T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEFERİHİSAR (İZMİR) VE YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOLOJİK,HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOP JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Ebru ARAS PALA

Danışman
Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2016

©2016 [Ebru ARAS PALA]

TEZ ONAYI

Ebru ARAS PALA tarafından hazırlanan **"Seferihisar (İzmir) ve Yakın Çevresi Jeotermal Sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop 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 **Doç.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.

Ebru ARAS PALA



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER i
ÖZET ii
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR iv
ŞEKİLLER DİZİNİ v
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
1. GİRİŞ 1
1.1. Jeotermal akışkanların kökeni 4
1.2. Çalışma alanının jeotektonik konumu 6
1.3. Araştırmanın amacı 13
2. KAYNAK BİLGİSİ 14
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİSİ 18
3.1. Seferihisar jeotermal alanı jeolojisi 18
3.2. Seferihisar jeotermal alanının özellikleri 25
3.2.1. Cumalı termal suları 27
3.2.2. Tuzla termal suları 29
3.2.3. Doğanbey ve Karakoç termal suları 29
4. METARYAL VE METOD 30
4.1. Metod 30
4.1.1. Jeolojik çalışma 30
4.1.2. Örnekleme ve in-situ analizler 30
4.1.3. Hidrojeokimyasal analiz 32
4.1.4. Jeotermometreler 34
5. ARAŞTIRMA BULGULARI 35
5.1. Kayaçların hidrojeolojisi 35
5.2. Hidrojeokimya 36
5.2.1. Hidrojeokimyasal analizler 37
5.2.2. Doygunluk indeksi 45
5.3. Jeokimyasal termometre uygulamaları 47
5.3.1. Kimyasal jeotermometre uygulamaları 47
5.3.2. Birleşik jeotermometre uygulamaları 50
5.3.3. Çalışma alanında termometrelerin jeokimyasal değerlendirmesi 52
5.4. İzotop jeokimyasal özellikleri 54
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR 57
6.1. Seferihisar jeotermal alanında olası ısı kaynağı, jeotermal sistem ve tektonik arasındaki ilişki 57
6.2. Çalışma alanının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopjeokimyasal özellikleri 58
6.3. Çalışma alanının hidrojeolojik modellenmesi ve sonuçlar 59
7.KAYNAKLAR 62
ÖZGEÇMİŞ 71

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SEFERİHİSAR(İZMİR) VE YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOLOJİK, HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOP JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Ebru ARAS PALA

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen BilimleriEnstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

Bu çalışma Seferihisar (İzmir) ve yakın çevresi jeotermel sularının hidrojeolojik hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özelliklerini inceleyen tez çalışmasıdır. Çalışma alanı İzmir-Ankara melanjının GD'sunda, İzmir ilinin yaklaşık 40 km GB'sında bulunmaktadır. Çalışma alanındaki sıcak sular temeldeki Menderes Masifi'ne ait mermer bant ve mercekli şistler ile temelin üzerinde allokton Üst Kretase-Paleosen Bornava karmaşığına ait kumtaşları, spilitik volkanitler, kireçtaşı mercek ve olistolitleri ve serpantinit kütlelerinden oluşan kırıklı hazne kaya sisteminden kaynaklanır. Neojen yaşlı karasal tortullar örtü kaya, genç asidik domlar ısıtıcı kaya özelliğindedir. Bölgede sıcak su çıkışları ise KD-GB yönde uzanan faylar boyunca görülmektedir. Alandaki önemli jeotermal çıkışlar; Tuzla ılıcası, Cumalı kaplıcası, Doğanbey kaplıcası ve Karakoç kaplıcası civarında 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. Seferihisir 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 CI-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. Tüm jeotermometre sonuçları ve mevcut kuyuların rezervuar sıcaklıkları birlikte değerlendirildiğinde jeotermal suların hazne kaya sıcaklıkları 154-240°C arasında olarak gözlenmektedir. Termal suların δ^2H değerleri -13,3 ile -31,9 arasında değişirken, $\delta^{18}O$ değerleri ise -2,55 ile -5,70 arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanındaki termal suların trityum içerikleri 13 ile 64±10 TU arasındadır.

Anahtar Kelimeler: Batı Anadolu Bölgesi, İzmir, Seferihisar, jeotermal kaynaklar, jeotermal kuyular, jeotermal model.
2016, 71 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HYDROGEOLOGICAL, HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPE GEOCHEMICAL FEATURES OF THE GEOTHERMAL WATERS IN SEFERİHİSAR (İZMİR) AND ENVİRONS

Ebru ARAS PALA

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

Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

Seferihisar (İzmir) geothermal area located in the SE of İzmir-Ankara melange is approximately 40 km in the SW of the city of İzmir, Turkey. Marbles and schists, which belong to Menderes Massif in the basement, are the first reservoir rocks of the hot waters. Sandstones, spilitic volcanics, limestones, serpentinites, which belong to the allochthonous Upper Cretaceous-Paleocene Bornova melange, are the other reservoir rocks of the hot waters. Neogene continental sediments are the cap rock. These features are transversed by the secondary (relatively younger) faults striking NW-SE diagonally. Hot water springs which are observed around Tuzla, Cumalı, Doğanbey and Karakoç, appear along the faults.

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 Seferihisar and environs are identified to be Na+K>Mg>K dominant cations and Cl>HCO3>SO4 dominant anions. According to the diagram of $Cl\text{-}SO_4\text{-}HCO_3$, 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 154 to 240°C. the δ^2H values of thermal waters are between -13,3 to -31,9, while $\delta^{18}O$ values range from -2,55 to -5,70. The tritium contents of thermal waters are between 13 to 64±10 TU.

Keywords: Menderes Massıf, İzmir, Seferihisar, geotermal waters, hydrogeology, hydrogeochemıstry,ısotope geochemıstry, geothermal modellıng

2016, 71 pages

TEŞEKKÜR

Sunulan bu yüksek lisans tez çalışması Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 4490-YL1-15 nolu araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda ve literatür araştırmalarımda yardımcı olan değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan ailem ve eşime sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ebru ARAS PALA
ISPARTA, 2016

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çalışma alanı yeri 2
Şekil 1.3. Dünyanın değişik bölgelerindeki jeotermal suların beklenen kompozisyonları: Yerel meteorik su ile jüvenil su arasındaki farklı karışım oranları 5
Şekil 1.4. Ana tektonik hatlar ve aktif gelişen havzaları gösteren Batı Anadolu kıyı kesiminin basitleştirilmiş jeoloji haritası 7
Şekil 1.5. Doğu Akdeniz'in güncel tektoniğini kontrol eden ana yapılar ve çalışma alanının konumunu gösterir harita 9
Şekil 1.6. Ana tektoniği ve Batı Anadolu jeolojik birimleri. 11
Şekil 3.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti 19
Şekil 3.2. Ankara-İzmir jeosenklinali kesiti 21
Şekil 3.3. Seferihisar Yükselimi, Cumaovası ve Urla Çöküntüleri'ni kapsayan çalışma civarının jeoloji haritası 23
Şekil 3.4. Seferihisar jeotermal alanı ayrıntılı jeoloji haritası 26
Şekil 3.5. Jeolojik yapı ve izotermal konturları arasındaki ilişkiyi gösteren Cumalı ilçesinin kesiti 28
Şekil 4.1. Çalışma alanında gerçekleştirilen in-situ ölçümleri 31
Şekil 4.2. Çalışma alanında Cumalı Ilıcası'nda örnek alımı ve in-situ ölçümleri 32
Şekil 5.1. İnceleme alanının basitleştirilmiş jeoloji haritası ve sıcak su kaynaklarının yeri 36
Şekil 5.2. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi 42
Şekil 5.3. Seferihisar ve yakın çevresi jeotermal sularının CI-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramı 43
Şekil 5.4. Seferihisar ve yakın çevresi jeotermal suların Ca-Na+K-Mg üçgen diyagramı 44
Şekil 5.5. Seferihisar ve yakın çevresindeki jeotermal suların Na-K-Mg diyagramındaki görünümü ve su kayaç denge sıcaklıkları 51
Şekil 5.6. Çalışma alnındaki bazı su noktalarının $\delta^{18}O$ - $\delta^{2}H$ diyagramındaki yeri 54
Şekil 5.7. Seferihisar jeotermal sisteminin basitleştirilmiş hidrojeolojik oluşum modeli 59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4. 1. In-situ cihazları ve özellikleri..... 33
Çizelge 4. 2. Hidrojeokimyasal cihazlar ve özellikleri 34
Çizelge 5. 1. Çalışma alanındaki örneklerin su tipleri 37
Çizelge 5. 2. Seferihisar ve yakın çevresi termal suların in-situ parametreleri 38
Çizelge 5. 3. Seferihisar ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları 39
Çizelge 5. 4. Suların sodyum adsorpsiyon oranı'na (SAR) göre sınıflaması…….. 45
Çizelge 5. 5. Seferihisar ve yakın çevresinden alınan örneklerde rastlanabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksleri 46
Çizelge 5. 6. Silis (SiO^2) jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l) 49
Çizelge 5. 7. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)…..... 50
Çizelge 5. 8. Seferihisar ve yakın çevresi termal suların çözünen jeotermometresine göre sonuçları 53
Çizelge 5. 9. Seferihisar ve yakın çevresi bazı su noktalarının Oksijen-18, Döteryum ve Tirityum izotop bleşimleri 555

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

˚C	Sıcaklık
Ca^{2+}	Kalsiyum
Cl^{-}	Klorür
DASZ	Doğu Anadolu sıkışma zonu
Eh	Redoks Potansiyeli (mV)
EC	Suların Elektriksel iletkenliği (µs/cm)
HCO_3	Bikarbonat
IC	İyon kromatografi
K^{+}	Potasyum
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KDAF	Kuzeydoğu Anadolu Fayı
mg/1	litrede miligram
Mg^{2+}	Magnezyum
meq/1	litrede miliekivalan
mol/1	molarite
MW	Jeotermal enerji gücü
Na^{+}	Sodyum
O^2	Çözünmüş oksijen mg/1
SAR	Sulama amaçlı sodyum tehlikesi
SO_4	Sülfat
$\delta^{18}O$	Oksijen izotopu
γη	Yer kürek
θερμος	Sıcaklık

1. GİRİŞ

Bir ülkenin ekonomik gelişmişliği kişi başına tükettiği enerji miktarıyla doğru orantılıdır. Bu olgu enerji üretimini arttırmanın zorunluluğunuda beraberinde gertirmektedir. Yer kabuğu bol ve çeşitli enerji kaynaklarına sahiptir. Tükenmeyen, yenilenebilen ve çevre kirliliğine neden olmayan bir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin daha yaygın kullanım alanları araştırılmaktadır. Jeotermal enerji, elektrik üretiminde, konutların ısıtılmasında, ziraat alanında kullanılmaktadır. Bununla birlikte sağlıklı yaşama olumlu katkılarıda bulunduğu için, son zamanlarda yapılan araştırmalar bu yönde yoğunlaşmaktadır. Dünyada jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarında ilk 5 ülke arasında bulunan ülkemiz, Alp-Himalaya tektonik kuşağı üzerinde yer almakta ve kaynak zenginliği açısından ise dünyada ilk 7 ülke arasında bulunmaktadır. Türkiye'de 40˚C'nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 140 adet jeotermal saha ve bu sahalarda 1300 dolayında termal kaynak tespit edilmiştir. Birçok ülkede dikkatler daha çok alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına çevrilmiş bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji sürdürülebilir enerjidir.

Jeotermal kaynaklar dünyamızın her tarafında bulunur, ancak işletilebilir jeotermal sistemler genel olarak normal ya da anormal derecede yüksek jeotermal gradyan bölgelerinde bulunur. Yerküre gezegenimizin çekirdeği ile yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı olan jeotermal gradyan, yüzeye çekirdekten, yüzeye doğru ısı şeklinde termal enerjinin sürekli kondüksiyonu şeklinde olmaktadır. Jeotermal sıfat olarak, sıcak anlamına gelen Yunancadan kökleri yerkürek anlamında γη (ge) ve sıcak anlamına θερμος (termos) gelen kavramlardan oluşmaktadır.

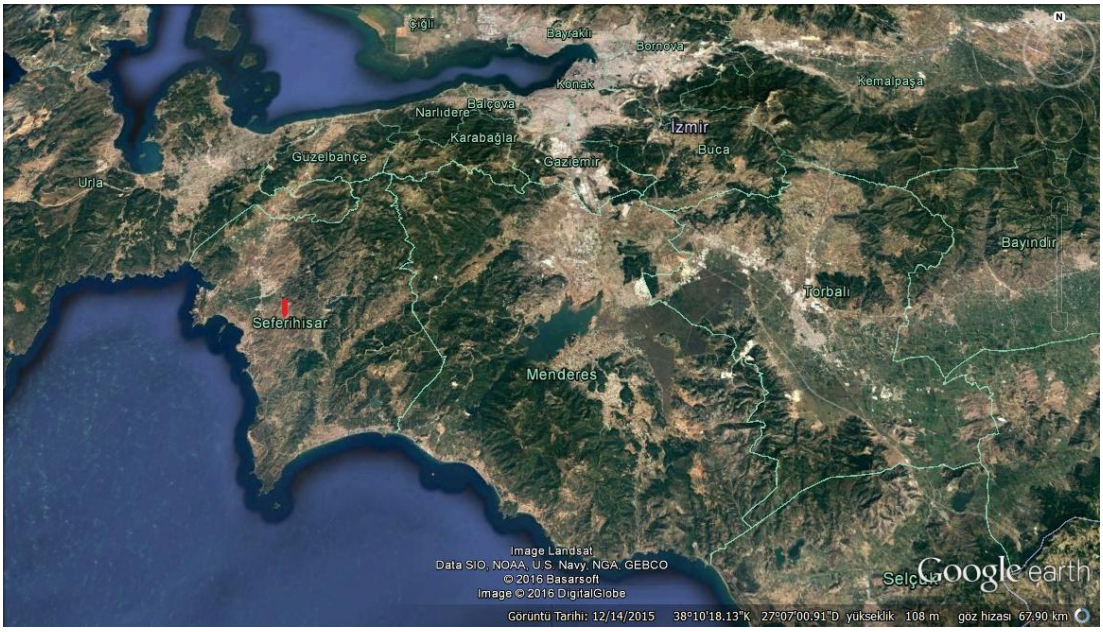
Jeotermal alanlar dünyada belirli jeolojik formasyonlara bağlı olarak bulunmakta ve bunlar artan enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Jeotermal sistemlerin farklı tiplerinin herbiri belirli özelliklere sahiptir ve bunlar aynı zamanda bu özelliklerini kimyasal bileşimlerinde ve çeşitli potansiyel uygulamalarında da belirli bir şekilde ortaya koymaktadır. Hepsi birkaç kilometre derinlikte, ortak bir ısı kaynağı olan ve konveksiyon içinde

yerkabuğunun üst bölümlerinde bulunan, mevcut su birikimleridir (Nicholson, 1993).

Jeotermal sular, paleolitik çağlardan beri termal banyo ve ayrıca antik Roma döneminden beri de konut ısıtmasında kullanılmaktadır. Buna karşın zamanımızda akıllı bir şekilde elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Dünya çapında, jeotermal enerji yaklaşık 10,715 MW gücünde 24 ülkede faaliyettedir. Ek olarak, 28 gigavat doğrudan jeotermal ısıtma kapasitesi olan bir sistem bölgesel ısıtma, mekan ısıtması, kaplıcalar, endüstriyel prosesler, arıtma ve tarımsal uygulamalar için kurulmaktadır (Fridleifsson vd., 2008).

Jeotermal kuyular yerin derin kısımlarında sıkışıp kalan sera gazlarının serbest bırakırlar, ancak bu emisyonların miktarı fosil yakıtlardan daha düşüktür. Sonuç olarak, jeotermal enerji yaygın fosil yakıtların yerine konuşlandırılmış ise küresel ısınmanın azaltılmasına yönelik yardımcı potansiyele sahiptir.

