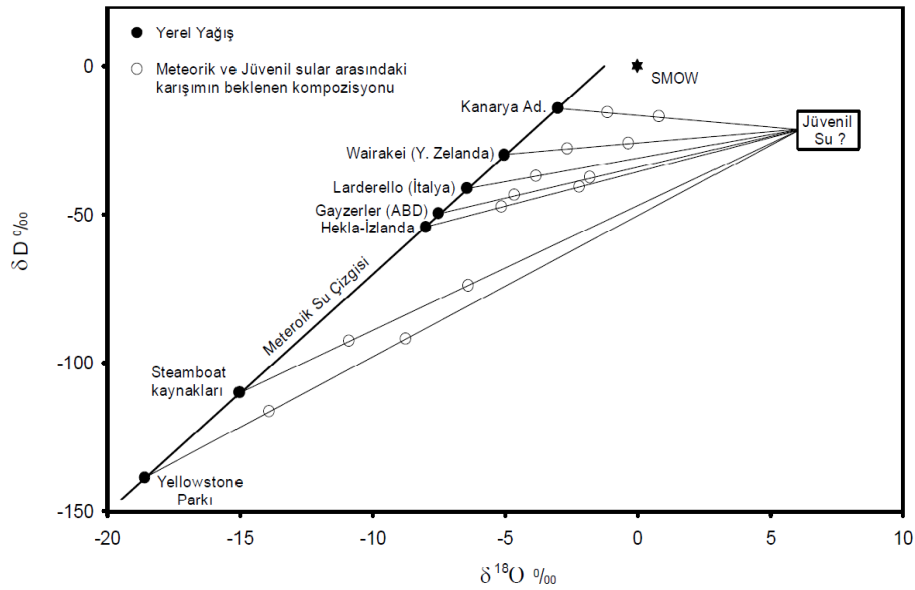
Jeotermale yönelik eski çalışmalarda, suyun juvenil yada magmatik bir kaynak-tan türediği sanılmaktaydı. Ancak yüksek rakımlı ve karasal alanlardan örneklenen yağmur ve kar sularının hafif izotoplarca zengin olduğu (düşük δ değerleri) ve bu δD ve $\delta^{18}O$ sulardaki değerlerinin meteorik su çizgisi üzerinde yer aldığının ortaya konulmasıyla bu görüş radikal bir değişim geçirmiştir.(Craig, 1963)

Tropik denizlerden uzaklaştıkça ağır izotoplarda (^{18}O , D) görülen fakirleşme, bu izotopların yağmur ve kar suyu gibi yoğun fazlar içine girmeleri ve kalıntı buhar fazında da hafif izotopların zenginleşmesi (Raleigh süreci) ile açıklanmaktadır. Craig (1963), jeotermal sulardaki $\delta^{18}O$ değerlerinin yerel meteorik sulardakilerden daha yüksek (pozitif) olduğunu ancak δD bolluklarının ise aynı kaldığını ortaya koymuştur. Craig (1963) hidrojen ve oksijen izotopik bileşimlerinin ölçmek suretiyle jeotermal sular ve buharların meteorik kökenli olduklarını ortaya koymuştur.

Farklı jeotermal alanlardaki meteorik sular farklı izotop bileşimleri sergilemektedirler. Yıllık ortalama yağışın izotop kompozisyonu büyük ölçüde yerel hava sıcaklığına bağlıdır. Ancak meteorik döngü içinde yer alan suların kendine özgü izotop kompozisyonu bulunmaktadır (Şekil 1.1). Bu kompozisyon yağış sularının tamamıyla meteorik bir kökene sahip olduklarını işaret etmektedir.

1.1.1. Jeotermal Sistemlerin Jeolojik Konumları

Jeotermal sistemler, ısı yayılım ve zenginleşmesine elveren kaya türleri ve yapısal ortamların varlığını gerektirir. Bu sistemlerin, illede ısı kaynağının bulunduğu yerde oluşmadığı bilinir. Bu nedenle, ısı kaynağı ile bu sistemin konuşlandığı dolaysız bir ilişki ve yakınlık olması zorunlu değildir. Önemli olan bölgesel ısı akısının yüksek olduğu, kütsel ısı taşınımının görüldüğü, yada ısı çevrimine elverişli jeoloji yapılarının, katmanlanma yada zonların olduğu yerlerin bulunmasıdır.



Şekil 1.2. Dünyanın değişik bölgelerindeki jeotermal suların beklenen kompozisyonları: Yerel meteorik su ile jüvenil su arasındaki farklı karışım oranları (Nutı, 1991)

Volkanitler, oluşumları sırasında kabuğun üst düzeylerine kütsel ısı taşıdıkları için jeotermal olarak sağlar. Özellikle strato volkanlar, farklı geçirimsizliğe sahip ürünlerinin ardalanması ve karmaşık iç yapıları ile jeotermal sistemlerin yerleşimine

elverişli ortamlar sağlar. Volkanik kayalar, breş ve tüfler, ignimbrit akıntılarının yayıldığı yöreler, hem göreceli olarak sığ magma odalarından türemeleri, hemde bu magmanın bazik olanlara göre çok daha sıcak, daha çok ısı yüklü oluşları ve hemde farklı ilksel geçirimsizliği olan katmanların ardalanarak istiflerinden kurulu olduğu için jeotermal sistemlerin oluşmasına elverişli yöreleri sağlar.

Tortul birimler çökdikleri havzanın niteliğine bağlı olarak farklı geçirimsizliğe sahip ortamların ardalanmasından kurulu ise, jeotermal sistemlerin oluşumu açısından ilginç olabilmektedir. Tortul birimlerin jeotermal sistemlerde üstlendikleri en tipik işlev bir örtü katmanı oluşturarak ısı kaplanmasına yardımcı olmalarıdır.

Metamorfik kuşakların, başka yerlere göre iki kata kadar daha yüksek ısı akısına sahip olduğu bilinmektedir (Verhogen, 1980). Özellikle, göreceli olarak genç, örneğin Tersiyer'de oluşan metamorfizma ortamları, yüksek ısı akısı ile özgündür. Dahası, metamorfizma sonrasında bu masifler hızla yükseldikleri ve aşınma ve sıyrılma faylarıyla tüketildikleri için daha derinlerdeki daha sıcak kesimleri yeterince soğuyamadan yüzeye yaklaşmakta ve ısı gradyeni yükselmektedir. Bu nedenle, bu tür masiflerde göreceli olarak sığ derinliklerde yüksek sıcaklıklara ulaşılabilir. Bu tür kaya ortamları ilksel olarak yeterince geçirimsiz olmamakla birlikte, masifin yükselmesine eşlik eden sıyrılma fay zonları ve oluşan graben fayları boyunca oldukça yüksek ikincil geçirimsizlik kazanarak jeotermal sistemlerin gelişmesine olanak sağlarlar. Üstelik metamorfik kayaların çoğu, hidrotermal alterasyonlarla geçirimsizleşmekten çok, geçirimsizlik kazanacak şekilde etkilenir. Bu da, metamorfik masiflerde jeotermal sistemlerle daha sık karşılaşılmasının nedenlerinden olmaktadır.

Yeşil kayalar, okyanus sırtlarında oluşmuş ve dalma batma zonlarında değişmiş ve karılmış olmaları nedeni ile ısı kaynakları ile bağı kopmuş, çoğu durumda geçirimsiz ve giderek geçirimsizleşen, tektonik süreçlerden jeotermal sistemlerin oluşmasına hiçte yatkın olmayan yapısal öğeler edinmiş olma özellikleri ile bulundukları yerlerde jeotermal sistemlerle pek karşılaşılmayan kaya türleridir.

Yerkabuğunda bir jeotermal sistemin oluşmasını en dolaysız etkileyen ve yönlendiren olgular yapısal jeoloji olgularıdır. Isı akısının yüksekçe olduğu bir

bölgede de bulunulsa, ancak yüksek geçirimsizlik varsa, yani kırıklı ve kırıkları sistemli olarak birbirleri ile bağlantılı zonlar varsa, derinlerdeki yüksek sıcaklıklı zonlardan ısı yüklenip hızla sığlara taşıyan ve bir katman ya da cepteki çevrim hücrelerinde yüksek sıcaklıkların birikmesini sağlayan akışkanlar, gereğince dolaşp bu işlevlerini yerine getirebilir.

1.2. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, (1) Şifne ve yakın çevresi jeotermal alanlarının jeoloji haritasının güncellenmesi, (2) minerolojik, petrografik ve jeokimyasal çalışma yöntemleriyle jeotermal akışkan-kayaç etkileşimini tanımlamak, (3) jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal yöntemlerle oluşumunu ve gelişimini incelemek ve (4) jeotermal akışkan-kayaç etkileşimini çerçevesinde jeotermal sistemin oluşumunu modellemektir.

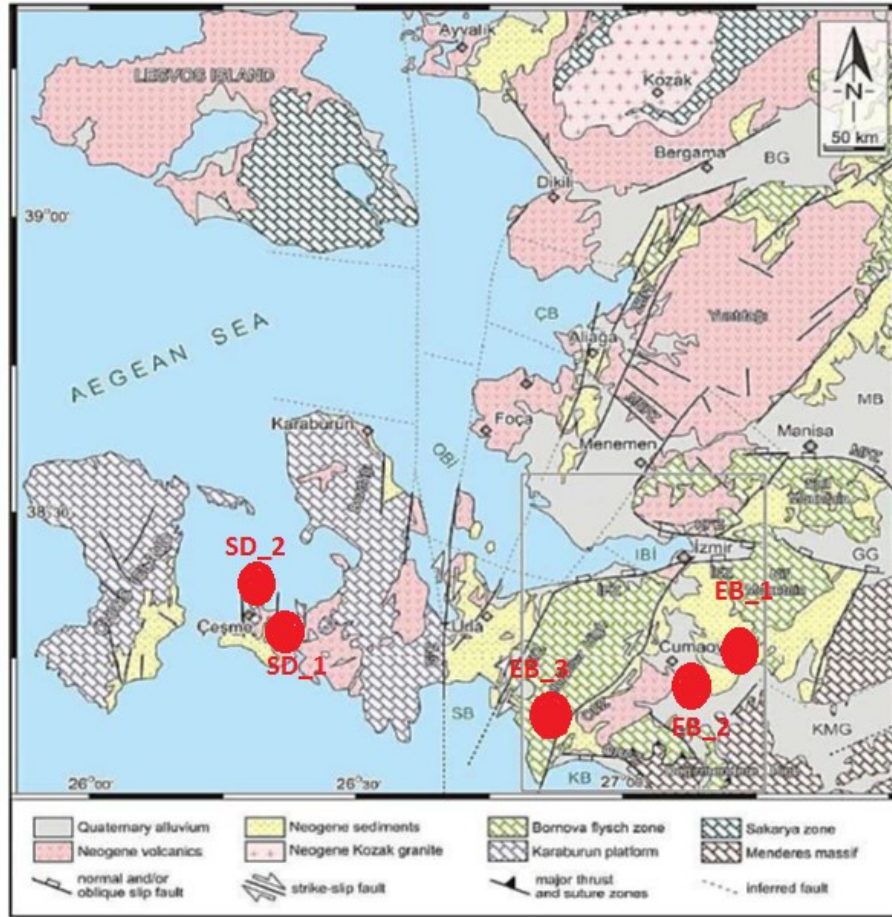
1.3. Çalışma Alanının Jeotektonik Konumu

Bölgesel olarak Türkiye'nin depremselliği, Türkiye ve yakın çevresindeki levha hareketlerinin bir sonucudur. Türkiye ve yakın çevresindeki levhalar kuzeyde Avrasya, güneyde ise Arap ve Afrika levhalarıdır. Türkiye anakara kütlesi tıpkı bir mozaik gibi çok bloğa bölünmüştür. Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF), Doğu Anadolu Sıkışma Zonu (DASZ), Ege graben sistemi, Kıbrıs-Helenik yayı, Orta Anadolu Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi olmak üzere Türkiye'de yedi ana tektonik bölge bulunmaktadır (Şengör, 1985).

Batı Anadolu Bölgesinde yaklaşık olarak K-G yönlü genişleme tektoniğine bağlı D ve BKB-DGD doğrultulu Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz gibi çökür havzaları gelişmiştir (Philippon 1910-1915, 1918; Ketin, 1968; McKenzie 1978, Dewey ve Şengör 1979 ;Jackson ve McKenzie 1984; Şengör 1982, 1987; Şengör vd., 1984).

Şifne ve çevresinin coğrafi konumu 38° 19' 49" Kuzey ile 26° 24' 19" Doğu koordinatlarıdır. Şifne yükseliminin olduğu bölgenin neotektonik yapısı, Anadolu

levhasının batıya kaçıışı ve Anadolu levhasının Afrika levhası üzerine doğru sürüklenmesi sonucu gelişmiştir. Bölgede K-G yönlü gerilmeye bağlı olarak D-B gidişli çöküntüler ve Anadolu levhasının GB'ya rotasyona uğramasına bağlı olarak gelişen KD-GB gidişli doğrultu atımlı faylanmalar gelişmiştir. Bu faylanmalara bağlı olarak bölgede kenarları neotektonik dönem fayları ile sınırlandırılmış çöküntü ve yükselim alanları gelişmiştir. Batıdan doğuya doğru, sırasıyla Karaburun Yükselimi, Urla Çöküntüsü, Seferihisar Yükselimi, Cumaovası Çöküntüsü ve Değirmendere Yükselimi bölgenin en önemli morfolotektonik yapılarını oluşturmaktadır. (Uzel vd., 2012; Şekil 1.3)



Şekil 1.3. Ana tektonik hatlar ve aktif gelişen havzaları gösteren Batı Anadolu kıyı kesiminin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Uzel vd., 2012). Su örnekleri lokasyonları

Önceki araştırmacılar tarafından İzmir ve Sığacık körfezleri arasındaki fay batısında oluk şeklinde bir morfoloji sunan koridor boyunca Seferihisar fayının dışında da bazı

faylar haritalanmıştır. Seferihisar fayı, İnci vd. (2003)'indeki Seferihisar-Yelki fay zonuna karşılık gelir. Ocakoğlu vd. (2005) tarafından ise bu fay yakın batısında Urla fayı adıyla ikinci bir aktif fayın varlığı ileri sürülmüştür. Seferihisar fayının Sığacık körfezi ile Gülbahçe arasında karadaki uzunluğu 23 km olup, su altı bölümüyle birlikte fayın toplam 30 km'lik bir uzunluğa ulaştığı sanılmaktadır. K20D genel doğrultulu olan fay güney yarısında Bornova flišine ait kaya toplulukları içerisinde ve alüvyon düzlüklerinde izlenir. Çamlıköy-Güzelbahçe arasındaki kuzey bölümü ana doğrultudan doğuya saparak İzmir fayından ayrılan bir kola uyumlu bir gidiş kazanır. Güzelbahçe yöresinde bu faya paralel Miyosen kayaları içerisinde izlenen bazı küçük fayların kuzey bloğu aşağıda olan normal faylar şeklinde geliştiği gözlenmiştir. Çamlı köyü güneyinde Miyosen ile temel dokunağında yüksek açılı fay düzlemleri boyunca doğrultu atımlı faylara özgü makaslama yapıları gelişmiştir. Fay düzlemlerinde sağ yönlü doğrultu atımı belirleyen gözlemler yapılmıştır (İnci vd., 2003). Ulaşmış köyü yöresi, fayın Kuvaterner çökelleriyle ilişkisi ve doğrultu atım morfolojisinin en iyi gözlendiği alanlardandır. Bu kesimde fay Pleyistosen ve Holosen yamaç molozu ve yelpazelerini kesmektedir. Ulaşmış köyü yakın güneyinde fay çizgisi boyunca akarsu yatakları sistematik olarak sağ yönde ötelenmiştir. Yaklaşık 1 km içerisindeki üç dere yatağında 20 ile 100 metre arasında ötelenme değerleri ölçülmüştür. Jeomorfolojik veriler Seferihisar fayının Holosen'de aktif bir fay olduğuna yorumlanır. Güney ucundaki su altı verileri de deniz tabanında fayın en genç çökelleri etkilediğini göstermektedir (Ocakoğlu vd., 2004, 2005). Nitekim, 10 Nisan 2003 tarihinde bölgede meydana gelen depremin (Mw:5.7) dış merkez lokasyonu ve artçı şokların dağılımı fayın Seferihisar yakınlarındaki bölümüne rastlar. Bu depreme ilişkin yapılan fay düzlemi çözümlerinden elde edilen kayma düzlemlerine göre KD-GB doğrultulu olan Seferihisar fayının haritalanan uzanımına uygun olup, depremin sağ yönlü kırılma sonucu oluştuğunu göstermektedir (Tan ve Taymaz, 2003; USGS). Seferihisar fayının İzmir-Ankara zonu içerisinde Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova flišiyle temsil edilen bir tektonik zonda yer aldığı ve Miyosen'de de aktif olduğuna ilişkin yorumlar yapılmıştır (Kaya, 1979). Sözbilir vd., (2003)'nde ise bu paleotektonik yapının Seferihisar'dan Balıkesir Bigadiç yöresine kadar olan kesiminin Üst Miyosen'de reaktivite kazandığı ve günümüzde 150 km uzunluğunda aktif bir fay zonu oluşturduğu ileri sürülmüştür. Bu çalışmada toplanan

bulgular bölgesel kinematik içerisinde Seferihisar fayının D-B uzanımlı İzmir fayıyla bağlantılı bir yapı olduğunu gösterir. Dolayısıyla bu fay Tuzla fayı gibi Gediz grabeni batısındaki transfer fay demeti içerisinde değerlendirilir.



