

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FETHİYE GİRMELER ILICASI (MUĞLA) VE
ÇEVRESİNİN HİDROJEOLÖJİK İNCELENMESİ**

Fulden KAPLAN

Ekim, 2019

İZMİR

FETHİYE GİRMELER ILICASI (MUĞLA) VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOLOJİK İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeotermal Enerji Anabilim Dalı

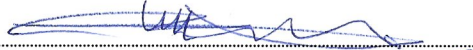
Fulden KAPLAN

Ekim, 2019

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

FULDEN KAPLAN, tarafından PROF. DR. GÜLTEKİN TARCAN yönetiminde hazırlanan “FETHİYE GİRMELER ILICASI (MUĞLA) VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOLOJİK İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Gültekin TARCAN

Yönetici


Prof. Dr. Ünsal GEPİCİ

Jüri Üyesi


Doç. Dr. Ali EÖKÖZ

Jüri Üyesi


Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında, bilgi, tecrübe ve desteklerini benden esirgemeyen çok değerli hocam Prof. Dr. Gültekin TARCAN'a çalışmalarımın başlangıcından sonuçlandırılmasına kadar gösterdiği sabır ve anlayış için saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında bilgi ve görüşlerini benimle paylaşan, tezimin hazırlanmasında büyük katkıları olan Araş. Gör. Anıl KÜÇÜKSÜMBÜL'e, ofis ve laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Akan GÜLERSOY, Volkan FAKOĞLU ve Abdulhafız SAYYED'e teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi manevi desteğini esirgemeyen babam Suphi KAPLAN'a sonsuz teşekkürler...

Fulden KAPLAN

FETHİYE GİRMELER ILICASI (MUĞLA) VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOLJİK İNCELENMESİ

ÖZ

İnceleme alanının temelini, Prekambriyen'den Triyas'a kadar olan yaştaki Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayalar oluşturmaktadır. Likya Napları'na ve Beydağları Otoktonu'na ait Mesozoyik yaşlı çeşitli kayaç toplulukları Menderes Masifi kayalarını üzerlemektedir. Neojen yaşlı karasal tortullar tüm bu birimleri uyumsuzlukla üzerler. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yörede rastlanılan en genç oluşuklardır. Akifer özelliği taşıyan birimler alüvyon, Menderes Masifi'ne ait mermerler, Likya Napları'na ve Beydağları Otoktonu'na ait karbonatlı kayalar ve Neojen tortullarının karbonatlarıdır.

Yapılan bu çalışma ile yöredeki yeraltı sularının kimyasal özellikleri araştırılmış hangi amaçlarla kullanılabileceği irdelenmiştir. Sıcak ve soğuk su kaynaklarında pH, sıcaklık, ve iletkenlik belirlenmesi için multimetre ile yerinde ölçümler yapılmıştır. Alınan altı su örneğinin majör iyon analizleri sonuçlarına göre su kayaç etkileşimi gibi hidrojeokimyasal süreçler irdelenmiştir.

Çalışma alanındaki suların sertlik değerleri 4,40-8,70 aralığında değişirken sıcaklıkları 9,80-36,5 °C aralığında, elektriksel iletkenlik (EC) değerleri ise 242-4150 μ S/cm aralığında değişmektedir. Durov ve Piper diyagramları ile suların Mg-Ca-HCO₃-SO₄, Ca-HCO₃-SO₄ ve Mg-Ca-HCO₃ su türlerine, soğuk suların da benzer kimyasal özelliklere sahip oldukları belirlenmiştir. Schoeller'e göre soğuk suların klorür ve sülfat miktarına göre sırasıyla "olağan klorürlü" ve "olağan sülfatlı", sıcak suların "oligoklorürlü" ve "oligosülfatlı" olduğu tespit edilmiştir. Karbonat ve bikarbonat miktarına göre suların "olağan karbonatlı" olduğu anlaşılmıştır. Wilcox grafiği ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında Girmeler bölgesindeki sıcak suların sulamaya uygun olmadığı, soğuk suların ise her türlü sulamada kullanılabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeoloji, hidrojeokimya, jeotermal, Fethiye, Girmeler

HYDROGEOLOGICAL STUDY OF FETHİYE GİRMELER SPA (MUĞLA) AND SURROUNDING AREA

ABSTRACT

The basement of the study area is the metamorphic rocks belonging to the Precambrian to the Triassic Menderes Massif. The Mesozoic rock assemblages of the Lycian Nappes and Beydağları autochthonous overlie the Menderes Massif rocks. Neogene terrestrial sediments overlie all these units unconformably. Quaternary alluviums are the youngest units in the field. The aquifers are the alluvium, carbonated rocks of the Lycian Nappes and the Beydağları autochthonous and carbonates of the Neogene sediments.

With this study, the chemical properties of the groundwater in the region have been investigated and the purposes for which they can be used were investigated. For the determination of pH, temperature and conductivity in hot and cold-water sources, in situ measurements were made with the help of multimeter. As per the results of major ion analysis of six water samples taken, hydrogeochemical processes such as water rock interaction are examined.

The hardness values of the waters in the study area range between 4.40-8.70, while the temperature ranges between 9.8-36.5°C and the electrical conductivity (EC) values vary between 242-4150 $\mu\text{S}/\text{cm}$. With the Durov and Piper diagrams, it is determined that the waters are Mg-Ca-HCO₃-SO₄, Ca-HCO₃-SO₄ and Mg-Ca-HCO₃ water types and cold water had similar chemical properties. As stated by Schoeller, it is found that the cold waters are normal chlorinated and normal sulphated and the hot waters are oligocluroric and oligosulphate respectively according to the amount of chloride and sulfate. Based on the amount of carbonate and bicarbonate, the waters are found to be usual carbonated. When the Wilcox chart and the US Salinity Laboratory diagram are examined, it is determined that the hot water in Girmeler region is not suitable for irrigation and cold water can be used in all kinds of irrigation.

Keywords: Hydrogeology, hydrogeochemistry, geothermal, Fethiye, Girmeler

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Çalışma Alanının Yeri	1
1.2 Çalışmanın Amacı.....	1
1.3 Çalışma Alanının Morfolojisi	2
1.4 İklim ve Bitki Örtüsü	3
1.5 Materyal ve Yöntem.....	4

BÖLÜM İKİ - JEOLojİ..... 6

2.1 Bölgesel Jeoloji.....	6
2.2 İnceleme Alanının Jeolojisi.....	9
2.2.1 Elmalı Formasyonu	10
2.2.2 Karapınar Formasyonu	11
2.2.3 Belenkavak Formasyonu	11
2.2.4 Ağaçlı Formasyonu	11
2.2.5 Babadağ Formasyonu	11

2.2.6 Kayaköy Dolomiti	12
2.2.7 Çövenliayla Volkaniti	12
2.2.8 Marmaris Peridotiti	12
2.2.9 Yamaç Molozu	12
2.2.10 Alüvyon	13
2.3 Yapısal Jeoloji.....	14
BÖLÜM ÜÇ – HİDROJEOLOJİ	17
3.1 Kapsam ve Amaç	17
3.2 Kaya Birimlerinin Hidrojeolojik Özellikleri.....	17
3.3 Su Noktalarının Tanıtımı ve Oluşumu	19
3.3.1 Termal Sular (Kaplıcalar).....	20
3.3.2 Su Kaynakları	21
3.4 Jeotermal Alanın Yeri ve Oluşum Özellikleri	24
BÖLÜM DÖRT – HİDROJEOKİMYA	26
4.1 Amaç ve Kapsam	26
4.2 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş Başlıca İyonlar	28
4.3 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş İkincil İyonlar	31
4.4 Suların Fiziksel Özellikleri	31
4.4.1 Suların Sertliği.....	32
4.4.2 Diğer Fiziksel Özellikler	32
4.5 Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflandırılması	33
4.5.1 IAH’a Göre Suların Sınıflandırılması	33

4.5.2 Piper Üçgen Diyagram ile Suların Sınıflandırılması.....	34
4.5.3 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram ile Suların Sınıflandırılması	35
4.5.4 Durov Diyagramı'na Göre Suların Sınıflandırılması.....	37
4.6 Sıcak ve Soğuk Yer altı Sularının Kullanılabilme Özellikleri.....	38
4.6.1 Suların Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)	38
4.6.2 Suların Wilcox'a Göre Sınıflandırılması.....	39
4.6.3 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı	41
4.7 Suların Mineral Doygunluk İndeksi.....	45
4.8 Suların Hazne Kaya Sıcaklıklarının Tahmini	47
4.8.1 Kimyasal Jeotermometreler.....	48
4.8.1.1 Kalitatif Jeotermometreler	48
4.8.1.2 Kantitatif Jeotermometreler	48
4.9 Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları.....	52
BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2 Günlük ağaçları.....	4
Şekil 1.3 Örnekleme çalışmalarından bir görünüm	5
Şekil 2.1 Çalışma alanı ve yakın çevresine ait jeoloji haritası.....	8
Şekil 2.2 İnceleme alanı ve çevresine ait jeoloji haritası	10
Şekil 2.3 İnceleme alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit	14
Şekil 2.4 Türkiye ve yakın çevresini etkileyen başlıca aktif tektonik yapılar	16
Şekil 3.1 İnceleme alanında bulunan örnek noktalarını gösteren harita	19
Şekil 3.2 Girmeler termal tesisi kaplıca	20
Şekil 3.3 Girmeler termal tesisi	20
Şekil 3.4 Eşen Çayı'na ait bir görünüm	21
Şekil 3.5 Kızgölü'ne ait bir görünüm	22
Şekil 3.6 Kızgölü'nde örnekleme çalışmasına ait bir görünüm	22
Şekil 3.7 Yakapark'a ait bir görünüm	23
Şekil 3.8 Yakapark örnekleme çalışmasına ait bir görünüm	23
Şekil 3.9 Girmeler mağarasına ait bir görünüm	24
Şekil 3.10 Girmeler mağara girişi	25
Şekil 3.11 Girmeler Mağarası içinde, sıcak su çıkışının olduğu dar havuzlar.....	25
Şekil 4.1 Piper Üçgen diyagramı	35
Şekil 4.2 İnceleme alanındaki sular, Piper Üçgen diyagram	36
Şekil 4.3. İnceleme alanındaki suların Schoeller Yarı Logaritmik diyagramı.....	39
Şekil 4.4 İnceleme alanındaki sular, Durov diyagramı.....	40
Şekil 4.5 İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramında dağılımı	44
Şekil 4.6 İnceleme alanındaki suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı	45

Şekil 4.7 FT-3'ün mineral doygun indeksi diyagramında görünümü.....	47
Şekil 4.8 FT-3'ün Na-K-Mg üçgen diyagramında görünümü	52
Şekil 4.9 FT-3'ün isimli Na-K-Mg-Ca diyagramında görünümü	53



TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1 İnceleme alanında bulunan su noktaları	27
Tablo 4.2 İnceleme alanında bulunan su noktalarının mevcut su analizleri	28
Tablo.4.3 İnceleme alanındaki sulara bulunan eser elementler	30
Tablo 4.4 İçme suyu kalite parametreleri TS 2005'ya göre.....	31
Tablo 4.5 İnceleme alanındaki suların Fransız sertliğine göre sınıflandırılması	32
Tablo 4.6 İnceleme alanında yer alan suların EC, pH, sıcaklık değerleri.....	33
Tablo 4.7 IAH ve örnek suların hidrokimyasal fasiyes tipleri	34
Tablo 4.8 Schoeller sınıflamaları	37
Tablo 4.9 İnceleme alanındaki suların Schoeller'e göre sınıflaması	38
Tablo 4.10 İnceleme alanında yer alan suların SAR değerine göre sınıflaması	41
Tablo 4.11 Sulama sularının Wilcox'a göre sınıflaması.....	42
Tablo. 4.12 Örnek suların %Na, rCl, rSO ₄ ve EC değerleri ve sınıflaması	42
Tablo 4.13 İnceleme alanındaki suların bor miktarına göre sınıflaması.....	43
Tablo 4.14 FT-3'ün mineral doygunluk indeksi değerleri.....	46
Tablo 4.15 Sayısal değerlendirmede bazı kimyasal jeotermometre eşitlikleri	50
Tablo 4.16 İnceleme alanında bulunan sıcak suya ait jeotermometre eşitlikleri.....	51

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışma Alanının Yeri

Çalıştığımız bölge, Batı Anadolu'nun güney ucunda Muğla ilinin 129 km güneydoğusunda bulunmaktadır. Bölgenin en kuzeyinde Eşen Çayı yer almaktadır. Yüzölçümü 13.338 km² olan Muğla'nın, kuzeyinde Aydın, doğusunda Antalya, kuzeydoğusunda Burdur ile Denizli illeri bulunur. Güneyinde ve güneybatısında ise Ege Denizi ve Akdeniz ile çevrilmiştir. Muğla ilinin ilçelerinden biri olan, aynı zamanda çalıştığımız yer, Fethiye, Akdeniz ve Ege Bölgesi'ni ayıran sınırdadır. Akdeniz Bölgesi içinde kalır. İlçenin, güneyinde Kaş ve Çayağazı ilçeleri bulunur. Bu bölge aynı zamanda Eşen Çayı'nın Akdeniz'e döküldüğü yerdir. Batısında Dalaman ilçesinin ve Kapıdağ Yarımadası'nın bulunduğu Fethiye'nin, doğusunda Elmalı ile Korkuteli yer alırken, kuzeyi Çameli ve Gölhisar ilçeleriyle çevrilidir. Çalıştığımız alanın gösterildiği yer bulduru haritası Şekil 1.1' de verilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Çalışmamız Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeotermal Enerji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak sunulmak üzere hazırlanmıştır. Tez kapsamında Muğla ili sınırları içinde bulunan Fethiye ilçesine bağlı Girmeler Köyü'nde bulunan jeotermal alan ve çevresi incelenmiş olup, bölgenin hidrojeolojisi ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. İnceleme alanında altı farklı su noktasından örnekler alınmış, bu örneklerin kimyasal analizleri yapılmış, sonuçları kimyasal türleştirme programları ile değerlendirilmiştir. Bulunan sonuçlar, önceki çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası (Google Earth 2018'den yararlanılarak oluşturulmuştur)

1.3 Çalışma Alanının Morfolojisi

Kargı Çayı ve K-G yönünde uzanan, uzun ve dar bir oluk olan Eşen Vadisi'nin içine yerleşmiş, kat ettiği yol boyunca Kuvaterner tortulları yükselen, vadinin orta ve aşağı kesimlerinde menderesli olarak akan Eşen Çayı önemli akarsuları arasında yer alır (Kazancı ve Uysal, 2008).

Bölgede Eşen Çayı'nı besleyen ve Beydağları'nın bir kolu olarak K-G doğrultusunda uzanan Akdağlar (3025) yer alır. Çevresinde yemyeşil yaylalar olan Akdağlar'ın yamaçlarında Girdev Gölü bulunur. 1800 m'de yer alan Girdev Gölü'nün yazları kuruduğu bilinmektedir. Çevresinde bulunan göllerin çoğu kurumuş olsa da Yeşil Göl, İkiz Göl ve Baran'da hala su bulunmaktadır. Akdağlar doğa yürüyüşleri ve kamp alanı olarak da sıkça tercih edilir. Bazalt, kalsit ve kumtaşından oluşmuştur. Bölgede yer alan ikinci en yüksek dağ Babadağ'dır (1969 m). Ölüdeniz'in doğusunda bulunan Burası, yamaç paraşütünde dünyadada en çok tercih edilen yer olarak bilinir. İkinci zirvesi Karatepe'dir (1400 m). Babadağ, en nadir bulunan bitki türlerinin yetiştiği bölge olarak ekolojik yapısı ile önemli bir yere sahiptir. Bu bitki türlerinden bazıları Fethiye Moryıldızı (*Chionodova forbesii*), Çakal Nergis (*Sternbergia cardida*), Karia Kraltacı (*Fritillaria carica*) olarak bilinmektedir. Bölgede yer alan üçüncü en yüksek dağ ise Mendos Dağı'dır (1400 m).