Bu çalışma Seferihisar Jeotermal Alanı'nda yapılan hidrojeolojik araştırmaları, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal yöntemlerle oluşumunu ve gelişimini kapsar. Çalışma alanı yeri (Şekil 1.1)'de belirtilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışma alanı yeri

Beş ayrı sıcak su kaynak grubunun bulunduğu inceleme alanı Urla-L17-C3 ve C4 paftalarında 9-19 enlem ve 87-96 boylamları arasında yaklaşık 80 km^2'lik bir alanı kapsar. Batı ve güney kesimleri denizle çevrili olan alan gerek doğal güzellikleriyle, gerek antik yerleşim merkezleriyle, gerekse İzmir'e olan yakınlığı ile turizm açısından stratejik bir öneme sahiptir. Çalışma alanında Akdeniz iklimi egemendir. Su noktalarının envanteri sırasında in-situ ölçümleri yapılmıştır. Sıcak suların jeokimyasal yorumlamalarında, hava aldırmaz plastik şişelere alınan su örneklerinin labaratuvarda kimyasal analizlerinden yararlanılmıştır. Ayrıca DSİ ve MTA kimyasal analiz sonuçları da değerlendirilmiştir.

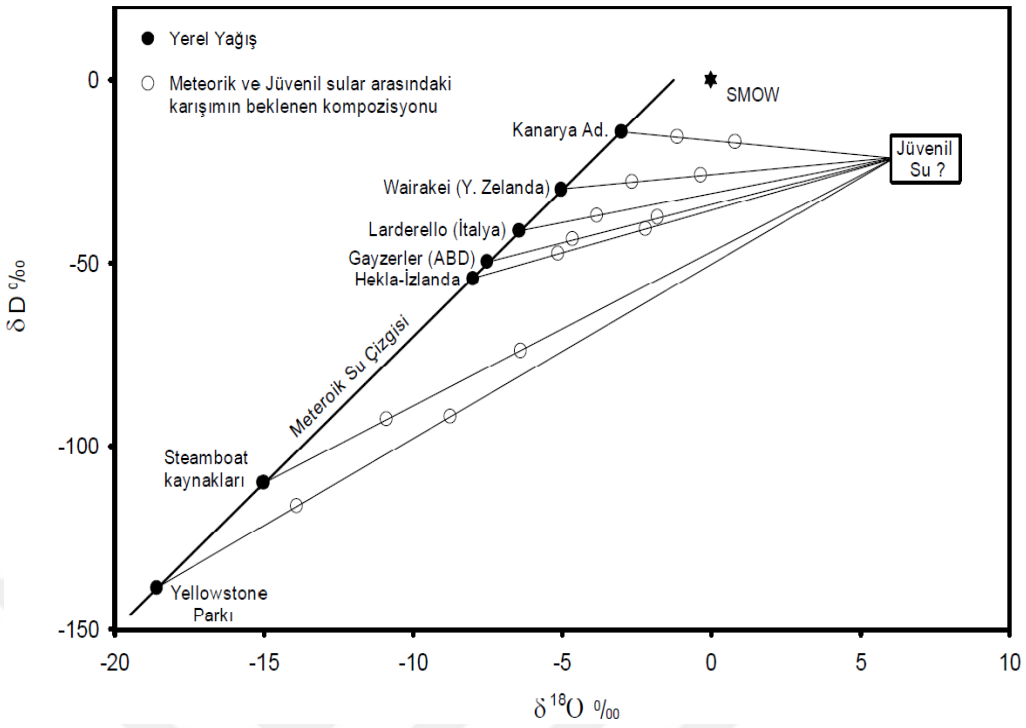
1.1.Jeotermal Akışkanların Kökeni

Jeotermal akışkanların kökeni uzun zaman tartışma konusu olmuştur. Jeotermale yönelik eski çalışmalarda, suyun jüvenil yada magmatik bir kaynaktan türediği sanılmaktaydı. Ancak yüksek rakımlı ve karasal alanlardan örneklenen yağmur ve kar sularının hafif izotoplarca zengin olduğu (düşük δ değerleri) ve bu δ D ve $\delta^{18}O$ sulardaki değerlerinin meteorik su çizgisi üzerinde yer aldığının ortaya konulmasıyla bu görüş radikal bir değişim geçirmiştir(Craıg, 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. Craıg (1963), jeotermal sulardaki $\delta^{18}O$ değerlerinin yerel meteorik sulardakilerden daha yüksek (pozitif) olduğunu ancak δD bolluklarının ise aynı kaldığını ortaya koymuştur. Craig 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 1.3). Bu kompozisyon yağış sularının tamamıyla meteorik bir kökene sahip olduklarını işaret etmektedir.

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, kütlesel ısı taşınımının görüldüğü, ya da ısı çevrimine elverişli jeoloji yapılarının, katmanlanma yada zonların olduğu yerlerin bulunmasıdır.



Şekil 1.3. Dünyanın değişik bölgelerindeki jeotermal suların beklenen kompozisyonları: Yerel meteorik su ile jüvenil su arasındaki farklı karışım oranları (Nutı, 1991)

Jeotermal sistemlerinin Jeolojisi oldukça karmaşıktır; burada kayaçların petrografik özellikleri, porozitesi ve geçirgenliği ile birlikte yörenin tektonik konumu önemli rol oynamaktadır. Şüphesiz, bir jeotermal sistemin oluşumu için çeşitli elemanların varlığı şart koşulur. Su, ısı kaynağı, rezervuar kayacı ve geçirgenlik gibi elemanların bulunması ile derinde ısınan su yüzeye doğru hareket ediyor ve yüzeyde böylece jeotermal sular kendini göstermektedir . Bunun yanında, Saemundsson vd. (2009) jeotermal sistemlerle onların doğal özellikleri ve jeolojik konumlarını baz alarak sınıflandırmıştır:

(a) Volkanik sistemler: Bunlar, volkanik aktiviteler ile ilişkilidir. Bu tip sistemlerin ısı kaynağı mağma sokulumlarıdır. Bunlar kalderalar gibi volkanik komplekslerin içinde veya çok yakınında, plaka sınırlarında ve çoğu ve sıcak dom alanlarında bulunurlar.

(b) Konveksiyon Sistemleri: ısı kaynağı tektonik aktif alanlardaki sıcak derin kabuktur; burada ısı akışı değeri ortalama değerden yüksektir. Ortalama ısı akışı üzerinde olan, tektonik olarak aktif bölgelerdeki derinlikler de sıcaktır.

Burada, jeotermal suların dikey çatlaklar boyunca (>1km) derinliğe kadar sirkülasyonu söz konusudur.

(c) Sedimanter Sistemleri: Bu sistemler, dünyanın ana majör havzaların birçoğunda bulunur. Bu tür sistemlerin varlığını derinde (>1km) bulunan sedimanter katmanlara ve normal değerlerin üzerinde bulunan ortalama jeotermal gradyanlara (> 30˚C/km) borçlu olmaktadır. Bu tür sistemlerde doğal olarak kırıklar ve faylar bazı durumlarda önemli rol oynasa bile konvektiften daha çok konduktiftir. Bazı konvektif sistemler tortul kayaçlarda gömülü olabilir.

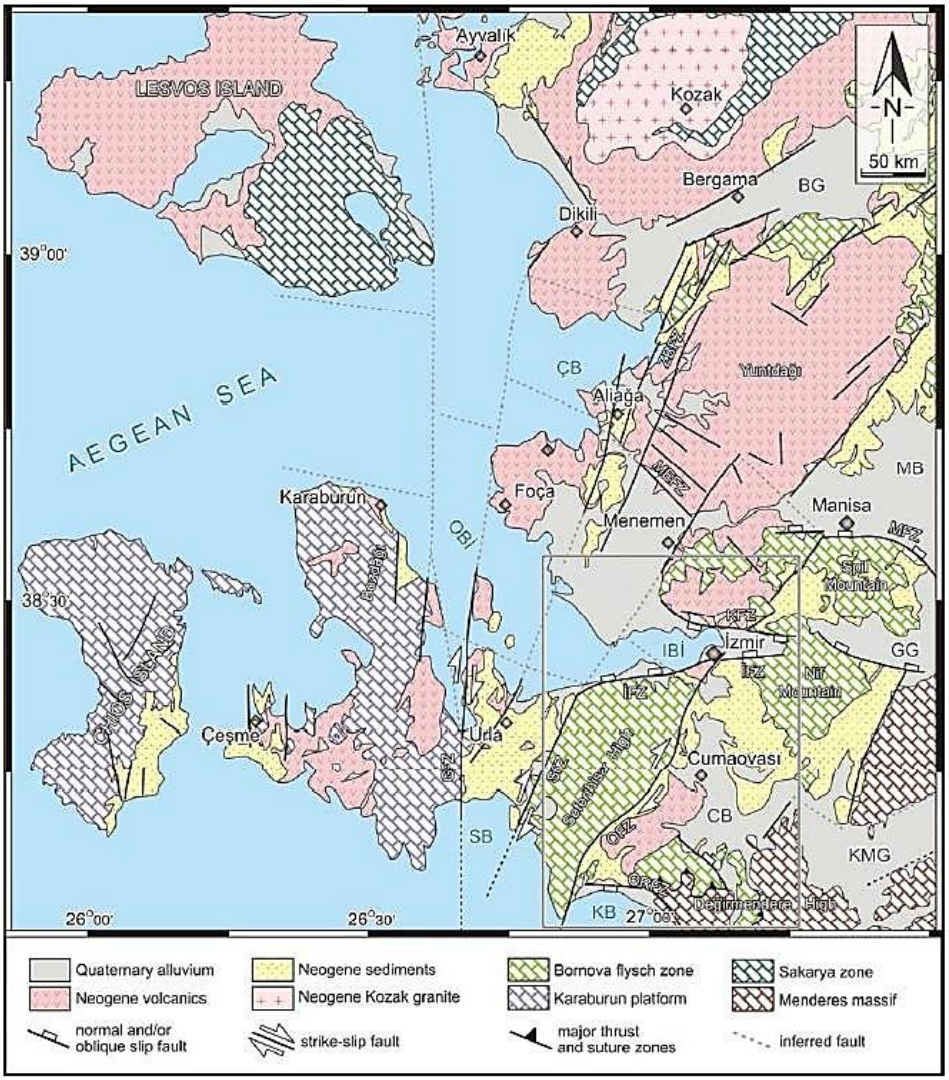
(d) Geo-basınçlı sistemler: Bunlar jeo-basınçlı petrolu oluşturmaktadır. Burada ki stratigrafik yapıda bulunan sular litostatik basınç üzerinde basınca sahiptir. Bu tür sistemler genellikle derindir ve bu nedenle de bunlar jeotermal sular olarak kategorize edilir.

Yerkabuğunda bir jeotermal sistemin oluşmasını en dolaysız etkileyen ve yönlendiren olgular yapısal jeoloji olgularıdır. Isı akısının yüksekçe olduğu bir bölgede de bulunursa, ancak yüksek geçirimlilik 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 dolaşıp bu işlevlerini yerine getirebilir.

1.2. Çalışma Alanının Jeotektonik Konumu

Türkiye, Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde Doğu Akdeniz Bölgesinde yer alır ve sık sık yıkıcı depremlere maruz kalmaktadır. 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 (Sengor vd., 1985). Türkiye tektoniği büyük ölçüde Arap plakası, Avrasya ve Afrika plakalarının hareketlerinden etkilenir (Şekil 1.5). Seferihisar'ın matematiksel konumu ise 26°45'00" doğu; 27°01'30" doğu boylamları ile 38°17'00" kuzey ve 38°02'00" kuzey enlemleridir. Seferihisar yükseliminin olduğu bölgenin neotektonik yapısı, Anadolu levhasının batıya kaçışı 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 morfotektonik yapılarını oluşturmaktadır (Uzel vd., 2012; Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Ana tektonik hatlar ve aktif gelişen havzaları gösteren Batı Anadolu kıyı kesiminin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Uzel vd.,2012)

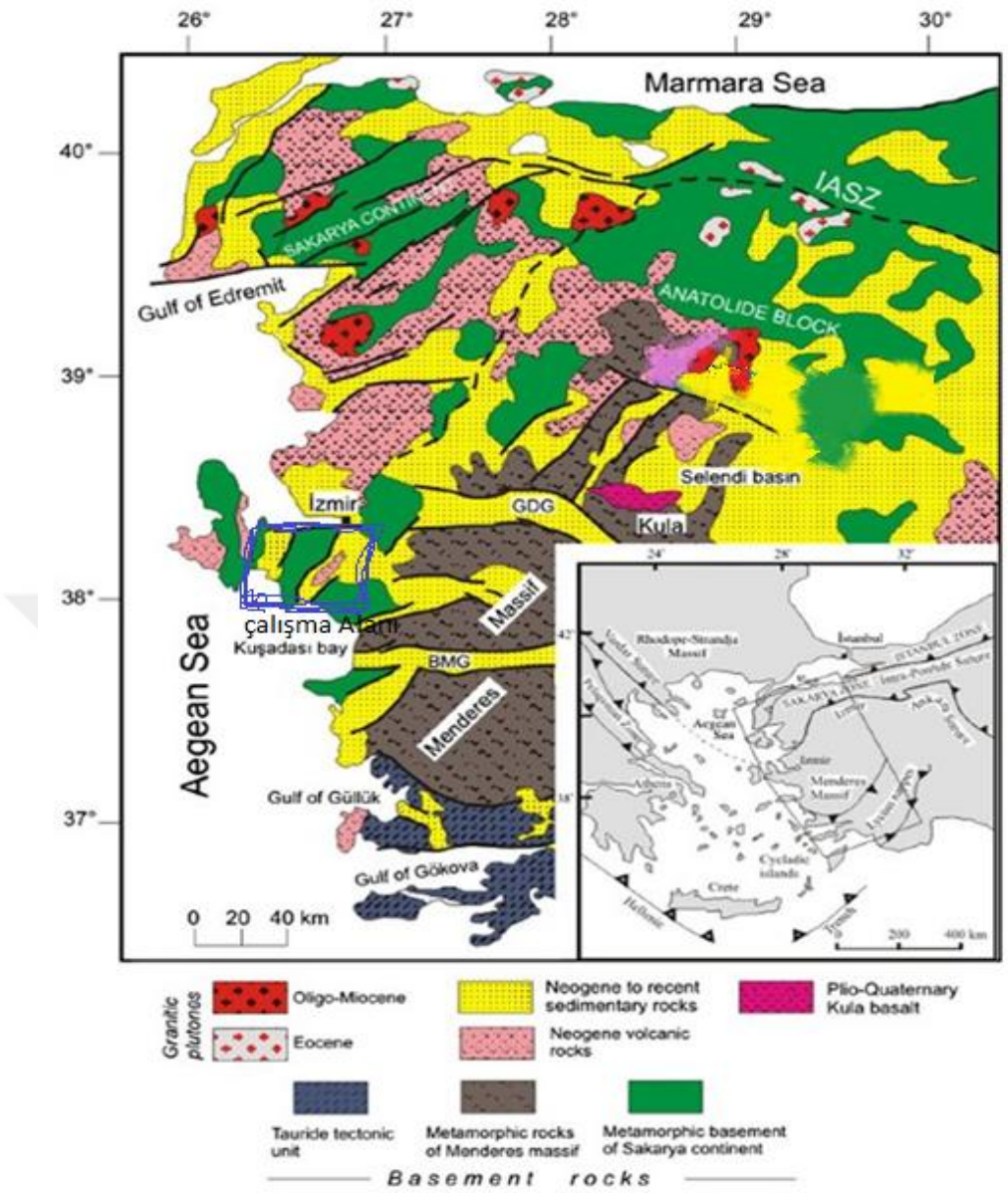
Seferihisar Yükselimi ve Cumaovası Çöküntüsünü sınırlayan en önemli faylar, İzmir Fay Zonu, Seferihisar Fay Zonu ve Tuzla Fay Zonu olup, çalışma sahası içerisinden Tuzla fay zonu geçmektedir .Seferihisar fayı İzmir'in güneybatısında Seferihisar yöresindeki Sığacık körfezi ile Güzelbahçe arasında uzanır. Su altı verileri fayın güneye doğru Ege Denizi tabanında devamlılık sunduğuna işaret eder (Ocakoğlu vd., 2004, 2005). 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 flişine ait kaya toplukları 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). Ulamış köyü yöresi, fayın Kuvaterner çökelleriyle ilişkisi ve doğrultu atım morfolojisinin en iyi gözlendiği alanlardandır. Bu kesiminde fay Pleyistosen ve Holosen yamaç molozu ve yelpazelerini kesmektedir. Ulamış 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 flişiyle 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 1.5. 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 sedimalar 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 kırılgan 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 kayaçlar KD-GB, KB-GD doğrultulu tektonik zonlar üzerinde bulunur. Neojen istifi altında yer alan İzmir flişi 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 strafigarfik olarak tabanı oluştururlar. Güneyden kuzeye olan bindirme zonu içinde iki farklı tektonik kuşak ile ayırtedilmektedir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Ana tektoniği ve Batı Anadolu jeolojik birimleri (Yılmaz vd., 2000)

(1) Menderes Masifini kuzey sınırı boyunca tektonik olarak örten, göreceli olarak küçük bilinen, HP-LT kuşağı; Afyon Zonu.