Şekil 1.4. Doğu Akdeniz'in güncel tektoniğini kontrol eden ana yapılar ve çalışma alanının konumunu gösterir harita (Okay vd., 2000'den değiştirilerek alınmıştır)

Gerilimin Alp-Himalaya zonu kıtasal çarpışması ile ilişkin olduğu bölgede lokalize edilmiş gerilme tektoniği hüküm sürmektedir. Batı Anadolu Bölgesi, D-B gidişli sıra dağları ve derin sedimanlar ile dolu vadileri ile karakterize edilir. Bölge Geç Miyosen başına kadar, kuzey-güney yönünde basınca maruz kalmıştır. Tortoniyen başında, bölgede bir gerilme tektoniği oluşmuş ve kısmi ergimeye uğrayan kabuk gerilmeye bağlı olarak ince ve kırılğan kabuk oluşmuştur (Yılmaz, 1989; Alptekin vd., 1990; Gemici ve Tarcan, 2002). Bu şekilde ülkemizde Batı Anadolu Bölgesinde D-B uzanımlı grabenler bulunmaktadır. Türkiye'nin önemli jeotermal alanlarının çoğu sahası bu grabenlerin kenarlarında yer almaktadır. Çalışma alanı Batı Anadolu Bölgesinde D-B grabenlerinin yer aldığı bölgenin batı ve kuzeybatısında Ege kıyı şeridine paralel bulunur. Burada horst, graben ve blok faylanmalar belirgin olup volkanik kayalar bulunur. Bu volkanik kayalar KD-GB, KB-GD doğrultulu tektonik zonlar üzerinde bulunur. Neojen istifli altında yer alan İzmir flishi içinde değişik derinlikte ve kalınlıkta spilitler, metakumtaşları ve rekristalize kireçtaşları bulunur ve

bunlar jeotermal sular için rezervuar kayaçları olarak önemli rol oynarlar. Bölgede temel kayalar, Menderes Masifi ve Afyon Zonunda bulunan çeşitli kayaç grupları tarafından temsil edilir (Akdeniz ve Kunak, 1979). Menderes Masifi Ege Denizi'nde Kiklad masifinin doğuya doğru devamı olarak yorumlanan bir KD-GB doğrultulu, büyük ölçekli dom şeklinde metamorfik komplekstir (Oberhänsli vd., 1997). Menderes masifinin bölgesel metamorfizması yüksek dereceli gnays, granitik gnays, metapelit ve büyük kalınlıktaki karbonat kayaçlardan oluşur ve bunlar stratigrafik olarak tabanı oluştururlar. Güneyden kuzeye olan bindirme zonu içinde iki farklı tektonik kuşak ile ayrılmaktadır (Şekil 1.5).

Menderes bloğu 50 milyon yıl önce Sakarya Bloğu ile çarpışmış ve daha sonra yüksek sıcaklık metamorfizması ve granit intrüzyonları meydana gelmiştir (van Hinsbergen vd., 2010). Menderes Masifi'nin ortaya çıkması Neojen döneminde birbirini ardına meydana gelen faylar boyunca oluşmuştur. Güncel çalışmalar, Menderes Masifi'nin iki veya daha fazla oluşum süreci yaşadığını göstermektedir (Seyitoğlu vd., 2004). Menderes masifinin ortaya çıkışının ilk aşaması, Geç Oligosen (25 milyon yıl) ile Orta Miyosen (16 milyon yıl) (Seyitoğlu vd., 2004) veya en genç Oligosen (Purvis ve Robertson, 2005) veya En son Oligosen-Erken Miyosen (Cavazza vd., 2009) arasında olmaktadır, ya da geç Oligosen (25 Ma) ve Orta Miyosen (16 Ma) veya son Oligosen (Seyitoğlu vd., 2004) arasında meydana gelen erken Miyosen zamanıdır. Agostini vd., (2010) Menderes Masifi metamorfik kayaçlarının yükselmesini ve böylece ortaya çıkışını ve graben gerilme tektoniği ve trans-gerilmeli fay sistemlerinin bir sonucu olarak yorumlamaktadır. Bu yüzden, Bozkurt vd., (2011) kuzey Menderes Masifiningerilme tektoniğine bağlı ortaya çıkışı için Geç Oligosen (30 milyon yıl) önermektedir. Cavazza vd., (2011) Ege Bölgesini etkileyen gerilme tektoniğinin Menderes Masifinin ortaya çıkmasında bölgesel anlamda önemli rol oynadığını belirtmektedir. Bazı çalışmalar da (i) Erken-Orta Miyosen gerilme tektoniği ve Ege hendeğinin geriye dönüşü ve (ii) Geç Miyosen-Pliyo-Kuvaterner gerilim tektoniği ve Batı Anadolu'da dahan Ege levhasının başlangıcı olmak üzere iki belirli bağlantının olduğunu ileri sürmektedirler. Ege Bölgesi graben sistemi gerilme tektoniğinin zamanlaması ve (Bozkurt ve Sözbilir, 2004), Ersoy vd., (2010) ve VanHinsbergen vd., (2010) tarafından detaylı olarak tartışılmıştır. Batı Anadolu neotektonizması açılmalı tektonik rejimle temsil edilir. Bölgesel olarak K-G açılmalı tektonik rejim Anadolu genelinde izlenen neotektonizmanın sonucudur. Ege Bölgesi aktif tektonik kuşağı içerisinde yer alan çalışma alanı da dahil olmak üzere İzmir ve yakın çevresinde doğrultu atımlı ve normal atımlı diri fayların olduğu önceki çalışmalarda belirtilmiştir. Normal fayların D-B, doğrultu atımlı fayların sağ yönlü K-G, KD-GB, KB-GD gidişli olduğu belirtilmiştir. Bölgedeki bu diri faylar boyunca yoğun bir sismisite izlendiği, tarihsel ve aletsel dönemde çok sayıda deprem ürettikleri vurgulanmıştır (Emre vd., 2005).

2. KAYNAK BİLGİSİ

Daha önceden gerçekleştirilen araştırmalar Şifne (İzmir) ve yakın çevresinde jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal amaçlı araştırmalar yapılmıştır ve bu çevrede jeotermal suların ve yörenin jeotektonik oluşumuna genel olarak bir açıklama getirmeye çalışmışlardır. Bu konuda yapılan çalışmalar hem yöreye ait ve hem de ülkemize ait olmak üzere özetlenmiştir.

Akartuna (1962), çalışma alanımızda da yer alan Kretaseyi, fliş ve gri renkli kompakt kireçtaşı olarak belirlemiştir. - Flişin; İzmir körfezi ile Doğanbey bucak merkezi arasında geniş bir alanı kapladığını, genellikle koyu esmer renkli olduğunu ve çeşitli killi şist, mikalı kumtaşı, arkoz, konglomera, kristalin ve dolomitik kireçtaşı, kırmızımtırak pembe veya grimsi esmer renkli şisti kireçtaşı ve radiolaritlerle temsil olduğunu ifade etmiştir. - Gri renkli kompakt kireçtaşlarının; fliş dahilinde ve Urla merkezinin GB ve KB sında da görüldüğünü, flişler üzerine konkordan olarak geldiğini, aralarında bazen dikey yavaş geçişlerin olduğunu belirtmiştir. Neojen (başlıca Miyosen) birimlerini ise iki seri içinde sınıflamıştır: - Alt seri; konglomera, kumtaşı, marn, kil, kireçtaşı, volkanik tuf. - Üst seri; kireçtaşı, marn, kil volkanik tuf. Magmatik faaliyetler sonucunda meydana gelen kayaçları; serpantinler ve volkanik kayaçlar olmak üzere iki grup altında toplamıştır. - Serpantinler; koyu yeşil, siyah veya açık yeşil renkli sert ultrabazik kayaçlar olup, oldukça kırıklı bir yapı gösterdiklerini vedaima Kretase formasyonları içinde rastlandığını belirtmiştir. - Volkanik kayaları üç kısımda incelemiştir: Bazik volkanikler; genellikle bazaltlar, nadiren de diyabazlar ile temsil etmiştir. Asit volkanik kayalar; riyolit, riyodasit ve andezit. Volkanik tuf ve aglomeralar.

Drahor vd., (1999), çalışma alanımız içinde yer alan Seferihisar jeotermal sisteminin, dünyadaki pek çok jeotermal alanda olduğu gibi, Tersiyer ve Kuvaterner volkanizmasının yer aldığı bir bölgede oluştuğunu ve Alpin Orojenezi sırasında meydana gelmiş çok sayıda fay ve kırık içerdiğini ifade etmişlerdir. Seferihisar jeotermal alanının, doğusu ve batısının genel olarak kumtaşı, şeyl, yer yer de kireçtaşlarından oluşmuş yüksek tepeler ile çevrili olduğunu ve jeotermal akışkanın,

bu dağların eteğinde, genel de KD-GB yönlüuzanan faylar boyunca yüzeye çıktığını belirtmişlerdir.

Ekingen (1970), Gravimetrik prospeksiyonun amacının jeotermik enerji üretimi için elverişli olabilecek jeolojik yapıların araştırılması ve lokalize edilmesi olduğunu ifade etmiştir. Etüt sonunda, Bouguer ve 2. türev haritaları çıkarılmış, izogal ve rezidüel eğrilerin enterpretasyonunda, flişler üzerinde büyük negatif bir zon tespit etmiştir. Kretase Çukuru'nu aksettiren bu zonun ortasında bir yükselim elde edilmiş, güneyde, Ilıcalar Bölgesi bir fay görünümünde, Urla'nın güneyindeki negatif anomali bir graben niteliğinde olduğunu belirtmiştir. Etüt alanında, jeoloji ve gravite yönünden jeotermal alan olabilecek yapılar olduğunu, ancak örtü kayaç kalınlığı ve jeotermik gradyan faktörü diğer jeofizik metotlar ile incelenmesi gerektiğini ifade etmiştir. Ayrıca, aktüel sıcak su kaynaklarının, deniz ile olan ilişkisinin araştırılmasını belirtmiştir.

Erdoğan (1990), Batı Anadolu'da, İzmir çevresinde üç tektonik kuşağın yer aldığını ve bu kuşakları doğudan batıya doğru, Menderes masifi, İzmir-Ankara zonu ve Karaburun kuşağı olarak belirtmiştir. Ayrıca çalışmasında, Orta-Üst Miyosen'de başlayıp günümüzde devam eden ve Batı Anadolu'daki grabenleri oluşturmuş D-B uzanımlı neotektonik yapıların bu eski tektonik kuşakları kesmiş ve parçalamış olduğunu, paleotektonik kuşakları tanınmayacak ölçüde birbirinden ayırmasa da çöküntü alanlarını dolduran tortul dolgu, birçok yerde bu sınırları örterek gizlediğini ve özellikle Karaburun kuşağı ile İzmir-Ankara zonu arasındaki ilişkiyi, birkaç sınırlı alan dışında, Neojen tortullarının örttüğünü ifade etmiştir.

Eşder ve Şimşek (1975), Temeli Paleozoyik yaşlı metamorfitlelerin oluşturduğu, bunlar altta kristalin şist, üstte kalınlığı yer yer değişen mermerlerden meydana geldiğini, Paleozoyik yaşlı metamorfitleler üzerine, Üst Kretase yaşlı (İzmir Flişi) örttüğü ifade etmiştir. Bu birim killi şist, kumtaşı, kireçtaşı ardaalanmasından oluşmuş, kireçtaşları fliş içinde büyük mercekler şeklinde olduğu, flişin altındaki ultrabazik kayaçlar faylarla üst seviyelere zorlanmış olduğunu, İzmir Flişi Güney-Doğuda Paleozoyik Metamorfitleler üzerine diskordansla geldiğini, Üst Kretase'nin sonlarına doğru buraya bir transgresyon olduğunu, Kuzey-Batıda İzmir-Ankara Jeosenklinali'ni

oluşturan İzmir Flişi'nin Paleozoyik temel ile olan ilgisi görülememekte olduğu ifade edilmiştir.

Filiz ve Tarcan (1993), İzmir'in yaklaşık 40 km güneyinde yer alan inceleme alanındaki sıcak sular temeldeki Menderes Masifi'ne ait mermer bant ve mercekli şistler ile temelin üzerinde allokton Üst-Kretase-Paleosen Bornova karmaşığına ait kumtaşları, spilitik volkanitler, kireçtaşı mercek ve olistolitleri ve serpantinitle kütlelerinden oluşan kırıklı hazne kaya sisteminden kaynaklanmakta ve Neojen yaşlı karasal tortullar örtü kaya, genç asidik domlar ısıtıcı kaya özelliğinde olduğunu ifade etmiştir.

Kaya (1979), çalışmasında Ege bölgesinin kendine özgü yapısal-stratigrafik özellikler taşıyan bloklardan yapıları olduğunu, orta Ege kıyıkuşağında Neojen kayalarının başlıca KD ve K gidişli çizgisel yükselti ve çöküntü bloklarının kontrolü altında oluştuğunu, korunduğunu veya silindiğini belirtmiştir. Yazar, Kuvaterner alt yapı verilerinin, Neojen tektonik, volkanik ve tortullaşma çatıları göz önüne alındığında orta doğu Ege çöküntüsünün özgül rift yapısını desteklediğini ifade etmiştir. Buna göre, çalışmasında rift yapısının varlığına değin jeoloji verilerini aşağıdaki gibi belirtmiştir:

- a. Basamakların çok katlı artı ve eksi yönlü düşey hareketleri,
- b. Uzun ve çok katlı püskürme evreleri,
- c. Birbirini izleyen, bileşimsel karşıtlık gösteren volkaniklik,
- d. Volkanik girmelerin oynak çiz. ve boyuna basamaklar üzerinde dizilimi,
- e. Volkanikliğin tektonik açınım ile paralel ve yaşıt gelişimi,
- f. Biçim değıştirme türlerinin aşmak oluşu: Normal fayları doğrultu atım bileşeni kapsamı ve doğrultu atımlı faylar şeklinde yeniden işlemlenmiş bulunmasıdır.

Palabıyık ve Serpen (2008), yaptıkları çalışmada, su analizleri için jeokimyasal yöntemleri kullanmışlar ve $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ açısından zengin olan termal suların Cl bakımından fakir olan yeraltı sularını etkilediklerini belirtmişlerdir.

Araştırmacılar termal suların meteorik kökenli olduklarını belirtmişler ve bunları olgunlaşmamış sugrubuna dahil etmişlerdir.