Güneybatı Anadolu kıyı bölümünde nadir görülen alüvyal düzlüklerden birini oluşturan Eşen Ovası (Öner, 2001) ve bölgenin en önemli akiferini içeren, kuzeyde Fethiye Ovası da en önemli ovalardır.

1.4 İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı Akdeniz iklimi etkisinde kalmaktadır. Dağlar denize paralel uzanır. Asıl Akdeniz ikliminin hakim olduğu yer 800 m yüksekliğe kadar olan alanlardır. Daha yüksek alanlarda ise Akdeniz dağ ikliminin görüldüğü gözlenmiştir. 1000 mm (m^2 ye kg) den fazla yağış düşmektedir. Dağların büyük bir kısmı ormanlarla, kıyılar makilerle kaplıdır. Sedir, ardıç, karaçam, fıstıkçamı ve kızılçam ağaçları ormanlarda sıkça görülürken su kenarlarında ve vadilerde selvi, çınar ve söğüt ağaçlarını görmek mümkündür.

Dünyada çok az yerde görmenin mümkün olduğu günlük ağacı diğer adıyla sığla ağacı bu bölgede bulunur (Şekil 1.2). Kışın yapraklarını döken, iklim şartlarına göre boyu 15-40 m arasında değişebilen Hamamelidaceae familyasına ait Liquidambar

Orientalis Miller yani günlük ağaçlarının 300 yıl yaşayabildikleri bilinmektedir. Uygulanan bazı teknik yöntemlerle bu ağaçların gövdeleri açılıp alınarak elde edilen balzam birçok tedavide kullanılmaktadır. Hatta bu balzam eski mısır uygarlığında mumyalama işlemi için bile kullanılmıştır.



Şekil 1.2 Günlük ağaçları (Pinterest, b.t.)

1.5 Materyal ve Yöntem

Çalışma alanında, önceki çalışmalarda kullanılan jeoloji haritaları kısmen değiştirilerek kullanılmıştır. İnceleme alanında, farklı bölgelerde olmak üzere altı su örneği alınmıştır. Tezin hazırlanması kapsamında yapılan çalışmalar, literatür taraması, arazi çalışması, laboratuvar çalışması ve ofis çalışmaları olarak gruplara ayrılır (Şekil 1.3).

Arazi çalışmalarında, çalışma alanındaki kaynaklardan ikişer tane 500 ml ve birer tane 100 ml olan yüksek yoğunluklu polietilen kaplara numuneler alınmıştır. Tespit edilen bu noktalardan su örnekleri alındıktan sonra multimetre ile yerinde ölçümler yapılarak suların pH, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, tuzluluk gibi değerleri not edilmiştir. Örnekleme sırasında kaplar, alınacak örnek suyu ile yıkanmış, kapatılırken su kabarcıkları olmayacak şekilde ayarlanmıştır. Su örnekleri atmosferle teması olmayacak şekilde çift tıpalı kaplara alınmış ve analizlerin yapılacağı laboratuvara en kısa sürede ulaştırılmıştır.

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarı'nda yapılan çalışmalarda, katyonlar ve demir için atomik absorpsiyon; karbonat, bikarbonat ve klorür anyonları için titrasyon; sülfat tayini için ise gravimetrik yöntemler kullanılmıştır. Analiz sonuçları, Aquachem, Phreeqci ve Watch programları ile değerlendirilerek yorumlanmıştır. Şekil, tablo ve grafiklerin oluşturulmasında Microsoft Office Excel, Microsoft Office Word ve Corel Draw programları kullanılmıştır.



Şekil 1.3 Örnekleme çalışmalarından bir görünüm (Kişisel arşiv, 2018)

BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ

2.1 Bölgesel Jeoloji

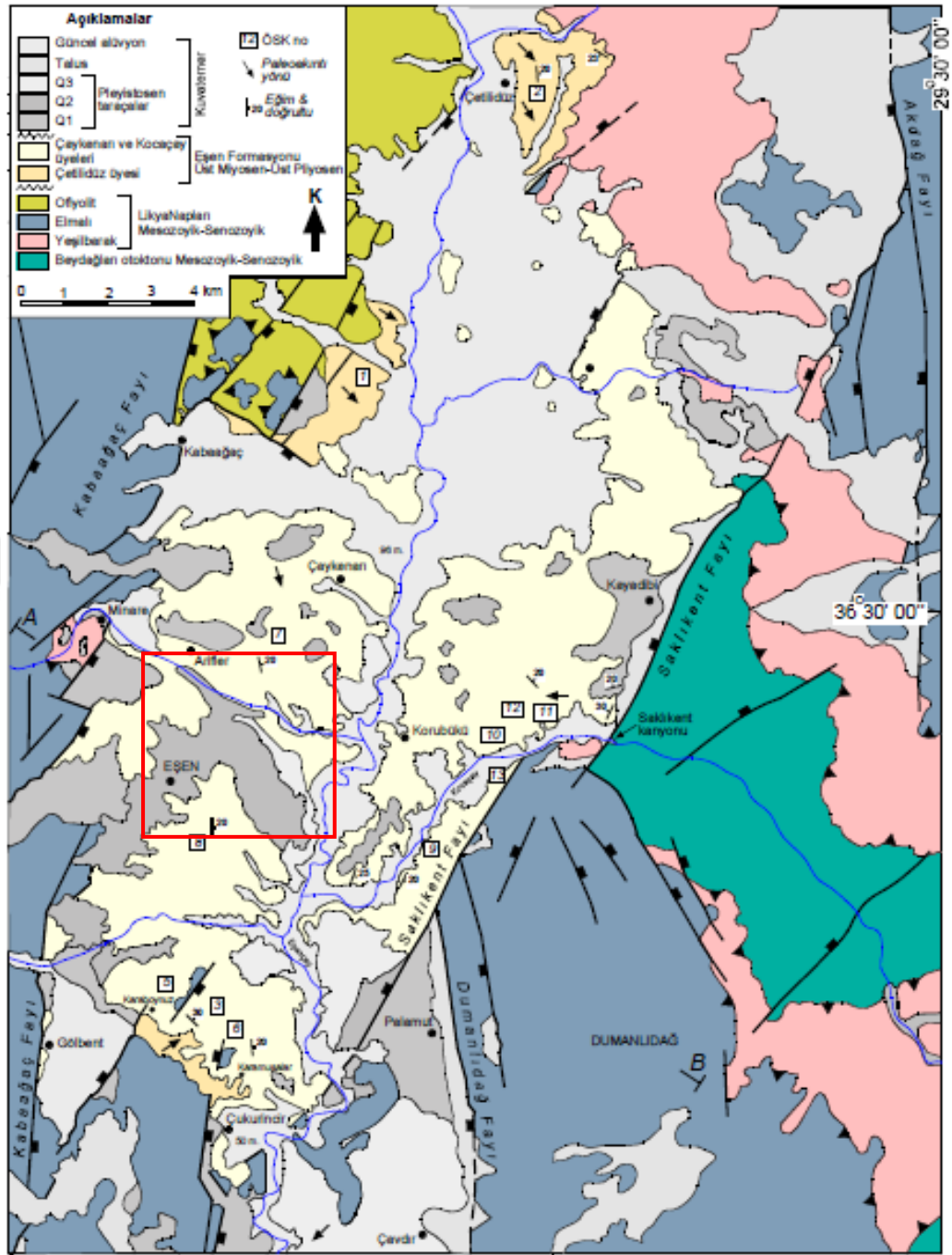
İnceleme alanının temelini, Prekambriyen'den Triyas'a kadar olan yaştaki Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayaçlar oluşturmaktadır. Likya Napları'na ve Beydağları Otoktonu'na ait Mesozoyik yaşlı çeşitli kayaç toplulukları Menderes Masifi kayalarını üzerlemektedir. Neojen yaşlı karasal tortullar tüm bu birimleri uyumsuzlukla üzerler. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yörede rastlanılan en genç oluşuklardır. Akifer özelliği taşıyan birimler alüvyon, Menderes Masifi'ne ait mermerler, Likya Napları'na ve Beydağları Otoktonu'na ait karbonatlı kayaçlar ve Neojen tortullarının karbonatlarıdır.

Güneybatı Anadolu'da (Batı Toroslarda) Menderes Masifi ile Beydağları Otoktonu arasında yer alan allokon olarak yerleşmiş, GB-KD uzanımlı kütleler Likya napları olarak bilinir. Güneybatıda oldukça geniş bir yayılım gösterirken kuzeye doğru gidildikçe bunun azaldığı gözlenir.

Beydağları Otoktonu ile Likya Napları arasında yer alan, Önalın (1979) tarafından adlandırılan yanal yönde devamlılık gösteren Yeşilbayrak Napı pek çok araştırmacı tarafından çalışılmış ve allokon konumlu olarak değerlendirilmiştir. Genellikle türbiditik özellikte Üst Lütisiyen - Alt Miyosen yaşında kırıntılardan oluşan ara zon niteliği taşır. Yeşilbayrak Napı'nın alt yapısal birimlerinden olan yine aynı yaşlı şeyllerden ve kumtaşlarından oluşan Elmalı formasyonu yaygın bir şekilde gözlenir (Şenel ve diğer., 1989).

Çalışma alanında yer alan Çetildüz üyesi Şenel ve diğer. (1989) tarafından adlandırılmıştır. Eşen Neojen havza tabanında bulunan Çetildüz konglomeraları ismiyle yer alan kaba kırıntıların bulunduğu bilinmektedir. 35 m kalınlığında olan, alüvyon yelpazesi tortullarının oluşturduğu birim kırmızı renkte olup, konglomeralar, çakıtaşları ve kumtaşlarından oluşur (Alçiçek ve diğer., 2006).

İnceleme alanını doğusunda Çaykenarı köyü çevresinde yaygın olarak görülen bir diğer birim Çaykenarı üyesidir. Gölsel birim olarak bilinen bu üyenin Çetildüz ve Kocaçay üyeleri ile yanal ve düşey ilişkisi bulunur. Çaykenarı üyesinin en alt kısmında, bataklık tortulları içinde Eosen-Holosen'e ait bazı denizel fosiller olduğu bilinmektedir. Şenel ve diğer. (1989) tarafından adlandırılmış, 105 m kalınlığında olan Kocaçay üyesi, konglomeralar, marn, kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşlarından oluşur (Alçiçek ve diğer., 2006). Alanda yer alan, kalınlığı 100 m olarak bilinen Kuvaterner oluşukları, alüvyon yelpazeleri, tufa oluşumları ve Eşen Çayı'nın alüvyonlarından meydana gelmiştir. Kocaçay Vadisi ve Eşen Çayı ile çalışma alanının doğusunda bulunan Akdağlar'ın batı yamaçları Kuvaterner oluşuklarını görebileceğimiz bölgelerdir (Kazancı ve Uysal, 2008). İnceleme alanı ve yakın çevresine ait bölgesel jeoloji haritası Şekil 2.1' de verilmiştir.



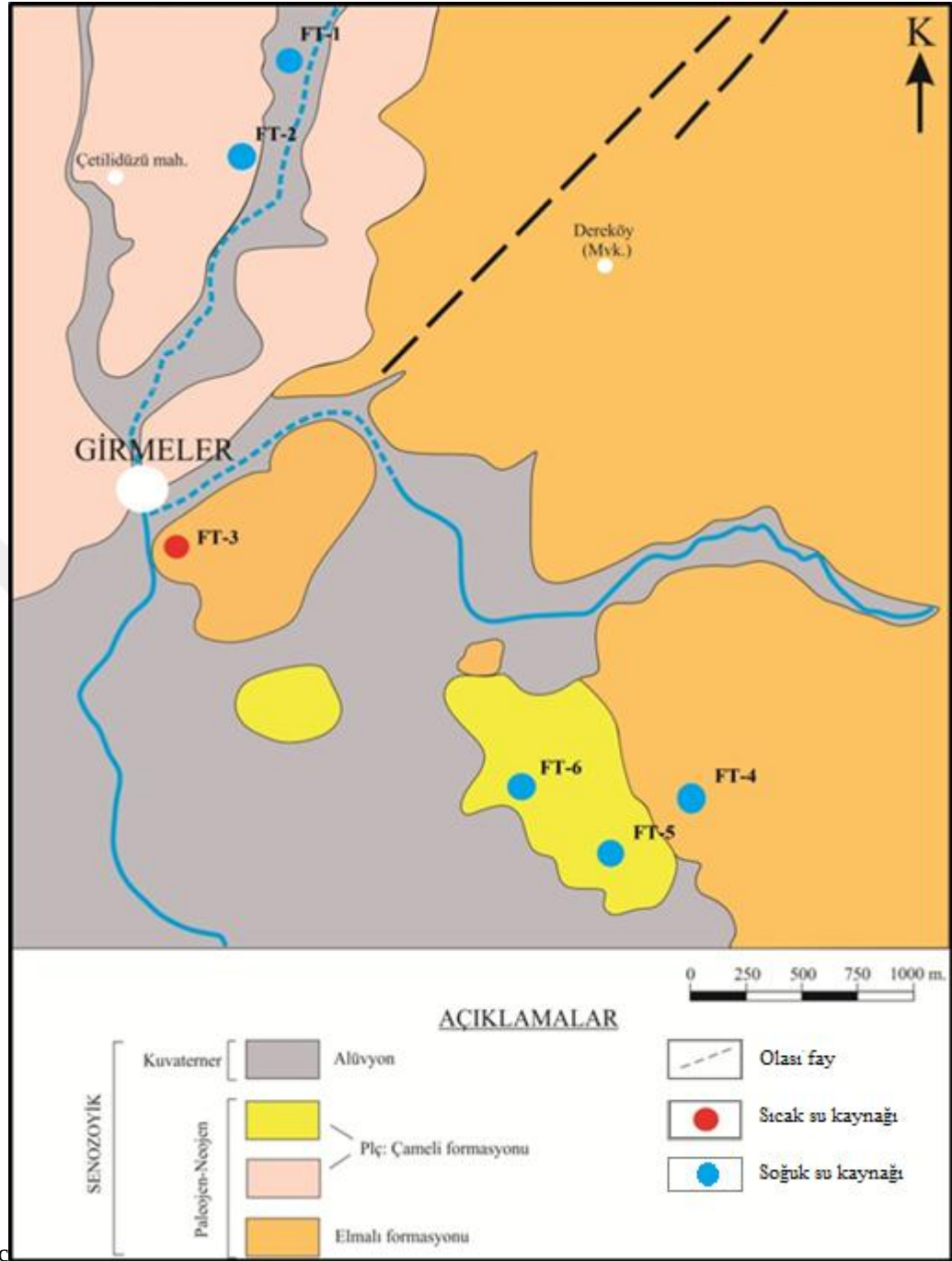
Şekil 2.1 Çalışma alanı ve yakın çevresine ait jeoloji haritası (Alçiçek ve diğer., 2006)

2.2 İnceleme Alanının Jeolojisi

Çalışma alanımız olan Fethiye Girmeler İlçası ve çevresinde yer alan kaya birimlerini incelerken, Batı Toroslar bölgesinde uzun yıllar çalışmış, kaya birimlerini sınıflara ayırıp isimlendirmiş olan Şenel ve diğer. (1994) tarafından yapılan çalışmalar esas alınmıştır.