(2) Metaklastitler, ofiyolitler ve ofiyolit melanjlarından oluşan Keratase yaşlı Mavişist kuşağı: Tavşanlı Zonu (Okay vd., 1996) Bornova fliş zonu Menderes Masifini KB kenarı boyunca tektonik olarak örtmektedir (Okay 2004, 2007; Okay vd., 1996, 1998, 2005) .

Menderes bloğu 50 milyon yıl önce Sakarya Bloğu ile çarpışmış ve daha sonra yüksek sıcaklık metamorfizması ve granit intrüzyonleri meydana gelmiştir (van Hinsbergen vd., 2010). Menderes Masifi'nin ortaya çıkması Neojen döneminde birbiri 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 ortayaçıkışını 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 tekoniğinin Menderes Masifininortaya çıkmasında bölgesel anlamda önemli rol oynadığını belirtmektedir. Bazı çalışmalar da (i) Erken-Orta Miyosen gerilme tektoniğive Ege hendeğinin geriye dönüşü ve (ii) Geç Miyosen-Pliyo-Kuvaterner gerilim tektoniği ve Batı Anadoluda dalan 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 faylarınD-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).

Çalışma alanı stratigrafik olarak Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi, Üst Kretase yaşlı İzmir flişi, Alt Miyosen yaşlı Bahçecik formosyonu, Orta Miyosen yaşlı Yeniköy formosyonu ve Üst Miyosen yaşlı Cuma Ovası volkanik kayaçlar ve Kuvaterner yaşlı alüvyon, yamaç molozu olarak sıralanmaktadır (Şekil 3.1).

1.3. Araştırmanın Amacı

Tezin amacı (1) Seferihisar (İzmir) ve yakın çevresi jeotermal alanlarının jeoloji haritalarının güncellenmesi, (2) mineralojik, 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 etkileşimi çerçevesinde jeotermal sistemin oluşumunu bir model içinde ortaya koymaktır.

2. KAYNAK BİLGİSİ

Önceki araştırmacılar Seferihisar ve yakın çevresinde jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal araştırmalar yapmış ve bu çevrede jeotermal suların ve yörenin jeotektonik oluşumuna genel olarak 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 olunduğunu ifade etmiştir. - Gri renkli kompakt kireçtaşlarının; filiş 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 tüf. - Üst seri; kireçtaşı, marn, kil volkanik tüf. 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 tüf 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 yönlü

uzanan 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 ğerektiğini 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 metamorfitlerin oluşturduğu, bunlar altta kristalin şist, üstte kalınlığı yer yer değişen mermerlerden meydana geldiğini, Paleozoyik yaşlı metamorfitler üzerine, Üst Kretase yaşlı (İzmir Flişi) örttüğü ifade etmiştir.Bu birim killi şist, kumtaşı, kireçtaşı ardalanmasından oluşmuş, kireçtaşları fliş içinde büyük mercekler şeklinde olduğu, flişin altındaki ultrabazik kayaçlar faylarla üst seviyelere zorlanmış olduğunu, İzmir Flişi Güney-Doğuda Paleozoyik Metamorfitler 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 serpantinit 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 yapılı olduğunu, orta Ege kıyı kuşağında 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 değiştirme türlerinin aşmak oluşu: Normal fayları doğrultu atım bileşeni kapsaması ve doğrultu atımlı faylar şeklinde yeniden işlemiş bulunmasıdır.

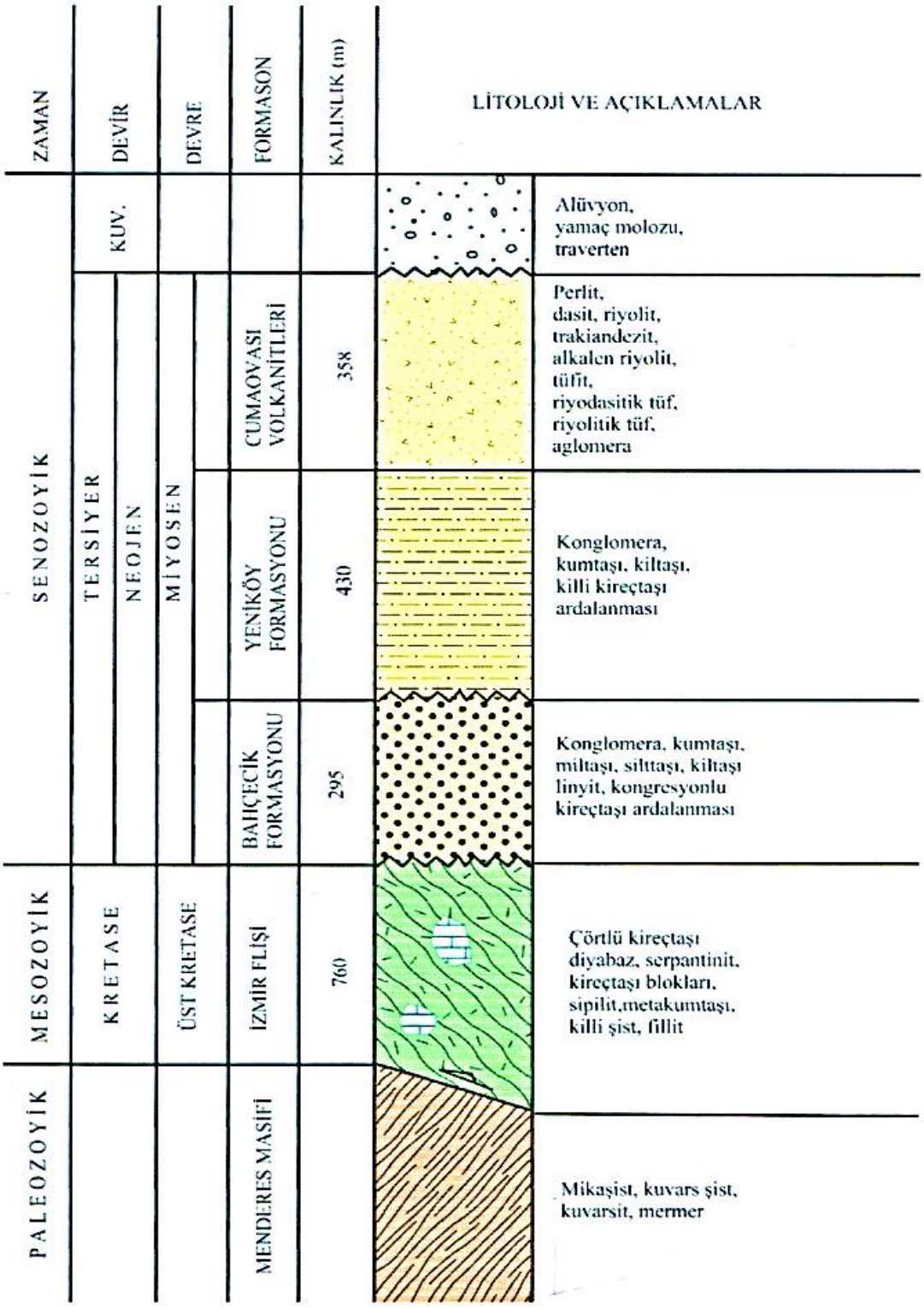
Palabıyık ve Serpen (2008), yaptıkları çalışmada, su analizleri için jeokimyasalyöntemleri kullanmışlar ve Na-HCO3-SO4 açısından zengin olan termal suların Cl bakımından fakir olan yeraltı sularını etkilediklerini belirtmişlerdir. Araştırmacılar termal suların meteorik kökenli olduklarını belirtmişler ve bunları olgunlaşmamış su grubuna dahil etmişlerdir.

Yaman (2005), Menderes Masifi kıtasal rift zonlarında bulunan sıcak sular bikarbonat tipli sular olduğunu ve akışkan içinde CO_2gazı bulunduğunu belirtir. CO_2 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.

3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİSİ

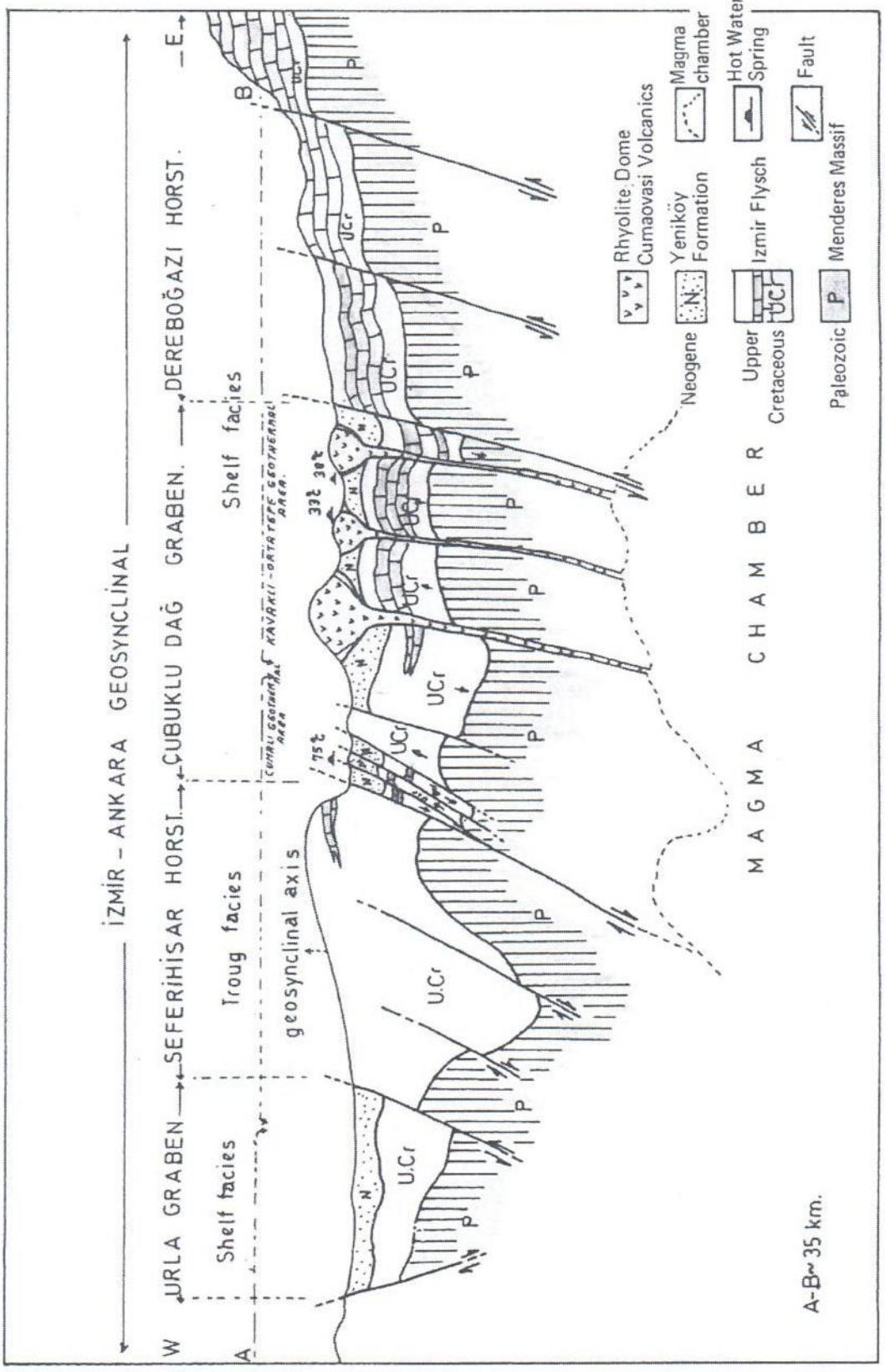
3.1. Seferihisar Jeotermal Alanı Jeolojisi

Seferihisar jeotermal alanı, İzmir-Ankara melanjının güneydoğusunda, İzmir ilinin yaklaşık 40 km GB'sında yer almaktadır. Bölgenin temelini Menderes masifine ait, Paleozoik yaşlı kristalin şistler oluşturur. Bunlar bölgenin güney doğusunda, geniş bir alanı yüzeyler ve genel olarak, üst seviyelerinde çeşitli kalınlıklardaki, mikaşist, kuvarsşist, krolitşist ve albitşistten oluşurlar (Eşder ve Şimşek, 1975). Paleozoik yaşlı metamorfiklerin üzerinde ise, üst Kretase yaşlı İzmir flişi uzanır. Bu birim, pelitik şist, kumtaşı ve altere kireçtaşlarından oluşur (Şekil 3.1). İzmir flişinin alt seviyelerindeki Ultrabazik kayaçlar, üst seviyelerdeki belirgin bir trend boyunca yukarıya itilir ve genellikle, KD-GB doğrultusunda yüzeylenirler (Eşder ve Şimşek, 1977).