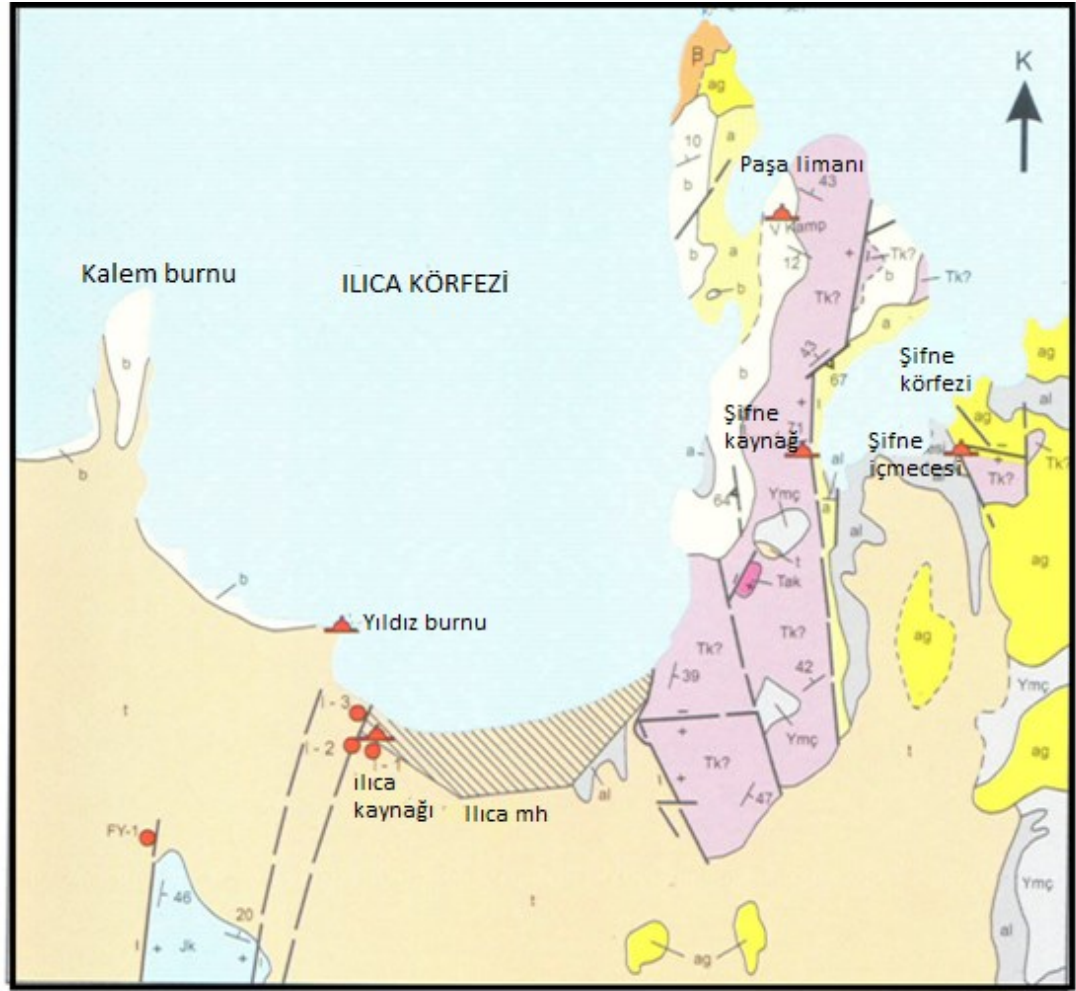
Yaman (2005), Menderes Masifi kıtasal rift zonlarında bulunan sıcak sular bikarbonat tipli sular olduğunu ve akışkan içinde CO² gazı bulunduğunu belirtir. CO² gazı ve sıcaklık bor taşıyan minerallerin çözünürlüğünü arttırdığını ifade etmiştir. Menderes Masifinde bulunan jeotermal sulardaki borun tümü ile mağmadan kaynaklandığını vurgular. Tüm jeotermal alanların hidrojeokimyasal, izotop jeokimyasal ve bor değerlerinin oldukça farklı sonuçlar sunduğunu ortaya koymuştur.

Aras Pala (2016), Seferihisar (İzmir) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özelliklerini ortaya koymuştur. Çalışma alanındaki sularda yapılan Na-K-Mg diyagramı sıcak suların belli bir kısmının kısmi dengelenmiş sular sınıfına girdiği bir kısmının ise ham sular sınıfına girdikleri saptanmıştır. Çalışma alanındaki rezervuarın sıcaklığını anlamak için çalışma alanı jeotermal suları hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Silis jeotermometreleri ile yapılan analiz sonuçlarına göre Cumalı Ilıcası (EB-1) 143-14 °C, Karakoç (EB2) 99-100 °C, Doğanbey Termal (EB-3) 110 °C, arasında sıcaklıklar hesaplanmıştır. Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre Seferihisar bölgesinde 154-240 °C arasında sıcaklıklar ölçülmüştür. Jeotermometre sonuçlarına bakılacak olursa Seferihisar bölgesi hazne kaya sıcaklığının Tuzla, Cumalı sıcak su kaynaklarına doğru arttığı saptanmıştır.

3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

3.1. Şifne (İzmir) ve Yakın Çevresinin Jeolojisi

Şifne (İzmir) jeotermal alanı, İzmirin yaklaşık 70 km batısında yer alır. Bölgede gözlenmiş olan en yaşlı kayaç alt Triyas yaşlı olduğu düşünülen marn ve kireçtaşı ardalanmasıdır. Bunun üzerinde triyas yaşında olduğu tahmin edilen beyaz, bej renkli kireçtaşı yer alır. Daha üstte arazide ilgileri gözlenmemekle birlikte Jura yaşındaki gri, mavi renkli kireçtaşı olasılıkla uyumsuz olarak bulunur. (Koçak.1974). Tersiyer (Neojen) yaşlı oluşuklar ise bölgede geniş bir alan kapsar. Bu birim bölgedeki iki ayrı fasiyes şeklinde gözlenir. Batıda ki kilitaşı, marn, miltası, kireçtaşı ardalanmalı göl çökelleri, doğuya doğru girift ve yaşıtı olan tuf-tüfit ve aglomeradan oluşan volkanik fasiyese geçer. Kuvaternerde ise alüvyon ve yamaç molozu gelişmiştir (Şekil 3.1).



AÇIKLAMALAR

SENO ZOYİK	Ymç	Yamaç molozu		Dokanak, olası dokanak
	al	Alüvyon		Fay
	b	Mil, kreçtaşı, marn ardalanması		Tabaka doğrultu ve eğim
	ag	Killi, marnlı seviye		Sıcak su kaynağı
	t	Aglomera		Sıcak su sondajı
	β	Tüf-tüfit		
MESO ZOYİK	Jk	Bazalt		
	Tk?	Kireçtaşı (Gri mavi)		
	Tak	Kireçtaşı (Beyaz bej)		
	Tak	Kireçtaşı marn		

Şekil 3.1. Çeşme- Şifne jeotermal alanların jeolojik haritası (Koçak, 1974)

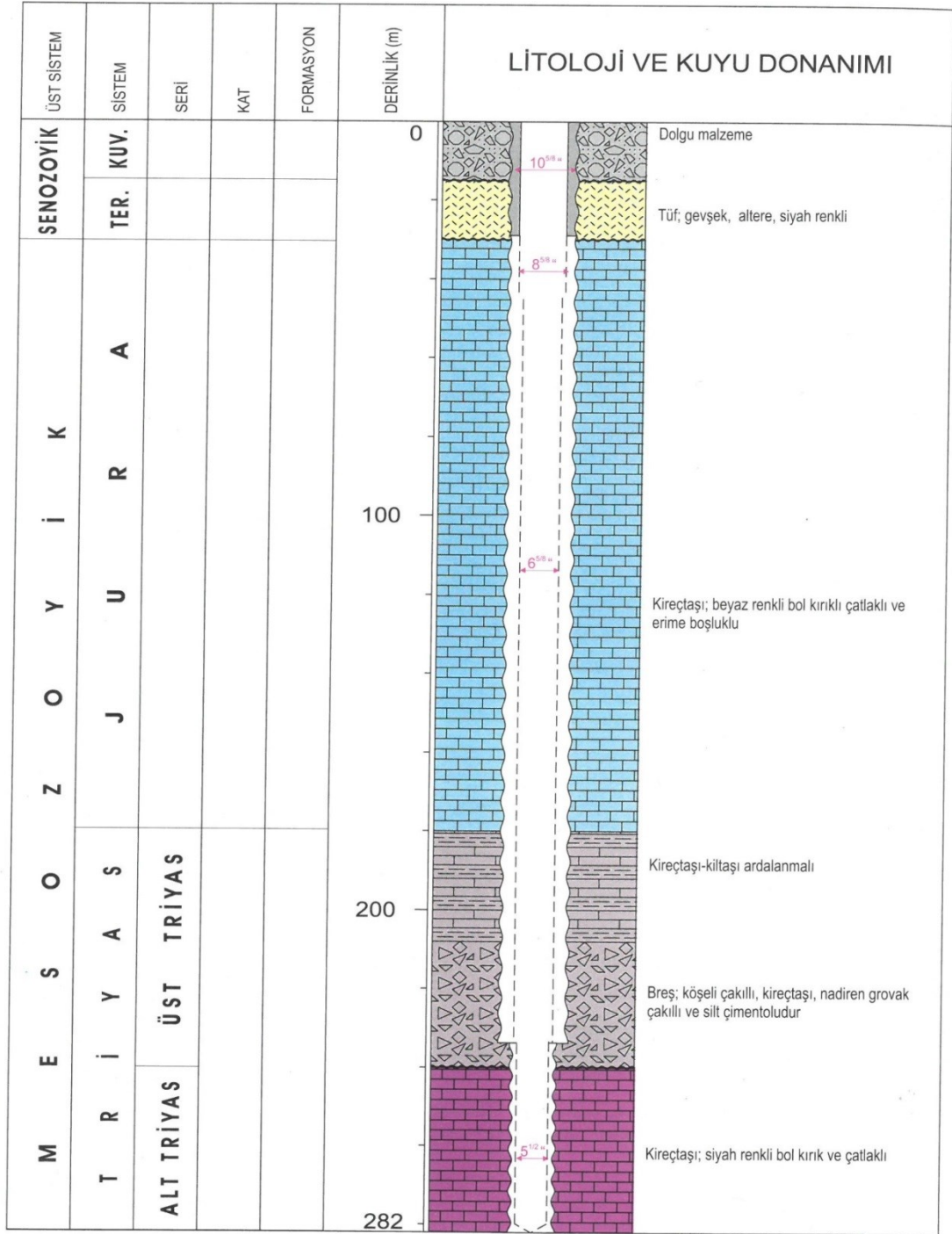
Bölgede etkiyen kuvvetler etkilerini, yaklaşık N-S ve E-W doğrultulu faylarla göstermektedirler. Bu N-S doğrultulu faylar arasında ufak bir graben ve horst gelişmiştir. Bölgede kıvrım saptanamamış, genel eğimi doğuya doğru olduğu gözlemlenmiştir. Neojen ise genel olarak yataydır.

Bölgede serbest yeraltı suyu bakımından zengin değildir. Yağışlı mevsimlerde yağmur suları Neojenin killi, marnlı arazisinde yeraltına süzûlemeyerek sellenmelerle denize ulaşmaktadır. Triyas ve jura kireçtaşlarında hiçbir kaynak görûlememesi, bu birimdeki su tablası seviyesini düşük olduğunu gösterir. Bunun nedeni bu birimlerden uzaklaşan yönde yeraltı suyu akımı olması muhtemeldir. Ancak Neojen'in taban konglomasında, 150 m kadar derinlikte 10-15 lt/sn debili su almak mümkündür.

Ilıca ve Şifne kaplıcası kaynaklarını besleyen sıcak suyun rezervuar kayacı, jura ve triyas yaşlarında olduğu düşünûlen kireçtaşlarıdır (Şekil 3.2).

Şifne-Çeşme alanındaki kaynaklar; Ilıca, Şifne, Yıldızburnu, V kamp kaplıcalarıdır.

Ilıca ve Şifne kaplıcaları, çok eski devirlerden beri bilinen ve kullanılan kaplıca merkezleridir. Suların çoğunluğu sıcak ve sodyum klorürlü 42 ile 55 derece arasında bulunan sular sınıfına girmektedir. Bu iki yörede pek çok kaynak vardır. Bir kısmı denizin içinde kaynayan bu suların en önemlisi Topan ve Hamidiye adı verilen kaynaktır. Şifne'de içme olarak kullanılan vesıcaklıkları nispeten az olan (19-25 derece) aynı bileşime sahip iki ayrı kaynak mevcuttur. Total mineralizasyonları 33gr/lt2ye kadar çıkmaktadır.



Şekil 3.2. Çeşme- ılıca -1 kuyusu litolojisi ve kuyu donanımı (Ölmez, 1975)

4. MATERİYAL ve METOD

Çalışmalarımızı yürüttüğümüz bölgenin hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özelliklerinin anlaşılmasını kolaylaştırmak için Şifne (İzmir) jeotermal alanında ayrıntılı bir araştırma yapılmıştır. Çalışmanın amacına ulaşması için yapılan çalışmalarımızın bir kısmında su örnekleri alınmış ve bu örnekler gerekli standartlar ve uygun analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu bölümde, kullanılan malzemeler, saha çalışmalarında kullanılan yöntemler, laboratuvar analizleri ve veriler yorumlanarak tartışılmıştır. Arazi çalışmaları, arazide ölçülen in-situ parametreleri ve oradan alınan sıcak su örneklerini içermektedir (Şekil 4.1 ve 4.2). Su örnekleri, çalışma alanının farklı lokasyonlarından temsili olacak şekilde alınmıştır. Daha sonra alınan temsili örnekler fiziksel parametreleri, anyon ve katyonların belirlenmesi için analiz edilmiştir.

4.1. Metod

Araştırmanın, bu bölümünde tüm aşamaları içeren jeoloji, jeotermal suların hidrojeokimyası, izotop jeokimyası, su örnekleri alımı, laboratuvar analizleri ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması yöntemleri tartışılmaktadır.

4.1.1. Jeolojik Çalışma

Çalışma alanının stratigrafi ve yapısal jeoloji özelliklerinin belirlenmesi için farklı jeolojik haritalar hazırlanmış bulunmaktadır. Önceki çalışmalar, çalışma alanıyla ilgili yapılan araştırmalar incelenmiş ve var olan veriler arazide yapılan gözlemlerle desteklenmiştir. Jeolojik enine kesitler incelenerek genelleştirilmiş stratigrafik kesitler kontrol edilmiş ve buradan giderek jeolojik araştırma çalışmaları tamamlanmıştır.

4.1.2. Örneklem ve İn-Situ Analizleri

Arazide alınan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi başka parametrelerde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu parametrelerle ilgili olarak tüm

laboratuvar standartları göz önünde bulundurularak uygulanmıştır. Örneğin, su örneklerini hidrojeokimyasal analiz etmek için 100 ml olan polipropilen şişelerde katyon ve anyon olarak ayrı ayrı örnekler alınmıştır. Örneklerin şişelere alınması ve muhafaza edilmesi sırasında dikkatli davranılmış ve şişelerin hava almaması için ağızları kapatılırken kapaklarına da su doldurularak kapatılmıştır. Katyon analizi için su örneğinde bazı maddelerin çökelip reaksiyon göstermesini önlemek için derişik HNO_3 konularak pH değeri 2.0 ile 3.0 arasına getirildikten sonra kapağı kapatılmıştır. Su örnekleri daha sonraki analizler için laboratuvar da 4° C’de bekletilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışma alanında gerçekleştirilen in-situ ölçümleri (Şifne termal Otel).

Yapılan saha çalışmalarında anyon ve katyon analizleri için beş numune alım noktasından su örneği alınmıştır. Bu alınan örneklerde in-situ analizlerinin yanı sıra hidrojeokimyasal analizler de gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş oksijen (O_2), redoks potansiyeli (Eh), karbonat tayini için alkalinite ve toplam sertlik gibi analizler (Şekil 4.1 ve 4.2) arazide gerçekleştirilmiştir. İn-situ cihazları ve ölçülen birimler (Çizelge 4.1 ve 4.2)’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışma alanında Çeşme ılıcalar'da örnek alımı ve in-situ ölçümleri.

4.1.3. Hidrojeokimyasal Analizler

Çalışma kapsamında, su örneklerinin in-situ analizleri ve hidrojeokimyasal analizler Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Hidrojeokimyasal analizler için kullanılan cihazlar ve hidrojeokimyasal parametreler (Çizelge 4.2)'de verilmiştir.

ICP-OES (Bağlı Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektroskopisi) hareketli atomları ve belirli bir elemanın karakteristik dalga boyunda elektromanyetik radyasyon yayan iyonları üretmek için indüktif plazma birleştiğinde kullanılan emisyon spektroskopisi türüdür. Bu emisyon yoğunluğu örnek içinde elementlerin konsantrasyonun göstergesidir.