Çalışma alanı allokton ve otokton kaya topluluklarından oluşur. Eosen yaşlı Elmalı Formasyonu ile Kuvaterner yaşlı köşeli çakıl, kil, silt içeren yamaç molozları ve çakıl, kum, silt ve kil içeren alüvyonlar bölgede yer alan otokton birimlerdir. Allokton kaya birimlerinin çalışma alanının büyük bir kısmında yayılım gösterdiği bilinmektedir. Bu kaya topluluklarının çoğu Şenel ve diğer. (1994) tarafından üç gruba ayrılmıştır. İncelediğimiz alanı ve çevresini gösteren genelleştirilmiş jeoloji haritası Şekil 2.2’de verilmiştir. Kaya birimlerinin ve formasyonların yer aldığı, çalıştığımız alana ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit ise Şekil 2.3’te gösterilmiştir.

Çalışma alanımızda bulunan diğer formasyonlardan bahsedecek olursak; neritik kireçtaşlarından oluşan Karapınar Formasyonu, bitkili kumtaşı ve şeyl içeren Belenkavak Formasyonu, içerisinde algli kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı bulunduran Ağaçalı Formasyonu ve çörtlü kireçtaşı ve mikritik kireçtaşlarından oluşan Babadağ Formasyonu yer alır. Üst Triyas-Kratese yaşlı bu birimler Tavas Napı’na aittir. Yörede bulunan diğer birim ise dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan, Bodrum Napı’na ait olan Triyas yaşlı Kayaköy Dolomiti’dir. Bazalt, spilit bazalt, çört ve türbiditik kireçtaşından oluşan Çövenliyaşla Volkaniti ve serpantinleşmiş peridotitlerden oluşan Marmaris Peridotiti Mesozoyik yaşlı olup, Likya Napları’nın ayrıldığı gruplardan Marmaris Ofiyolit Napı’na ait birimlerdir.



Şekil 2.2 İnceleme alanı ve çevresine ait jeoloji haritası (Işık ve Dilemre, 2000'den değiştirilerek)

2.2.1 Elmalı Formasyonu

Önalan (1979) tarafından adlandırılan formasyon genellikle kumtaşı, silttaşı ve kilaşlarından oluşur. Çok fazla kıvrımlı bir yapı gösteren Elmalı formasyonu Yeşilbayrak Napı'nın yayın olarak görüldüğü birimdir. Formasyonun kaya türü kaba taneli-ince taneli arasında değişim gösterir. Orta ve ince tabakalı olarak bilinen

formasyon, gri yeşilimsi gri, sarımsı, kahverengi çakıltası, kalkarenit, killi kireçtaşı, silttaşı ve kiltasından oluşur. Üst Lütisiyen-Alt Burdigaliyen yaşlıdır. Formasyon, Beydağları Otoktonunun Alt Miyosen yaşında olan kırıntıları üzerinde tektonik olarak yer alır.

Bölgede yer alan, Eşen Çayı vadisi boyunca yüzeylediği bilinen Çameli Formasyonu ise Erakman ve diğer. (1982) tarafından adlandırılmış olup, birim ince orta tabakalı, kirli beyaz, kirli sarı, yeşilimsi renkli kumtaşı, kireçtaşları, marn ve çakıltaslarından oluşur. Bu formasyon stratigrafik kolon kesite eklenmemiştir.

2.2.2 Karapınar Formasyonu

Likya Naplarının en alt yapısal birimini oluşturan Tavas Napına ait Karadağ serisine ait bir formasyondur. Çalışma alanında bulunan Karapınar formasyonu ince-orta tabakalı, siyahımsı gri kahverenklerde kireçtaşı ve killi kireçtaşından oluşup Şenel ve diğer. (1989) tarafından adlandırılmıştır. Ladiniyen yaşlı olup 100-150 m arası kalınlıktadır (Bilgin ve diğer., 1997)

2.2.3 Belenkavak Formasyonu

İnceleme alanında bulunan bir başka formasyon ise yine Tavas Napının Karadağ serisinde yer alan Belenkavak formasyonudur. Bu formasyon Graciansky (1972) tarafından adlandırılmıştır. Bitki kırıntılı kumtaşı, silttaşı ve kiltasından oluşur. 100-150 m arası kalınlıkta ve Ladiniyen yaşlıdır (Bilgin ve diğer., 1997).

2.2.4 Ağaçlı Formasyonu

Gri açık renkli kireçtaşı, kalın tabakalı ve siyahımsı dolomitten oluşan formasyon Erakman ve diğer. (1982) tarafından adlandırılmıştır. 150 m kalınlığında ve Liyas yaşlıdır (Bilgin ve diğer., 1997).

2.2.5 Babadağ Formasyonu

İlk olarak Graciansky (1968) tarafından Haticeanadağ serisi olarak belirlenen birimin üyesi olan Babadağ Formasyonu Erakman ve diğer. (1982) tarafından adlandırılmıştır. Oolitik kireçtaşı ve kalsitürbidit ara tabakalı çörtlü kireçtaşından oluşur. Formasyonun kırmızı mikritli, Ammonitica-rosso düzeyleri "Kırmızı Mikrit üyesi", oolitik kireçtaşından oluşan kısımları "Oolitli Kireçtaşı üyesi" diye ayrılmıştır. Kırmızı mikrik üyesinin kalınlığı 70 m, oolitli kireçtaşı üyesinin kalınlığı ise 650-1020 m arasındadır (Bilgin ve diğer., 1997).

2.2.6 Kayaköy Dolomiti

Dolomitler ve dolomitik kireçtaşlarının oluşturduğu Kayaköy dolomiti Şenel ve diğer. (1989) tarafından adlandırılmıştır. Akdağ, Güntutan Dağı, Sivek Tepe, Fethiye, Belen Dağı, Kara Dağ, Ahat, Elmalı Dağı, Kuyucak, Almacık Dağı, Köroğlu Tepe, Kuzca köyü çevresinde (Şenel ve diğer., 1994). Kapı Yarımadası ile Gökova arasında, Köyceğiz Zeytinaları köyü kuzeyinde, Aşı mezarlığı, Kırangöl ovacık mahallesinin 2 km kuzeyinde Kızılca Tepede, Evrengöl ve boynuzluk dere çevresinde yüzeyler. Kızılcatepede 200 m, Kırangöl'de 250 m kalınlığında olup Üst-Triyas yaşlıdır.

2.2.7 Çövenliyayla Volkaniti

Volkanoklastik materyalli kumtaşı, kiltası, silttaşı ve splitik bazaltlardan oluşan volkanit Şenel ve diğer. (1994) tarafından adlandırılmıştır. Birim Çövenliyayla çevresinde volkanitler içinde kızıl kahve, ince orta tabakalı radyolarit, şeyl kayaları ve çört ile temsil edilir. Çövenliyayla Volkanitinin kalınlığı 50-100 m arasındadır (Bilgin ve diğer., 1997).

2.2.8 Marmaris Peridotiti

Muğla ilinin büyük bir bölümünde Fethiye'nin de arasında yer aldığı bölgelerde peridotit, serpantin ve dünit kayaları yüzeyler. Yaklaşık yaşı 14 milyon yıl (Thuizat

ve diğerk., 1981) olan Marmaris Peridotiti Çapan (1980) tarafından adlandırılmıştır. Diyabaz daykları tarafından kesilmiş, serpantinit, serpantinleşmiş harzburjit, dünit ve piroksenit kayalarından oluşur.

2.2.9 Yamaç Molozu

Çalışmalar yaptığımız bölgede bulunan yamaç molozları, ovaların dik kenarlarında ya da havzanın iç kesimlerinde fay sınırında olan kısımlarda yer alır. Oluşumu hala devam edenler yani aktif olanlar ile aktif olmayan yamaç molozları mevcuttur (Nemeç ve Kazancı, 1999).

2.2.10 Alüvyon

Kuvaterner boyunca çalışma alanında, sismik hareketlilik ve mevsimsel etkilere bağlı olarak meydana gelmiş olan alüvyon yelpazeleri, doğrultusu KD-GB olarak bilinen havzanın merkezinde, ana fayların etkisiyle oluşmuşlardır. Erken-Orta Pleistosen ve Geç Pleistosen-Holosen olarak iki grup altında toplanmış olan bu yelpazelerin göreceli olarak yaşlandırılmış olduğu bilinmektedir. Yaşlı yelpazelerin yani ilk grubun depolanma geometrileri bozulmuş haldedir, genç yelpazelerin ise şekilleri iyi korunmuştur.

Kıbrıs'ın kuzeyine doğru içbükey bir kavis yapan bu fay Fethiye Körfezi ve Dalaman arasında Plini ve Strabo çukurları boyunca ters fay bileşenli sol yönlü doğrultu atımlı fay özelliği taşımaktadır (Demirtaş ve Yılmaz, 1996).

Türkiye'nin güneyinde, 1990'lı yılların başında Helenik Kıbrıs yayının sebep olduğu, hasarı çok fazla olan depremler meydana gelmiştir. Sayıları 13 olarak bilinmektedir. Yaşanan 11 depremde, sismik etkinliklerin fazla olduğu görülmüştür ve bu depremler yay üzerinde bulunan Plini ve Strabo olarak bilinen faylar boyunca oluşmuştur (Demirtaş ve Yılmaz, 1996).

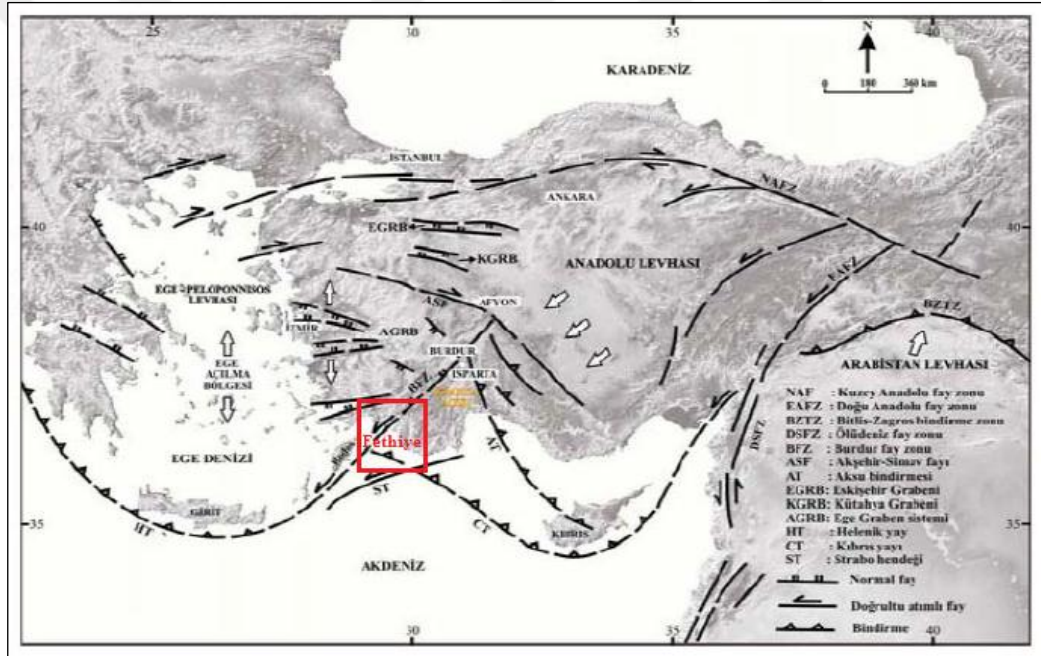
10 Haziran 2012 tarihinde Fethiye Körfezi'nde 6,0 büyüklüğünde, derinliği ise 7 km olarak bilinen, sol yönlü doğrultu atımlı, ters bileşenli fayın etkisiyle gelişmiş bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremin Helenik-Kıbrıs yayı olarak bilinen fay sistemine ilişkin olarak gerçekleştiği belirlenmiştir (Atabey, 2013).

Helenik yay üzerinde Plini ve Strabos çukurluğunu kapsayan, Afrika ve Anadolu bloğunun dalma batma zonunu oluşturan Afrika ve Asya levhalarının bulunması sebebiyle ve Dalaman kıyısından itibaren Akdeniz'in en derin yeri olduğu için (4250 m) bölge tsunamiden etkilenmek için uygun bir coğrafi konuma sahiptir. Bu yüzden ilimiz tsunami tehlikesinin yaşanabileceği, riskli bir yer olarak görülmektedir (Atabey, 2013).

Helenik yay ile Kıbrıs yayının Fethiye-Burdur fay zonu boyunca birleştiği bilinir ve bu fay zonunda Güneybatı Anadolu'nun aktif olan önemli fayları yer alır (Bozcu ve diğer., 2007). Yapılan çalışmalarda alınan GPS verileri değerlendirildiğinde Fethiye-Burdur fay zonunun kuzey bölümünde güneybatı yönünde yılda 3 cm olmak üzere genişlediği belgelenmiştir. Bu genişlemeler Güneybatı Anadolu'da birçok bölgede kuzeybatı yönünde uzandığı bilinen aktif fayların meydana gelmesine yol açmıştır (Yağmurlu ve Şentürk, 2005).

Çalışma alanında tektonik olarak en önemli yapısal zon K-G yönünde görülen graben, Neojen-Kuvaterner oluşuklarından meydana gelen Eşen Çayı Havzası'dır.

Bölgede bulunan Eşen havzasının genişlediğine işaret eden normal faylar arasında havzayı sınırlayan fay sistemleri batı kenarından K20D uzanımlı olan Kabağağaç Fayı, doğu kenarından ise K40D uzanımlı Saklıkent Fayları bulunur. Yörede bulunan ve Geç Pleistosen depolanmasını kontrol eden en genç kırık ise Kınık Fayıdır (Kazancı ve Uysal, 2008). Havzanın genişlediğinin en büyük kanıtı ise Pliyosen-Kuvaterner yaşlı normal ve doğrultu atımlı faylardır. Pliyosen boyunca D-B yönünde olan genişlemeler normal fayların genişlemesine neden olmuş bu durum da rölyef farklılıklarına ve alüvyon yelpaze sistemlerinin çökelimine neden olmuştur (Kazancı ve Uysal, 2008). Çalışma alanımız da dahil Türkiye'yi ve çevresini etkisi altına almış aktif tektonik yapılar Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Türkiye ve yakın çevresini etkileyen başlıca aktif tektonik yapılar (Mc Clusky ve diğer., 2000)

BÖLÜM ÜÇ

HİDROJEOLOJİ

3.1 Kapsam ve Amaç

Çalışma alanının hidrojeolojik özelliklerinin ortaya çıkarılmasına yönelik altı farklı noktadan su örnekleri alınarak incelenmiştir. Bu çalışmalar kapsamında sıcak ve soğuk su noktalarının dağılımları, kayaçların hidrojeolojik özellikleri, akifer türleri belirlenmiştir. İnceleme alanından elde edilen su örneklerinin kimyasal analizleri DEU Jeoloji Mühendisliği Jeokimya ve Hidrojeoloji Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Analizler sonucunda bölgedeki suların hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiş ve yorumlanmıştır. Katyonlar için atomik absorpsiyon; anyonlar için titrasyon ve gravimetrik yöntemler kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal çalışmalar iyonlar arası ilişkilerin yorumlanmasını, sularının kökenlerinin tayinini, doygunluk indeksi değerlerinin tespit edilmesini, alterasyon minerallerinin ve fasiyes tipinin belirlenmesini, suların sınıflandırılmasını kapsamaktadır.