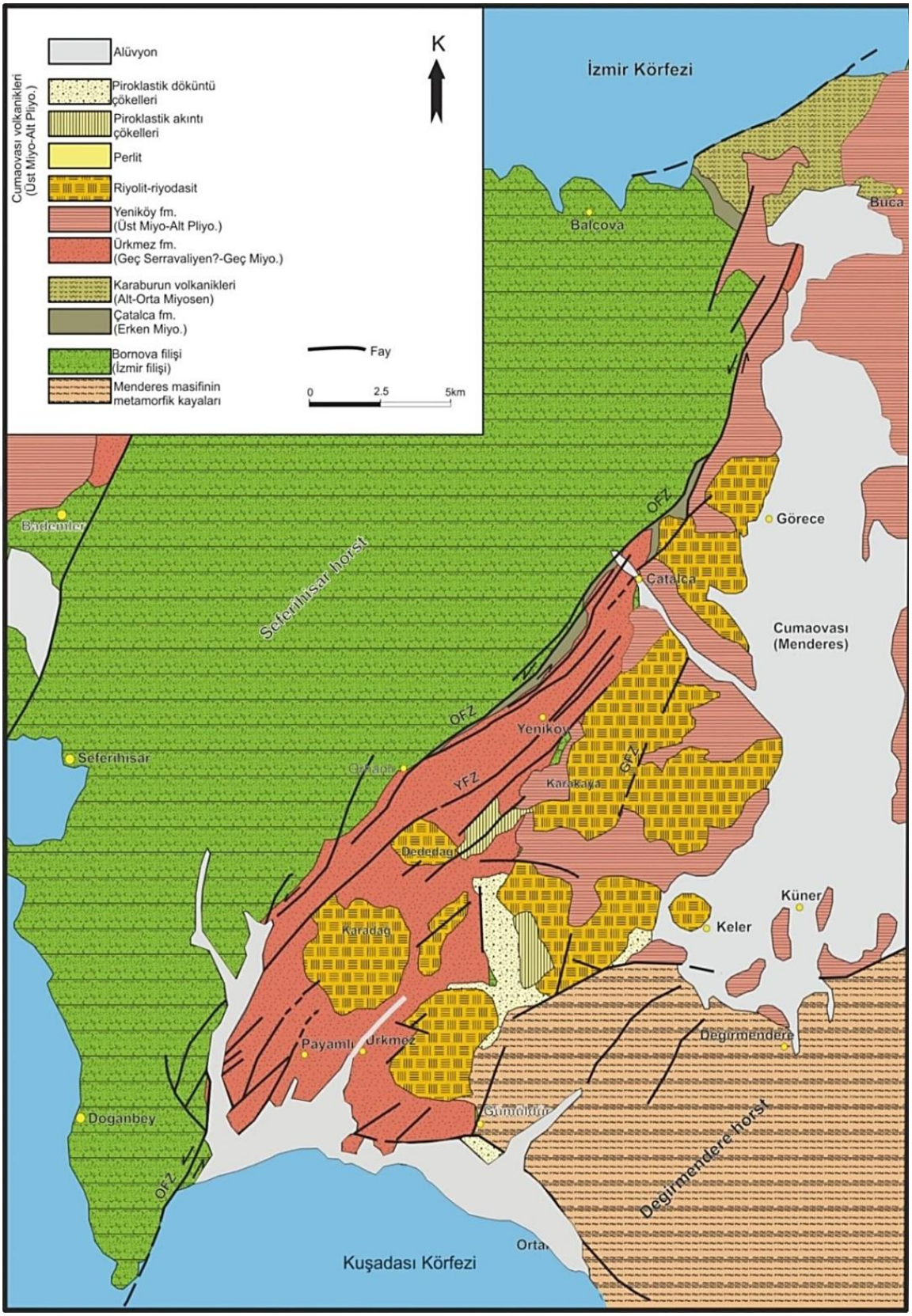
Şekil 3. 1. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Eşder, 1988)

Bölgenin kuzeybatı ve güneydoğusunda İzmir flişi görülür. İzmir flişi, güney doğudaki Dere Boğazı yükselimi metamorfikleri üzerinde uzanır. Bölgenin orta kesiminde, geniş bir bölümü Miosen yaşlı çökellerle örtülü olan ve KD-GB uzanımlı Çubuklu Dağ çöküntüsü (graben) vardır (Şekil 3.2). Miosen çökeller, Üst Kretase yaşlı İzmir flişiyle açısal uyumsuz olarak örtülüdürler. Miosen çökeller Yeniköy formasyonu olarak bilinir ve bunların üzerinde de Pliosen-Pleistosen yaşlı Cumaovası volkanikleri yer alır ve Kuvaterner alüvyon, yamaç molozu güncel çökelleri ile örtülüdür.



Şekil 3.2. Ankara-İzmir jeosenklinali kesiti(Esder ve Simsek, 1975)

Seferihisar jeotermal sistemi, dünyadaki pek çok jeotermal alanda olduğu gibi, Tersiyer ve Kuvarterner volkanizmanın yer aldığı bir bölgede oluşmuştur. Bu tür sistemler, lav domları, andezit, dasit ve riyolit volkanlarının yakınında gelişmiştir. Riyolit ve riyodasit lav domları gerçekte, intrüzyon yerlerinde atmosfere gaz kaçışını engellemekte ve derindeki ısı birikimini korumaktadır. Bu tip jeolojik koşulların egemen olduğu bölgelerde, asit volkanikler derinde ısıyı biriktir ve geçirgen olmayan kayaçların da etkisiyle jeotermal gradyenti arttırarak, yukarıya doğru oluşan ısı iletimi yardımıyla jeotermal sistemdeki suları ısıtır. Bundan dolayı, riyolit ve riyodasit lav domlarının yakınında jeotermal alanlar oluşabilmektedir. Çubuklu Dağ çöküntüsündeki riyolit ve riyodasit lav domlarının dizilimi ise volkanizma yayılımına ve tektonizmaya uygun olarak GB-KD uzanımındadır.Çalışma alanının güney batısında Doganbey burnu metamorfik kayaçları yer alır. Bu metamorfik kayaçlar Üst-Triyas-Alt-Jura yaşlı Karacadağ kireç taşları ile Üst-Kretase-Paleosen(?) yaşlı İzmir flişi tarafından tektonik dilimler halinde allakton olarak örtülmüştür (Eşder, 1975; Eşder ve Şimşek, 1975; Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Seferihisar Yükselimi, Cumaovası ve Urla Çöküntüleri'ni kapsayan çalışma civarının jeoloji haritası (Maden Tetkik Arama, 2002)

Seferihisar jeotermal alanının GD'su Dereboğazı yükselimi ile sınırlıdır. Burası bölgenin en yüksek kesimidir. Yükselimin genel uzanımı, Çubuklu Dağ çöküntüsü ve Dereboğazı yükselimine dik olarak, KB-GD doğrultusundadır. İkinci geniş ve önemli yükselim ise bölgenin kuzeybatısındadır. İzmir flişinin yer aldığı bu birim, Seferihisar yükselimi olarak bilinir ve KD-GB uzanımına sahiptir (Şekil 3.3). Yükselimin güneydoğu uzanımı, tektonik açıdan daha etkindir. Çubuklu Dağ çöküntüsünün batı bölümünde Yeniköy formasyonunu kesen, Doğanbey Ilıcası ve Karakoç ılıcası yükselimleri bulunmaktadır ve bunlar yardımıyla ana çöküntü daha küçük çöküntülere bölünmektedir (Eşder ve Şimşek, 1975; Şekil3.4). Bölgenin önemli jeotermal alanlardan biri olan Cumalı-Tuzla jeotermal bölgesi, güneybatıda Çubuklu Dağ çöküntüsünün sonunda yer almaktadır. Jeotermal potansiyel açısından Ege bölgesinin önemli alanlarından biri olan Seferihisar jeotermal alanının doğusu ve batısı genelde kumtaşı, şeyl ve yer yerde kireçtaşlarından oluşmuş yüksek tepelerle çevrilidir. Jeotermal akışkan ise, bu dağların eteğinde ve genelde KD-GB yönlü uzanan faylar boyunca yüzeye çıkmaktadır. Bölgede birçok sıcak su çıkışı bulunmakla birlikte en önemlileri; Tuzla ılıcası (76.0° C), Cumalı kaplıcası (61.4° C), Doğanbey kaplıcası (76.1° C) ve Karakoç kaplıcası (55.1° C)'dır. Hidrojeolojik çevrimin oldukça hızlı olduğu düşünülen Seferihisar jeotermal alanından toplanan sıcak su örnekleri üzerinde yapılan jeokimyasal analizler; beslenme alanı ve köken açısından iki farklı haznenin olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar sonucunda; Cumalı ve Tuzla sıcak su kaynaklarında meteorik su katkısının oldukça az olduğu ve ağırlıklı olarak denizel kökenli sular içerdiği, Doğanbey ve Karakoç sıcak su kaynaklarının ise ağırlıklı olarak meteorik kökenli olduğu belirtilmektedir (Filiz ve Tarcan, 1993).

Araştırma alanında uzun yıllardan beri MTA tarafından çok sayıda sondaj yapılmıştır ve bu sondajlardan elde edilen sıcaklık ve gradyan ölçümleri sonucunda Cumalı ile Tuzla bölgesinde jeotermal gradyan ile sıcaklığın çok yüksek olduğu belirlenmiştir (Eşder ve Şimşek; 1977, Eşder, 1990). Ayrıca doğal izotoplar üzerinde yapılan çalışmalarda da yüksek hazne sıcaklığının Cumalı-Tuzla arasında bulunduğu ortaya çıkmıştır (Filiz ve Tarcan, 1993). Alterasyon zonları üzerinde alınan su örnekleri üzerinde yapılan çalışmalarda, derindeki

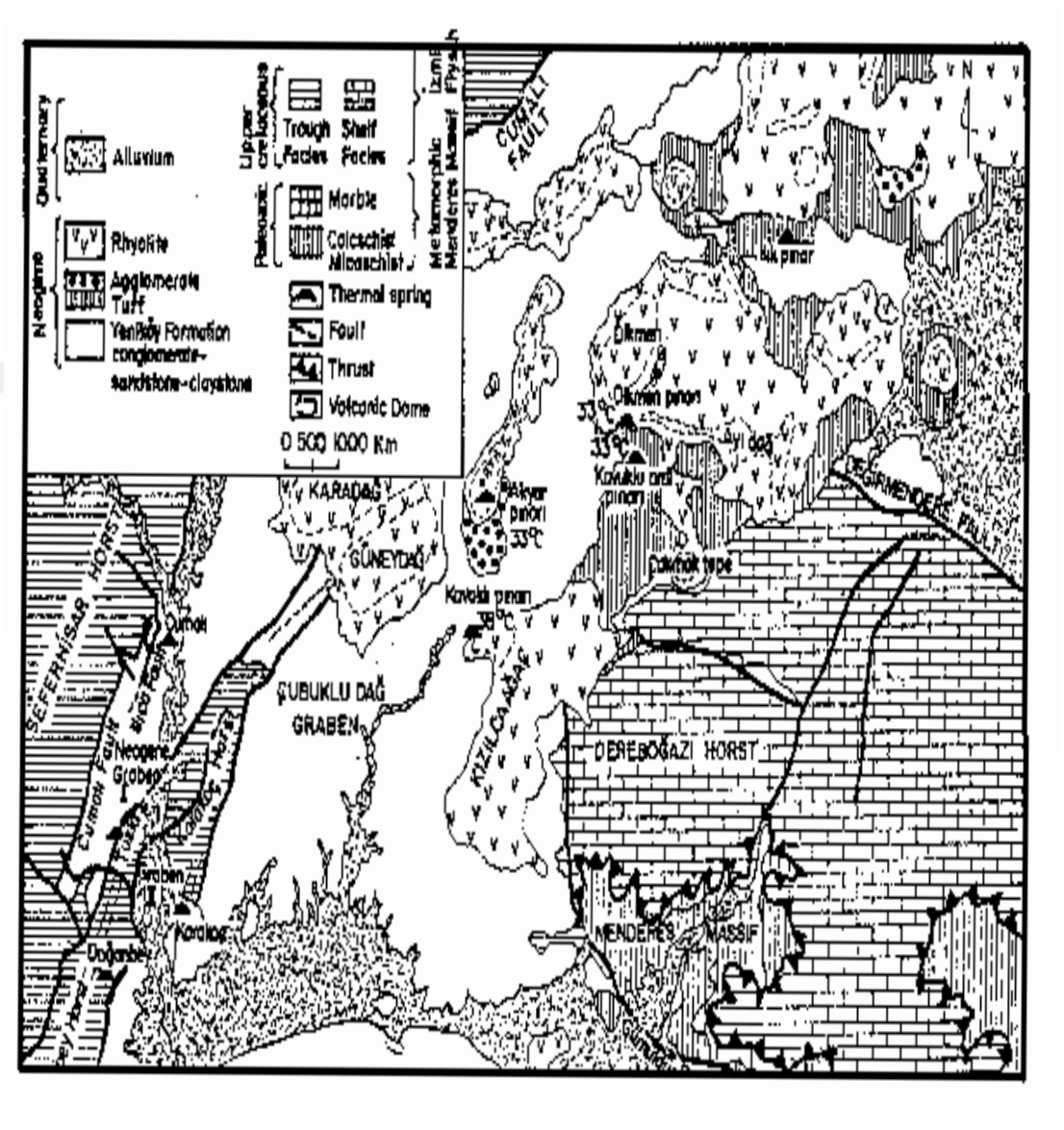
hazne kaya sıcaklığının 170° C ile 230° C arasında olabileceği belirlenmiştir. Yapılan tüm çalışmalar bölgede jeotermal etkinliğin yüksek olduğunu ortaya çıkarmıştır.

3.2. Seferihisar Jeotermal Alanının Özellikleri

Bölgenin temelini başlıca mika şist ve mermer merceklerden oluşan Menderes masifine ait metamorfik kayaçlar oluşturur. Menderes Masifi'ne ait kayaçlar İzmir-Ankara Zonu'na ait kayaç topluluğu tarafından bindirme fayı ile üstlenir (Başarır ve Konuk, 1981). Sıcak su kaynaklarının bulunduğu sahada yaşlıdan gence doğru Üst Kretase-Paleosen İzmir-Ankara Zonu'na ait kayaç topluluğu (İzmir Flişi; Erdoğan, 1990), Neojen yaşlı karasal (gölsel) tortullar ve Kuvaterner alüvyon ile diğer güncel çökeller olmak üzere üç ayrı kaya birimi ayırtlanmıştır (Şekil 5.1). İzmir Flişi kumtaşı-şeyl ardalanması, silisifiye ve altere kumtaşları, denizaltı kanal dolgusu şeklinde çakıltaşları, spilitik volkanitler ve mafik denizaltı tüfleri, merceksel ve olistolit konumlu kireçtaşları ile tektonik dilimler ve olistolit olarak yer alan serpantinitlerden oluşur. İleri derecede tektonik deformasyon geçirmiş olan birimde küçük ölçekli kaymalar, doğrultu atımlı faylanmalar ve yaygın demirli, silisli alterasyon zonları gözlenir.

İzmir Flişini açısal uyumsuz olarak üsteleyen Neojen yaşlı tortullar çok örnek bileşenli çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı ardalanması ile marn ve gölsel kireçtaşı merceklerinden oluşur. Sahada yaklaşık 300 m kalınlık sunan birimde iyi pekleşmiş çakıl taşları egemendir. Yaklaşık % 20 kum, kil ve karbonat ara madde içeren çakıltaşları, bolluk sırasına göre kumtaşı, kireçtaşı, çört, şeyl, meta kuvarsit, serpantinit, şist, mermer ve diyabaz tane bileşenlerini içerir. Neojen tortullar ile İzmir Flişinin dokanağı Cumalı Fayı, Tuzla Fayı ve Doğanbey Fayı gibi düşeye yakın yüksek eğimli normal faylarla kesilmiştir. Bu faylar graben yapısının ve sıcak su kaynaklarının oluşumunda birinci derecede etken faylardır (Şekil 5.1). Sahanın kuzeybatısında ve batısında gözlenen riyolit ile dasit arasında değişen asit volkanit kayaçlar Neojen yaşlı karasal tortulları keserek yüzeyler. Kuvaterner yaşlı alüvyon ve özellikle sıcak su kaynakları çevresinde dar bir alanda gözlenen traverten, bitkisel toprak, sodyum bikarbonat ve sodyum klorürlü çökeller yörenin en genç oluşuklarıdır (Filiz ve Tarcan, 1993).