Çizelge 4. 1. In-Situ cihazları ve özellikleri

In-situ Parametreleri	Ölçüm Birimleri	Cihaz Adı ve Marka
Sıcaklık	0C	Thermometer-Testo-95-1
pH		pH meter-WTW 330i
Redoks Potansiyeli (Eh)	mV	pH meter-WTW pH 95
Elektrik iletkenlik (EC)	$\mu\text{S/cm}$	Electrical conductivity measure-WTW con 330i and 340i
Çözünmüş Oksijen (O2)	Mg/I	Oximeter-WTW Oxi-330
Alkalinite	Mmol/I	Alkanity Test Kit-merck aquamerck 11109

IC (İyon Kromatografi) kendi şarja dayalı iyon ve polar moleküllerin ayrılmasını sağlayan bir süreçtir. Enjekte edilecek çözelti, genellikle bir örnek olarak adlandırılır ve ayrı ayrı bileşenlerin analizleri olarak adlandırılır. Örnek hacmi bir örnek döngü içine, elle veya otomatik örnekleyici ile de tanıtılır. Mobil faz olarak bilinen tamponlu, sulu bir çözelti hareketsiz faz malzeme döngü içine bir kolon üzerine örnek taşır. Hedef analiz sabit faz üzerinde muhafaza edilir, ancak ikinci durağan faz, analiz iyonlarının yerini aynı yüklü türlerin konsantras-yonunun arttırılması ile ayrıştırılır. İlgilenilen analiz daha sonra, tipik iletkenliği veya UV/VIS ışık absorbe ile bazı yöntemlerle tespit edilmelidir.

Çizelge 4. 2. Hidrojeokimyasal cihazlar ve özellikleri

Analiz parametreleri	Cihaz ismi	Analiz cinsi
Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Al^{3+} , Si^{4+} , As, Cr	Perkin Elmer ICP-OES 2100 DV	Optik emisyon spektrometresi
F^- , Cl^- , Br^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{2-}	Dionex ICS-3000	İyon Kromatografisi
HCO_3^- , CO_3^{2-}	Merck-aquamerck test kitleri	Titrasyon Yöntemi

ICP-MS burada kütle spektrometresi ile yüksek sıcaklık ICP kaynağından oluşmaktadır. ICP kaynağı burada örnek içinde element atomlarını iyonlara dönüştürür. Bu iyonlar burada ayrılır ve sonar kütle spektrometresi tarafından belirlenir.

4.1.4. Jeotermometreler

Jeokimyasal termometreler, jeotermal sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi için önemli bir araç olmaktadır. Bu termometreler aynı zamanda jeotermal rezervuarların

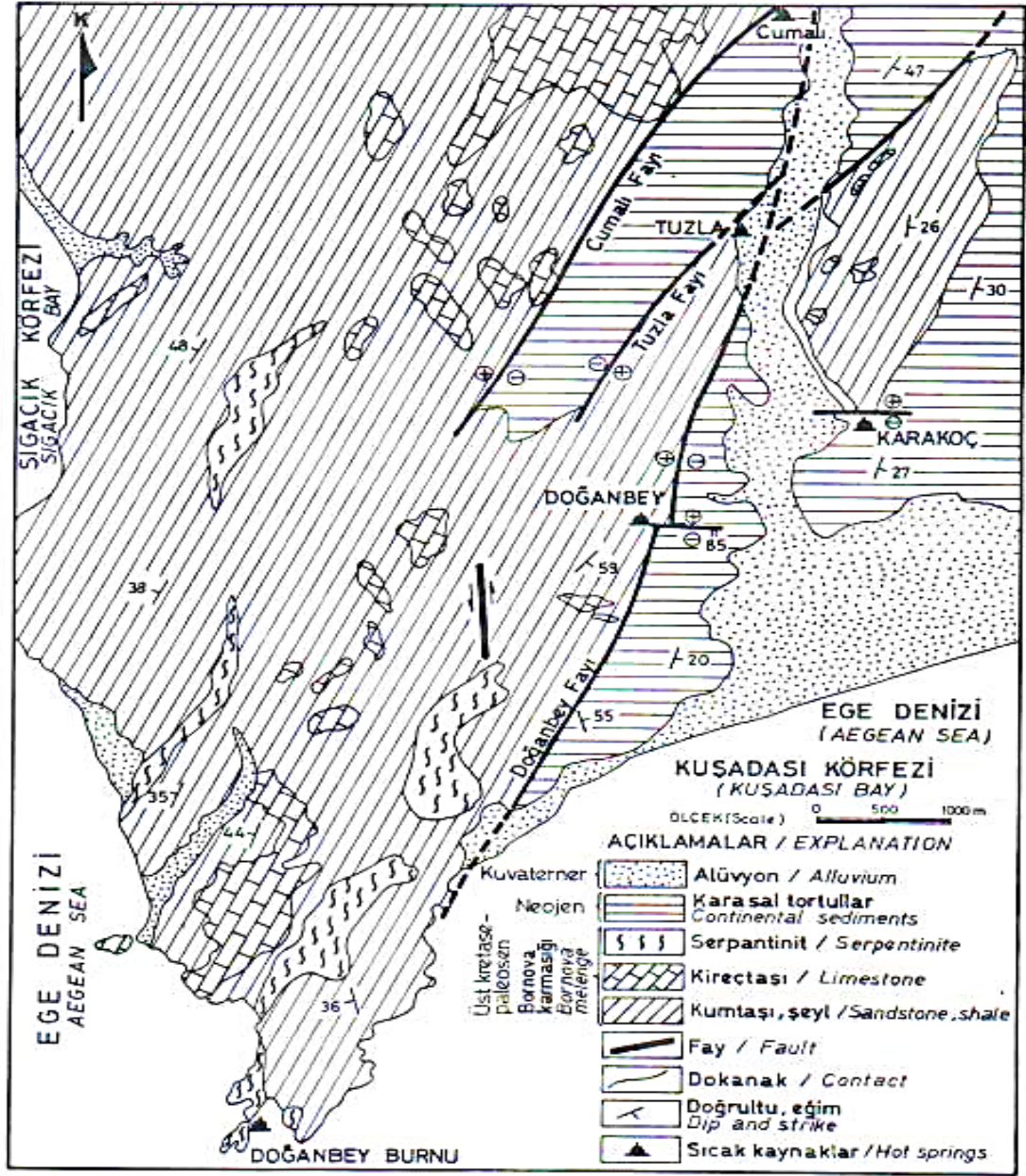
retimi esnasında etkilenmesinin izlenmesi bakımından önemlidir. Arama aşaması süresince, jeotermometreler sondaj çalışmalarında beklenen çıkış sıcaklığı gibi yeraltı sıcaklığını tahmin etmek için de kullanılır. Burada sıcak suların ve fumarollerin kimyasal ve izotop jeokimyasal bileşimi kullanılır. Jeotermal geliştirme ve izlemelerin son aşamasında jeokimyasal termometreler kuyularda üretim seviyelerinin yerlerine riayet ederek kuyu deşarzının bileşimini yorumlayabilmek için kullanılır. Jeokimyasal termometreler ayrıca kuyu çevresinde deşarj oluşturan soğuk sular tarafından geliştirilen kaynama ve/veya basınç olayları sonucu oluşan azalma zonlarında oluşan kimyasal reaksiyonları açıklamak için faydalıdır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Genel olarak geçirimsiz kabul edilen Yeniköy formasyonunun içindeki kumtaşları, kireçtaşları, spilitik volkanitler ve serpantinitler geçirdikleri tektonik deformasyon sonucu kazandıkları ikincil porozite ve permeabilite nedeniyle su verebilecek kaya birimleridir. Şeyller ise su geçirmezler ve geçirimsiz engel kaya özelliğindedir. Mercek ve olistolit kireçtaşlarının şeyllerle olan dokanaklarında yeryer düşük debili su kaynakları gözlenmektedir. Özel şahıslar tarafından İzmir filişi içinde açtırılan bazı sondaj kuyularından (80-110 m derinlikli) 1-2 l/s debili su elde edilmiştir. İzmir filişi kaya birimleri (Serpantinit, kireçtaşı, kumtaşı, şeyl) sıcak sularında hazne kayasını oluşturur.

Neojen yaşlı karasal tortullarda baskın olarak gözlenen çakıltaşlarının çok pekleşmiş ve çoğunlukla kil aramaddede içermesi nedeniyle ilksel geçirgenlikleri çok düşüktür. Bu birimde de tektonizma sonucu oluşan ikincil porozite ve permeabilite söz konusudur. Birim içindeki killi düzeyler ise geçirimsiz engel kayadır. İnceleme alanının orta kesimlerinde dar bir alanda ve denize yakın ovalarda gözlenen alüvyon yeraltı suyu potansiyeli en fazla olan akiferdir. İnceleme alanındaki birbirine çok yakın gözelerden çıkan sıcak su kaynakları 4 grup altında toplanmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. İnceleme alanının basitleştirilmiş jeoloji haritası ve sıcak su kaynaklarının yeri (Filiz ve Tarcan, 1993)

5.2. Hidrojeokimya

Çalışma alanının hidrojeokimyasal özelliklerini anlamak için, alanda bulunan farklı kuyulardan toplam çalışma alanını temsil eden 5 su örneği alınmıştır. Su örneklerinin toplanmasından önce yörede her lokasyonda in-situ ölçümleri gerçekleştirilmiştir, ölçümler için kullanılan insitu cihazları (Çizelge 4.1), yararlanılmıştır. Ölçülen in-situ

parametreleri sıcaklık, pH, redoks potansiyeli (Eh), çözülmüş oksijen(O₂), elektriksel iletkenlik (EC) ve alkalinite olmaktadır.

Özet olarak, sıcaklık 61.6 ile 76 C arasında, pH 7.12 ile 7.58 arasında ve elektriksel iletkenlik aralıkları arasında 6.71 ile 29.2 µS/cm arasında değişmektedir. Detaylı sonuçları Çizelge 5.2 'de verilmiştir. Aşağıdaki katyonlar ve elementler, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Pb²⁺, SiO₂, Zn²⁺, Al³⁺, Cr³⁺, Cu²⁺ ve As³⁺, ICP-37

OES ve ICP-MS analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Buna karşın aşağıdaki anyonlar F⁻, Br⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻ and PO₄⁻ iyonkromatografisi (IC) yönetmi ile analiz edilmiştir. The HCO₃⁻ and CO₃²⁻ değerleri arazide gerçekleştirilen alkalinite ölçümlerinde hesaplanmıştır. Hidrojeokimyasal analizlerin değerlendirilmesinde, Aquachem v.3.7 (Calmbach, L., 1999), spreadsheet ve Solveq kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal analizleri, Çizelge 5.3'de sunulmaktadır.

5.2.1. Hidrojeokimyasal Analizler

Şifne ve yakın çevresinden alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçları AQUACHEM v.3.7 (Calmbach, L., 1999) ve Liquid analysis spreadsheet kullanılarak değerlendirilmiştir. Aynı şekilde, Çeşme ve yakın çevresi jeotermal sularını tanımlamak ve grafiksel olarak gösterebilmek için Piper ve üçgen diyagramları hazırlanmıştır. Piper diyagramına göre (Şekil 5.2.), Şifne ve yakın çevresi jeotermal suları Na-Cl-MgCl tipi sular olarak adlandırılabilir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Çalışma alanındaki örneklerin su tipleri

Örnek No	Lokasyon	Su Tipi
SD_1	Şifne	Na-Cl
SD_2	Çeşme ılıcalar	Na-MgCl
EB1	Cumalı	Na-Cl
EB_2	Karakoç	Na-MgCl
EB_3	Doğanbey	Na-Cl

Çizelge 5.2. Şifne ve yakın çevresi termal suların in-situ parametreleri

S/No	Örnek Koordinat	Konum	Sıcaklık (OC)	pH	Eh (mV)	Çözünmüş O ₂	EC (µS/cm)	Alkalinite
1	SD_1 0491280D 04215081K	Şifne	39.2	7.31	101.3	2.7	29.7	4.3
2	SD_2 0447008D 04242119K	Çeşme Ilıcalar	34.6	7.46	73.00	3.7	29.1	4.3
3	EB_1 0492183D 04219667K	Cumalı	61.4	7.12	-57.8	3.1	29.2	4.3
4	EB_2 0492811D 0421600K	Karakoç	55.1	7.27	92.4	3.0	6.71	4.3
5	EB_3 0491282D 04215080K	Doğanbey	76.1	7.58	112	4.1	10.33	4.3

Çizelge 5.3. Şifne ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları

Örnek No	Mg ²⁺ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	B ³⁺ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻
SD_1	408	0.2	3.1	19.6	1418	10287	5.2	329.4
SD_2	1187	0.2	4.9	13.2	2987	21566	0.1	317.2
EB_1	56.3	0.2	14	142	170	10231	0.1	427
EB_2	52.5	0.2	8	53.5	187	1765	1.15	847.9
EB_3	59.3	0.2	9.4	68.5	267	3075	0.56	640.5

Çizelge 5.4. Şifne ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları

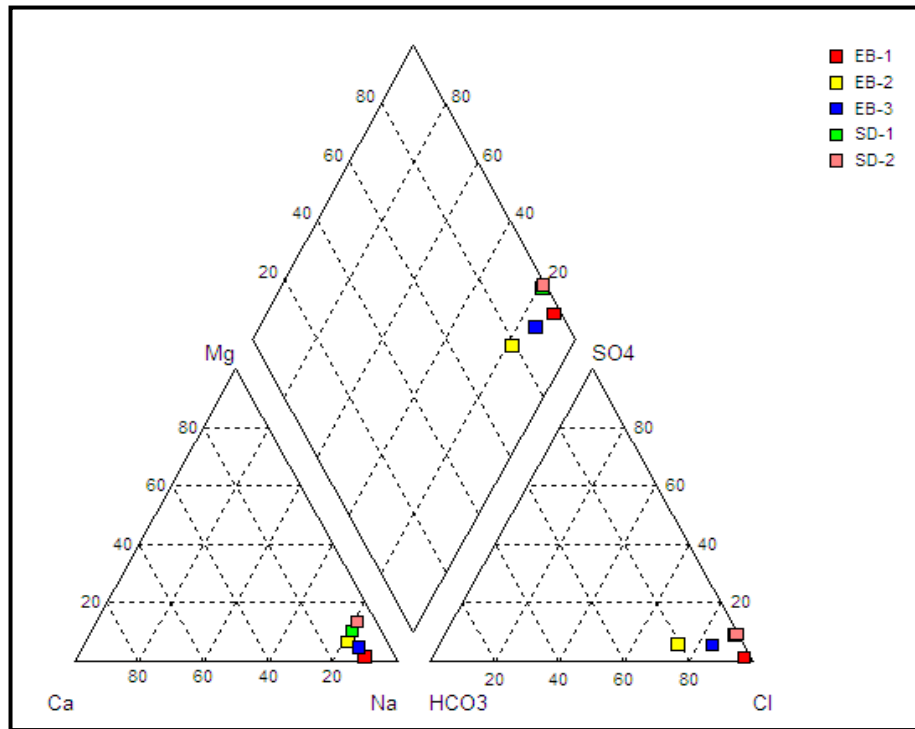
Örnek No	X	Y	Sıcaklık C°	pH	Eh(mV)	O ₂ (mg/l)	EC (S/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Ca ₂ ⁺ (mg/l)
SD_1	0491280D	042215081K	39.2	7.31	101.3	2.7	29700	6052	206	590
SD_2	0447008D	04242119K	40	7.46	73	3.7	57100	13400	437	855
EB_1	0492183D	04219667K	61.4	7.27	92.4	3	29200	58.58	754	546
EB_2	0492811D	0421600K	55.1	7.27	92.4	3	6710	1236	93.9	160
EB_3	0491282D	04215081K	76.1	7.58	112	4.1	10830	1985	4.22	195

Piper (üçgen) diyagramı gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardır.

Majör anyonlar Cl-SO₄-HCO₃ baz alındığında (Giggenbach, 1988), bu üçgen diyagramı jeotermal suları sınıflandırmak için kullanılır (Şekil 5.4). Bu olgunlaşmamış kararsız suları ayırt etmeye yardımcı olur ve karıştırma ilişkileri coğrafi gruplaşmalar bir ilk göstergesidir. Bu çalışma alanında bulunan duraysız

suları ayırtlamaya yarar ve burada bulunan suların karışım ilişkileri ile ilgili belirteçleri verir.

Piper diyagramı anyon ve katyonların (% mek/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal su tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Piper üçgen diyagramına göre inceleme alanındaki sıcak suların büyük bir kısmının sodyum, sülfat ve bikarbonatlı su tipini yansıttıkları görülmektedir. Diğer sıcak sular ise sodyum, kalsiyum, sülfat ve bikarbonatlı sulardır. Piper sınıflamasında yöredeki sodyum sülfatlı sular karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan alana düşmektedir (Şekil 5.2). Diğerleri ise iyonların hiç birisi %50'yi geçmeyen karışık sular sınıfına girerler.