Yapılan çalışmalarla beraber, önceki çalışmalardan alınmış beş tane örnek ile ilgili yapılan analizlerden de bahsedilmiştir. Bu örneklerden Bilecen ve Öz (1974), tarafından 01.07.1974 tarihinde alınmış ve analizleri yapılmış Girmeler-1, Girmeler-2, Girmeler-3 olarak isimlendirdiğimiz ve sırasıyla FT-7, FT-8 ve FT-9 örnek numaralarını verdiğimiz üç su örneği yer almaktadır. Önceki çalışmalara ait iki su örneği ise Avşar ve diğer. (2016) tarafından 09.01.2012 tarihinde alınmış ve analizleri yapılmış olup Girmeler-a ve Girmeler-b olarak isimlendirilmiştir aynı zamanda bu çalışma içerisinde FT-10 ve FT-11 örnek numaraları verilmiştir.

3.2 Kaya Birimlerinin Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanımız olan Fethiye Girmeler Ilıcası ve çevresinde yer alan litolojik birimler belirlenmiş ve hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonuçlarına göre akifer özelliği gösteren birimler (geçirimli birimler)

alüvyonlar ve yamaç molozları ile karbonatlı kayalar olarak, ofiyolitler ise geçirimsiz birim ve çatlaklı kaya akiferi olarak tanımlandığı bilinir.

Çalışma alanının kuzeyinde bulunan ve ultramafik kayalardan oluşan ve geçirimsiz kaya olarak sınıflandırılan Marmaris Peridotiti çok çatlaklı yerlerde yarı geçirimli olarak tanımlanır. Peridotitler mevsimsel boşalımı olan düşük debili ($< 1 \text{ lt/sn}$) kaynaklar içermektedir. Bu kaynaklarda drene edildiği bilinen tünek suyu çatlaklarda ve eklemlerde olduğu gibi ikincil gözeneklerde depolanmıştır (Doyuran, 1999).

Çalışma alanının güney ve güney doğusunda bulunan karbonatlı kayalar kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı dolomitik kireçtaşı ve dolomitlerden oluşur. Hidrojeolojik açıdan oldukça önemli olan birimler Kayaköy Dolomiti ve Babadağ Formasyonu'dur. Geçirimli karstik akiferleri oluşturan bu birimler, kırıklı, çatlaklı ve erime boşluklu yapıları vardır (Karaca, 2007).

Bölgede bulunan yamaç molozlarının temelini Marmaris Peridotitinden türemiş ultrabazik kayalar ile kireçtaşlarından türemiş çakıl ve bloklar oluşturmaktadır. Bu yamaç birikintileri, inceleme alanı çevresinde bulunan dağların yamaçlarında köşeli, çakıllı ve bloklu, tutturulmamış veya zayıf tutturulmuş halde bulunur.

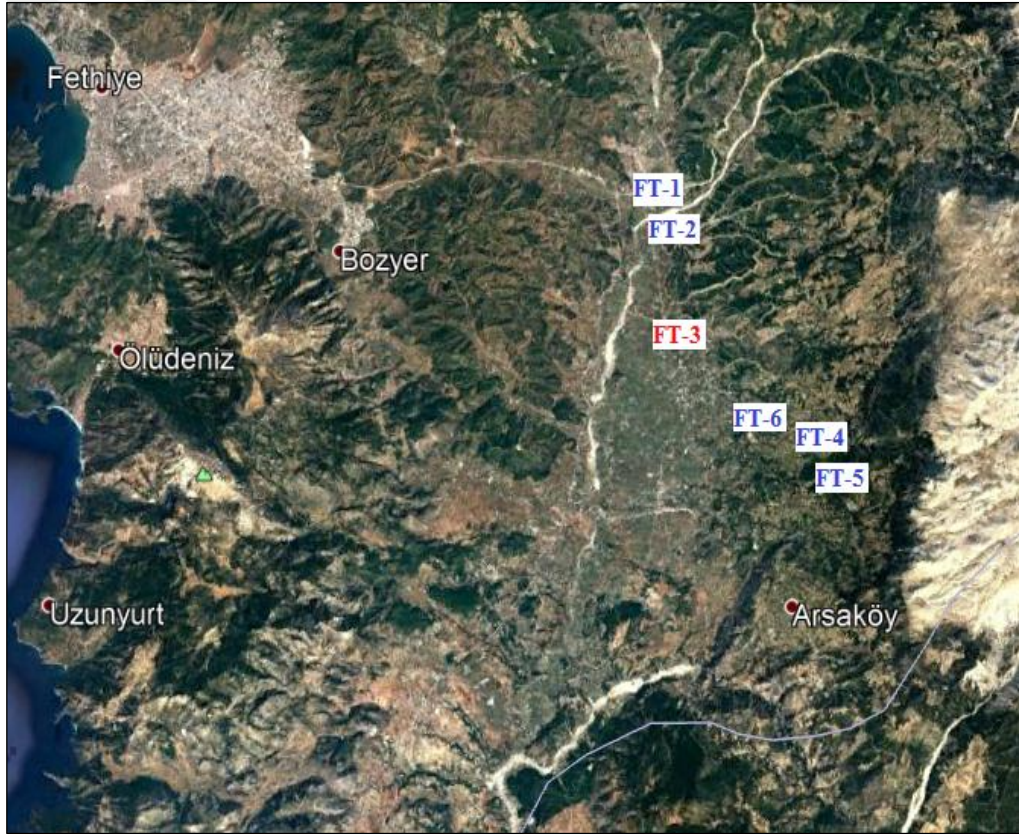
Yamaç molozlarının bulunduğu alanlarda yeraltı suyu seviyesi ovaya göre daha derinde bulunmaktadır ve burada topoğrafik eğim daha fazladır. Bu birim akiferin beslenme alanını oluşturur, litolojik özellikleri ve geometrik konumlarına göre gözenekli akifer olarak bilinir (Karaca, 2007).

İnceleme alanımız ve çevresinin büyük bir bölümünde görülen alüvyonlar kum, silt, kil ve çakıl tabakaları ve bu tabakaların ardalanması şeklinde görülür. Depolanmış suyu iletebilme özellikleri ve bu birime ait kum ve çakılların su bulundurması sebebiyle önemli bir akifer özelliği taşımaktadır.

3.3. Su Noktalarının Tanıtımı ve Oluşumu

Fethiye Girmeler İlçası ve çevresinde yapılan çalışmalar kapsamında su örnekleri alınarak temin edildikleri yerler tespit edilmiş, Google Earth uygulamasının uydu fotoğrafları kullanılarak örnek yerleri işaretlenmiştir (Şekil 3.1).

Örnek noktaları FT-1, FT-2, FT-3, FT-4, FT-5, FT-6 olarak isimlendirilmiştir. Numune isimlerine göre yer adları sırasıyla Eşen Çayı, Tezlidere, Girmeler İlçası, Kızılgölü, Yakapark ve deredir. İnceleme alanından 17.04.2018 tarihinde su örnekleri alınmıştır (Şekil 3.6 ve Şekil 3.8).



Şekil 3.1 İnceleme alanında bulunan örnek noktalarını gösteren harita (Google Earth 2018'den yararlanılarak oluşturulmuştur)

3.3.1 Termal Sular (Kaplıcalar)

Çalışmanın konusunu oluşturan Girmeler Ilıcası inceleme alanı içerisinde sıcak su kaynağıdır. Bir dönem kaplıca haline getirilerek faydalanılan ancak kaplıcanın suyunda bir kirlenme olduğu, kaplıca suyunun mikrobiyolojik değerlere göre kirlilik oranının sıfır olması gerekirken bu kriterlere uymaması sebebiyle halk sağlığı açısından uygun bulunmamış ve 2015 yılında kapatılmıştır (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3). Girmeler Ilıcası harita üzerinde 3 nolu örnek olarak gösterilmiştir. Buradaki termal sulardan örnek alınarak hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 3.2 Girmeler termal tesisi kaplıca havuzları (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 3.3 Girmeler termal tesisi (Kişisel arşiv, 2018)

3.3.2 Su Kaynakları

İnceleme alanından alınan diğer su numuneleri yüzey ve yeraltı suları olarak ayrılan soğuk su kaynaklarıdır. Harita üzerinde 1, 2, 4, 5 ve 6 nolu gösterilmiş örnekler sırasıyla yüzey suları olan Eşen Çayı Şekil 3.4'te, Tezlidere, Kızgölü Şekil 3.5'te, yeraltı suları olan Yakapark Şekil 3.7'te ve dereden alınmıştır. Bu örneklerden en önemlisi, K-G yönlü akışını bir graben içinde sürdüren, Akdağlar'dan gelen su ile beslenen ve Akdeniz'e dökülen Eşen Çayı'dır. Kemer'den itibaren Eşen Çayı olarak adlandırılan akarsu söğüt depresyonunun güneyindeki kaynak bölgesinden itibaren sırası ile Küçükluçay, Seki Çayı, Koca Çayı adlarını da alır (Kazancı ve Uysal, 2008).



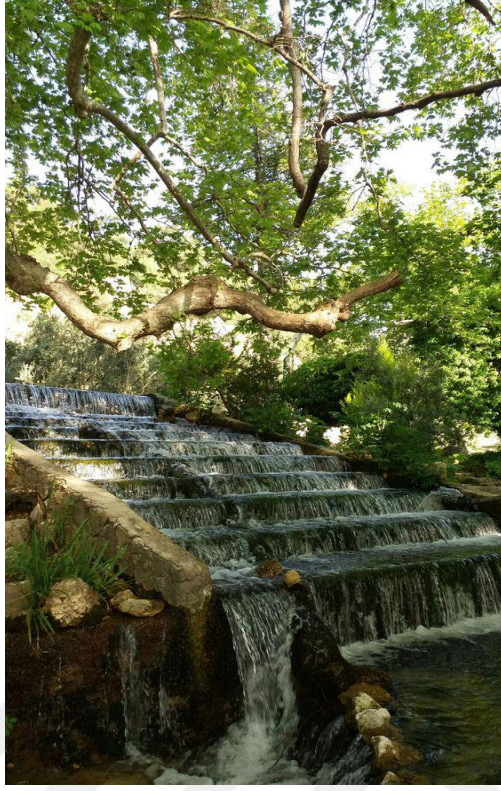
Şekil 3.4 Eşen Çayı'na ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 3.5 Kızgölü'ne ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 3.6 Kızgölü'nde örnekleme çalışmasına ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 3.7 Yakapark'a ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 3.8 Yakapark örnekleme çalışmasına ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2018)

3.4 Jeotermal Alanın Yeri ve Oluşum Özellikleri

Çalıştığımız alandan aldığımız jeotermal su kaynağının yeri Fethiye'nin güneydoğusunda, Girmeler köyüne 2 km mesafede bulunan, eski adıyla Gebeler Ilıcası olarak bilinen Girmeler Ilıcasıdır.

Jeotermal kaynağın bulunduğu bölgede yine aynı isimli Girmeler mağarası yer alır (Şekil 3.9). İnönü adıyla bilinen bir tepenin eteğinde olan mağaranın A ve B olarak iki girişi bulunmaktadır. Mağaranın içinde tahta ve taş basamaklarla inilen, kayalar arasında sıcak su çıkışının olduğu dar havuzlar bulunmaktadır (Şekil 3.10). Kaynak sıcaklığı 30,8 °C'dir 7-15-20 m derinliklerde olan çatlakların içinde Şekil 3.11'de olduğu gibi görülen kaynak sularının magmatik orijinli olduğu daha önce yapılan çalışmalarda söylenmişti. Ancak alanda en son Avşar ve diğer. (2016) tarafından yapılan çalışmada suların meteorik kökenli olduğu belirlenmiştir. Çatlaklar olivinli bazalt kütleler arasında dikey olarak bulunur, Girmeler mağarası da bu bazalt tüflerin arasından yükselir (Bilecen ve Öz, 1974).

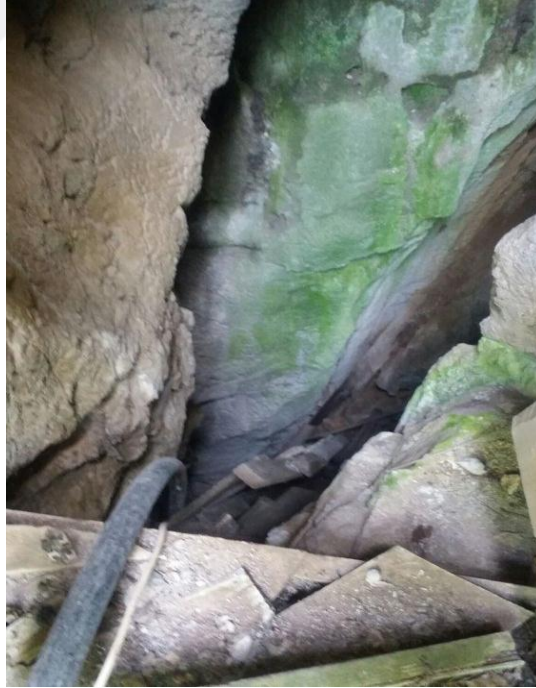
Kaplıcanın yer aldığı bölgede kuzey-güney yönlü paralel iki fay hattı arasında, yer yer lavlardan meydana gelmiş kütleler yükselir. Bu yükselen kütleler, Tersiyer flişlerindeki nümitik kalkerleri arasında yer alır (Bilecen ve Öz, 1974).



Şekil 3.9 Girmeler mağarasına ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 3.10 Girmeler mağara girişi (Kişisel arşiv, 2018)



Şekil 3.11 Girmeler Mağarası içinde, sıcak su çıkışının olduğu dar havuzlar (Kişisel arşiv, 2018)

BÖLÜM DÖRT

HİDROJEOKİMYA

4.1 Amaç ve Kapsam

Fethiye Girmeler Ilıcası ve çevresinde yapılan çalışmalar sonucunda yüzey suları ve yeraltı suları olmak üzere altı farklı noktadan su örnekleri alınmıştır. Alınan bu su örneklerinin pH, EC, sıcaklık, tuzluluk değerlerini belirlemek için arazide, multimetre ile yerinde ölçümler yapılmıştır. Suların kimyasal değerlendirmeleri laboratuvar ortamında yapılmış olup bulunan değerlerin sonucunda suların kökeni, birbirleriyle olan ilişkileri, sınıflandırılması yapılmıştır.

İnceleme alanından alınmış sıcak ve soğuk su numuneleri üzerinde yapılan çalışmalarla suların hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiş, majör iyonları tespit edilmiştir. Daha önce Bilecen ve Öz (1974), tarafından alınmış üç tane, Avşar ve diğer. (2016), tarafından alınmış iki tane su örneğinin analiz sonuçları da bu tablolara eklenmiş ve yorumlanmıştır. Bu değerler Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Suların fiziksel kimyasal özellikleri belirlenmiş, yorumlamaları yapmak için Piper Üçgen, Schoeller Yarı Logaritmik, Durov, ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları kullanılmıştır. Bu diyagramlar ve tez içerisinde yer alan tablolar oluşturulurken AquaChem, Watch 2.1 (Arnorsson ve diğer., 1983 ve Bjarnasson, 1994), PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999), Microsoft Excel programları kullanılmıştır.

Sular içerdikleri başlıca iyonların oranlarına bağlı olarak sınıflandırılmış, hidrokimyasal fasiyes tipleri belirlenmiştir. Bu orana dayalı olarak, suları isimlendirmek, birbirleri üzerinde nasıl etkileri olduğunu belirlemek ve karşılaştırmak, kökeni hakkında fikir sahibi olmak amacıyla çalışmalar yapılır. Back (1966) ile hayat bulmuş bir kavrama göre suda çözünen iyonlardan anyon ve katyonlar ayrı ayrı olarak meq/l cinsinden %50’den fazla ise iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirler. İyonların hiçbiri %50’yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtir.