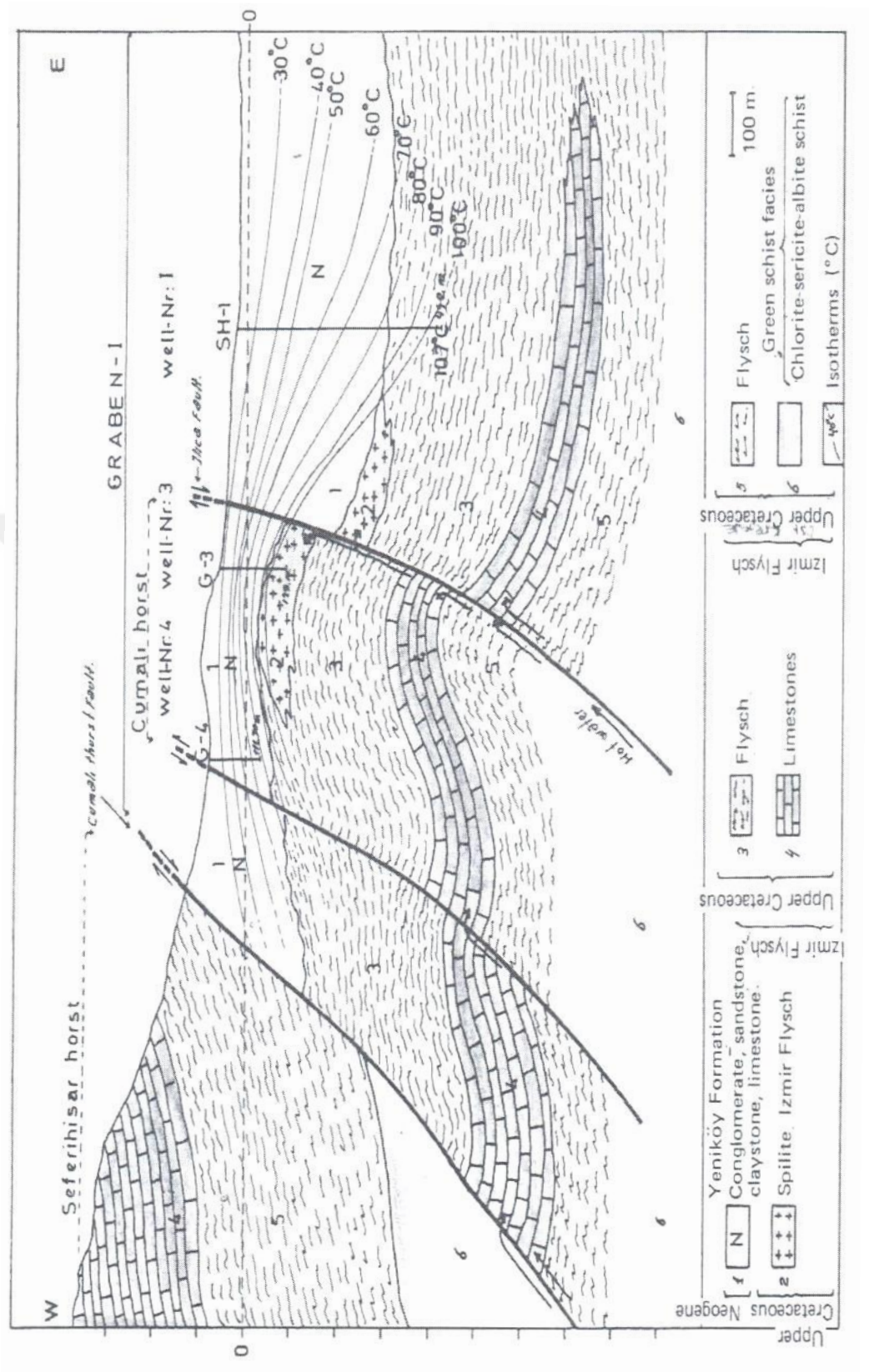
Bölgede sıcak su çıkışları ise KD-GB yönde uzanan faylar boyunca görülmektedir. Alandaki önemli jeotermal çıkışlar; Cumalı, Tuzla, Doğanbey ve Karakoç civarında gözlenmektedir(Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Seferihisar jeotermal alanı ayrıntılı jeoloji haritası [Esder veSimsek, 1975]

3.2.1. Cumalı termal suları

Cumalı termal suları bölgesi, güneybatıda Çubukludağ çöküntüsünün sonunda yer alır (Şekil 3.4). Bölge, Seferihisar ve Karakoç yükselimleriarasında bulunmakta ve Cumalı ters fayına paralel olarak uzanmaktadır.Kuzeybatıda, yeniköy formasyonu altındaki İzmir flişi kireçtaşı rezervlerinin yapısal istifine uygun olarak, Cumalı ters fayına dogru dalmaktadır (Şekil 3.5). Bununlabirlikte doğuda, şeyller arasında azalarak incelmektedir. Bölge, temel tektoniktrende uygun olarak KD-GB doğrultusunda uzanmaktadır (Sindirgi ve Timur 2006). Kavakdere köyü yakınlarında, birbirinden birkaç yüz metre uzaklıktaki kaynaklardan oluşan bu termal suların sıcaklığı 70-80,5°C arasında değişmektedir.



Şekil 3.5. Jeolojik yapı ve izotermal konturları arasındaki ilişkiyi gösterenCumalı ilçesinin kesiti (Esder ve Simsek, 1975)

3.2.2. Tuzla termal suları

Tuzla termal suları bölgesi, Tuzla mevkiinden batıya doğru fay zonal bir gidiş içerinde iki ana kola ayrılır. İki kolarasında fay zonu ile aynı doğrultuda uzanan topoğrafik yükselim büyük boyutlu bir basınç sırtına karşılık gelir. Basınç sırtının batısındaki faylar flişel kaya topluklarını keser (Şekil 3.4). Doğusundakiler ise fliş ile Miyosen dokunağında ve Miyosen çökellerinde izlenir. Faylarboyunca hidrotermal alterasyon ve silisifiye zonlar yaygın olarak izlenen oluşumlardır (MTA Rapor no: 10754). Tuzla sıcak su kaynağı ağırlıklı olarak denizel kökenli sular içerdiği yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur. Termal suların rezervuar sıcaklığı 82°C'dir.

3.2.3. Doğanbey ve Karakoç termal suları

Doğanbey, Karakoç termal alanı Seferihisar yükseliminin güneydoğu uzanımı tektonik yoğunluğun merkezidir (Şekil3.4). Çubukludağ çöküntüsünün bu kısmında, Yeniköy formasyonunu kesen, Doğanbey Ilıcası yükselimi ve Karakoç yükselimi bulunmaktadır. Doğanbey ve KarakoçJeotermal alanı İzmir'in ikinci en yüksek kuyu ısısına sahip kaynaklardır. Rezervuar sıcaklığı 90°C-153°C arasındadır. Yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak meteorik kökenli olduğu ortaya konulmuştur (Sindirgi ve Timur 2006).

4. METARYAL VE METOD

Çalışma alanında hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özelliklerinin anlaşılmasını kolaylaştırmak için Seferihisar jeotermal alanında ayrıntılı bir araştırma yürütülmüştür. Bu hedefe ulaşmada yapılan çalışmanın 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 parametrelerini ve yerinden alınan sıcak su örneklerini içermektedir (Şekil 4.1). Su örnekleri çalışma alanının farklı lokasyonlarından temsili olacak şekilde toplanmıştır. Daha sonra bunlar fiziksel parametreleri, anyon ve katyonların belirlenmesi için analiz edilmiştir.

4.1. Metod

Bu bölümde, araştırmanın tüm aşamalarını içeren jeoloji, jeotermal suların hidrojeokimyası izitop jeokimyası, su örnekleri alımı, laboratuvar analizleri ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumu yöntemleri tartışılmaktadır.

4.1.1. Jeolojik çalışma

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

4.1.2. Örnekleme ve in-situ analizler

Arazide su örnekleri alımında bunların fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi bazı parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla ilgili olarak tüm laboratuvar standartları göz önünde bulundurulmalı ve uygulanmalıdır. Örneğin, su örneklerini hidrojeokimyasal analiz etmek için 100 ml olan polipropilen şişelerde katyon ve anyon olarak ayrı ayrı örnekler alınır. Toplanan

numunelerin kapağını kapatırken hava kalmaması için ağzına kadar su doldurularak kapatılmalıdır. Katyon analizi için su örneğinde bazı maddelerin çökelip reaksiyon göstermesini önlemek için derişik HNO_3 konularak pH değeri 2.0 ile 3.0 arasına getirilir ve kapağı kapatılır. Su örnekleri daha sonraki analizler için laboratuarda 4 °C'de bekletilir.



Şekil 4.1. Çalışma alanında gerçekleştirilen in-situ ölçümleri (Karakoç Ilıcası)

Yapılan saha çalışmalarında anyon ve katyon analizleri için toplam 5 adet su örneği toplanmıştır. Bu örneklerde in-situ analizleri yanısıra hidrojeokimyasal analizler degerçekleştirilmiştir. Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş oksijen(O_2), redoks potansiyeli (Eh), karbonat tayini için alkalinite ve toplam sertlik gibianalizler (Şekil 4.1) arazide yapılmıştır. In-situ cihazları ve ölçülen birimler (Çizelde4.2)'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışma alanında Cumalı Ilıcası'nda örnek alımı ve in-situ ölçümleri

4.1.3. Hidrojeokimyasal analiz

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 vemarka
Sıcaklık	˚C	Thermometer-Testo-95-1
pH		pH meter-WTW 330i
Redoks Potansiyeli (Eh)	mV	pH meter-WTW pH 95
Elektriksel iletkenlik (EC)	µS/cm	Electrical conductivity measurement- WTW cond 330i and 340i
Çözünmüş oksijen(O_2)	Mg/l	Oximeter-WTW Oxi 340
Alkalinite	mmol/l	Alkalinity 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 veayrı ayrı bileşenlerin analizleri olarak adlandırılır. Örnek hacimi bir örnek döngü içine,elle veya otomatik örnekleyici ile de tanıtıldı. Mobil faz olarak bilinen tamponlu, sulubir çözelti hareketsiz faz malzeme döngü içeren bir kolon üzerine örnek taşır. Hedefanalit sabit faz üzerinde muhafaza edilir, ancak ikinci durağan faz, analit iyonlarınınyerini aynı yüklü türlerin konsantrasyonunun arttırılması ile ayrıştırılır. İlgilenilen analitdaha 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 ICPOES 2100 DV	Optik emissiyon spektrometresi
F^{-},Cl^{-}, Br^{-}, $SO4^{2-}$, NO_3^{-}, NO_2^{-},$PO4^{2-}$	Dıonex ICS-3000	İyon kromatografisi
HCO_3^{-}, CO_3^{2-}	Merck-Aquamerck testkitleri	Titrasyon yöntemi

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

4.1.4. Jeotermometreler

Jeokimyasal termometreler, jeotermal sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi içinönemli bir vasıta olmaktadır. Bu termometreler aynı zamanda jeotermal rezervuarlarınüretimi esnasında etkilenmesinin izlenmesi bakımından önemlidir.

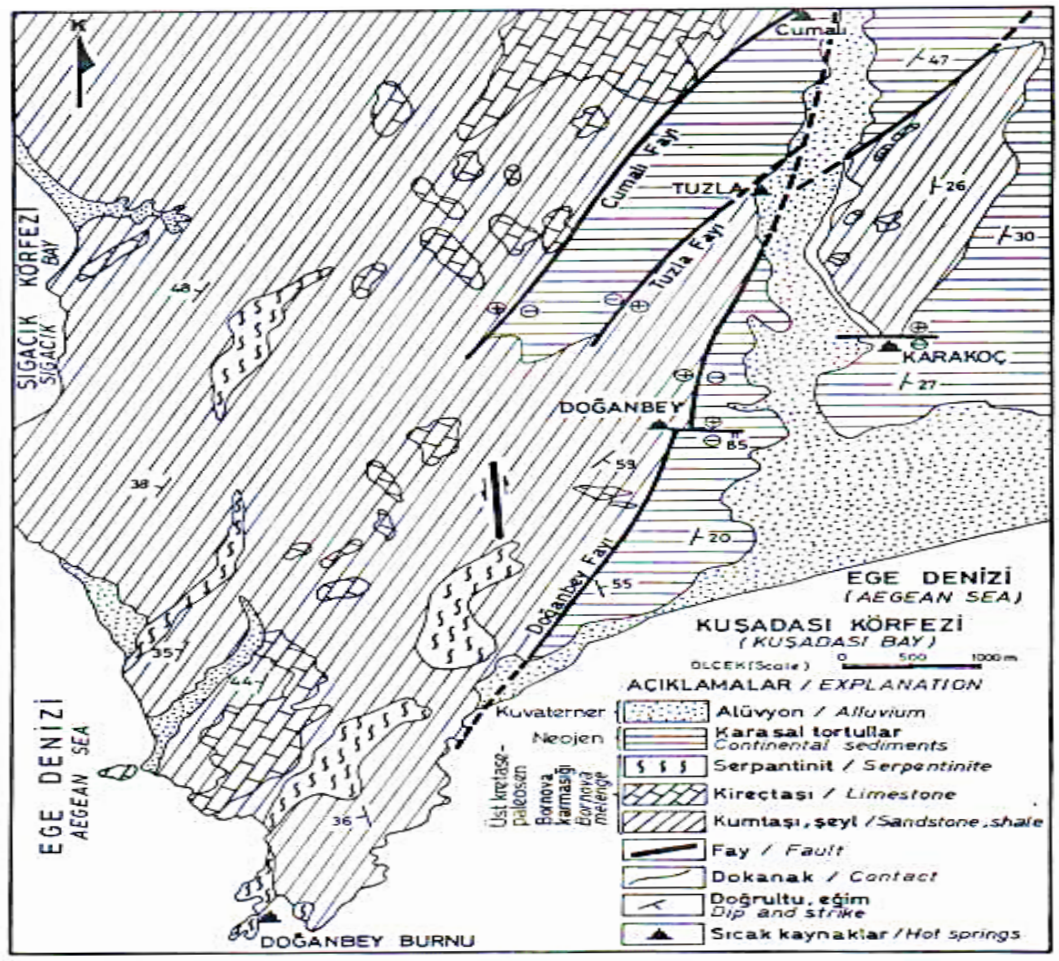
Arama aşamasında, jeotermometreler sondaj çalışmalarında beklenen çıkış sıcaklığı gibi yeraltı sıcaklığını tahmin etmek için de kullanılır. Burada sıcak suların ve fümarollerin kimyasal ve izotop jeokimyasal bileşimi kullanılır. Jeotermal geliştirme ve izlemelerin son aşamasında jeokimyasal termometreler kuyularda üretim seviyelerininyerlerine riayet ederek kuyu deşarzının bileşimini yorumlayabilmek için kullanılır. Jeokimyasal termometreler ayrıca kuyu çevresinde deşarj oluşturan soğuk sulartarafından geliştirilen kaynama ve/veya basınç olayları sonucu oluşan azalma zonlarındaoluşan kimyasal reaksiyonları açıklamak için faydalıdır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Kayaçların Hidrojeolojisi

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 1/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 aramadde 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), çözünmüş 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^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Pb^{2+}, SiO_2, Zn^{2+}, Al^{3+}, Cr^{3+},Cu^{2+} ve As^{3+}, ICP-OES ve ICP-MS analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir.Buna karşın

aşağıdaki anyonlar F^{-}, Br^{-}, Cl^{-}, SO_4^{-2}-, NO_3^{-}, NO_2^{-} and PO_4^{-} iyonkromatografisi (IC) yönetmi ile analiz edilmiştir. The HCO_3^{-} and CO_3^{-2} 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

Seferihisar ve yakın çevresinden alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçları AQUACHEM v.3.7 (Calmbach,L., 1999) ve Liquid analysis spreadsheet kullanılarak değerlendirilmiştir. Aynı şekilde, Seferihisar ve yakın çevresi jeotermal sularını tanımlamak ve grafiksel olarak gösterebilmek için Piper ve üçgen diyagramları hazırlanmıştır. Piper diyagramına göre (Şekil5.2.), Seferihisar 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
EB_1	Cumalı	Na-Cl
EB_2	Karakoç	Na-MgCl
EB_3	Doğanbey	Na-Cl
SD_1	Şifne	Na-Cl
SD_2	Çeşme Ilıcalar	Na-Cl

Çizelge 5. 2. Seferihisar ve yakın çevresi termal suların in-situ parametreleri

S/No	örnek Koordinat	konum	sıcaklık (0C)	pH	Eh (mV)	çözünmüş O_2	EC (µS/cm)	Alkalinite
1	EB_1 0492183D 04219667K	Cumalı	61,4	7,12	-57,8	3,1	29,2	4,3
2	EB_2 0492811D 0421600K	Karakoç	55,1	7,27	92,4	3,0	6,71	4,3
3	EB_3 0491282D 04215080K	Doğanbey	76,1	7,58	112	4,1	10,33	4,3
4	SD_1 0491280D 04215081K	Şifne	39,2	7,31	101,3	2,7	29,7	4,3
5	SD_2 0447008D 04242119K	Çeşme Ilıcalar	34,6	7,46	73,00	3,7	29,1	4,3

Çizelge 5. 3. Seferihisar ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları