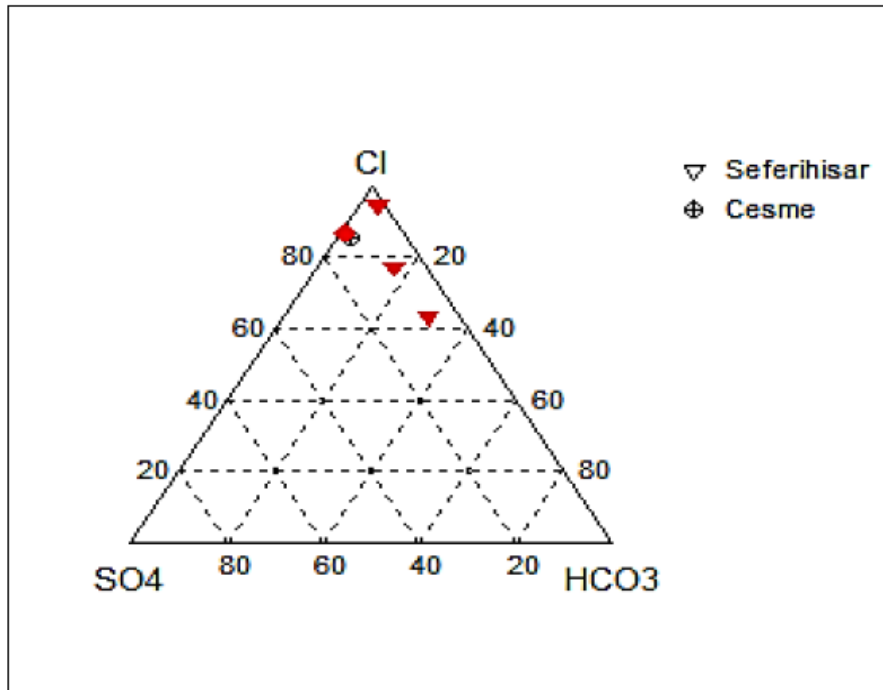


Şekil 5.2. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi

Suları isimlendirmek, birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimleri araştırmak ve kökeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların hidrojeo-kimyasal su tipinin belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyes

kavramı, suların içerdikleri başlıca iyonların oran-larına bağlı olarak sınıflandırılması esasına dayanmaktadır. Suda çözünen baş-lıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/L cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal su tipini belirtmektedir. Eğer iyon-ların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir.

Sıcak ve mineralli suların diğer bir sınıflaması da başlıca anyonlara göre (Cl , HCO_3 , SO_4) yapılabilmektedir (Giggenbach, 1991). Çalışma alanındaki sıcak sular orta derece tuzlu (Doğanbey ve Karakoç sıcak suları) ve ileri derece tuzlu (Doğanbey burnu, Cumalı ve Tuzla sıcak suları) olmak üzere iki grupta toplanabilir. İçerdikleri anyon miktarına (meq/l) göre; Cumalı, Doğanbey ve Karakoç kaynakları $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$; Tuzla ve Doğanbey Burnu kaynakları $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ kimyasal bileşimine sahiptir.



Şekil 5.3. Şifne ve yakın çevresi jeotermal sularının Cl-SO4-HCO3 üçgen diyagramı

Çizelge 5.5. Suların sodyum adsorpsiyon oranı'na (SAR) göre sınıflaması

SINIF	SAR
ÇOK İYİ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI	<10
İYİ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI	10-18
KULLANILABİLİR ÖZELLİKTE SULAMA SULARI	18-26
KULLANILAMAZ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI	>26

Tüm sıcak sular Fransız sertlik derecesine göre çok sert sular olup; EC, Na⁺,Cl⁻ derişimlerine göre içilemeyen sular sınıfındadır. Yine içerdikleri yüksek Cl⁻, Na⁺,B³⁺ ve EC değerleri ile tarımda sulamaya elverişli değildir.

5.2.2. Doygunluk İndeksi

Farklı kullanım alanlarıyla insanlığa hizmet eden termal suların bir yerden bir yere taşınması sırasında kabuklaşma yada korozyon gibi çok önemli sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sorunların yaşanmasında suyun mineral doygunluğu, çökme ve çözülme özellikleri büyük ölçüde etkindir.

Genellikle çökel ürünü olarak gözlenen kalsit, dolomit ve jips minerallerinin farklı sıcaklık değerlerinde mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması ve diyagramının çizilmesi, bu sorunların önlenmesinde etkin rol oynamaktadır. Bunun için kullanılan mineral sıcaklık diyagramlarında Pozitif doygunluk indeksi çökeltici özelliği, negatif doygunluk indeksi ise çözündürücü özelliği ifade etmektedir. Doygunluk indeksleri, jeotermal sistemde kayaç ile su arasında meydana gelen kimyasal dengelenmeyi değerlendirmede yararlıdır. Bu, hidrotermal alterasyona uğrayan kayaçları oluşturan minerallerin çözünürlüğü ve bu minerallerin aktiviteleri ile ilgili bilgilerin toplanması ile sonuçlandırılır. Çözeltilerde iyonların, iyon çiftlerinin ve komplekslerin çok sayıda olması nedeniyle, her tip mineral ve bunların aktiviteleri için doygunluk indeksleri geliştirmek yazılım programı kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada Aquachem programı doygunluk indeksini hesaplamak için kullanılmıştır. Mineral doygunluk indekslerinin hesaplamasında basınç 1 atm olarak alınmış ve pH sabit tutulmuştur. Bulunan bu değerler Excel programı aktararak mineral sıcaklık denge diyagramı oluşturulmuştur (Çizelge 5.6.).

Çizelge 5.6. Çalışma alanındaki örneklerde rastlanabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksleri

Mineraller	SD_1	SD_2	EB_1	EB_2	EB_3
Anhidrit	-0.72	-0.49	-1.39	-1.51	-1.14
Aragonit	0.58	0.75	0.79	0.86	1.27
CO ₂ (g)	-1.89	-2.14	-1.41	-1.22	-1.02
Kalsit	0.74	0.88	0.91	0.98	1.38
Kalsedon	-0.16	-0.22	0.53	0.13	0.05
Dolomit	1.76	2.42	1.38	2.00	2.68
Jips	1.34	1.19	0.65	0.77	-0.29
SiO ₂ (a)	-0.95	-1.01	-0.20	-0.62	-0.65
Sepiyolit	-1.58	-0.27	-0.77	-1.51	0.42

Çalışma bölgesindeki sular doygunluk indekslerine göre incelendiğinde; Cumalı Kaplıcası EB_1 örneğinde; Doygunluk gösteren mineraller aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, jips'dir. Bunun yanı sıra anhidrit, kuvars ve sepiyolit mineralleri doygunluk göstermemektedir. Karakoç EB-2 örneğinde ise aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit ve jips mineralleri doygunluk göstermekte ancak anhidrit, kuvars, sepiyolit doygunluk göstermemektedir. Doğanbey EB_3 örneğinde ise aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, sepiyolit doygunluk göstermekte ancak anhidrit, jips, kuvars doygunluk göstermemektedir. Çeşme Şifne bölgesinden alınan SD_1 ve SD_2 örneklerinde aragonit, kalsit, dolomit, jips doygunluk gösterirken anhidrit, kalsedon, kuvars, sepiyolit ise doygunluğa erişememiştir.

5.3. Jeokimyasal Jeotermometre Uygulamaları

Termal sular yer altında farklı sıcaklık ve basınç koşulların altında bulunur ve bulunduğu kayaç ile etkileşime girer. Bu etkileşim rezervuar kayacın mineralojisine bağlı olarak su kimyasını da değiştirir. Jeotermometreler su kimyasındaki bu değişimden yola çıkarak rezervuar sıcaklığını hesaplamaya yönelik oluşturulmuş denklemlerdir.

Jeotermometre eşitlikleri kullanılış şekillerine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; Birleşik (kombine) Jeotermometre uygulamaları ve Kimyasal jeotermometre uygulamalarıdır. Kimyasal jeotermometre uygulamaları da kendi içerisinde Silis jeotermometreleri ve katyon jeotermometreleri olarak ikiye ayrılır.

Her jeotermometre kendi içerisinde bulunduğu hidrojeokimyasal durumu yansıtır, bu nedenle bazı jeotermometreler yapılan hesaplamalarda afaki değerler vermiştir. Bu duruma yüzeyde ölçülen sıcaklık değerinden daha düşük akifer sıcaklığı veren K-Mg jeotermometresi bir örnektir. Amorf silis (Fournier, 1977), Amorf silis (Arnorsson, 1995), Alfa ve Beta Kristobali (Fournier 1977) ve Ma-gonit (Gislason vd., 1996) gibi silis jeotermometreleri de benzer olumsuz sonuçları verdiği için tablolarda gösterilmemiştir. Grafik ve tablo sonuçları dikkatli bir şekilde irdelenmiş ve yorumlamanın daha gerçekçi sonuçlara ulaşması hedeflenmiştir. Çalışma alanına ait rezervuar kayacın sıcaklığının belirlenmesinde Na-K, Na-K-Ca, Na-K-Ca-Mg, jeotermometrelerinden yararlanılmıştır.

5.3.1. Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları

Çalışma alanında seçilmiş olan sıcak su örneklerinin, akifer sıcaklıklarını hesaplamada kullanılan bir diğer yöntem ise kimyasal jeotermometre uygulamalarıdır. Kimyasal jeotermometre eşitlikleri kullandıkları kimyasal reaksiyon açısından başlıca iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan biri; mineralin sıcaklığa bağlı çözünürlüğünü temel alan jeotermometre yani Silis jeotermometreleri, diğeri ise çözünmüş iyonların sıcaklığa bağlı iyon takas (ion exchange) reaksiyonlarına dayanan jeotermometre yani katyon jeotermometreleridir (Na-K, Na-Ca, Na-K-Ca, K-Mg, Li-Na vb.) (Doğdu, 2004).

5.3.1.1. Silis Jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki çözünürlüğüne bağlı jeotermometrelerdir (Çizelge 5.7). Silisin çözünürlüğü sıcaklık ve basınç ile değişim gösterir. Silis minerali su içerisinde; kuvars, kalsedon, kristobalit, opal ve amorf gibi çeşitli formlarda bulunur. Bu formlar su içerisinde birbirinden farklı kinetik özellik gösterir. Bu farklılıktan yararlanarak haznekaya sıcaklığını tahmin etmede kullanılan silis jeotermometreleri her silis formu için farklı hesaplamalar içerir.

Yüksek sıcaklıklarda akifer kayaktan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkan-da hızlı silis çökelişi gözlenmektedir. Sıcaklığı 180°C'den düşük olan jeotermal

sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180°C'den daha yüksek jeotermal sistemlerde ise kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmektedir (D'Amore ve Arnorsson, 2000).

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, akifer (hazne) sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler 150-225°C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden, yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225°C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sulara gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır. Silisin bu özelliğinden yola çıkılarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır (Tarcan, 2002).

Çizelge 5.7. 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 (Kuvars)	$t = 1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
6	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
7	SiO ₂ (Kalsedonkond soğ)	$t = 1112 / (4.91 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
8	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1264 / (5.31 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Amorsson vd, 1983
9	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1021 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Amorsson vd, 1983
10	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1164 / (4.9 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Amorsson vd, 1983
11	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1498 / (5.7 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Amorsson vd, 1983

5.3.1.2. Katyon Jeotermometreleri

Bir çözeltildeki iyonların başka iyonlarla yer değıştirmesinden yola çıkarak oluşturulmuş jeotermometrelerdir (Çizelge 5.8). Na/K jeotermometresi, Na-K-Ca jeotermometresi ve Magnezyum düzeltilmeli Na-K-Ca jeotermometresi katyon jeotermometrelerine birer örnektir. Her jeotermometre bağıntısı kendi içerisinde bulunduğu hidrojeokimyasal durumu yansıttığından, aynı element kullanıl-masına karşın formüller doğmuştur. Mutlu (1999)'a göre; katyon jeotermometreleri, belirli çözülmüş elementlerin oranlarını sabitleyen sıcaklık bağımlı değışik reaksiyonlarını esas almaktadır. Oluşum birlikteliğı gösteren alkali feldispatlar arasındaki Na ve K

değişimi katyon jeotermometrelerinin esas alındığı temel için verilebilecek en güzel örnektir.

Na/K jeotermometreleri suda fazla miktarda Ca iyonu bulunuyorsa, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, $\log (\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}})$ değerinin 0.5'den az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350°C sıcaklıktaki hazne kayadan gelen sularda iyi sonuçlar vermektedir (Özen, 2002).

Na-K-Ca jeotermometrelerinde Ca/Na (mol/l) oranının birden büyük olduğu durumlarda Na/K jeotermometre bağıntıları, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında çok yüksek değerler vermektedir (Özen, 2002). Jeotermometrenin bu olumsuz yönünü gidermek için Fournier ve Truesdell (1973) tarafından aşağıdaki bağıntı geliştirilmiştir.

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right) + \beta \log\left(\frac{\sqrt{\text{Ca}}}{\text{Na}}\right) + 2,24} - 273,15 \quad (5.1)$$

Bağıntıda Na, K, Ca, mol/l olarak alınır. B bir katsayıdır. Eğer $\log (\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}})$ değeri (-) ise $\beta=1/3$, (+) ise $\beta=4/3$ olarak bağıntıya konur. Ayrıca $\beta=4/3$ olarak hesaplanan hazne kaya sıcaklığı 100°C'den fazla ise $\beta=1/3$ alınarak hazne kaya sıcaklığı tekrar hesaplanabilir.

Çizelge 5.8. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

No	Na/K Jeotermometreleri	Jeotermometre Bağıntıları	Değınilen Belgeler
1	Na/K	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Amorsson vd, 1983
2	Na/K	$t = 1319 / (1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Amorsson vd, 1983
3	Na/K	$t = 777 / (0.70 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Amorsson vd, 1983
4	Na/K	$t = 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Truesdell, 1976
5	Na/K	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979b
6	Na/K	$t = 1178 / (1.470 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Nieva ve Nieva, 1987
7	Na/K	$t = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Giggenbach vd, 1983
8	Na/K (mmol)	$t = 908 / (0.692 + \log \text{K}^2/\text{Mg}) - 273.15$	Fournier, 1979b
9	K/Mg	$t = 4400 / (13.95 - \log(\text{K}^2/\text{Mg})) - 273.15$	Giggenbach vd, 1983
10	Li/Mg	$t = 2200 / (5.470 - \log(\text{Li}/\text{Mg}^{0.5})) - 273.15$	Kharaka ve Mariner, 1989
11	Na/Li	$t = 1590 / (0.779 + \log (\text{Na}/\text{Li})) - 273.15$	Kharaka vd, 1982
12	Na/Li (mmol) CL<0.3	$t = 1000 / (0.389 + \log (\text{Na}/\text{Li})) - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
13	Na/Li (mmol) CL>0.3	$t = 1195 / (0.130 + \log (\text{Na}/\text{Li}^{0.5})) - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
14	Na/Ca	$t = 1096.7 / (3.08 - \log (\text{Na}/\text{Ca}^{0.5})) - 273.15$	Tonani, 1980
15	K/Ca	$t = 1930 / (3.861 - \log (\text{K}/\text{Ca}^{0.5})) - 273.15$	Tonani, 1980

5.3.2. Birleşık Jeotermometre Uygulamaları

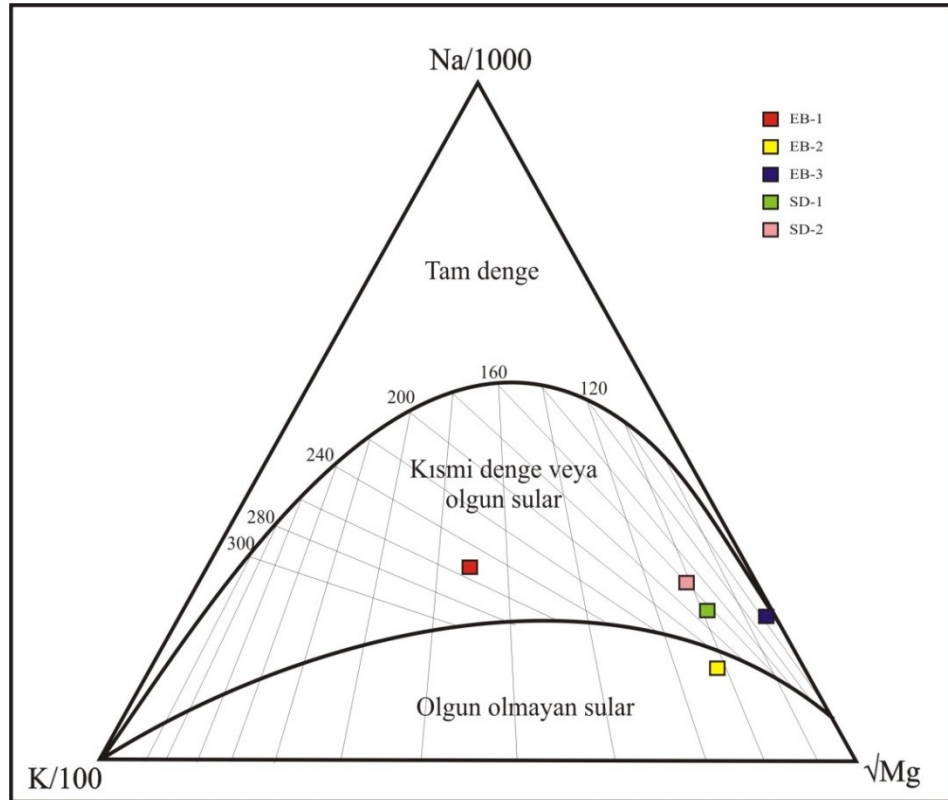
Giggenbach (1988) hazırladığı diyagramla suları içerdikleri Na, K ve Mg iyonlarının mg/l değerlerine dayalı olarak sınıflamıştır. Bu sınıflamaya göre; I. Bölgeye düşen sular; su kayaç ilişkisi açısından kısmen dengede, II. Bölgeye düşen sular ise su-kayaç ilişkisi bakımından kimyasal dengelenmenin sağlanmamış olduğu sulardır.