Suların karşılaştırılabilmesi açısından gerçekleştirilen hidrojeokimyasal analizler yorumlarken suda çözünmüş başlıca iyonlardan her birinin anyon ve katyon yüzdeleri (mek/l), iyon etkinlik katsayıları (f), iyon etkinlikleri (aC), miligram (mg/l) olarak analiz edilen değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

İnceleme alanından alınan yüzey ve yer altı su örnekleri FT-1, FT-2, FT-3, FT-4, FT-5 ve FT-6 olarak isimlendirilmiştir. Örneklerin alındığı noktalar sırasıyla Eşen Çayı, Tezlidere, Girmeler, Kızgözü, Yakapark ve Yakadere'dir. Suların sıcaklıkları 9,80-36,5 °C aralığında değişirken, elektriksel iletkenlik değerleri 242-415 µS/cm aralığındadır, pH değerleri ise 4,40 - 8,70 aralığındadır. En düşük elektriksel iletkenlik değeri 242 µS/cm ile soğuk su örneklerimizden biri olan olan FT-6' ya aittir. Bu kaynağın mevsimsel yağışlardan beslendiği ya da su-kayaç ilişkisinin kısa süreli olabilme ihtimalleri sebebiyle elektriksel iletkenlik değerinin düşük olduğu söylenebilir. Jeotermal örneklerimizde elektriksel iletkenlik değerinin yüksek olmasının sebebi ise bölgedeki sıcak suların içerdiği çözünmüş madde miktarının deniz suyunun içerdiği çözünmüş madde miktarına oranla daha fazla olmasıdır. Suların elektriksel iletkenlik değerleri arasındaki bu farklılık, jeotermal suların toplam çözünmüş madde bakımından zengin olduğunu bize gösterir. Yapılan su analizleri sonucunda inceleme alanımızda bulunan jeotermal kaynağımızın klorür miktarının yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuçtan yola çıkarak deniz suyunun jeotermal sulara karışmış olabileceği söylenebilir.

Tablo 4.1 İnceleme alanında bulunan su noktaları (*Bilecen ve Öz, 1974'ten alınan analiz sonuçları, **Avşar ve diğer., 2016'dan alınan analiz sonuçları)

Örnek No	Yer Adı	Tarih	Nokta Tipi	Nitelik	X	Y	T (°C)	EC	pH
FT-1	Eşen Çayı	17.04.2018	Yeraltı	Kaynak	711730	4057263	20,30	409	8,70
FT-2	Tezlidere	17.04.2018	Yüzey	Dere	711794	4056068	23,70	303	8,50
FT-3	Girmeler	17.04.2018	Yeraltı	Kaynak	713174	4052091	30,80	4120	4,40
FT-4	Kızgözü	17.04.2018	Yüzey	Dere	718275	4048589	10,60	418	7,90
FT-5	Yakapark	17.04.2018	Yeraltı	Kaynak	718449	4048044	9,80	264	7,90
FT-6	Yakadere	17.04.2018	Yeraltı	Kaynak	716447	4048652	17,70	242	7,70
FT-7*	Girmeler-1	01.07.1974	Yeraltı	Kaynak	-	-	36,5	1750	7,35
FT-8*	Girmeler-2	01.07.1974	Yeraltı	Kaynak	-	-	36,5	1700	7,50
FT-9*	Girmeler-3	01.07.1974	Yeraltı	Kaynak	-	-	35,5	1720	6,30
FT-10**	Girmeler-a	09.01.2012	Yeraltı	Kaynak	713277	4052077	36,1	4150	7,38
FT-11**	Girmeler-b	09.01.2012	Yeraltı	Kaynak	713256	4052139	33,3	3606	7,54

Tablo 4.2 İnceleme alanında bulunan su noktalarının mevcut su analizleri (değerler mg/l) (* Bilecen ve Öz, 1974'ten alınan analiz sonuçları, **Avşar ve diğer., 2016'dan alınan analiz sonuçları)

Örnek No	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
FT-1	19,09	3,86	79,93	99,18	220,00	20,00	77,65
FT-2	25,03	3,09	104,16	93,90	244,00	10,00	62,65
FT-3	166,38	29,61	21,75	120,90	293,00	67,50	564,84
FT-4	19,22	1,66	103,53	7,91	159,00	11,00	48,73
FT-5	12,13	0,93	98,25	7,10	171,00	9,00	50,17
FT-6	14,96	2,02	127,70	98,72	305,00	18,00	34,49
FT-7*	524,17	10,08	323,06	85,98	328,18	860,00	800,00
FT-8*	524,17	10,07	319,99	89,09	333,75	860,00	800,00
FT-9*	524,17	10,07	319,99	89,09	277,55	850,00	845,00
FT-10**	401,00	19,00	365,00	93,00	347,00	708,00	695,00
FT-11**	377,00	18,00	323,00	92,00	334,00	684,00	648,00

4.2 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş Başlıca İyonlar

İnceleme alanımızdaki jeotermal ve soğuk suların, AquaChem bilgisayar programı kullanılarak kimyasal analizleri yapılmıştır. Bu analizler, suların akifer sistemleri ve karışım oranları hakkında bilgi edinmek, yeraltı sularının kökenini ve iyon derişimlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre suların Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃ içerdiği belirlenmiş olup sonuçlar Tablo 4.2’de gösterilmiştir.

Yapılan analiz sonuçları incelendiğinde örnek sularda en yüksek sodyum miktarı Girmeler bölgesinden alınan jeotermal su örneğinde bulunmuştur. Bu değer 166,88 mg/l olup büyük bir farkla 1-20 mg/l olan sınır değerlerin üzerindedir. Alınan diğer su örneklerinin sodyum miktarları 12,13 – 19,22 mg’l olarak değişmektedir. Tezlidere örneğimiz de 25,03 mg/l olarak olması gereken değerlerin üzerinde bulunmuştur. Sulardaki potasyum miktarı incelendiğinde en yüksek değer 29,61 mg/l olarak jeotermal su örneğimizde belirlenmiştir. Diğer su örneklerinin potasyum miktarları 0,93 – 3,86 mg/l arasında değişiklik göstermektedir. Suların klorür ve bikarbonat miktarları, içilebilir olmaması yönünden sırasıyla 200-600 mg’l ve 10 – 800 mg/l olan sınır değerlerinin altında bulunmuştur. Örnek sular içerdikleri sülfat miktarına göre değerlendirildiğinde jeotermal su örneğimizde 564,84 mg/l olan sınır

değerlerimizin üzerinde bir oran çıkmıştır. İçme sularında 25 – 250 mg/l olması gereken sülfat miktarı alınan diğer su örneklerinde normal değerlerindedir. Sülfat miktarı 50 mg/l'den fazla olan jeotermal sularda hidrojen sülfürün oksidasyonunun bu artışa neden olduğu bilinmektedir (Tarcan, 2002). Bizim jeotermal su örneğimizde de bu durum gözlenmektedir. Aldığımız jeotermal örneğin içerdiği magnezyum miktarının 120,90 mg/l olduğu, diğer örneklerde bulunan magnezyum miktarının ise 10-100 mg/l olan sınır değerlerini aşmadığı belirlenmiştir.

4.3 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş İkincil İyonlar

İnceleme alanından alınan su örnekleri üzerinde yapılan eser element analizleri sonucunda suların Fe, Mn, Li, B, Al, Zn, Sr, Ba As, Si içerdiği belirlenmiştir. Sularda bulunan ikincil iyonlar da başlıca iyonlarda olduğu gibi suların hangi kökenden geldiğini, hidrojeokimyasal özelliklerini ve içilebilirliklerini belirler. Tablo 4.3'te bölgede yer alan suların eser element analizleri verilmiştir. Çalıştığımız alandan alınan su örnekleri için yapılan analizlerinde Si değeri hatalı hesaplandığı için tabloya dahil edilmemiştir. Bunun yerinde ilerleyen bölümlerde yer alan hesaplamalarda kullanmak üzere, Avşar ve diğer. (2016) tarafından aynı bölgede yapılmış olan çalışmalardan Girmeler Ilıcası su örneğinin SiO₂ değeri alınmıştır.

Analiz sonuçlarına göre lityum ve arsenik sadece Girmeler bölgesinden alınan jeotermal su örneğimizde bulunur. Lityumun sularda fazla miktarda bulunmasının zehirleyici etkisi olduğu ve kaplıca ile maden sularında az miktarda bulunduğu bilinmektedir (Tarcan, 2002). Jeotermal su örneğimizde bu değer 0,19 mg/l olarak bulunmuştur. Sularda arsenik miktarının da fazla bulunmasının aynı şekilde zehirleyici etkileri olduğu bilinmektedir ve arsenik derişimi yüksek olan suların uzun vadede tüketilmesi insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. İnceleme alanımızdan aldığımız jeotermal su örneğinde sınır değeri aşmayacak miktarda arsenik bulunmuştur. Bu değer 0,27 mg/l'dir. Yeraltı sularında 0,01 – 1 mg'l arasında bulunan stronsiyumun örnek sulardaki derişimleri incelendiğinde jeotermal su örneğinde bu değer 0,65 mg/l olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer sınırları aşmamış ancak diğer su örneklerine göre derişiminin daha yüksek olduğu

belirlenmiştir. Jeotermal sular için belirleyici bir bileşen olarak bilinen bor, örnek suların derişimleri karşılaştırıldığında jeotermal su örneğimiz içinde 0,82 mg/l olan derişimi ile belirleyici olmuştur. Alınan diğer su örneklerinin bor derişimlerinin 0,04 – 0,1 mg/l arasında değıştığı belirlenmiştir. Örnek suların bor değerlerinin, içme sularında bulunması gereken ve 1,0 mg/l olan sınır değerini geçmediğı görölmüştür. TS 266 (2005)’nın belirlediğı özellikler Tablo 4.4’te gösterilmiştir.

Tablo.4.3 İnceleme alanındaki sularda bulunan eser elementler (değerler mg/l)

Örnek No	Tarih	Fe ⁺²	Mn ⁺²	Li ⁺	B ⁺³	Al ⁺³	Zn ⁺²	Sr ⁺²	Ba ⁺²	As ⁺³
FT-1	17.05.2018	0,41	0,15	0	0,04	0,01	0,02	0,18	0,05	0
FT-2	17.05.2018	0,63	0,11	0	0,03	0,01	0	0,21	0,03	0
FT-3	17.05.2018	0,32	0,34	0,19	0,82	0,11	0,08	0,65	0,04	0,27
FT-4	17.05.2018	0,68	0,22	0	0,01	0,01	0,01	0,12	0,01	0
FT-5	17.05.2018	0,52	0,47	0	0,01	0,01	0	0,06	0	0
FT-6	17.05.2018	0,29	0,46	0	0,01	0,01	0	0,12	0,02	0

Tablo 4.4 İçme suyu kalite parametreleri TS 2005'ya göre

	Değer, en çok		
Özellik	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2	Birim
Antimon	5	5	mg/L
Arsenik	10	10	mg/L
Benzen	1	1	mg/L
Bor	1	1	mg/L
Bromat	10	10	mg/L
Kadmiyum	5	5	mg/L
Krom	50	50	mg/L
Bakır	100	200	mg/L
Siyanür	50	50	mg/L
Florür	1	1,5	mg/L
Kurşun	10	10	mg/L
Cıva	1	1	mg/L
Nikel	20	20	mg/L
Nitrat	25	50	mg/L
Selenyum	10	10	mg/L
Alüminyum, en çok	200	200	mg/L
Amonyum, en çok	0,05	0,5	mg/L
Klorür, en çok	30	250	mg/L
İletkenlik 20 0 C	650	2500	mS/cm
Ph	6,5 <pH<9,5	6,5 <pH<9,5	pH birimi
Demir, en çok	50	200	mg/L
Mangan, en çok	20	50	mg/L
Sülfat, en çok	25	250	mg/L
Sodyum, en çok	100	200	mg/L

- Tip 1 sular, işlem görmüş kaynak (memba) suları
- Tip 2 sular, içme ve kullanma suları
- Sınıf 1, kaynak memba suları
- Sınıf 2, kaynak suları dışında insani tüketim amaçlı sular

4.4 Suların Fiziksel Özellikleri

Fethiye Girmeler İlçası ve çevresinin araştırıldığı bu çalışmada inceleme alanından su örnekleri 17.04.2018 tarihinde alınmıştır. Araziye yapılan yerinde ölçümler sonunda suların elektriksel iletkenlik (EC), sıcaklık (T), pH, tuzluluk, sertlik gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

4.4.1 Suların Sertliği

Önemli fiziksel bir özellik olan sertlik magnezyum ve kalsiyumun suda çözülmesi halinde olmasından meydana gelir. Bahsedilen bu elementlerin geçici sertliğe yol açtığı, durumun önüne geçmenin kaynatma işlemi ile mümkün olduğu bilinmektedir. Kaynatılarak gideremediğimiz sertlik, diğer tuzların sebep olduğu sertlik değeridir, bu değer kalıcı sertlik olarak adlandırılır. Suların sertliklerine göre sınıflandırılması Tablo 4.5'te gösterilmiştir. Suların sertlik değeri aşağıda gösterilen formül ile hesaplanır:

$$\text{Toplam sertlik} = 5 \times (r\text{Ca}^{++} + r\text{Mg}^{++}) \quad r = (\text{mek/l}) \quad (4.1)$$

İnceleme alanından alınan su örneklerinin sertlik değerleri, FT-1, FT-2, FT-3, FT-4, FT-5, FT-6 olarak isimlendirilen sularda sırasıyla 60,75 mek/l, 64,62 mek/l, 55,17 mek/l, 29,09 mek/l, 27,44 mek/l, 72,48 mek/l olarak belirlenmiş olup Tablo 4.5'da gösterilmiştir.

Tablo 4.5 İnceleme alanındaki suların Fransız sertliğine göre sınıflandırılması

Fransız Sertliği	Suyun Sınıfı	Örnek No	Yer Adı	Fransız Sertlik Değeri	Su Sınıflaması
0,0-7,2	Çok yumuşak	FT-1	Eşen Çayı	60,75	Çok Sert
7,2-14,5	Yumuşak	FT-2	Tezlidere	64,62	Çok Sert
14,5-21,5	Az sert	FT-3	Girmeler	55,17	Çok Sert
21,5-32,5	Oldukça sert	FT-4	Kızgölü	29,09	Oldukça Sert
32,5-54	Sert	FT-5	Yakapark	27,44	Oldukça Sert
>54,0	Çok sert	FT-6	Yakadere	72,48	Çok Sert

4.4.2 Diğer Fiziksel Özellikler

Soğuk yeraltı sularında pH 4-9 olup, termal sularda ise pH kaynama ile farklılık gösterir. pH akışkanın tuzluluk ve sıcaklığından etkilenir ayrıca akışkanın daha alkali olmasına karbondioksitin ortamdan uzaklaşmasına sebep olur (Nicholson, 1993). Suların elektriksel iletkenliği EC olarak ifade edilir. Birimi $\mu\text{S/cm}$ 'dir. Bu değer suların iyon cinsine, derişimine ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Elektriksel iletkenlik özelliklerine göre sınıflandırılmaları Erguvanlı ve Yüzer (1973) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre inceleme alanından alınan su örneklerinden

Eşen Çayı, Tezlidere, Kızgölü ve Yakapark “iyi”, Girmeler jeotermal kaynağı “kullanılamaz”, Yakadere ise “çok iyi” sular sınıfında yer alır. Sular sıcaklık değerlerine göre incelendiğinde örnek sular arasında en yüksek sıcaklık değeri 30,8 °C ile Girmeler bölgesinden alınmış jeotermal su kaynağına aittir. Tuzluluk değeri ise % 2’dir. Diğer suların tuzluluk değerlerinin sıfır olduğu yapılan incelemelerde belirlenmiştir. Örnek suların pH, sıcaklık ve EC değerleri ile EC’ye göre sınıflandırılması ile Erguvanlı ve Yüzer (1973) tarafından oluşturulmuş EC sınıflaması Tablo 4.6’de verilmiştir.