Örnek No	X	Y	Sıcaklık C°	pH	Eh (mV)	O_2 (mg/l)	EC (µS/cm)	Na^+ (mg/1)	K^+ (mg/1	Ca_2^+ (mg/l)
EB_1	0492183D	04219667K	61.4	7.12	-57.8	3.1	29200	5858	754	546
EB_2	0492811D	0421600K	55.1	7.27	92.4	3	6710	1236	93.9	160
EB_3	0491282D	0421508K	76.1	7.58	112	4.1	10330	1985	4.22	195
SD_1	0491280D	04215081K	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

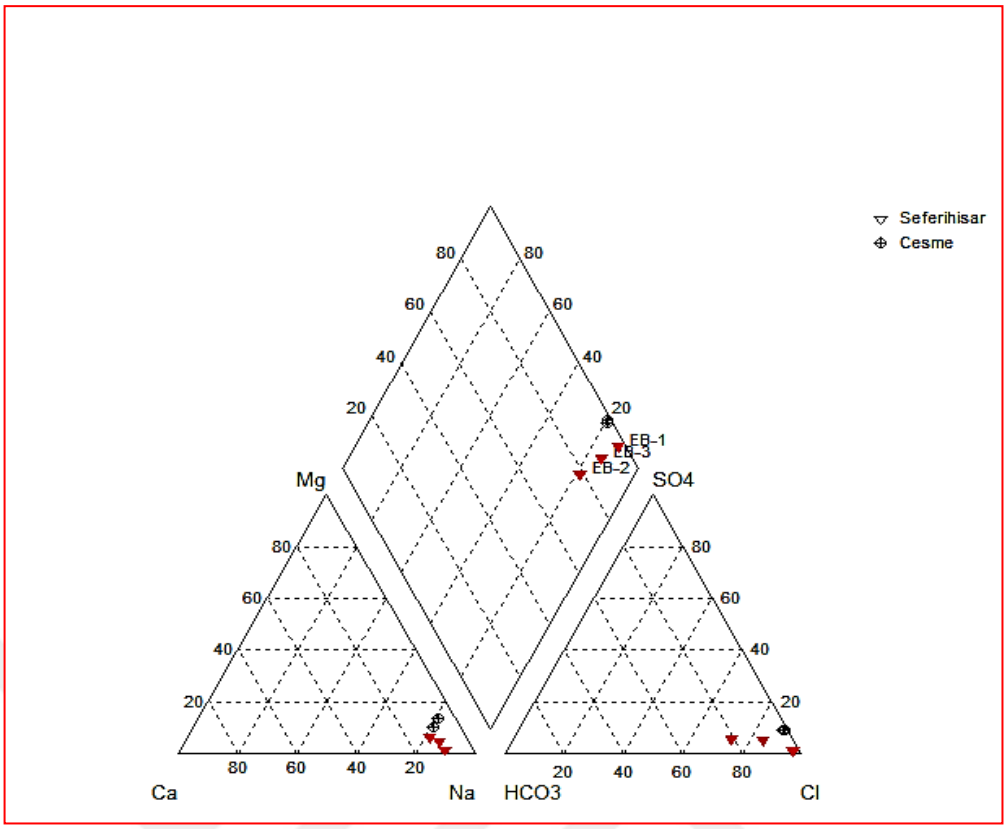
Çizelge 5. 3. devamı. Çizelge 5.3. Seferihisar ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları

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^- (mg/l)
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
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

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 diyagramlardandır.

Majör anyonlar CI-SO_4-HCO_3 baz alındığında (Giggenbach, 1988), bu üçgen diyagramı jeotermal suları sınıflandırmak için kullanılır (Şekil 5.3). 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.

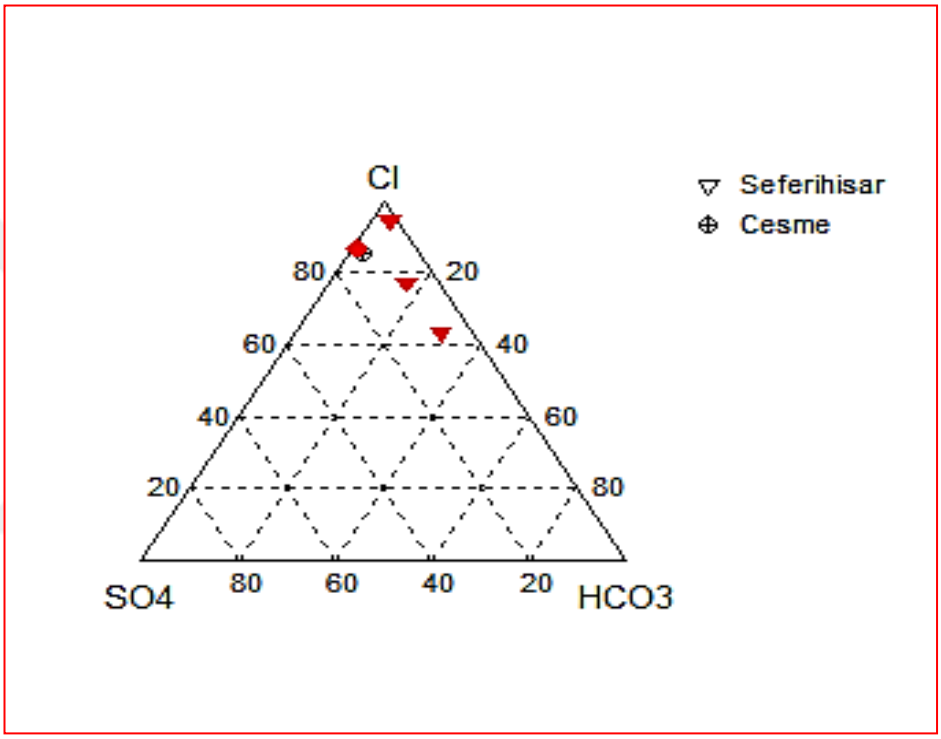
Piper diyagramı anyon ve katyonların (% mek/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal su tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Piper üçgen diyagramına göre inceleme alanındaki sıcak suların büyük bir kısmı deniz ve çok acı suların yer aldığı karbonat ve NaCl, KCl, Na_2SO_4, alkaliler ve güçlü asitler egemendir (Şekil5.2). Diğerleri ise iyonların hiç birisi %50'yi geçmeyen karışık sular sınıfına girerler.



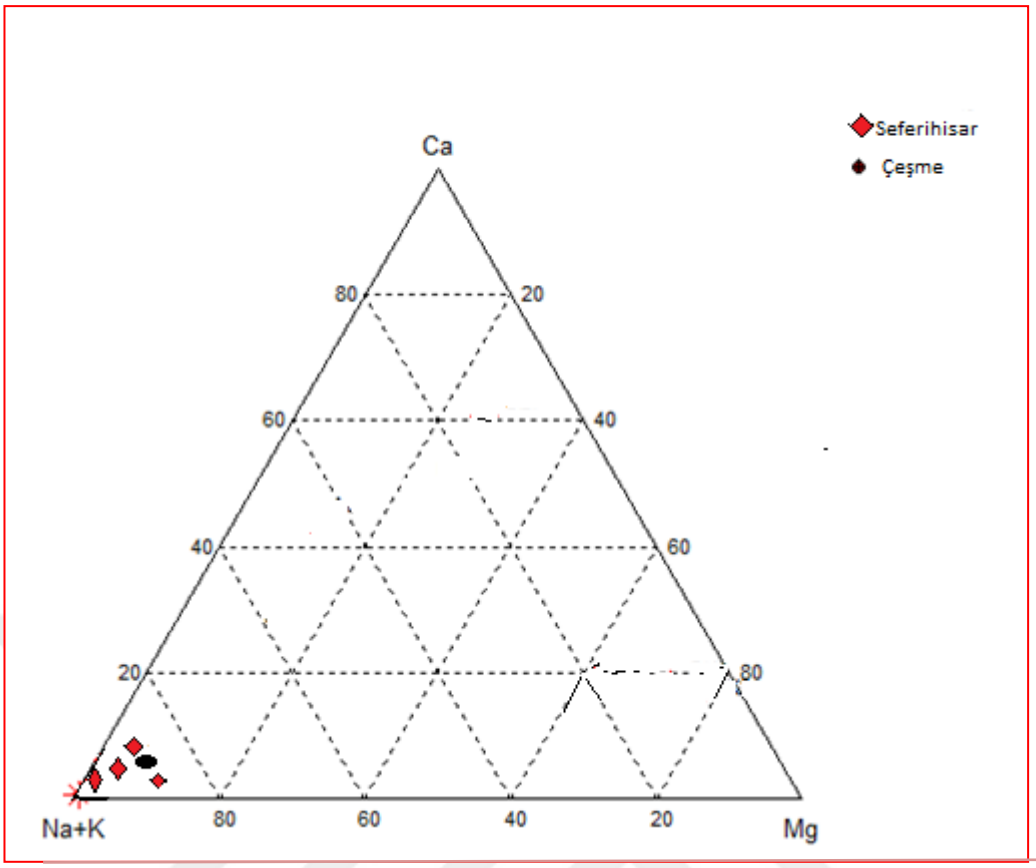
Şekil 5.2. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi

Suları isimlendirmek, birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimleri araştırmak ve kökeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların hidrojeokimyasal su tipinin belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyes kavramı, suların içerdikleri başlıca iyonların oranlarına bağlı olarak sınıflandırılması esasına dayanmaktadır. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere meq/L cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal su tipini belirtmektedir. Eğer iyonların 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/1) göre; Cumalı, Doğanbey ve Karakoç kaynakları $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-}$; Tuzla ve Doğanbey Burnu kaynakları $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$ kimyasal bileşimine sahiptir.



Şekil 5.3. Seferihisar ve yakın çevresi jeotermal sularının CI-SO_4-HCO_3 üçgen diyagramı



Şekil 5.4. Seferihisar ve yakın çevresi jeotermal suların Ca-Na+K-Mg üçgen diyagramı

Çalışma alanı jeotermal suları için hazırlanan Ca-Na+K-Mg üçgen diyagramı (Şekil 5.4) şekilde Seferihisar örneklerinin İçerdikleri katyon miktarına (meq/1) göre; Cumalı, Tuzla, Karakoç ve Doğanbey Burnu sıcak suları $Na^{+}>Mg^{++}>Ca^{++}>K^{+}$, Doğanbey sıcak suları ise $Na^{+}>Mg^{++}>K^{+}>Ca^{++}$ kimyasal bileşimine sahiptir.

Çizelge 5. 4. 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
KULLANILMAZ 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^{+},B^{3+} ve EC değerleri ile tarımda sulamaya elverişli değildir.

5.2.2. Doygunluk indeksi

Doygunluk indeksleri, bir jeotermal sistemde kayaç ile su arasında meydana gelenkimyasal dengelenmeyi değerlendirmede yararlıdır.Bu, hidrotermal alterasyona uğrayankayaçları oluşturan minerallerin çözünürlüğü ve bu minarallerin aktiviteleri ile ilgili bigilerin toplanması ile sonuçlandırılır.

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 etkendir. 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 aktarılarak mineral sıcaklık denge diyagramı oluşturulmuştur (Çizelge 5.5).

Çizelge 5. 5. Seferihisar ve yakın çevresinden alınan örneklerde rastlanabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksleri

Mineraller	EB_1	EB_2	EB-3	SD_1	SD_2
Anhidrit	-1.39	-1.51	-1.14	-0.72	-0.49
Aragonit	0.79	0.86	1.27	0.58	0.75
$CO_{2(g)}$	-1.41	-1.22	-1.02	-1.89	-2.14
Kalsit	0.91	0.98	1.38	0.71	0.88
Kalsedon	0.53	0.13	0.05	-0.16	-0.22
Dolomit	1.38	2.00	2.68	1.76	2.42
Jips	0.65	0.77	-0.29	1.34	1.19
$SiO_{2\ (a)}$	-0.20	-0.62	-0.65	-0.95	-1.01
Sepiyolit	-0.77	-1.51	0.42	-1.58	-0.27

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 Termometre Uygulamaları

Termal sular yer altında farklı sıcaklık ve basınç koşulların altında bulunur ve bulunduğu kayaç ile etkileşime girer. Bu etkileşim rezevuar 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 Magonit (Gislason vd., 1996) gibi Silis jeotermometreleri de benzer olumsuz sonuçları verdiğinden 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 yanı katyon jeotermometreleridir (Na-K, Na-Ca, Na-K-Ca, K-Mg, Li-Na vb.) (Doğdu, 2004).

5.3.1.1. Silis jeotermometresi

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki çözünürlüğüne bağlı jeotermometrelerdir (Çizelge 5.6). 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 kayaçtan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi gözlenmektedir. Sıcaklığı 180^{o}C'den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180^{o}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^{o}C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden, yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225^{o}C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sularda 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. 6. Silis (SiO_2) jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

No	Silis SiO_2 Jeotermometreleri	Jeotermometre Bağıntıları	Değinilen Belgeler
1	SiO_2 (Amorf silis)	t= 731 / (4.52 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
2	SiO_2 (α Kristobalit)	t= 1000 / (4.78 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
3	SiO_2 (β Kristobalit)	t= 781 / (4.51 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
4	SiO_2 (Kalsedon)	t= 1032 / (4.69 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
5	SiO_2 (Kuvars)	t= 1309 / (5.19 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
6	SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	t= 1522 / (5.75 - log SiO_2) - 273.15	Fournier, 1977
7	SiO_2 (Kalsedon kond.soğ.)	t= 1112 / (4.91 - log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
8	SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	t= 1264 / (5.31 - log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
9	SiO_2 (Kuvars buhar kavbı)	t= 1021 / (4.69 - log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
10	SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	t= 1164 / (4.9 - log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
11	SiO_2 (Kuvars buhar kaybı)	t= 1498 / (5.7 - log SiO_2) - 273.15	Arnorsson vd., 1983

5.3.1.2. Katyon termometresi

Bir çözeltideki iyonların başka iyonlarla yer değiştirmesinden yola çıkarak oluşturulmuş jeotermometrelerdir (Çizelge 5.7). Na/K jeotermometresi, Na-K-Ca jeotermometresi ve Magnezyum düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometresi katyon jeotermometrelerine birer örnektir. Her jeotermometre bağıntısı kendi içerisinde bulunduğu hidrojeokimyasal durumu yansıttığından, aynı element kullanılmasına karşın formüller doğmuştur. Mutlu 1999'a göre; katyon jeotermometreleri, belirli çözünmüş elementlerin oranlarını sabitleyen sıcaklık bağımlı değişik reaksiyonlarını esas almaktadır. Oluşum birlikteliği 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 ($\sqrt{Ca/Na}$) değerinin 0.5'den az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350^{o}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 hesaplamala-

rında çok yüksek değerler vermektedir (Özen, 2002). Jeotermometrenin bu olumsuz yönünü gidermek için Fournier ve Truesdell (1973) tarafından aşağıdaki bağıntı geliştirilmiştir.