Giggenbach (1988)'ın hazırladığı bu diyagramı Fournier (1990) yılında revize etmiş ve diyagram şimdiki halini almıştır. Buna göre diyagram üç bölgeden oluşmaktadır. I. Bölgede; Su kayaç ilişkisi bakımından dengede sular, II. Bölgede; Kısmen dengelenmiş sular, III. Bölgede; Ham sular bulunmaktadır. Fournier II. ve III. Bölgelerin ayrımını, oluşturduğu “Olgunluk Derecesi” (Maturity Index) kavramına dayandırmıştır. Olgunluk indeksi (MI) 2.0'ın altında bulunan sular ham sular sınıfına girerken (III. Bölge), olgunluk indeksi değeri 2.0'ın üzerinde bulunan sular ise kısmen veya tamamen olgunlaşmış, su-kaya ilişkisi dengede olan sular sınıfına girmektedir (I ve II. Bölge). Burada bahsedilen olgunlaşma su-kayaç arasındaki kimyasal dengeye karşılık gelmektedir. Na-K-Mg jeotermometrelerinin sağlıklı sonuçlar verebilmesi için örneklerin mg/l değerlerinin diyagramda dengelenmiş sular sınıfına (I. Bölge) düşmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.9. Şifne ve Yakın Çevresi Termal Suların Çözünen jeotermometresine göre sonuçları

Örnek no	Örnekleme Sıcaklığı C°	Amorphous Silica	Cristobalite Alpha	Cristobalite Beta	Chalcedony	Quartz	Quartz Steam loss	K/Mg Giggenbach 1983	Na/K Fournier 1973	Na/K Truesdell 1976	Na/K Fournier & Potter	Na-K Fournier 1979	Na-K-Ca Fournier 1979	Na-K-Ca-Mg Fournier 1979	Çalışma Alanı
SD 1	39.2	-58	4	-39	21	53	60	49	85	95	152	139	157	18	Şifne
SD 2	40	-65	-4	-47	11	44	51	52	82	92	149	137	165		Şifne
EB 1	61.4	23	99	50	124	149	143	18	215	217	263	240	234	170	Cumalı
EB 2	55.1	-21	48	2	68	99	100	36	154	160	213	195	183	57	Karakoç
EB 3	76.1	-11	60	12	81	110	110	70	-43	-31	23	20	49		Doğanbey

Olgunluk İndeksi (MI) = $[0.315 \log (K^2/Mg)] - [\log (K/Na)]$ (Giggenbach, 1998)



Şekil 5.4. İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg diyagramındaki görünümü ve su-kayaç denge sıcaklıkları (Giggenbach, 1988)

Na-K-Mg1/2 üçgen diyagramı solute termometre uygulamaları ile rezervuar sıcaklığı uygun jeotermal sular arasında açık ayırım yapmak için bir yöntem olarak

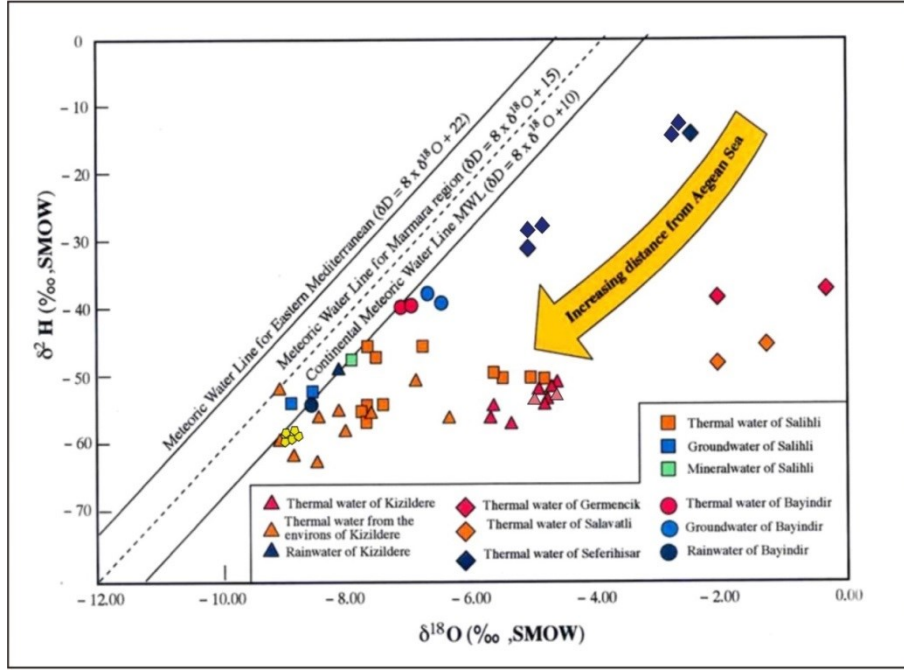
Giggenbach (1988) tarafından önerilmiştir. Seferihisar jeotermal alanından gelen su örneklerinden EB-1 (Cumalı) “Kısmi Dengelenmiş Sular” sınıfına düşmektedir. EB-2 (Karakoç) “Ham Sular”, EB-3 (Doğanbey) “Kısmi Dengelenmiş Sular” alanlarına düşmektedir. Diğer incelenen örneklerde ise Şifne örneklerinden SD-1 “Kısmi Dengelenmiş Sular” sınıfına düşmekte Şifne SD-2 örneği ise “Kısmi Dengelenmiş Sular” sınıfına düşmektedir. Seferihisar örneklerinin hepsinin daha çok deniz suyu karışımının olduğu alana düştüğü gözlenmektedir (Şekil 5.4).

5.3.3. Çalışma Alanındaki Termometrelerin Jeokimyasal Değerlendirmesi

Çalışma alanındaki rezervuarın sıcaklığını anlamak için çalışma alanı jeotermal suları hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Jeokimyasal termometrelerin sonuçları Çizelge 5.9’de verilmiştir. Silis jeotermometreleri ile yapılan analiz sonuçlarına göre Şifne Kaynağı (SD_1) 53-60 °C, Ilıca Kaynağı (SD_2) 44-51 °C, Cumalı Ilıcası (EB-1) 143-149 °C, Karakoç (EB-2) 99-100 °C, Doğanbey Termal (EB-3) 110o °C, arasında sıcaklıklar hesaplanmıştır. Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre Şifne Bölgesinde 85-95 °C, Seferihisar bölgesinde 154-240 °C arasında sıcaklıklar ölçülmüştür. Jeotermometre sonuçlarına bakılacak olursa Seferihisar bölgesi hazne kaya sıcaklığının Tuzla, Cumalı sıcak su kaynaklarına doğru arttığı saptanmıştır.

5.4. İzotop Jeokimyasal Özellikler

Okyanus sularında, δD ve $\delta^{18}O$ 0 ‰ (SMOW) değerine yakındır. Sıcak suların $\delta^{18}O$ değeri SMOW’a göre Cumalı Kaplıcası’nda binde 2.88-3.24, Cumalı Tuzlası’nda binde 2.55, Doğanbey Ilıcaları’nda binde 5.04-5.54, Karakoç Kaplıcaları’nda binde 5.70-6.03, soğuk yeraltı sularında ise binde 5.94-6.2 daha fakirdir. Deniz suyunda ise buharlaşmadan dolayı binde 0.96’lık bir zenginleşme söz konusudur. Döteryum (δ^2H) değerlerinde de SNOW’a göre binde 13.3 ile 31.9 arasında değişen bir fakirleşme, deniz suyunda ise binde 10.1 zenginleşme söz konusudur (Şekil 5.6).



Şekil 5.5. Çalışma alanındaki bazı su noktalarının $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramındaki yeri (Tarcan, 1993)

İnceleme alanındaki izotop analizleri birlikte yorumlandığında yeraltında hızlı bir hidrojeolojik çevrime sahip, beslenme alanlarına ve kökenlerine göre iki tip hazne kaya sisteminin varlığı söylenebilir. Cumalı ve Tuzla sıcak su kaynakları kökeni deniz suyu olan, meteorik su katkısını da içeren, yüksek tuzlu ve yüksek entalpili sularıdır. Karakoç ve Doğanbey sıcak su kaynakları ise daha çok meteorik kökenli, bir miktar deniz suyu karışımı içeren yüksek entalpili, orta tuzlu sularıdır.

Hazne kaya sıcaklığının Cumalı ve Tuzla sıcak su grubuna doğru arttığı söylenebilir (Çizelge 5.10; Şekil 5.6 (Filiz veTarcan, 1993)).

Çizelge 5.10. Seferihisar ve yakın çevresi bazı su noktalarının Oksijen-18, Döteryum ve Tirityum izotop blesimleri (Filiz veTarcan, 1993)

Örn. Trh.	Konum	$\delta^{18}\text{O}$ (‰SMOW)	δH (‰SMOW)	aH (TU)
23.08.1978	Cumalı	-2.88	-16.3	64±10
18.07.1979	Tuzla	-2.55	-13.3	45±10
03.08.1979	Doğanbey	-5.04	-30.9	13
18.07.1979	Karakoç	-5.70	-31.9	13-26

Buharlařma hafif izotopları tercihen kendi yolunu bularak bulutların oluşmasına neden olur. Bulutlar muhtemel olarak yağmur olarak yere dūřer ve çeşitli faktörlere bağlı olan konsantrasyonudur; hafif ve ağır izotopların konsantrasyonunda öktürölmüř ve nispeten daha dūřük izotop oranları daha yüksek yağış bulunan yerlerde, dūřük izotop oranları deniz kenarında dūřük enlemlerde, irtifa ve mesafesi daha yüksek bulunur, hafif ve ağır izotoplar konsantrasyonu çeşitli faktörlerde, yani enleme bağlılığı vardır ve dūřük yüksekliklerde ve kıyıda kısa mesafelerde daha yüksektir. Geçici etkiler aynı yerde izotopik farklılıklarına neden olabilir. Tek sağanak farklı mesafelerde hareket edebilir ve kompozisyon bulut kökeni ve yoğunlaşma sıcaklığına bağlıdır. Mevsim değişiklikleri dūřük izotop oranları ile yaz aylarına göre kış aylarında dūřük izotop oranları gözlenir. Bu etki dūřük enlemlerde daha yüksek ve daha belirgindir. Uzun vadeli iklim değişiklikleri soğuk iklimlerde sıcak iklim dönemlerinde daha yüksek olanlardan yağışı dūřük, izotop oranları ile benzer bir etkidedir. Bir niceletkisi bazen izotop oranları ve yağış miktarı arasında ters bir ilişki olarak görölmektedir. Bu etki alçak enlemlerde yüksek enlemlere daha belirgindir. Su kökenini izlemek için duraylı izotop oranlarının kullanırlılığının nedeni yağış sonrası suyun izotoplarında çok az değişim olması ve suların uzun mesafeler kat etmesidir. Yağış için yerel yıllık ortalama yağış ortalamaları sistemi oluşturulmuştur (Craig, 1963) ve bunlar burada tüm sapmaların olmasına rağmen bütün dünyada kabul edilen δD ile $\delta^{18}O$ ilişkiyi tanımlayan meteorik çizgiyi gösterir.

Ancak, jeotermal su değerleri aslında onların kökenini akla getirir, karışım, kaynak-su etkileşimi, buhar yoğunlaşması ve yaş ilişkisinin dikkate alınması gerekmektedir. Bir jeotermal sistemin izotop jeokimyası jeotermal akışkanın kalma süresi, kökeni, yaşı, jeotermal suların kalma süresi, suyun maruz kaldığı fiziksel prosesler, kaynak su etkileşimi ve rezervuar hakkında bilgi verir.

6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

6.1. Şifne Jeotermal Alanında Olası Isı Kaynağı, Jeotermal Sistem ve Tektonik Arasındaki İlişki

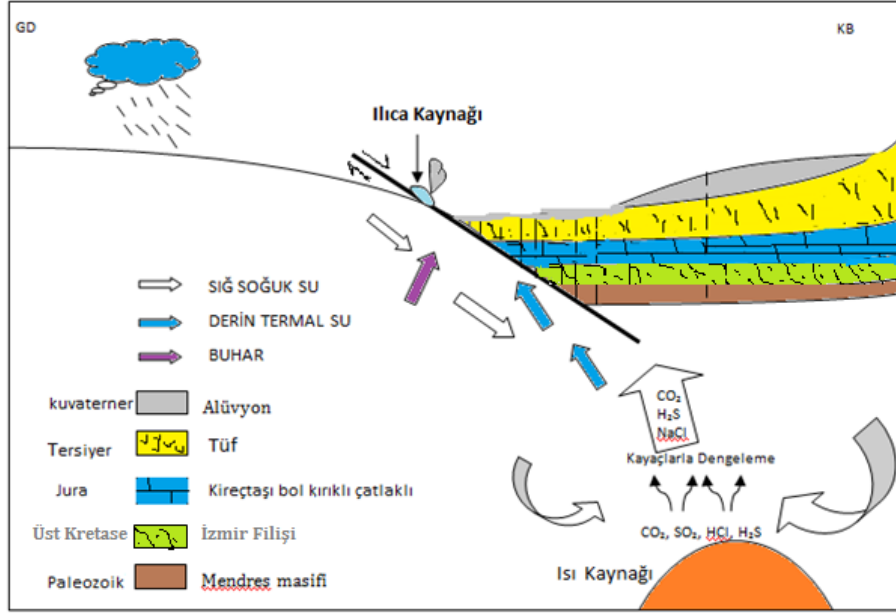
Şifne jeotermal alanındaki sıcak sular deniz suyunun ve beslenme alanına düşen yağış sularının tektonik hatlar boyunca yeraltına süzülerek, derinlerde henüz sıcaklıklarını yitirmemiş genç asidik domların etkisiyle ısındıktan sonra, yine tektonik hatlar boyunca soğuk yeraltı suları ve deniz suyu ile değişik oranlarda karışarak yüzeyleyen devirli sistem sınıfına girerler. Temelde yeralan ultrabazikler, İzmir Flişi'ne ait sekonder permeabiliteli kumtaşları, spilitik volkanitler, kireçtaşı kütleleri sıcak suların hazne kayasını oluştururlar. Şifne ve ılıca kaynakları bir miktar deniz suyu karışımı içeren yüksek entalpili, Kısmi dengelenmiş sular sınıfına girmektedir. Cumalı ve Tuzla sıcak su kaynakları kökeni deniz suyu olan, meteorik su katkısını da içeren, yüksek tuzlu ve yüksek entalpili sulardır. Karakoç ve Doğanbey sıcak su kaynakları ise daha çok meteorik kökenli, bir miktar deniz suyu karışımı içeren yüksek entalpili, orta tuzlu sulardır. Hazne kaya sıcaklığının Cumalı ve Tuzla sıcak grubuna doğru arttığı söylenebilir. Yani birden fazla hazne kayacın varlığı sözkonusudur ve bu hazne klasik anlamda hazne kavramının ötesinde tamamen kırıklara bağlı bir hazne kaya sistemidir. Yüzeyde geniş mostralara veren riyolit-dasit arasında değişen volkanik kayaların henüz soğumamış bir derinlik eşdeğeri ise ısıtıcı kayadır. Geçirimsiz killi düzeyler içeren Neojen karasal oluşuklar örtü kaya özelliğindedir. Cumalı ve Doğanbey fayları birinci derece etkin faylar olup, sıcak sular bu faylara ve bu fayların tali kırıklarına bağlı olarak yüzeyler.