Tablo 4.6 İnceleme alanında yer alan suların EC, pH, sıcaklık değerleri

Örnek No	pH	Sıcaklık (°C)	EC (mikroS/cm)	EC Sınıflaması	EC	Sınıf
					(mikroS/cm)	
FT-1	8,7	20,3	409	İyi	<250	Çok İyi
FT-2	8,5	23,7	303	İyi	250-750	İyi
FT-3	4,4	30,8	4120	Kullanılmaz	750-2000	Kullanılabilir
FT-4	7,9	10,6	418	İyi	2000-3000	Şüpheli
FT-5	7,9	9,8	264	İyi	>3000	Kullanılmaz
FT-6	7,7	17,7	242	Çok iyi		

4.5 Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflandırılması

4.5.1 IAH’a Göre Suların Sınıflandırılması

Suların fasiyes tipleri, suda çözünen başlıca iyonların; anyon ve katyonların su içerisinde bulunma yüzdelerine göre belirlenir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği sınıflamasında (IAH) suda çözülmüş başlıca iyonlar olan anyon ve katyonlardan ayrı ayrı olacak şekilde mek/l cinsinden %20’den fazla çözülmüş olan su tipini belirttiği bilinmektedir (Başkan ve Canik, 1983).

İnceleme alanından su örneklerinin fasiyes tiplerine göre sınıflandırılması IAH sınıflamasına göre yapılmıştır (Tablo 4.7).

Su örnekleri incelendiğinde fasiyes tipleri farklılıklar göstermektedir. FT-1 ve FT-2 olarak isimlendirilen Eşen Çayı ve Tezlidere'den alınan örneklerde fasiyes tipi $\text{Mg-Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$, FT-3 olarak isimlendirilen Girmeler Kaplıcası'nda bulunan jeotermal suyun fasiyes tipi $\text{Mg-Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ olarak belirlenmiştir. FT-4 ve FT-5 olan Kızgölü ve Yakapark'ta ise suların fasiyes tipleri $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$ olup, FT-6 örneğindeki fasiyes tipi Mg-Ca-HCO_3 'tür

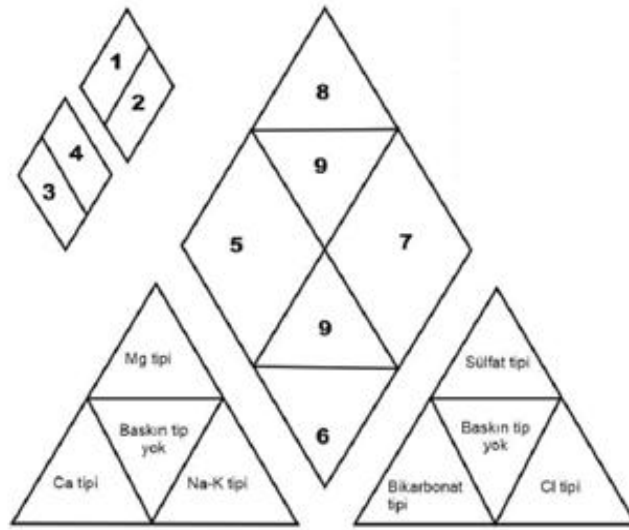
Tablo 4.7 IAH ve örnek suların hidrokimyasal fasiyes tipleri

Örnek No	Yer Adı	Tarih	IAH'a Göre
FT-1	Eşen Çayı	17.04.2018	$\text{Mg-Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$
FT-2	Tezlidere	17.04.2018	$\text{Mg-Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$
FT-3	Girmeler	17.04.2018	$\text{Mg-Na-SO}_4\text{-HCO}_3$
FT-4	Kızgölü	17.04.2018	$\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$
FT-5	Yakapark	17.04.2018	$\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$
FT-6	Yakadere	17.04.2018	Mg-Ca-HCO_3

4.5.2 Piper Üçgen Diyagram ile Suların Sınıflandırılması

Bu diyagramda, iyonların tamamının bulunduğu bir dörtgen yer alır. İki üçgen üzerinde ise birinde anyonlar, diğerinde katyonlar bulunacak şekilde yerleştirilir (Tarcan, 2002). Eşkenar dörtgen dokuz bölüme ayrılmıştır olup bu bölümler Piper üçgen diyagram üzerinde Şekil 4.1'te gösterilmiştir. İnceleme alanından alınan su örneklerine ait Piper üçgen diyagram ise Şekil 4.2'te gösterilmiştir.

Bu diyagrama göre, çalıştığımız alandan alınan örneklerden Eşen Çayı, Kızgölü, Yakapark, Yakadere ve Tezlidere'ye ait sular karbonat sertliğinin % 50'den fazla olduğu bilinen grupta yer alır. FT-3 olarak isimlendirilen Girmeler Ilıcası'ndan aldığımız jeotermal su örneğimizin ise 9 numaralı alanda, karışık suların olduğu grupta yer aldığı belirlenmiştir.



Alan 1: Alkali toprak elementler (Ca+Mg) > alkali elementler (Na+K)

Alan 2: Alkali toprak elementler (Ca+Mg) < alkali elementler (Na+K)

Alan 3: Zayıf asit kökleri ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$) > güçlü asit kökleri (Cl+ SO_4)

Alan 4: (Cl+ SO_4) > ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$)

Alan 5: Karbonat sertliği % 50'den fazla olan sular

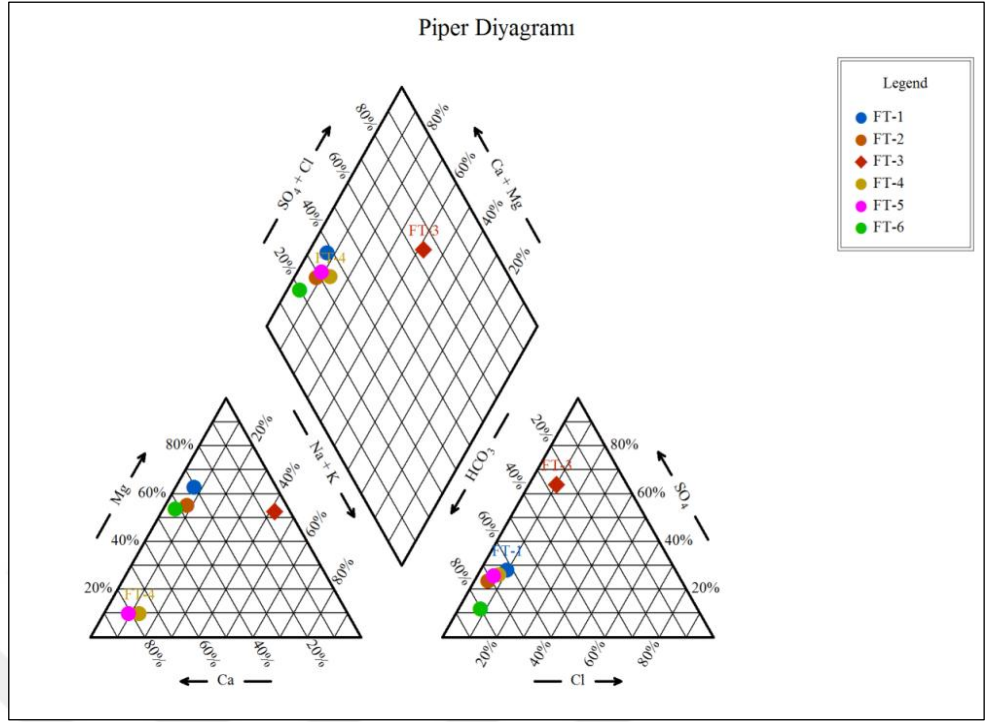
Alan 6: Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular

Alan 7: Karbonat olmayan alkalitesi % 50'den fazla olan sular, NaCl, KCl, Na_2SO_4 , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz suyu, çok acı sular ve bazı jeotermal sular bu alanda yer alır

Alan 8: Karbonat alkalileri % 50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer

Alan 9: İyonların hiçbirisi % 50'yi geçmeyen karışık sular

Şekil 4.1 Piper Üçgen Diyagramı



Şekil 4.2 İnceleme alanındaki sular, Piper Üçgen diyagram

4.5.3 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram İle Suların Sınıflandırılması

Diyagram üzerine sırasıyla Ca, Mg, Na+K, Cl ve CO_3+HCO_3 iyonlarının mek/l değerleri işaretlenerek birleştirilir. Bu şekilde suların sahip oldukları kimyasal özellikler kırık çizgiler aracılığı ile belirlenmiş olur. Kırık çizgiler bir su örneğini temsil eder. Kökenleri farklı olan suların hemen ayırt edilebileceği bu diyagramda, kökenleri birbirine benzeyen suların kırık çizgilerinin de birbirine benzediği bilinir. Schoeller suları, klorür, sülfat, karbonat ve bikarbonat miktarına göre sınıflamıştır. Bu sınıflandırmalar Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

İnceleme alanında yer alan sular, Şekil 4.3’te Schoeller Yarı Logaritmik diyagram üzerinde gösterilmiştir. Aynı zamanda alınan su örneklerinin klorür, sülfat, karbonat bikarbonat miktarına göre de sınıflandırması Tablo 4.9’da gösterilmiştir.

Schoeller’in sularda bulunan klorür derişimine göre yaptığı sınıflandırmada inceleme alanından alınan su örneklerinin, derişimleri 15 mek/l’den küçük olduğu için bu örnekler “olağan klorürlü sular” sınıfında yer alır.

Schoeller'in sularıda bulunan sülfat derişimine göre yaptığı sınıflandırmada ise su örneklerinde FT-1, FT-2, FT-4, FT-5, FT-6' nın sülfat derişimleri 6 mek/l'den küçük olduğu için "olağan sülfatlı sular" sınıfında yer alır. FT-3 olarak isimlendirilen jeotermal suyun sülfat derişimi 11,76 mek/l olup derişim değeri 6 mek/l, 1-24 mek/l arasında bulunduğu için "oligosülfatlı" sular sınıfında yer alır.

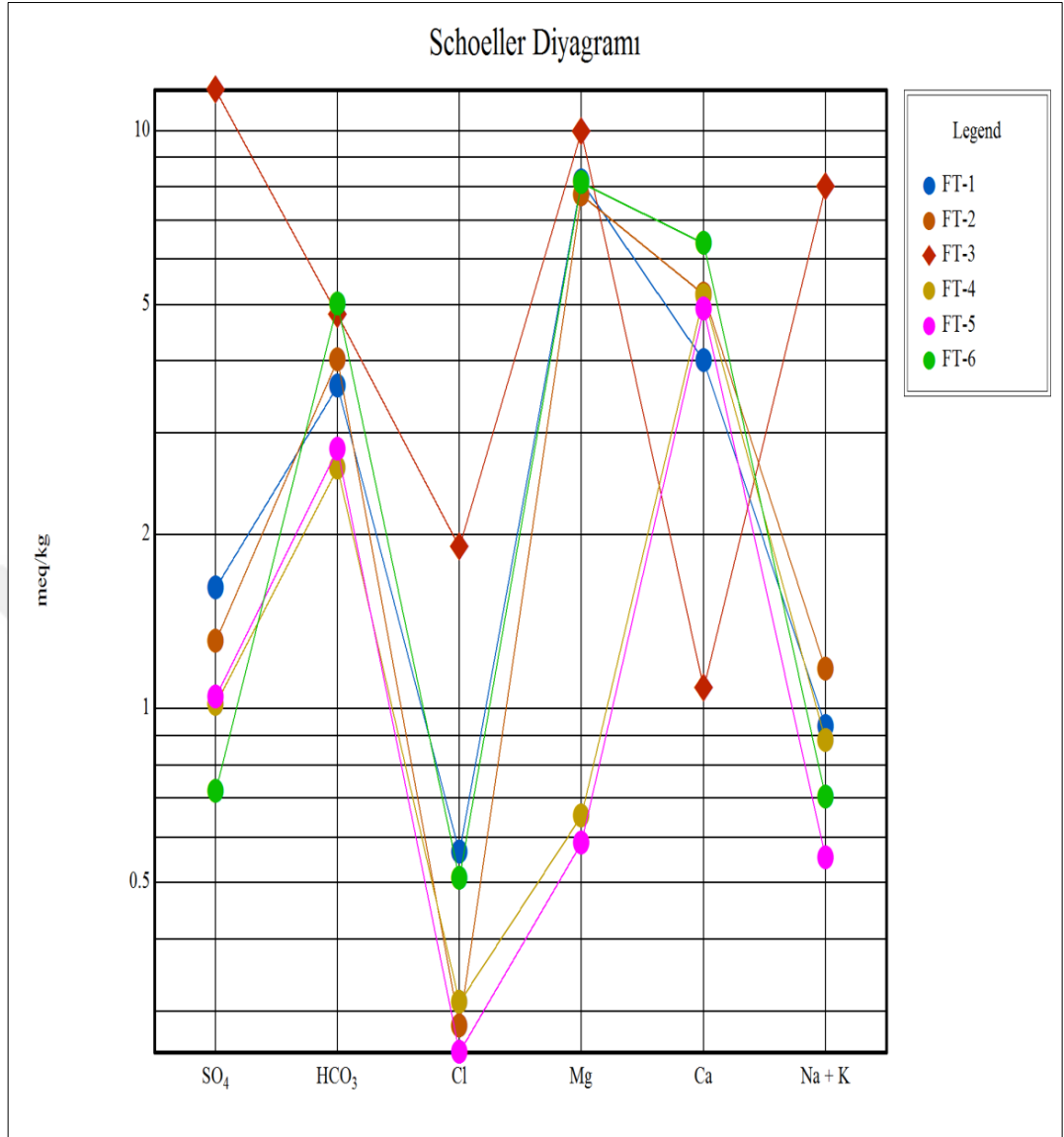
Schoeller'in sularda bulunan karbonat ve bikarbonat derişimlerine göre yaptığı sınıflandırmada alınan su örneklerinden FT-1, FT-2, FT-3, FT-4, FT-5, FT-6'nın karbonat bikarbonat derişimleri toplamı mek/l cinsinden sırasıyla 3,61 mek/l, 4,00 mek/l, 4,80 mek/l, 2,61 mek/l, 2,80 mek/l, 5,00 mek/l olup, örneklerin karbonat ve bikarbonat derişimleri toplamı 2 mek/l -7 mek/l arasında olduğu için bu sular "olağan karbonatlı sular" sınıfında yer almaktadır.