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

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

Çizelge 5. 7. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

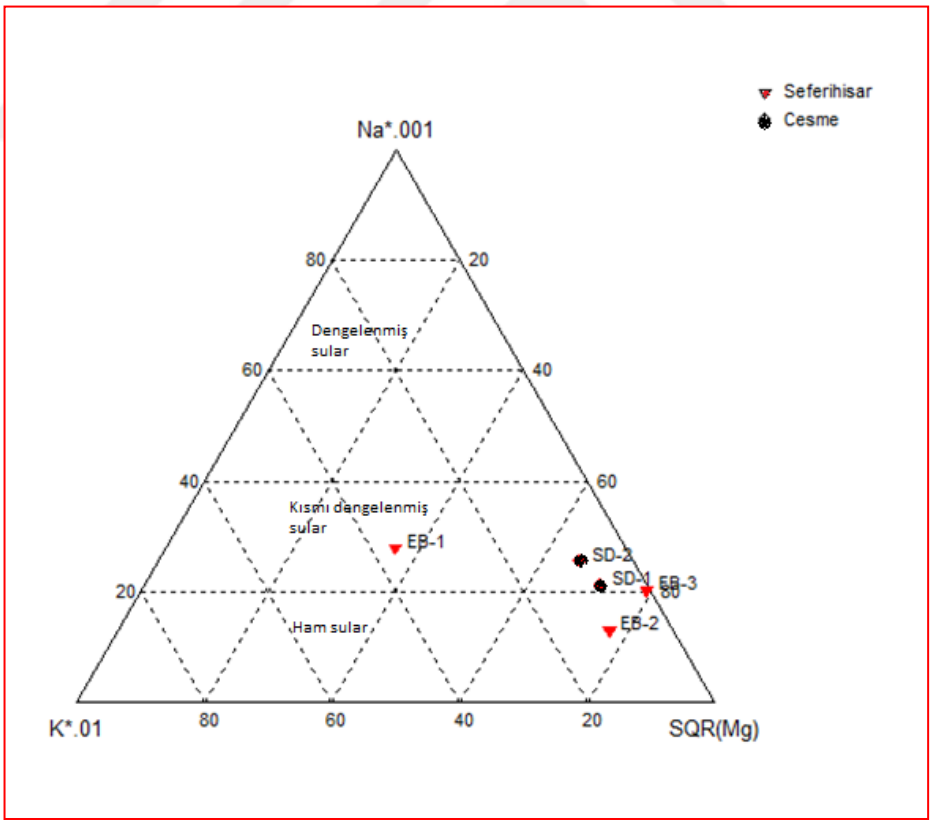
No	Na/K Jeotermometreleri	Jeotermometre Bağıntıları	Değinilen Belgeler
1	Na/K	t= 933 / (0.933 + log Na/K) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
2	Na/K	t= 1319 / (1.699 + log Na/K) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
3	Na/K	t= 777 / (0.70 + log Na/K) - 273.15	Arnorsson vd., 1983
4	Na/K	t= 856 / (0.857 + log Na/K) - 273.15	Truesdell, 1976
5	Na/K	t= 1217 / (1.483 + log Na/K) - 273.15	Fournier, 1979b
6	Na/K	t= 1178 / (1.470 + log Na/K) - 273.15	Nieva ve Nieva, 1987
7	Na/K	t= 1390 / (1.750 + log Na/K) - 273.15	Giggenbach vd., 1983
8	Na/K (mmol)	t= 908 / (0.692 + log Na/K) - 273.15	Fournier, 1979a
9	K/Mg	t= 4410 / (13.95 - log K^2/Mg) - 273.15	Giggenbach vd., 1983
10	Li/Mg	t= 2200 / (5.470 - log (Li/$Mg^{0.5}$)) - 273.15	Kharaka ve Mariner, 1989
11	Na/Li	t= 1590 / (0.779 + log (Na/Li)) - 273.15	Kharaka vd., 1982
12	Na/Li (mmol) Cl<0.3	t= 1000 / (0.389 + log (Na/Li)) - 273.15	Fouillac ve Michard, 1981
13	Na/Li (mmol) Cl>0.3	t= 1195 / (0.130 + log (Na/$Li^{0.5}$)) - 273.15	Fouillac ve Michard, 1981
14	Na/Ca	t= 1096.7 / 3.08 - log (Na/$Ca^{0.5}$)) - 273.15	Tonani, 1980
15	K/Ca	t= 1930 / 3.861 - log (K/$Ca^{0.5}$)) - 273.15	Tonani, 1980

5.3.2. Birleşik 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.

Gigenbach (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. Fornier II. ve III. Bölgelerin ayrımını, oluşturduğu "Olgunluk Derecesi" (Maturity İndex) 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.

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



Şekil 5.5. Seferihisar ve yakın çevresindeki jeotermal suların Na-K-Mg diyagramındaki görünümü ve su kayaç denge sıcaklıkları (Giggenbach, 1988)

Na-K-$Mg^{1/2}$ 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 düş-mektedir. EB-2 (Karakoç) " Ham Sular" , EB-3 (Doğanbey) "Kısmi Dengelenmi Sular" alanlarına düşmektedir. Diğer incelenen örneklerde ise Şifne örnek-lerinden SD-1 "Kısmi Dengelenmiş Sular" sınıfına düşmekte Şifne SD-2 örneği ise " Kısmi Dengelenmiş Sular" sınıfına düşektedir. Seferihisar örneklerinin hepsinin daha çok deniz suyu karışımın olduğu alana düştüğü gözlenmektedir (Şekil 5.5).

5.3.3. Çalışma alanında termometrelerin jeokimyasal değerlendirmesi

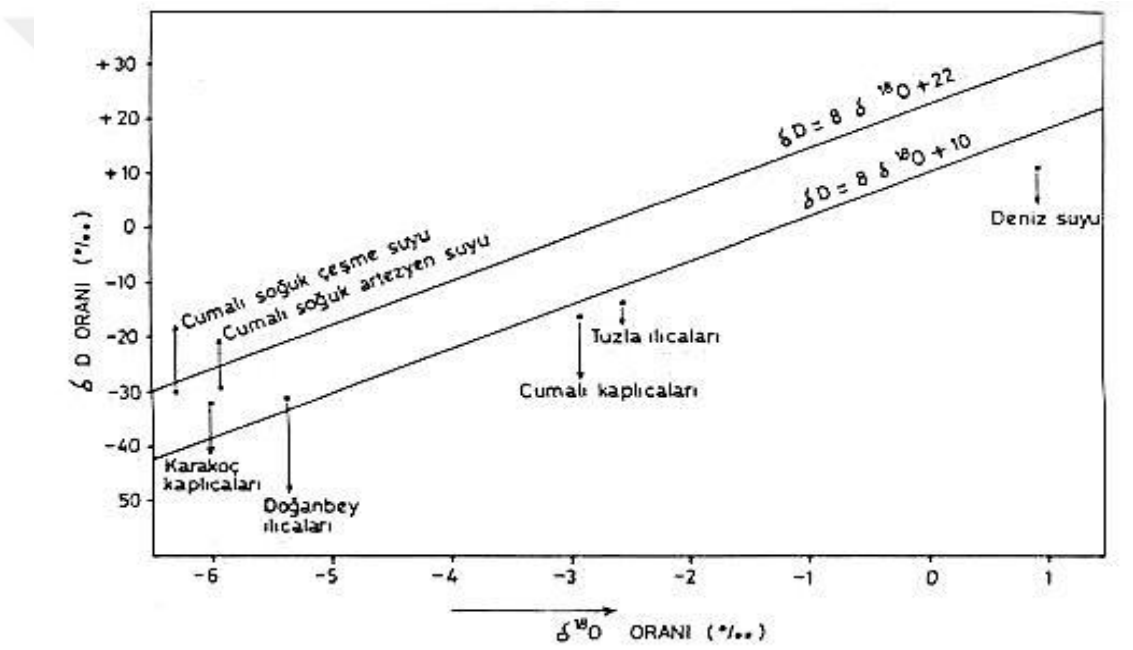
Çalışma alanındaki rezervuarın sıcaklığını anlamak için çalışma alanı jeotermal suları hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Jeokimyasal termometrelerinsonuçları Çizelge 5.8'de verilmiştir. Silis jeotermometreleri ile yapılan analiz sonuçlarına göre Cumalı Ilıcası (EB-1) 143-149^{o} C, Karakoç (EB-2) 99-100^{o} C, Doğanbey Termal (EB-3) 110^{o} C, arasında sıcaklıklar hesaplanmıştır. Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre Seferihisar bölgesinde 154-240^{o} C arasında sıcaklıklar ölçülmüştür. Jeotermo-metre sonuçlarına bakılacak olursa Seferihisar bölgesi hazne kaya sıcaklığının Tuzla,Cumalı sıcak su kaynaklarına doğru arttığı saptanmıştır.

Çizelge 5. 8. Seferihisar 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
EB_1	61.4	23	99	50	124	149	143	18	215	217	263	240	234	170	Cumali
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		Doğanb
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

5.4. İzotop Jeokimyasal Özellikleri

Okyanus sularında, δD ve $\delta^{18}O$ 0 ‰ (SMOW) değerine yakındır. Sıcak sularının$\delta^{18}O$ 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 isebinde 5.94-6.2 daha fakirdir. Deniz suyunda ise buharlaşmadan dolayı binde 0.96'lık bir zenginleşme söz konusudur. Döteryum ($\delta^{2}H$) 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 5.6. Çalışma alnındaki bazı su noktalarının $\delta^{18}O$-$\delta^{2}H$ 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 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 su grubuna doğru arttığı söylenebilir (Çizelge 5.9 ; Şekil 5.6 (Filiz veTarcan,1993)).

Çizelge 5. 9. Seferihisar ve yakın çevresi bazı su noktalarının Oksijen-18, Döteryum ve Tirityum izotop bleşimleri (Filiz veTarcan,1993)

Örn.Trh.	Konum	$\delta^{18}O$ (%SMOW)	$\delta^{2}H$ (%SMOW)	^{3}H (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

Buharlaşma hafif izotopları tercihen kendi yolunu bularak bulutların oluşmasına neden olur. Bulutlar muhtemel olarak yağmur olarak yere düşer ve çeşitli faktörlere bağlı olan konsantrasyonudur; hafif ve ağır izotopların konsantrayonunda çöktürülmüş ve nispeten daha düşük izotop oranları daha yüksek yağış bulunan yerlerde, düşük izotop oranları deniz kenarında düşük enlemlerde, irtifa ve mesafesi daha yüksek bulunur,hafif ve ağırizotoplar konsantrasyonu çeşitli faktörlerde, yani enleme bağlılığı vardır ve düşükyüksekliklerde ve kıyıdan 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 düşük izotop oranları ile yaz aylarına göre kış aylarında düşük izotop oranları gözlenir. Bu etki düşük enlemlerde daha yüksek ve daha belirgindir. Uzun vadeli iklim değişiklikleri soğuk iklimlerde sıcak iklim dönemlerinde daha yüksek olanlardan yağışı düşük, izotop oranları ile benzer bir etkidedir. Bir niceletkisi bazen izotop oranları ve yağış miktarı arasında ters bir ilişki olarak görülmektedir.Bu etki alçak enlemlerde yüksek enlemlere daha belirgindir. Su kökenini izlemek için duraylı izotop oranlarının kullanılırlığının 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 yaşilişkisinin 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. Seferihisar Jeotermal Alanında Olası Isı Kaynağı, Jeotermal Sistem Ve Tektonik Arasındaki İlişki

Seferihisar 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 ısındıktan 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 mostralar veren riyolit-dasit arasında değişen volkanik kayaçların 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.

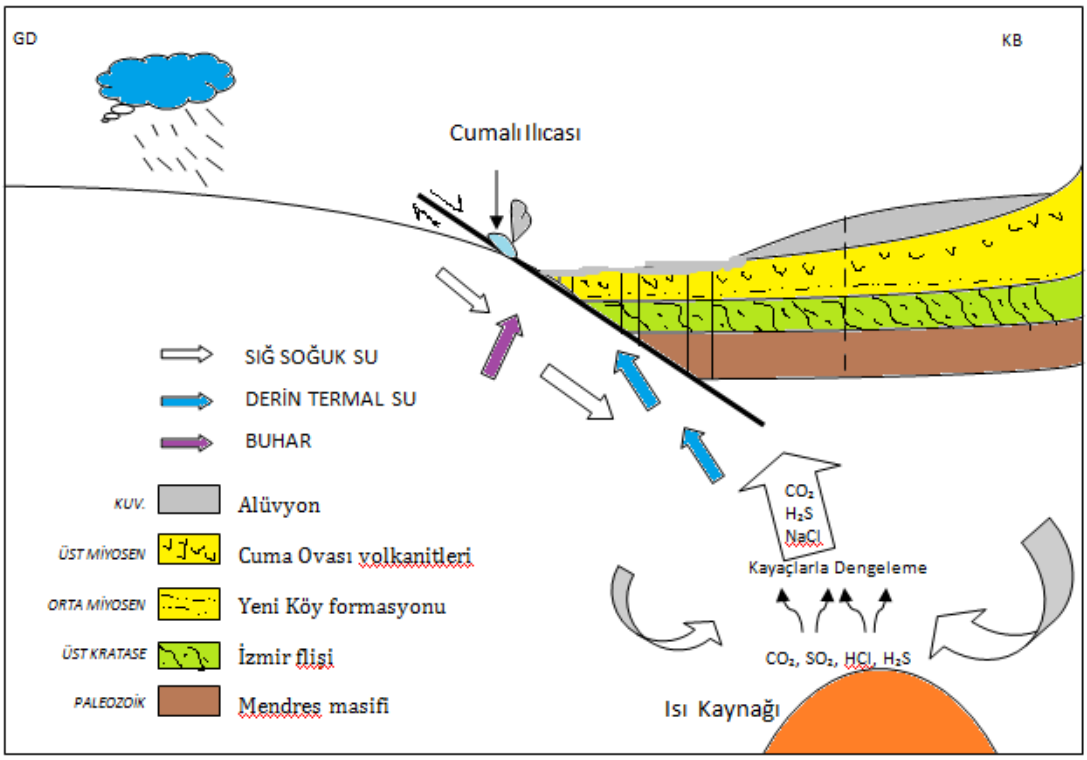
6.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri

Genel olarak geçirimsiz kabul edilen İzmir Flişi'nın 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 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). 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 1/s debiye sahiptir. Sıcak su çıkış yerlerinde spilitik volkanitler ve yastık lavlar ile çeşitli hidrotermal alterasyon ürünleri gözlenir. Tuzla Ilıcaları çok sayıda değişik gözeden çıkan 72° C sıcaklıkla ve yaklaşık 25 1/s debili, Tuzla Fayı ile Doğanbey Fayı'nın kesişim yerine yakın oluşan güncel hidrotermal çökeltiler 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 1/s debi ile Hamam Deresi boyunca denize ulaşır. 76.1 ˚ C sıcaklıkla bu ılıca çevresinde traverten, tuz (NaCI) ve $NaHCO_3$ çökelleriyle birlikte silisli, demirli, killi alterasyon zonları gözlenir. Karakoç sıcak su kaynakları 55,1˚ C sıcaklıklı ve 5 1/s debiye sahip olp;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 kimyasalanalizleri yorumlanmıştır.

6.3. Seferihisar Jeotermal Alanının Hidrojeolojik Modellemesi Ve Sonuçlar

Büyük Menderes kıtasal rift zonlarındaki aktif jeotermal sular, Küçük Menderes ve Gediz çalışma alanındaki tipik örneklerini temsil etmektedir. Rift bölgelerinin drenaj alanlarındaki meteorik sular KD-GB ve/veya KB-GD yönüne fay zonlarından, geçirgen kırıntılı çökellerden süzülerek 5 km kadar derinlikte bir mağma çatı alanına gelerek reaksiyona girer. Reaksiyon bölgesinde bileşenler ve akışkanlar arasında bir denge gerçekleştirir. Uçucu bileşenler CO_2, SO_2, HCI, H_2S, magma dışına jeotermal su rezevuarına ulaşır değişmiş kayaçlar, gaz bileşenleri ve sıvılar arasında bir denge oluşturur. Böylece, jeotermal sular kaplıcalar, gazlar açısından Menderes Masifi kıtasal rift bölgelerinde zayıf tektonik bölgelerde yükselir ve buharlaşır. Bu sıvılar, orta CO_2, H_2S ve NaCl içeriği yüksek bileşenler olarak karakterize edilir.



Şekil 5.7. Seferihisar 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 düşün yağış sularının tektonik hatlar boyunca yeraltına süzülerek, derinlerde henüz sıcaklığını yitirmemiş genç asidik domların etkisiyle ısındıktan 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 girişimi 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; Seferihisar 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 ısındıktan 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 mostralar veren riyolit-dasit arasında değişen volkanik kayaçların 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. Seferihisir 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 CI-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 5.8'de verilmiştir. Silis jeotermometreleri ile yapılan analiz sonuçlarına göre Cumalı Ilıcası (EB-1) 143-149^{o} C, Karakoç (EB2) 99-100^{o} C, Doğanbey Termal (EB-3) 110^{o} C, arasında sıcaklıklar hesaplanmıştır. Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre Seferihisar bölgesinde 154-240^{o} C arasında sıcaklıklar ölçülmüştür. Jeotermo-metre sonuçlarına bakılacak olursa Seferihisar bölgesi hazne kaya sıcaklığının Tuzla,Cumalı sıcak su kaynaklarına doğru arttığı saptanmıştır.