6.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri

Genel olarak geçirimsiz kabul edilen İzmir Flişi'nin içindeki kumtaşları, kireçtaşları, spilitik volkanitler ve serpantinitle geçirdikleri tektonik deformasyon sonucu kazandıkları ikincil porozite ve permeabilite nedeniyle su verebilecek kaya birimleridir. Şeyller ise su içermezler ve geçirimsiz engel kaya özelliğindedir. Mercak ve olitolit kireçtaşlarının şeyllerle olan dokanaklarında yer yer düşük debili

su kaynakları gözlenmektedir. İnceleme alanındaki birbirine çok yakın gözelerden çıkan sıcak su kaynakları 5 grup altında toplanmıştır (Şekil 5.1).Şifne ve Ilıca kaynakları, İzmir Ankara Fayı'nın uzantısı arasında ultrabazik kayalar ile jura kireçtaşları arasında (yüzey sıcaklığı) 39.2-40 °C sıcaklığa ve 20/s debiye sahiptir. Cumalı Kaplıcası sıcak suları Cumalı Fayı ile Doğanbey Fayı'nın uzantısı arasında Neojen tortullar ile İzmir Flişi dokanağında yer alır. 61.4 °C sıcaklığa ve yaklaşık 5 l/s debiye sahiptir. Sıcak su çıkış yerlerinde spilitik volkanitler ve yastık lavlar ile çeşitli hidrotermal alterasyon ürünleri gözlenir. Tuzla Ilıcaları çok sayıda değişik gözden çıkan 72 °C sıcaklıkla ve yaklaşık 25 l/s debili, Tuzla Fayı ile Doğanbey Fayı'nın kesişim yerine yakın oluşan güncel hidrotermal çökelti içinden ve İzmir Flişi'nin kumtaşı düzeylerinden yüzeyler. Doğanbey Ilıcaları da, Doğanbey Fayı boyunca İzmir Flişi'ne ait kumtaşlarından değişik gözelerden çıkar ve toplam 35 l/s debi ile Hamam Deresi boyunca denize ulaşır. 76.1 °C sıcaklıkla bu ılıca çevresinde traverten, tuz (NaCl) ve NaHCO₃ çökelleriyle birlikte silisli, demirli, killi alterasyon zonları gözlenir. Karakoç sıcak su kaynakları 55.1 °C sıcaklıklı ve 5 l/s debiye sahip olup; doğu-batı doğrultulu fay boyunca yüzeylenir.

Tüm sıcak su kaynaklarının gözeleri ve sıcaklıkları zamanla az çok değişmektedir. Bu değişimler büyük olasılıkla hidrotermal çökellerle tıkanan bir çatlağın yerine, suyun bir başka çatlak boyunca yer değiştirmesine, basınca ve küçük yer sarsıntılarına bağlı olarak değişmektedir. Burada inceleme alanındaki sıcak su kaynak gruplarının kimyasal analizleri yorumlanmıştır.



Şekil 6.1. Şifne jeotermal sisteminin basitleştirilmiş hidrojeolojik oluşum modeli

Çalışma alanındaki sıcak sular temelde yer alan mermer bant ve mercekleri içeren şistler ile temelin üzerinde bulunan allokton İzmir flişi'ne ait kumtaşları, mercek ve olistolitleri ile serpantinit kütlelerinden oluşan kırıklı hazne kaya sisteminden ve alt-orta-üst Miyosen yaşlı tortullar Bahçecik, Yeniköy, Cumaovası volkanitleri örtü kaya özelliğindedir. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yüzeyi kaplar.

Sıcak sular deniz suyunun ve beslenme alanına düşen yağış sularının tektonik hatlar boyunca yeraltına süzülerek, derinlerde henüz sıcaklığını yitirmemiş genç asidik domların etkisiyle ısıdıktan sonra, yine tektonik hatlar boyunca soğuk yeraltı suları ve deniz suyu ile değişik oranlarda karışarak yüzeyleyen devirli sistem sınıfındadır.

Sıcak sular hızlı bir hidrojeolojik çevrime sahiptir. Beslenme alanlarına ve kökenlerine göre iki tip kırıklı hazne sistemi ayırt edilmiştir. Cumalı ve Tuzla sıcak su kaynakları yüksek entalpili, yüksek tuzlu, büyük oranda meteorik su karışımı içeren denizel kökenli sulardır. Doğanbey ve Karakoç sıcak su kaynakları ise yüksek entalpili, orta tuzlu, az miktarda deniz suyu karışımı içeren meteorik kökenli sulardır. Hidrojeolojik çevrimin hızlı olması ve denizden beslenmeler jeotermal sistemin güncel meteorolojik değişimlerden etkilenmeyeceğini ve sahanın uzun ömürlü olduğunu gösterir. Sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları Cumalı-Tuzla sıcak su

kaynak gruplarına doğru artmaktadır. Yüksek entalpili su elde edilmesi için üretim sondajlarının bu kaynakların çevresinde açılması gerekir. Alanda özellikle alüvyon akiferinde aşırı yeraltı suyu çekimi ile artan deniz suyu girişi ve sıcak suların yeraltı sularına karışmasıyla oluşan iki tür tuzlu su kirlenmesi bulunmaktadır. Sıcak suların akifere karışmadan bertaraf edilmesi ve uygun yerlere açılacak beslenme kanalları ile yeraltı sularının yapay beslenmesi tuzlu su kirlenmesini bir ölçüde azaltabilir (Filiz ve Tarcan, 1993).

Sonuç olarak; Şine jeotermal alanı'ndaki sıcak sular deniz suyunun ve beslenme alanına düşen yağış sularının tektonik hatlar boyunca yeraltına süzülerek, derinlerde henüz sıcaklıklarını yitirmemiş genç asidik domların etkisiyle ısıdıktan sonra, yine tektonik hatlar boyunca soğuk yeraltı suları ve deniz suyu ile değişik oranlarda karışarak yüzeyleyen devirli sistem sınıfına girerler. Temelde yeralan mermer bant ve mercekli şistler, İzmir Flişi'ne ait sekonder permeabiliteli kumtaşları, spilitik volkanitler, kireçtaşı mercek ve olistolitleri ile serpantinit kütleleri sıcak suların hazne kayasını oluştururlar, Cumalı ve Tuzla sıcak su kaynakları kökeni deniz suyu olan, meteorik su katkısını da içeren, yüksek tuzlu ve yüksek entalpili sulardır. Karakoç ve Doğanbey sıcak su kaynakları ise daha çok meteorik kökenli, bir miktar deniz suyu karışımı içeren yüksek entalpili, orta tuzlu sulardır. Hazne kaya sıcaklığının Cumalı ve Tuzla sıcak grubuna doğru arttığı söylenebilir. Yani birden fazla hazne kayacın varlığı sözkonusudur ve bu hazne klasik anlamda hazne kavramının ötesinde tamamen kırıklara bağlı bir hazne kaya sistemidir. Yüzeyde geniş mostralara veren riyolit-dasit arasında değişen volkanik kayaların henüz soğumamış bir derinlik eşdeğeri ise ısıtıcı kayadır. Geçirimsiz killi düzeyler içeren Neojen karasal oluşuklar örtü kaya özelliğindedir. Cumalı ve Doğanbey fayları birinci derece etkin faylar olup, sıcak sular bu faylara ve bu fayların tali kırıklarına bağlı olarak yüzeyler.

Genel olarak geçirimsiz kabul edilen İzmir Flişi'nin içindeki kumtaşları, kireçtaşları, spilitik volkanitler ve serpantinitler geçirdikleri tektonik deformasyon sonucu kazandıkları ikincil porozite ve permeabilite nedeniyle su verebilecek kaya birimleridir. Şeyller ise su içermezler ve geçirimsiz engel kaya özelliğindedir. Mercek ve olistolit kireçtaşlarının şeyllerle olan dokanaklarında yer yer düşük debili

su kaynakları gözlenmektedir. Çalışma alanında beş farklı sıcak su lokasyonundan su örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde katyon ve anyon analizleri yapılmıştır. İnceleme alanında sıcak sular genel olarak Na-Cl-Mg tipi sular olarak adlandırılabilir. Seferihisar ve yakın çevresi jeotermal suları $Na+K > Mg > K$ baskın katyonlar ve $Cl > HCO^3 > SO^4$ baskın anyonlar olarak sınıflandırılabilir. İnceleme alanındaki jeotermal sular $Cl-SO^4-HCO^3$ üçgen diyagramına göre magma kaynağı tarafından ısıtılan sular sınıfına girmektedir.

Sülfat içeriğinin yüksek olduğu da gözlenmektedir. Çalışma alanındaki sularda yapılan Na-K-Mg diyagramı sıcak suların belli bir kısmının kısmi dengelenmiş sular sınıfına girdiği bir kısmının ise ham sular sınıfına girdikleri saptanmıştır. Çalışma alanındaki rezervuarın sıcaklığını anlamak için çalışma alanı jeotermal suları hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Jeokimyasal termometrelerin sonuçları Çizelge 5.9'de verilmiştir. Silis jeotermometreleri ile yapılan analiz sonuçlarına göre Şifne Kaynağı (Rezervuar sıcaklığı), (SD_1) 85-152 °C, Ilıca Kaynağı (SD_2) 82-149 °C, Cumalı Ilıcası (EB-1) 143-149 °C, Karakoç (EB2) 99-100 °C, Doğanbey Termal (EB-3) 110 °C, arasında sıcaklıklar hesaplanmıştır. Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre Seferihisar bölgesinde 154-240 °C arasında sıcaklıklar ölçülmüştür. Jeotermometre sonuçlarına bakılacak olursa Seferihisar bölgesi hazne kaya sıcaklığının Tuzla, Cumalı sıcak su kaynaklarına doğru arttığı saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- A Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. ve Svavarsson, H., 1983. The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland. III. Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. Pergamon Press. The United States of America, 567-577.
- Agostini, S., Tokcaer, M., Yılmaz Savaşçın, M., 2010. Volcanic Rocks From Foça-Karaburun and Ayvalık Mesozoic grabens (Western Anatolia) and their Petrogenetic-Geodynamic Significance. *Turkish Journal of Earth Sciences* 19, 57-184.
- Alpman, N., 1963. Batı Anadolu Tabii Sıcak suları İçmeceleri ve Maden Sularının Teknik Envanteri, MTA Rap. NO: 3629, Ankara.
- Alptekin, Ö., Ezen, U., Uçer, S.B., 1990. Heat Flow, Seismicity and the Crustal Structure of Western Anatolia. *International Earth Sciences Congression Aegean Regions, Proceedings Vol-II*, İzmir.
- Arnórsson, S., 1995. Scaling Problems and Treatment of Separated Water Before Injection. In: WGC-95, Book of Course on Injection Technology, International Geothermal Association, Florence, 65-77.
- Bilgin, A., 1978, Denizli-Babadağ Dolayının Jeoloji-Petrografi ve jeokimyası, Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Doktora Tezi, 140. Erzurum.
- Bozcu, M., 2010, "Geology of Neogene basins of Buldan-Sarıcaova region and their importance in Western Anatolia neotectonics.
- Bozkurt, E., 2001. Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, Western Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 728-744.
- Bozkurt, E., Oberhänsli, R., 2001. Menderes Massif (Western Turkey); structural, metamorphic and magmatic evolution a synthesis. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 679-708.
- Bozkurt, E., Park, R.G., 1994. Menderes Massifi Güneyindeki Tersiyer Yaşlı Gerilmeli Makaslama Zonu. 47th Geological Congress of Turkey, 21-25 February, Ankara, 125.
- Bozkurt, E., Park, R.G., 1997. Microstructures of Deformed Grains in The Augen Gneisses of Southern Menderes Massif and Their Tectonic Significance. *Geol. Rundsch*, 89, 103-119.
- Bozkurt, E., Park, R.G., 1999. The structure of the Palaeozoic Schists in the Southern Menderes Massif, Western Turkey; a New Approach to the Origin of the Main Menderes Metamorphism and its Relation to The Lycian Nappes *Geodinamica Acta* 12; 25-42.

- Bozkurt, E., Satır, M., 2000. The Southern Menderes Massif (western Turkey): Geochronology and Exhumation History. *Geol. J.*, 35, 285-296.
- Bozkurt, E., Satır, N., Buğdaycıoğlu, Ç., 2011. Surprisingly Young Rb/Sr Ages From The Simav Extensional Detachment Fault Zone, Northern Menderes Massif, Turkey, *Journal of geodynamics*, 52, 406-431.
- Bozkurt, E., Sözbilir, H., 2004. Tectonic evolution of the Gediz Graben; field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey. *Geol. Magazine. Cambridge Univ. Press*, 141, 63-79.
- Bozkurt, E., Winchester, J.A., Park, R.G. 1995. Geochemistry and Tectonic Significance of Augen Gneisses From the Southern Menderes Massif (west Turkey). *Geol. Magazine, Cambridge Univ. Press*, 132, 287-301.
- Candan, O., 1995. Menderes Masifinde kalıntı granolit fasiyesi metamorfizması. *International Journal of Earth Sciences*, 4, 35-55.
- Candan, O., 1996. Çine Asmasifindeki (Menderes Masifi) Gabroların Metamorfizması ve Diğer Asmasiflerle Karşılaştırılması. *Turkish J. Earth Sci.*, 4, 123-139.
- Candan, O., Dora, O.Ö., 1998. Granulite, Eclogite and Blueschists Relics in The Menderes Massif: an Approach to Pan-African and Tertiary Metamorphic Evolution. *Geol. Bull. Turkey*. 41, 1-35.
- Candan, O., Dora, O.Ö., Oberhänsli, R., Çetinkaplan M., Partzsch J.H., Dürr, S., 1998. Pan-African High-Pressure Metamorphism in the Prekambrian Basement of The Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. Abstract 3th Int Turkish Geol Symp, 275.
- Candan, O., Dora, O.Ö., Oberhänsli, R., Çetinkaplan, M., Partzsch, J.H., Warkus, F.C., Dürr, S., 2001. Pan-African High-Pressure Metamorphism in The Prekambrian Basement of The Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. *Int. J. Earth Sci.*, 89, 793-811.
- Cavazza, O., Okay, A.I., Zattin, M., 2009. Rapid Early-Middle Miocene Exhumation of the Kazdağ Metamorphic Core Complex (Western Anatolia). *International Journal of Earth Sciences* 98, 1935-47.
- Cavazza, W., Federica, I., Okay, A.I., Zattin, M., 2011. Apatite fission-track thermochronology of the Western Pontides (NW Turkey). Rapid communication: *Geological Magazine*, 1-8.
- Clark, I.D. and Fritz, P., 1997, *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, Lewis Publishers, 327.
- Collins, A.S., Robertson, A.H.F., 1998. Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episode thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, SW Turkey. *J. Geol. Soc. Lond.*, 155, 759-772.

- Craig, H., 1963, "The Isotopic Geochemistry Of Water And Carbon Ingeothermal Areas" In: Tongiorgi, E. (ed), Nudcar Geology in Geothermal Areas, spoletto, 1963. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologia Nucleare, Pias, 17-53.
- 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.
- Dannat, C., Reischmann T., 1998. Single zircon ages of migmatites from the Menderes Massif, SW Turkey. Programm des Workshop "Das Menderes Massiv (Türkei) und seine Nachbargebiete, Mainz, 1-6.
- Dewey, J.F., Şengör, A.M.C., 1979. Aegean and Surrounding Regions; Complex Multiplate and Continuum Tectonics in a Convergent Zone. Geological Society of America Bulletin, 190, 84-92.
- Doğdu, N., 2004. Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Denizli Bölgesi Jeotermal Enerji Raporu, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri 2005.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Dürr, H., Oberhansli, R., 1995. New evidence on the geotectonic evolution of the Menderes Massif. In: Proceedings of the International Earth Sci. Col. On the Aegean Region (Pişkin Ö., Ergün, M., Savaşçın M.Y, Tarcan, G. –eds), 53-72, İzmir.
- Dora, O.Ö., Candan, O., O, Kaya., Koralay, E., Dürr, S., 2001, Revision of "Leptitegneiss" in the Menderes Massif: a Supracrustal Metasedimentary Origin. In: Menderes Massif (Western Turkey): Structural, Metamorphic and Magmatic Evolution (Bozkurt, E., Oberhansli, R. –eds), Int. J. Earth Sci., 89, 832-847.
- Erişen, B., Akkuş, İ., Uygur, N., Koçak, A., 1996. Türkiye Jeotermal Envanteri. MTA, Ankara, 480.
- Ersoy, Y., Helvacı, C., Sözbilir, H., 2010. Tectono-stratigraphic evolution of the NE-SW trending superimposed Selendi basin: implication for late Cenozoic Crustal extension in Western Anatolia. Tectonophysics 488, 210-232.
- Fouillac, C., Michard, G., 1981. Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. Geothermics, 55-70.
- Fournier, R.O., 1977. "Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems", Geothermics, 5, 41-50.
- Fournier, R.O., 1979. "A revised equation for the Na/K geothermometer" Geothermal Resources Council Transactions, 3, 221-224.
- Fournier, R.O., 1990. The interpretation of Na-K-Mg relation in geothermal waters Geoth. Res. Council. Trans., 14, 1421-1425.