Tablo 4.8 Schoeller sınıflamaları

Su Sınıfı	Cl (mek/l)	Su Sınıfı	SO ₄ (mek/l)	Su Sınıfı	HCO ₃ +CO ₃ (mek/l)
HiperKlorürlü	>700	Hiposülfatlı	> 58	Hiper Karbonatlı	>7
Kloratalasik	420-700	Sülfatlı	24-58	Olağan Karbonatlı	2--7
Klorürce zengin	140-420	Oligosülfatlı	4--7	Az Karbonatlı	<2
Orta klorürlü	40-140	Olağan sülfatlı	<6		
Oligoklorürlü	15-40				
Olağan klorürlü	<15				

Tablo 4.9 İnceleme alanındaki suların Schoeller'e göre sınıflaması

Örnek No	Yer Adı	Cl mek/l	Su Sınıfı	SO ₄	Su Sınıfı	CO ₃ +HCO ₃ mek/l	Su Sınıfı
FT-1	Eşen Çayı	0,56	Olağan Klorürlü	1,62	Olağan sülfatlı	3,61	Olağan karbonatlı
FT-2	Tezlidere	0,28	Olağan Klorürlü	1,30	Olağan sülfatlı	4,00	Olağan karbonatlı
FT-3	Girmeler	1,90	Olağan Klorürlü	11,76	Oligosülfatlı	4,80	Olağan karbonatlı
FT-4	Kızgölü	0,31	Olağan Klorürlü	1,01	Olağan sülfatlı	2,61	Olağan karbonatlı
FT-5	Yakapark	0,25	Olağan Klorürlü	1,04	Olağan sülfatlı	2,80	Olağan karbonatlı
FT-6	Yakadere	0,51	Olağan Klorürlü	0,72	Olağan sülfatlı	5,00	Olağan karbonatlı



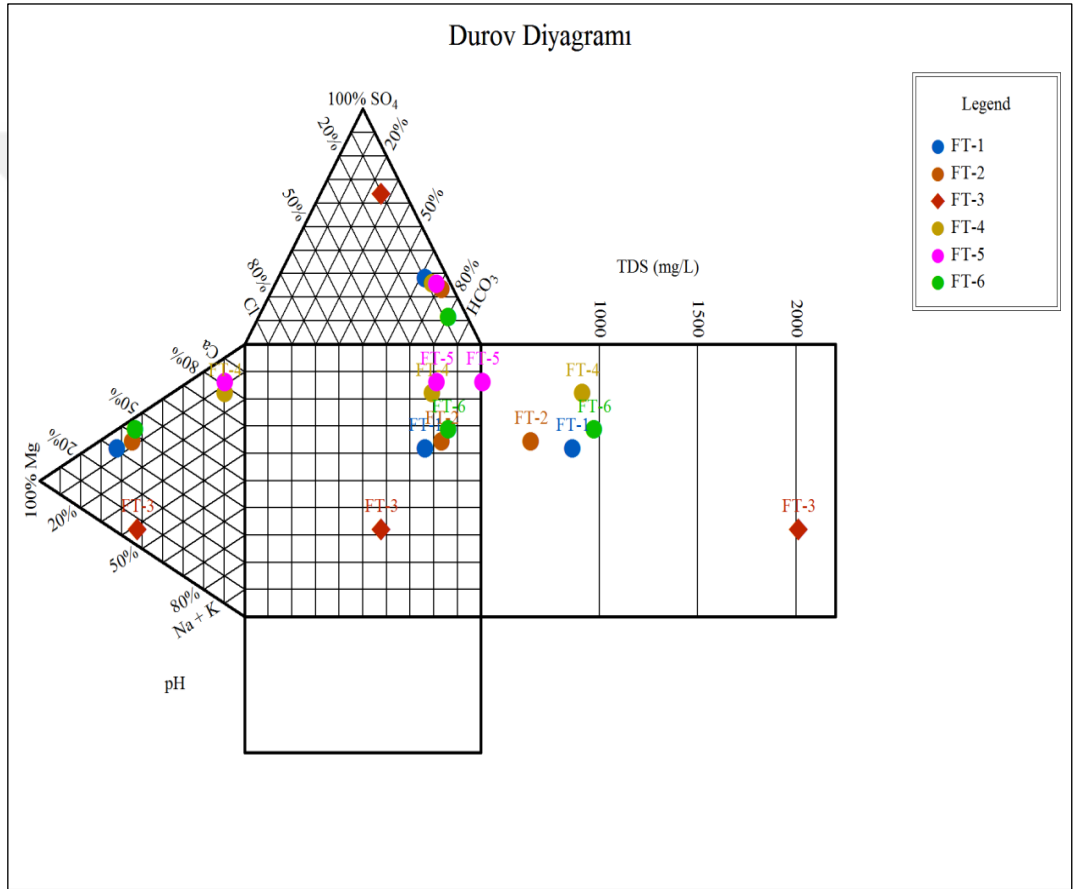
4.3 İnceleme alanındaki suların Schoeller Yarı Logaritmik diyagramı

4.5.4 Durov Diyagramı'na Göre Suların Sınıflandırılması

Durov diyagramı oluşturulurken alınan su örneklerinin analiz sonuçlarından mek/l değerlerinin yüzdeleri alınır. Diyagramın üzerinde anyon ve katyonlar gösterildiği üçgenin ucunda bulunan bileşenlerin mek/l değerlerinin birbirlerine göre yüzdeleri hesaplanır, analiz sonuçları tek tek iki üçgen üzerine yerleştirilir. Anyon ve katyonlar için hazırlanan bu üçgenlerin üzerinde işaretlenen analiz sonuçları, Durov Diyagramında bulunan üçgenlerin birer kenarlarını oluşturduğu kare alandan hizalanarak işaretlenir. Diyagram oluşturulmaya hazır hale geldiğinde, alınan su

örneklerinin birbirlerine göre içerdikleri bileşenler doğrultusunda durumu incelenir ve yorumlanır.

İnceleme alanı olan Fethiye Girmeler İlçası ve çevresinden alınan su örneklerinin elde edilen analiz sonuçlarının yer aldığı Durov Diyagramı Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Su örneklerimizin diyagram üzerinde aldığı yerler incelendiğinde HCO_3^- ve Mg^{2+} - Ca^{2+} iyonlarının baskın olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.4 İnceleme alanındaki sular, Durov Diyagramı

4.6 Sıcak ve Soğuk Yeraltı Sularının Kullanılabilme Özellikleri

İnceleme alanından alınan su örneklerinin içme ve kullanmaya uygun olup olmadığı suların sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), çözülmüş madde miktarı, köpürme katsayıları (F_0) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri bulunarak belirlenir.

4.6.1 Suların Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

Sodyum iyonunun sulama sularında fazla miktarda bulunması, toprağın yapısını bozarak geçirgenliği azaltır. Bu durum bitki köklerinin havalanmasına engel olur ve sulama işlemi yapıldıktan sonra yüzeyde kabuk oluşumları gözlenir. Suların sodyum miktarı % olarak aşağıda gösterilen formül yoluyla hesaplanır (Şahinci, 1991a);

$$\%Na=100 (Na+K)/(Ca+Mg+K+Na) \quad (4.2)$$

Bu bağıntının (mek/l) ikinci bir şekli ise şöyledir;

$$SAR= Na/[(Ca+Mg)/2]^{1/2} \quad (4.3)$$

İnceleme alanında yer alan su örneklerinin % Na ve SAR değerleri hesaplanmış, Şahinci (1991a) tarafından %SAR'a göre yapılan sınıflandırmada suların hangi sınıfa ait olduğu Tablo 4.10'de belirtilmiştir.

Tablo 4.10 İnceleme alanında yer alan suların SAR değerine göre sınıflandırılması

Örnek No	Yer Adı	SAR	% Na	SAR Sınıflaması	SINIF	SAR
FT-1	Eşen Çayı	0,34	7	Çok İyi Özellikle Sulama Suları	Çok iyi özellikte sulama suları	<10
FT-2	Tezlidere	0,43	8	Çok İyi Özellikle Sulama Suları	İyi özellikte sulama suları	10–18
FT-3	Girmeler	3,08	42	Çok İyi Özellikle Sulama Suları	Kullanılabilir özellikte sulama suları	18-26
FT-4	Kızgölü	0,49	13	Çok İyi Özellikle Sulama Suları	Kullanılmaz özellikte sulama suları	>26
FT-5	Yakapark	0,32	9	Çok İyi Özellikle Sulama Suları		
FT-6	Yakadere	0,24	5	Çok İyi Özellikle Sulama Suları		

4.6.2 Suların Wilcox'a Göre Sınıflandırılması

Sular, Wilcox tarafından elektriksel iletkenlik değeri, %Na, bor, sülfat ve klorür miktarına göstedikleri tepkileri ile sınıflandırılır (Şahinci, 1991a). Yapılan bu sınıflandırma Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

İnceleme alanından alınmış su örneklerinin %Na, rCl, rSO₄ ve EC değerleri bulunmuştur ve bu değerlere göre sınıflandırmalar yapılmış bu değerler Tablo 4.12'de gösterilmiştir. Suda bulunan bor miktarına göre yapılan sınıflandırma ve örnek suların bor derişimleri mg/l cinsinden da Tablo 4.13'te yer almaktadır.

Tablo 4.11 Sulama sularının Wilcox'a göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991a)

Suyun Sınıfı	% Na	rCl-	rSO ₄ -	EC (mikroS/cm)	Suda Bulunan Bor (mg/l)		
					Duyarlı bitkiler	Yarı dayanıklı bitkiler	Az dayanıklı bitkiler
Çok iyi	<20	<4	<4	<250	<0,33	<0,36	<1
İyi	20-40	4-7	4-7	250-750	0,33-0,67	0,67-1,33	1,00-2,00
Kullanılabilir	40-60	7-12	7-12	750-2000	0,67-1,00	1,33-2	2,00-3,00
Şüpheli	60-80	12-20	12-20	2000-3000	1,00-1,25	2-2,5	3,00-3,75
Kullanılmaz	>80	> 20	>20	>3000	>1,25	>2,5	>3,75

Tablo 4.12 Örnek suların %Na, rCl, rSO₄ ve EC değerleri ve sınıflaması (r=mek/l)

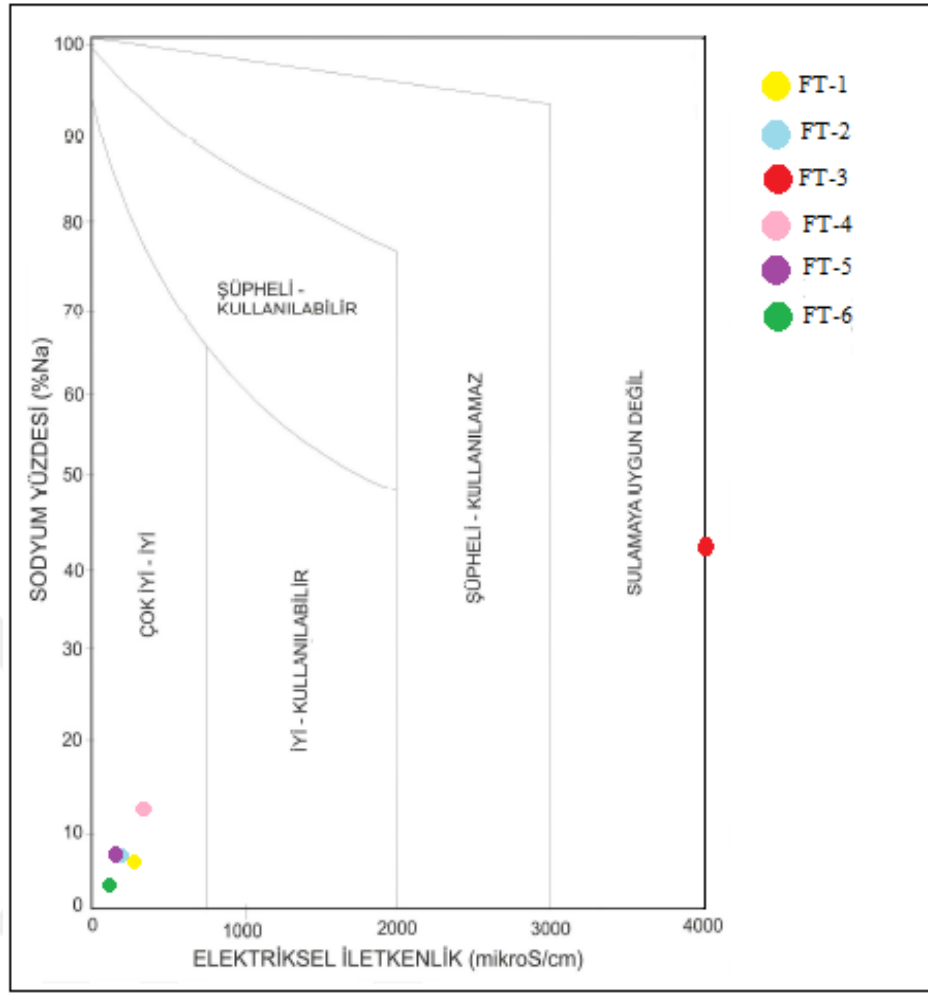
Örnek No	% Na	rCl	rSO ₄	EC	% Na	rCl	rSO ₄	EC
FT-1	7,1	0,56	1,62	409	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi	İyi
FT-2	8,29	0,28	1,30	303	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi	İyi
FT-3	42,01	1,90	11,76	4120	Kullanılabilir	Çok İyi	Kullanılabilir	Kullanılmaz
FT-4	13,12	0,31	1,01	418	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi	İyi
FT-5	9,13	0,25	1,04	264	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi	İyi
FT-6	4,62	0,51	0,72	242	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi	Çok iyi

Tablo 4.13 İnceleme alanındaki suların bor miktarına göre sınıflaması

Örnek No	Suda Bulunan Bor (mg/l)			
	B ⁺ (mg/l)	Duyarlı bitkiler	Yarı dayanıklı bitkiler	Az dayanıklı bitkiler
FT-1	0,04	Çok iyi	Çok iyi	Çok İyi
FT-2	0,03	Çok iyi	Çok iyi	Çok İyi
FT-3	0,82	Kullanılabilir	İyi	Çok İyi
FT-4	0,01	Çok iyi	Çok iyi	Çok İyi
FT-5	0,01	Çok iyi	Çok iyi	Çok İyi
FT-6	0,01	Çok iyi	Çok iyi	Çok İyi

Wilcox bu sınıflamaların yanı sıra suların sulama amacıyla kullanılmasına ilişkin bir diyagram geliştirmiştir. Wilcox diyagramı olarak bilinen bu diyagramda düşey eksen %Na miktarını, yatay eksen EC miktarını gösterir. Yatay eksen üzerinde, verilmiş olan EC değeri hesaplanır, sonra da yatay eksene dik bir çizgi çizilir. Burada suyun özelliği ise bu çizginin sodyumdan çizilen paraleli kestiği noktada ortaya çıkar.

İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramı üzerinde yerleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu diyagrama göre FT-1, FT-2, FT-4, FT-5, FT-6 olarak isimlendirilmiş su örnekleri Çok iyi-iyi sular sınıfında yer alırken, FT-3 olarak isimlendirilen jeotermal suyun sulamaya uygun olmadığı belirlenmiştir.