7. KAYNAKLAR

Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. ve Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. Geochemicia et Cosmoschimia Acta.. Pergamon Press. The United States of America, 567-577.

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.

Agostini, S., Tokcaer, M., Yilmaz Savaşçın M., 2010. Volcanic rocks from foça-kara burun and Ayva lik-lesves grabens (Western Anatolia) and theirpetrogenic-geodynamic significance. Turkish journal of Earth Sciences 19, 57-184.

Akdeniz, N and Kunak, N. 1979. Simav-Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi –(Geology of Simav –Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci area)- Maden Tetkik Arama report no:6547

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 , İzmir.

Başarır, E., and Konuk, Y.T., 1981, Gümüldür yöresinin kristalin temeli ve allokton birimler. Türk. Jeoloji Kurumu Bült., 24, 95-100.

Bonham, H.R., 1986. Models for Volcanic-hosted epithermal precious metal deposits: A review. Proc, 5th International Volcanology Cong., Auckland, N2, 13-17.

Bozcu, M., 2010. Geology of Neogene basins of Buldan-Sarıcaova regions and their importance in Western Anatolia neotectonics. International J. Of Earth SCİ (Geol Rundsch) 99, 851-860.

Bozkurt, E.,2000.Timing of extension on the Büyük Menderes graben, Western Turkey and its tectonic implications. In: Bozkurt, E., Winchster, J.A., Piper JDA (eds), tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area. Geological society of London special publication. 173, pp.385-403.

Bozkurt E., Sözbilir, H., 2004. Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two stage extension in Western Turkey. Geological Magazine 141, 63-79.

Bozkurt, E., Satır, N., Buğdaycıoğlu, Ç., 2011. Surprisingly young Rb/Sr ages from teh Simav extensional detachnment foult zone, northern Menderes Massif, Turkey, Journal of geodynamics, 52, 406-431.

Bulut, M., Büyükboyacı, Ü., Dünya H. 2013. Akyar-Ilıkpınar (Seferihisar-Menderes-İzmir) ruhsatsahalarının jeotermal etüt (Jeoloji-Jeofizik) veAkyar İSA-2011/10 jeotermal arama sondajıkuyu bitirme raporu. Maden Tetkik Arama GenelMüdürlüğü, 109 s. (yayımlanmamış), Ankara.

Calmbach, L., 1999, aquachem Computer Code-Version 3.7: Aqueous geochemical analyses, plotting and modelling, Waterloo Hydrogeologic, Waterloo, Ontario, Canada, 184 S.

Cavazza, O., Okay, A.I., Zattın, M., 2009. Rapid early-middle Miocene exhumation of the Kazdağ metamorphic care complex (Western Anatolia). International Journal of Earth Sciences 98, 1935-47.

Cavazza, W., Federica, I., Okay, A.I., Zatın, M., 2011. Apatite fission-track thermochronology of the Western Pontides (NW Turkey). Rapid communication: Geological Magazaine, PP.1-8.

Collins A.S., Robertson A.H.F., 1999. Evolution of the Lycian Allochton, Western Turkey, as a North facing late paleozoic to Mesozoic rift and passive continental margin, Geological Journal 34, 107-138.

Craig, H., 1963, "The ısotopıc geochemistry of water and carbon ingeotermal areas " In: Tongiorgi, E. (ed), Nudear Geology in Geothermal Areas, spoleto, 1963. Consiglio Nazional dele 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.

Doğdu, N., 2004. Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Denizli Bölgesi Jeotermal Enerji Raporu, Türkiye Joetermal Kaynakları Envanteri 2005.

Dora, O., Kun, N., Candan, O. 1990. Metamorphic historyand geotectonic evolution of the Menderes massif.International Earth Sciences Congress on AegeanRegions, İzmir-Turkey, Proceedings, 102–115.

Ellis, A. J., and Mahon, W.A.J., 1964. Natural hydrothermal systems and experimental hot- water/rock interaction. Geochim, cosmochim, Acta, 28, 1323-1357.

Ellis, A.J., and Mahon, W.A.J., 1967. Natural hydrothermal systems and experimental hot- water/rock interaction (part III). Geochim, Cosmochim. Acta 31, 519-538.

Emre Ö.,Özalp S., Doğan A., Özaksoy V., Yıldırım C.,Göktaş F., 2005, İzmir yakın çevresinin dirifayları ve deprem potansiyelleri. Maden TetkikArama Genel Müdürlüğü Rapor No,10754, 80s.

Ercan, T., Satır, M., Sevin, D., Türkecan, A., 1996. Evalution of the recently conducted radiometric age measurements of the Tertiary and Quartenary-aged volcanic rockslocated in Western Anatolia. Bulletin of the mineral research and exploration institute of Turkey (MTA) 119, 103-112.

Erdoğan, B. 1990. İzmir-Ankara Zonu'nun, İzmir ileSeferihisar Arasındaki Bölgede StratigrafikÖzellikleri ve Tektonik Evrimi. Türkiye PetrolJeologları Dergisi Bülteni 2/1, 1–20

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 s.

Eşder, T. 1988, Gümüldür-Cumaovası (İzmir) alanınınjeolojisi ve jeotermal enerji olanaklarınınaraştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji MühendisliğiBölümü Anabilim Dalı, 401 s.(yayımlanmamış).

Eşder, T.,Şimşek, Ş. 1975. İzmir (Seferihisar) alanı,Çubukludağ grabeni ile dolaylarının jeolojisi vejeotermal olanakları. Maden Tetkik Arama Enstitüsü Raporu, 190s.,(yayımlanmamış), İzmir.

Eşder,T.,& Şimşek, Ş., 1977. The relationship between the temperature gradient distribution and geological structure in the İzmir – Seferihisar geothermal area, Turkey. CENTO Scientific programme symposium on geothermal energy, 93-112.

Filiz, Ş., Tarcan, G., 1993. "Seferihisar(İzmir) Güneyindeki Jeotermal Alanının Hidrojeolojisi", Türkiye Petrol Jeologları Bülteni, C.5/1 sayı, 98,104, 97-112.

Fournier, R.O., Trusdell, A., 1973. An emprical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. Geochimica at Cosmochimica Acta.

Fournier, R.O., 1977. "Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems", Geothermics*, 5,* 41-50.

Fournier, R.O., 1990. The interpretation of Na-K-Mg relaiton in geothermal waters Geoth. Res. Counc. Trans., 14, 1421-1425.

Fridleifsoson, Invgar B; Bertani, Ruggero; Huenges, Ernst; Lund, John W; Rignarsson Arni; Rybach Ladislaus., 2008. The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigaiton of climate change. Huebeck, Germany, 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 s.

Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. Geochim Cosmochim Acta, 52, 2749-2765.

Giggenbach, W.F., 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. In: D'Amore, F., coordinator), Application of geochemistry in geothermal reservoir development. UNITAR/UNDP publications, Rome, 119-143.

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., L32, 15.

Güngör, T., Erdoğan, B. 2002. Tectonic significance ofmafic volcanic rocks in a Mesozoic sequence ofthe Menderes Massif, West Turkey. InternationalJournal of Earth Science 91, 386–397.

Hetzel, R., Ring, U., Akal, C., Troesch, M. 1995. MioceneNNE-directed extensional unroofing in theMenderes Massif, southwestern Turkey. Journal ofGeological Society 152, 639–654.

Hedenquist J.W., 1987. Mineralisation associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin. Trans, 4th Circum-Pacific energy and mineral resourcesconference, Singapore 513-524.

Hochstein, M.P., 1990. Geothermal resources: classification and assessment of geothermalresources: Pisa, Italy, International Institute for Geothermal Research, International school of geothermics, 2, 31-57.

Işık V., Tekeli, O., 2001. Late orogenic crustal extension in the northern Menderes Massif (Western Turkey): evidence for metamorphic core complex formation. Int J. Earth Sci, 89, 757-765.

İnci vd. (2003). Urla-Balıkesir arası depremlerin nedeni fosil bir fay. Cumhuriyet Bilim ve Teknik Dergisi, 21 Haziran 2003, 7-8.

Kaya, O., 1979. Ortadoğu Ege çöküntüsünün Neojenstratigrafisi ve tektoniği. Türkiye Jeoloji KurumuBülteni 7/22, 35–58.

Kaya, O.,1981. Miocene reference section for the coastalparts of West Anatolia. Newsletters on Stratigraphy 10, 164–191.

Lips A.L.W, Cassard D., Sözbilir H. 2001. Multistage exhumation of the Menderes Massif, Western Anatolia Turkey. Int J. Earth Sci 89, 781-792.

Mahon W.A.J., 1967. Natural hydrothermal systems and the reaction of hot water with sedimentary rocks. NZ.Jour. Sci, 10, 206-221.

M.T.A., 1996. Türkiye Jeotermal Envanteri, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara. Pp 12-24.

M.T.A. , 2002. Türkiye Jeoloji Haritası-İzmir, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara. Pp 28.

Nutı, S., " Isotope techiques in geothermal waters ", In; F.D'Amore (Cordınator), Application of geochemistry in Geothermal Reservior Development. UNITAR , Unıted Nations Development Program, Series at Tenchinal Guides on tne use of Geothermal Energy, Rome , 408 P, 1991.

Nicholson, K., 1993. Geothermal fluids, chemistry and exploration techniques. Springer-Verlag, Berlin, 263p. Nivea, D. ve Nivea R., 1987. Developments in Geothermal Energy in Mexico. Part 12, A Cationic Geothermometer for Prospecting of Geothermal Resources. Heat Recovery Systems and CHP, 7, 243-258.

Oberhänsli, R., Candan, O., Dora, O. Ö., Dürr, S., 1997. Eclogites within the Menderes Massif, Western Turkey. Lithos 41, 135-150.

Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ., 2004. Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province. Tectonophysics, 391, 67-83.

Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ., 2005, Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. Marine Geology, 219, 155–171.

Okay, A.I., Satır M., Maluski H. (1996). Paleo and Neo-Tethyan events in Northwestern Turkey: geologic and geochronologic constraints. In: Yin A, Harrison M (eds) The tectonic evolution of Asia, Cambridge University Press, Cambridge pp 420-441.

Okay A.I, Haris NBW, Kelley S.P., 1998. Exhumation of a blue-schist along a Tethyan suture in Northwest Turkey. Tectonophysics 285, 275-299.

Okay, A. I. A. Kaşlılar-Özcan, C. İmren, A. Boztepe-Güney, A. Demirbağ ve Kuşçu, İ. "Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, Northwest Turkey: A Multichannel Seismic Reflection Study", Tectonophysics, 321 (2000), s. 189- 218.

Okay A.I., 2004. Tectonics and high pressure metamorphism in Northwest Turkey. 32nd Geological Congress. Field trip guide book, İstanbul.

Okay A.I., 2007. The Tavşanlı zone-the subducted northern margin of the Taurides Colloquim on Menderes Massif, Extended abstract 34-38.

Okay A.I, Tansel I, Tüysüz O., 2005. Obduction, subduction and collision as reflected in the upper Cretaceous-lower Tertiary sedimentary record of Western Turkey. Geol mag 138, 117-142.

Özgür, N., Aktive geothermal systems in the rift zone of the Büyük Menderes, western Anatolia, Turkey, www.geothermie.de/egec-geothernet/ proceeedings/szeged/o-5-04.pdf. 28 August, 2003, (2003).

Özen, T., 2002. Dikili sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrojeolojik incelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, 57-59.

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.

Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R., Gessner, K., 2003. Tectonic denudation of a late Cretaceous-Tertiary collisional belt: Regionally symmetric cooling patterns and their relation to extensional faults in Anatolide belt of Western Turkey: Geological Magazine, 140 (4),421-441.

Ring, U., Collins, A.S., 2005. U-Pb sims dating of synkinematic granites: timing of core-complex formation in the northern Anatolide belt of Western Turkey. Journal of the Geological Society, London, 162, 289-298.

Saemundssan, K., Axelsson G, and Steingrimsson B., 2009. Geothermal systems global perspective; short coruse on surface exploration for Geothermal resources, El-Salvador, United Nations University Geothermal Training Programme.

Sindirgi, P., Timur, E. 2006. ''Cumalı(Seferihisar/İzmir) Jeotermal Alanında Yapılan SP, Manyetik ve Elektromanyetik Çalışmalar''. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi, 168, 167-176.

Şeyitoğlu G., Işık V., Çemen İ., 2004. Complete Tertiary exhumation history of the Menderes Massif, Western Turkey: an alternative working

hypothesis. Terra Nova 16/6, 358-364.

Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1985.Tethyan evolution of Turkey; a plate tectonic approach.Tectonophysics 75, 181-241.

Somay, M. 2006. Hidrogeology of lover Küçük MenderesRıver coastal wetland. Dokuz Eylül ÜniversitesiFen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, 222s.(yayımlanmamış).

Sözbilir, H., Erkül, F. ve Sümer, Ö., 2003. Gümüldür (İzmir) ve Bigadiç (Balıkesir) Arasında Uzanan Miyosen Sonrası Yaşlı KD-Doğrultulu Accommodation Zonuna ait Saha Verileri, Batı Anadolu: 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 85-86, Ankara.

Şengör, A.M.C. 1979. The North Anatolian TransformFault: its age, offset and tectonic significance. J.Geol. Soc., London, 136, 269–282.

Şengör, 1980. Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, TürkiyeJeoloji Kurumu yayını, 40s.

Şengör, Satır, M., Akkök, R. 1984. The timing of tectonicevents in yhe Menderes Massif, western Turkey:implication for tectonic evolution and evidencefor Pan-African basement in Turkey. Tectonics 3,693–707.

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.

Tan, O. ve Taymaz, T., 2003. Seismotectonics of Karaburun Peninsula and Kuşadası Gulf: source parameters of April 2, 1996 Kuşadası Gulf and April 10, 2003 Seferihisar (İzmir) earthquakes. International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology and Field Training Course in Paleoseismology, Middle East Technical University (METU), 31 August-12 September 2003, Abstract volume, p. 147, Ankara.

Truesdell, A.H. 1976. Summary of section III geochemical techniques in exploration. Proceedings of secondUnited Nations Symposium on the development and use of geothermal resources. 1975, San Francisco, 1, 53-89.

Uzel, B., Sözbilir, H. 2008. A First record of strike-slip basinin western Anatolia and its tectonic implication:The Cumaovası basin as an example. TurkishJournal of Earth Sciences 17, 559–591.

Uzel, B., Sözbilir, H., ve Özkaymak, Ç., 2012. Neotectonic Evolution of an Actively Growing Superimposed Basin in Western Anatolia: The Inner Bay of İzmir, Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), 21, 2012, pp. 439 –471.

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.

White N.C. and Hedenquist J.W., 1990. Epithermal environments and styles of mineralisation:variations and their causes, and guidelines for exploration. J. Geochem. Explor. 36, 445-474.

Yılmaz, Y., 1989. An approach to the Origin of Young Volcanic rocks of Western Turkey. In:Tectonic evaluation of Tethyan Regions 159-189. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Yılmaz, Y., 2000. When did the Western Anatolia Grabens begin to develop? In: Tectonics andmagmatism in Turkey and the surrounding area. Geological Society London Special Publications, 173, 333-384.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı **:**Ebru ARAS PALA

Doğum Yeri ve Yılı : Konya/Ereğli, 1986

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : arass.ebru@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Enisşanlıoğlu Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi, 2004

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği
: SDÜ, Teknik Bilimler, Harita Kadastro
: AÜ, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi, İşletme

Mesleki Deneyim

Isparta Belediye Başkanlığı 2007-.....(halen)

Fen İşleri Müdürlüğü

İmar ve Şeh.Müdürlüğü