- Fournier, R.O., Potter, R.W., 1979. Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 43, 1543-1550.
- Fournier, R.O., Trudell, A., 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
- Fridleifsson, Ingvar B; Bertani, Ruggero; Huenges, Ernst; Lund, John W; Rignarsson Arni; Rybach Ladislaus., 2008. The Possible Role and Contribution of Geothermal Energy to The Mitigation of Climate Change. Huebeck, Germany, pp 59-80, retrieved 2009-04-06.
- Gemici, U., Tarcan, G., 2002. Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey, and examples of their environmental impacts, *Environmental Geology*, 12, 125-132.
- Giggenbach, W.F., 1988. "Geothermal solute equilibria - Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators" *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development (Co-ordinator D'Amore, F). United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) / United Nations Development Programme (UNDP) Centre on Small Energy Resources, Rome, 119-144.
- Gislason, A. ve Assthorsson, O.S., 1996. Food of Capelin in The Subarctic Waters of North of ICELAND. International Council for the Exploration of the Sea, C.M. /L 32, 15.
- Gökgöz, A., 1998. Geochemistry of the Kızıldere-Tekkehamam-Buldan-Pamukkale Geothermal Fields, Geothermal Training Programme Reports, 115-156, Reykjavik, Iceland.
- Göktaş, F., 1990. Denizli M22-b1, M22-b2 ve M22-b3 paftalarının jeolojisi, İzmir. Maden Tetkik ve Arama Raporu, No: 9114.
- Hetzel, R., Passchier, C.W., Ring, U., Dora, O.Ö., 1995a. Bivergent extension in orogenic belts; The Menderes Massif (southwestern Turkey). *Geology*, 23, 455-458.
- Hetzel, R., Reischmann, T., 1996. Intrusion age of Pan-African augen gneisses in the southern Menderes Massif and the age of cooling after Alpine ductile extensional deformation. *Geol. Mag.*, 183, 565-572.
- Hetzel, R., Ring, U., Akal, C., Troesch, M., 1995b. Miocene NNE directed extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. *J. Geol. Soc. London.*, 152, 639-654.
- Hetzel, R., Römer, R.L., Candan, O., Passchier, C.W., 1998. Geology of The Bozdağ Area, Central Menderes Massif, Sw Turkey; Pan-African Basement and Alpine Deformation. *Gell Rundsch.*, 87, 394-406.

- Jackson, J.A., McKenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan; *Geophys. R. Astr. Soc.*, 77, 185-264.
- Karahan, Ç., 2009, Aydın Çiftlik Aç-1 sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu, MTA, derleme No: 11183.
- Keskin, B., 1972. Kızıldere Jeotermal Sahası Jeokimyasal Analizleri ve 3. Rezervuar Varlığı Hakkında Rapor, MTA Rapor No: 785, Ankara.
- Ketin, İ., 1968. Türkiye'nin Genel Tektonik Durumu ile Başlıca Deprem Bölgeleri Arasındaki İlişkiler. *Maden Tetkik ve Arama Derg.* No. 71, Ankara.
- Kharaka, Y.K., Mariner, R.H., 1989. Chemical Geothermometers and their Application to Formation Waters From Sedimentary Basins. In: N. D. Nasers, T.H., Mc Culloh (Eds.). *Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories*, Springer Verlag, 99-117.
- Kıymaz, İ., 2011. "Karahayit (Denizli) Yöresinin Jeotermal Potansiyeli" Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., Bozkurt, E., 1999. Evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in western Turkey *J. Geol. Soc. London.* 156, 605-616.
- Koralay, E., Satır, M., Dora. O.Ö., 1998. Geochronologie evidence of Triassic and Precambrian magmatism in the Menderes Massif, west Turkey. *Third Int. Turkish Geol. Symp.* 285-286.
- Kutlu, D., 2015. Pamukkale (Denizli) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- McKenzie, D.P., 1978., Active tectonics at the Alpine-Himalayan belt; The Aegean Sea and surrounding regions. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 55, 217-254.
- Möller, P., Dulski, P., Savaşçın M.Y., Conrad M., 2004. Rare Earth Elements, Yttrium and Pb Isotope Ratios in Thermal Spring and Well Waters of West Anatolia, Turkey: a Hydrochemical Study of Their Origin. *Chemical Geology*, 206, 97-118.
- Mutlu, H., 1999. Kimyasal Modellemedeki Temel Prensipler. JENARUM. Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yaz Okulu Ders Notları, İzmir. 38-54.
- Nicholson, K., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques.* Springer-Verlag, Berlin, 263.

- Nieva, D., Nieva, R., 1987. Development in Geothermal Energy in Mexico, Par 12_A Cationic Composition Geothermometer for Prospection of Geothermal Resources, Heat Recovery Systems and CHP, 7, 243-258.
- Nutı, S., "Isotope Techiques in Geothermal Waters", In; F.D'Amore (Cordinator), Application of geochemistry in Geothermal Reservior Development. Unitar, United Nations Development Program, Series at Tenchinal Guides on The Use of Geothermal Energy, Rome, 408, 1991.
- Oberhansli, R., Candan, O., Dora O.Ö., Dürr, H., 1997. Eclogites within the Menderes Massif, western Turkey. Lithos, 41, 135-150.
- Oberhansli, R., Monie, P., Candan, O., Warkus, F.C., Partzsch, J.H., Dora O.Ö., 1998. The Age of Blueshist Metamorphism in The Mesozoic Cover Series of The Menderes Masif. Schweiz Mineral Petrograp., 78, 309-316.
- Öngür, T., Jeotermal Sahalrda Jeolojik ve Jeofizik Arama İlke ve Stratejiler. Jeotermal Enerji Semineri 2007.
- Özdemir, A., Tezelli, O., "Türkiye Jeotermal Sularının Jeokimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi". Sondaj Dünyası (Sondaj ve Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi), 2008.
- Özen, T., 2002. Dikili Sıcak ve Soğuk Su Kaynaklarının Hidrojeolojik İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, 57-59.
- Özgür, N., 1998, "Aktive Unf Fossile Geothermalsysteme in Den Kontinentalen Ristzones Des Menderes Massives, Wanatolien, Türkei: Habilitationsschrift, Freie Universitat Berlin, 171.
- Özgür, N., 2001. Origin of The High Boron Contents in The Thermal Waters of The Rift Zones of The Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. Int. Geol. Rev., 43, 910-920.
- Özgür, N., Karamanderesi, İ.H., 2015, An Update of The Geothermal Potential in The Continental Rift Zone of The Büyük Menderes, Western Anatolia, Turkey. Stanford University Symposium.
- Özgür, N., Pekdeğer, A., 1995. Active Geothermal Systems in The Rift Zones of the Menderes Massif. Western Anatolia. Turkey: in; Kharaka, Y.K and Chudoev, O.V. (eds.); Proc. Internat. 8th Symp. On Water-Rock Interaction. Vlodiostok/Russia, 10, 529-532.
- Özgür, N., Vogel, M. Pekdeğer, A., 1998, A New Type of Hydrothermal Alteration of The Kızıldere Geothermal Field in The Rift Zone of The Büyük Menderes, WESTERN ANATOLIA, Turkey in Arehart, G.B. and Hulston, J.R. (-eds): Proc. Internat. 9th Symp. On Water-Rock Interaction, Taupo, New Zealand, 30 March-3 April 1998, 679-682.

- Özler, H.M., 1996, Büyük Menderes Havzası Yukarı Çürüksu kesimini hidrojeolojisi incelemesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 175.
- Palabıyık, Y., Serpen, U., 2008. Geochemical Assessment of Simav Geothermal Field Turkey. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, V.25, num, 3, P. 408-425.
- Philippson, A., 1910-1915. Reisen und Faschungenim Westichn Kleinasien. *Ergonungshefte* 167, 172, 177, 180, 183 der Petermanns Mitteilungen, Gotha, Jüstüs Porthes.
- Philippson, A., 1918. Kleinosien, Handbuch der Regionalen Geologie. Steinmann, G., Wilckens, O. (eds.), 5, 183, Heidelberg.
- Piper, A.M., 1953. A Graphic Procedure in The Geochemical İnterpretation of Water Analyses. United States Geological Survey, Ground Water, No: 12.
- Purvis, M., Robertson A.H.F., 2004. A Pulsed Extension Model for The Neogene-Recent E-W Trending Alaşehir graben and the NE-SW trending Selendi and Gördes Basins, Western Turkey, *Tectonophysics* 391: 371-201.
- Purvis, M., Robertson, A.H.F., 2005a. Sedimantation of the Neogene-Recent Alaşehir (Gediz) Continental Graben Systems Used to Tost Alternative Tectonics Models For Western (Aegean) Turkey, *Sedimentary Geology*, 173, 373-408.
- Purvis, M., Robertson, A.H.F., 2005b. Miocene Sedimentary Evolution of The NE-SW-tranding Selendi and Gördes Basins, W Turkey; Impications for Extensional Processes *Sedimentary, Geology*, 174, 31-62.
- Reischmann, T., Kröner, A., Todt, W., Dürr, S., Şengör A.M.C., 1991. Episodes of Crustal Growth in the Menderes Massif, W Turkey, Inferred From Zircon Dating. *Terra Abstract*, 3, 35.
- Rinehart, J.S., 1980. *Geysers and Geothermal Energy*, Springer-Verlag, 223, New York, USA.
- Satır, N., Friedrichsen, H., 1986. The Origin and Evolution of The Menderes Massif, W Turkey; a Rubidium/Strontium and Oxygen Isotope Study. *Gel. Rundsch.*, 75, 703-714.
- Serpen, U., Mihçakan, M., 1999. Heat Flow and Related Geothermal Potentials of Turkey. Geothermal Resources Council (GRC) Annual Meeting. GRC Transactions, 23, 485-490.
- Seyitoğlu, G., Işık, V., Çemen, I., 2004. Complete Tertiary Exhumation History of The Menderes Massif, Western Turkey; an Alternative Working Hypothesis. *Terra Nova* 1616: 358-364.

- Sözbilir, H., 1995. Stratigraphy and Provenance of The Paleocene-Eocene Alakaya Basin in the Denizli Province, Southwestern Turkey, International Earth Science Colloquium on The Aegean Region, 1, 309-329.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., 1992. Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Şengör, A.M.C., 1982. Egenin Neotektoniğini Yöneten Etkenler: In: Bati Anadolunun Genç Tektoniği ve Volkanizması (Erol, O., Öygür, V. –eds.), Türkiye Jeol. Bült., 59-71.
- Şengör, A.M.C., 1984. The Cimmeride Orogenic System and The Tectonics of Eurasia. Geol. Soc. American, 195, 82-120.
- Şengör, A.M.C., 1985. Die Alpiden Und die Kimmeriden: Die Verdoppelte Geschichte Der Tethys. Geol. Rdschau, 74, 181-213.
- Şengör, A.M.C., 1987. Cross-Faults and Differential Stetching of Hanging Walls in Regions of Low-Angle Normal Faulting Examples From Western Turkey. Coward, M.P., Dewey, J.F ve Hancock, P. (Ed) Continental Extensional Tectonics. Geological Society'de, London, Special Publication, 28, 575-589.
- Şengör, A.M.C., Satır, M., Akkök, R., 1984. Timing of The Tectonic Events in the Menderes Massif, Western Turkey: Implications for Tectonic Evolution and Evidence for Pan-African Basement in Turkey. Tectonics, 3, 693-707.
- Şengün, R., 2011. Yenicekent ve Gölemezli Çevresinin Hidrojeolojisi, Bitirme Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (Yayınlanmamış), 13-54.
- Şimşek, Ş., 1984, Denizli- Sarayköy- Buldan Alanlarının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, Doktora Tezi, İstanbul Üni., Yer bilimleri Fakültesi.
- Şimşek, Ş., 1985, Geothermal Model of Denizli, Sarayköy-Buldan Area Geothermics. 14(2/3), 393-417.
- Şimşek, Ş., 1988. Büyük Menderes Grabeni Jeotermal Alanları ve Yararlanma Olanakları. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, Erguvanlı Özel sayısı- İstanbul, sayı 10, 39-45.
- Şimşek, Ş., 2003. Hydrogeological an Isotopic Survey of Geothermal Fields in The Büyük Menderes Graben, Turkey. Geothermics, 32, 669-678.
- Taner, G., 1974. Denizli Bölgesi Neojenin Paleontolojik ve Stratigrafik Etüdü, MTA Dergisi, 82, 89-27.
- Tarcan, G., 2002. Jeotermal Su Kimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, Yaz Okulu Ders Kitabı, Jenerum. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir Yayın No: 306, 198-245.

- Tezcan, L., 1992, Karst Akifer Sistemlerinin Trityum İzotopu Yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktor Tezi, Hacettepe Üniversitesi. Fenbilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121.
- Tonanni, F., 1980. Some Remarks of The Application of Geochemical Techniques in Geothermal Exploration. Procoedings, Advances in European Geothermal Research Second Symposium, Strocbourg, 428-443.
- Topal, S., 2006. Kolonkaya Formasyonundaki Yumuşak-Çökel Deformasyon Yapıları ve Tetikleme Mekanizmaları Denizli Havzası, ATAG 10, Poster Sunumu.
- Turcotte, D.L., Schubert, G., 2002. "4", Geodynamics (2nd edition), Cambridge, England, UK; Cambridge University Press, 136-137.
- Uysallı, H., 1967 "Tekkehaman-Kizildere (Denizli-Sarayköy) sıcak su sahalarının jeolojik etüdü ve Jeotermik Enerji İmkânları." MTA Rap.
- Van Hinsbergen, D.J.J., Dekkers, M.j., Bozkurt, E., Kopman M., 2010b. Exhumation With a Twist: Paleomagnetic Constraints on The Evolution of The Menderes Metamorphic Core Complex, Western Turkey. Tectonics 29. DOI: 10.1025/2009T/002596.
- Verge, N.J., 1995. The Exhumation of The Menderes Massif Metamorphic Complex of Western Anatolia. Terra Abstracts, EUG8, Strosbourg, France, 9-13.4.1995, 249.
- Verhhogen, J., Enerjetics of the Eart, National, Academy of Sciences, Washington 1980.
- Yaman, D., 2005, Menderes masifi kıtasal rift zonlarında yeralan jeotermal sulardaki yüksek bor değerlerinin kökeni: Süleyman Demirel Üniversitesi; Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 166.
- Yıldırım, N., Güner, İ., 2002, "Büyük Menderes Grabenin doğusunda yeralan jeotermal sahalarda bulunan izotopik ve hidrojeokimyasal özellikleri." MTA Enerji Dairesi.
- Yılmaz, Y., 1989. An Approach to The Origin of Young Volcanic Rocks of Western Turkey. In: Tectonic Evolution of The Tethyan Region (Şengör, A.M.C.,eds.), 159-189, Kluwer.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer., F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Elmas, A., 2000. When Did the Western Anatolian Grabens Begin to develop. In: Tectonics and Magmatism in Turkey and Surrounding Area, Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A., (Eds.), Geological Society, London, Special Publications, 173, 353-384.

ÖZ GEÇMİŞ

Adı Soyadı : Saliha DEĞİRMENCİ
Doğum Yeri ve Yılı : Samsun / 1988
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : degirmenci.slh@hotmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Yeni Samsun Lisesi, 2005.
Lisans : Cumhuriyet Üniversitesi, İktisadi idari bilimler Fakültesi, İşletme Yönetimi, 2009.
Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 2014.

Mesleki Deneyim

Kuzey Yerbilimleri Mühendislik (2012)
Hak Yapı Denetim (2014)
Özhak Yapı Denetim (2015- hala devam)