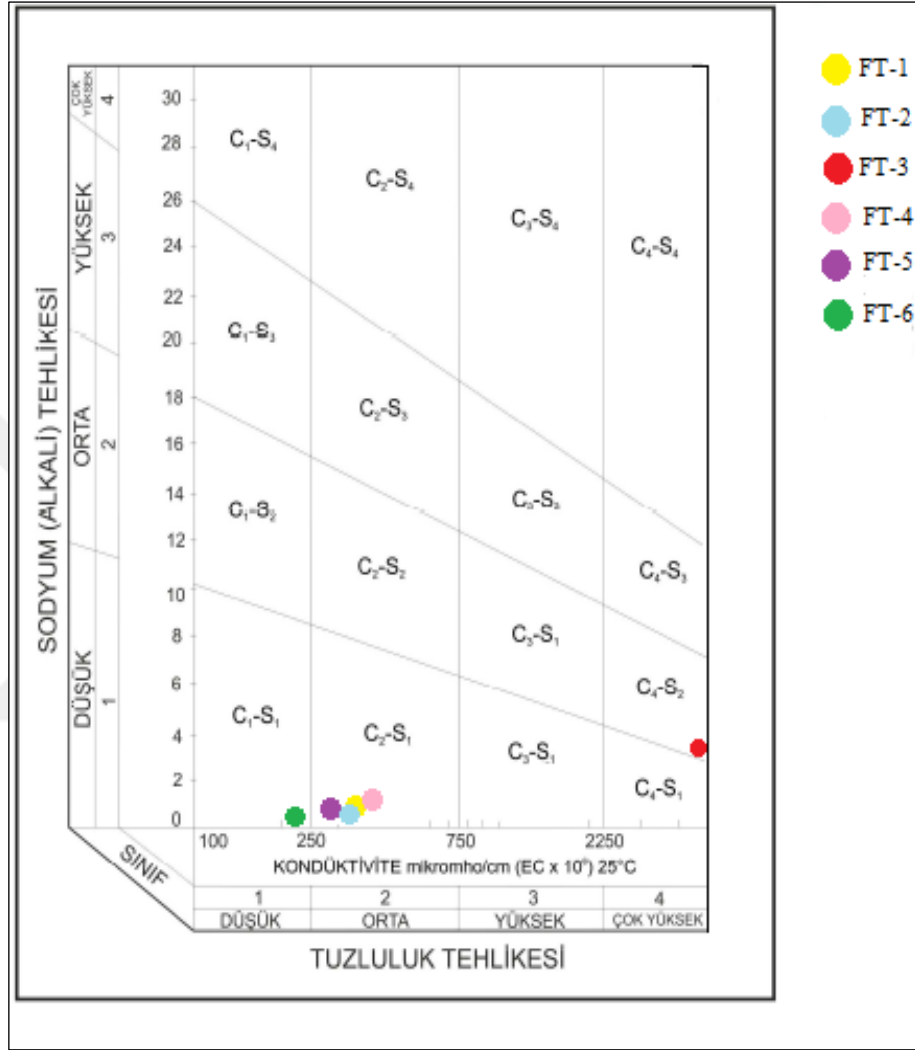
Şekil 4.5 İnceleme alanındaki suların, Wilcox diyagramında dağılımı

4.6.3 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Yatay ekseninde EC değerinin, dikey ekseninde SAR değerinin yer aldığı diyagramda sulama suları 16 sınıfa ayrılmıştır (Şahinci, 1991a).

İnceleme alanından alınmış örnek suların diyagram üzerindeki yerleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. FT-1, FT-2, FT-4, FT-5 isimli sular yani sırasıyla Eşen Çayı, Tezlidere, Kızılgölü ve Yakapark C₂-S₁ sınıfında yer almaktadır. Bu gruptaki suların elektriksel iletkenli değeri 250-750 μ S/cm arasında değişiklik gösterir, orta tuzlu sulardır, tuzluluk tehlikesi yaratmadığı için tüm bitkiler sulanabilir. FT-3 olarak isimlendirdiğimiz Girmeler Kaplıcası'ndan alınan jeotermal su C₄-S₂ sular sınıfındadır. Bu gruptaki suların elektriksel iletkenlik değeri 2250 μ S/cm ya da daha

fazla olup orta sodyumlu sular sınıfında yer alır. FT-6 isimli dereден alınan su ise C₁-S₁ sınıfındadır. Bu gruptaki suların elektriksel iletkenlik değeri 250 μ S/cm veya daha azdır. Az tuzlu sular olup sulamada kullanılabilir.



Şekil 4.6 İnceleme alanındaki suların, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

4.7 Sularının Mineral Doygunluk İndeksi Değerleri

Bu çalışmada incelediğimiz alandaki jeotermal suların mineral doygunluk indeksleri Watch 2.1 (Amorsson ve diğer., 1983 ve Bjarnason, 1994) bilgisayar programı kullanılarak kaynakların ölçülen sıcaklığının yanı sıra 25 °C-200 °C arasında 25 °C’de bir artış gösteren sekiz sıcaklık değeri için de hesaplamalar yapılmıştır. Örneklerin değerlendirilmesi (AquaChem-Calmbach, 1997) ile

yapılmıştır. Şekil ve grafiklerin oluşturulmasında Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

Doygunluk indeksi değeri SI ile gösterilir. Mineralin çözeltilerdeki doygunluk indeksleri aşağıdaki formül yoluyla bulunur (Langmuir, 1971).

$$SI = \log (IAP / Keq) \quad (4.5)$$

SI, doygunluk indeksi

IAP, iyon etkinlik ürünü,

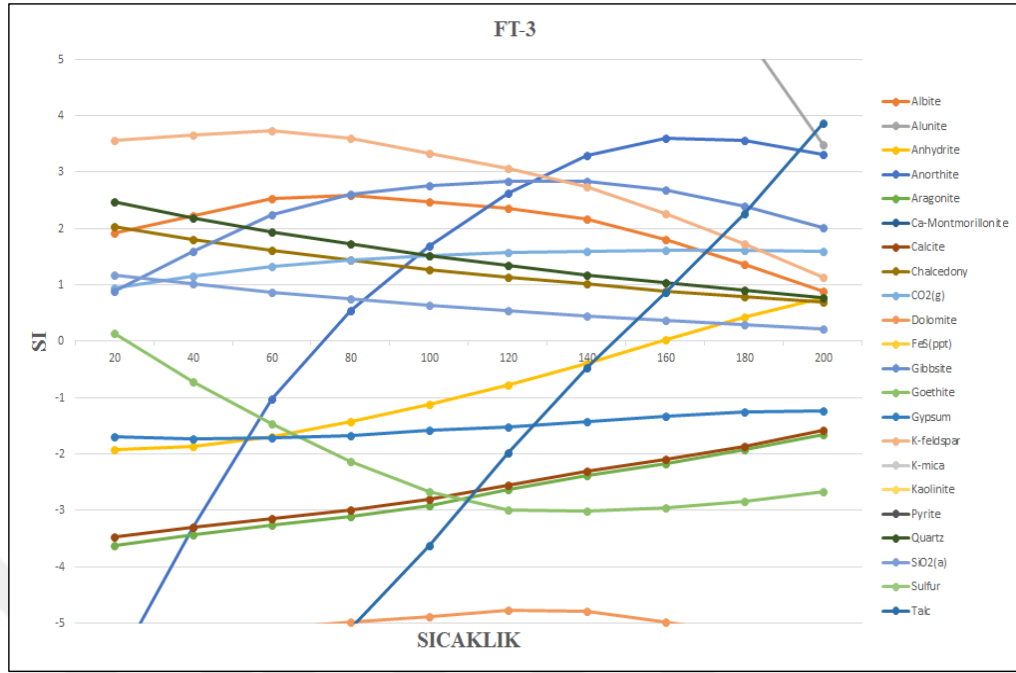
Keq, tepkime denge sabiti,

Minerallerin belirlenen doygunluk indeksi değeri (SI), $\log (Q/K)$ veya $\log (IAP/K)$ ifadeleriyle gösterilir. Mineraller için, basınca ve sıcaklığa bağlı olarak farklılaşan değerler gösterir (Tarcan, 2002). Doygunluk indeksi değeri sıfıra eşit olması suların doymuş, mineral ile denge halinde olduğunu gösterir. Sıfırdan büyük olan SI bize, aşırı doygunluğu işaret ederken, sıfırdan küçük olması ise doymuş olmayan bir değerimizin olduğunu belirtir.

İnceleme alanından alınmış FT-3 numaralı örneğin mineral doygunluk indeksi değerleri tabloda gösterilmiştir (Tablo 4.14). Bu örneklerle ait mineral doygunluk indeksi diyagramları tabloların hemen altında bulunmaktadır (Şekil 4.7).

Tablo 4.14 FT-3'ün mineral doygunluk indeksi değerleri

	SICAKLIK (°C)									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Kalsit	-3,47	-3,31	-3,14	-3	-2,81	-2,55	-2,3	-2,09	-1,86	-1,59
Aragonit	-3,62	-3,44	-3,26	-3,11	-2,91	-2,64	-2,38	-2,17	-1,93	-1,66
Dolomit	-5,92	-5,42	-5,09	-4,98	-4,88	-4,77	-4,79	-4,98	-5,2	-5,37
Siderit	-3,1	-2,95	-2,86	-2,87	-2,88	-2,87	-2,93	-3,06	-3,19	-3,27
Mangan	-13,02	-14,35	-15,49	-16,52	-17,38	-18	-18,28	-18,47	-18,58	-18,59
Kuvars	2,47	2,19	1,94	1,72	1,52	1,34	1,18	1,03	0,9	0,77
Kalsedon	2,03	1,8	1,61	1,43	1,27	1,13	1,01	0,89	0,79	0,69
Jips	-1,7	-1,73	-1,72	-1,67	-1,59	-1,52	-1,43	-1,34	-1,26	-1,24
Anhidrit	-1,93	-1,87	-1,7	-1,43	-1,12	-0,77	-0,39	0,02	0,42	0,77



Şekil 4.7 FT-3'ün mineral doygunluk indeksi diyagramında görünümü

4.8 Suların Hazne Kaya Sıcaklıklarının Tahmini

Yeraltında değişik sıcaklık ve basınç koşullarında bulunan jeotermal sular yüzeye soğuk sularla karışarak ve soğuyarak çıkarlar. Bu durumda jeotermal kaynağın akifer sıcaklığı ile yüzeye ulaştığında sahip olduğu sıcaklık arasında farklılıklar oluşur. Jeotermometreler bu değişikliklerden yola çıkarak rezervuar sıcaklığını hesaplamaya yönelik oluşturulan denklemler yardımıyla yapılan uygulamalardır.

Jeotermometreler, birleşik jeotermometre uygulamaları ve kimyasal jeotermometre uygulamaları olarak kullanılış şekillerine göre iki gruba ayrılır. Kimyasal jeotermometre hesaplamaları, kalitatif (niteliksel) ve kantitatif (niceliksel) olmak üzere iki başlık altında toplanır. Kantitatif jeotermometreler ise çözünürlüğe, iyon derişimine ve iyon etkinliğine bağlı olarak üç grupta incelenir.

Bu çalışmada örnek suların rezervuar sıcaklıklarının tahmini için kimyasal jeotermometreler, kombine bulunan sonuçlar diyagramlar ve tablolar üzerinde gösterilmiştir.

4.8.1 Kimyasal Jeotermometreler

Akifer (hazne kaya) sıcaklığının ne olduğunu öğrenmek adına en çok kullanılan jeotermometrelerdir, mineralli ve sıcak suların kimyasal özelliklerine bağlıdır. Kalitatif (niteliksel) ve kantitatif (sayısal) olmak üzere iki başlık altında incelenir. Bölgemizden aldığımız sıcak ve mineralli su örneğinin rezervuar sıcaklıklarının tahmin edilmesi amacıyla kullanılan jeotermometre hesaplamaları Tablo 4.15'te verilmiştir.

4.8.1.1 Kalitatif Jeotermometreler

Bu jeotermometrelerin çoğu uçucu maddelerin termal sularda ve zemindeki miktarlarına, dağılımlarına veya zemin gazlarındaki oranlarına dayanır (Tarcan, 2002). Jeotermal sularda bulunan bazı elementler ve bileşikler ile bunların oranları, suların sıcaklığı hakkında bilgi verebilmektedir. İnceleme alanımızdan alınan jeotermal su örneğimizde akifer sıcaklığının yüksek olabileceğini gösteren bazı elementlere rastlanmıştır. Bunlar Na, 1,66 mg/l; K, 29,81 mg/l; Cl, 67,50 mg/l; B 0,82 mg/l; Li, 0,19 mg/l ve Ar, 0,27 mg/l olarak belirlenmiştir. Akifer sıcaklığı hakkında en iyi bilgi veren silis için ise jeotermal su örneğimiz için silisyum değeri olarak daha önce Avşar ve diğer. (2016) tarafından yapılan çalışmada yer olan silisyum değeri kullanılmıştır. Bu değer 22 mg/l'dir. Kantitatif jeotermometrelerde Na/K, Cl/(HCO₃+CO₃), Cl/F, H₂/diğer gazlar (buhar dışında) gibi oranların yüksek olması akifer sıcaklığının da yüksek olabileceğini gösterir. Traverten çökelimlerinin gözlemlendiği jeotermal sularda ise düşük akifer sıcaklığının olduğu düşünülebilir.

4.8.1.2 Kantitatif Jeotermometreler

Kantitatif jeotermometreler olarak üç gruba ayrılır.

Bunlardan silis jeotermometreleri, çözünürlüğe bağlı olan jeotermometreler olarak bilinir. Kuvars çözünürlüğüne bağlı silis jeotermometreleri akifer sıcaklığının belirlenmesinde önemli hesaplamalar içerir. Mahon (1966) tarafından bulunan rezervuardaki sıcaklık ve içerdiği silisin miktarı arasındaki ilişki Fournier ve Rowe

(1966) tarafından geliştirilmiştir. Silisin, sıcaklıkla doğru orantılı olarak artan çözünürlüğünden yola çıkılarak farklı sıcaklıklarda jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır. Silis jeotermometrelerinin 150-225 °C sıcaklıkları arasında verdiği sonuçların iyi olduğu bilinir.. Bu değerlerden daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru çıkan jeotermal kaynakta silis çökelimi gözlenir (Tarcın, 2002).

İyon derişimine bağı jeotermometreler Na/K, Na-Li, K/Mg, Li/Mg, Li, Na-K-Ca, Mg düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometreleri olarak bilinir. Bu jeotermometreler oluşturulurken bir çözeltideki iyonların, yükü aynı olan farklı iyonların yer değıştirmesinden yola çıkılmıştır. Kullanılan jeotermometre bağıntılarının birbirinden farklı olmasının nedeni, her bağıntının kendi içindeki hidrojeokimyasal durumu gösteriyor olmasındandır.

Na/K, Na-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca jeotermometreleri suda kalsiyum iyonunun fazla bulunduğu durumlarda, hesaplama sonuçlarının yüksek çıktığı görülür. Na-K-Ca jeotermometresinin akifer sıcaklığında da çok yüksek değerler ortaya çıkabilir. Ca/Na (mol/l) oranı birden büyük olduğunda bu durum gözlenir. İnceleme alanına ait sıcak suların jeotermometre hesaplamaları yapılmış, bulunan sonuçlar Tablo 4.16'da gösterilmiştir. Bu sonuçlar numaralandırılırken, bağıntıların yer aldığı tablodaki sıra numaraları kullanılmamış, yeniden ardışık olarak numaralandırılmıştır. Normal değerlerin üzerinde çıkan sonuçlar tabloya eklenmemiştir.

Tablo 4.15 Sayısal değerdendirmede bazı kimyasal jeotermometre eşitlikleri (mg/l)

Jeotermometreler	Bağıntılar	Referanslar
1. SiO ₂ (Amorf silis)	$t = 731 / (4.52 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
2. SiO ₂ (α Kristobalit)	$t = 1000 / (4.78 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
3. SiO ₂ (β Kristobalit)	$t = 781 / (4.51 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
4. SiO ₂ (Kalsedon)	$t = 1032 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
5. SiO ₂ (Kuars)	$t = 1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
6. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t = 1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
7. SiO ₂ (Kalsedon, cond. soğ.)	$t = 1112 / (4.91 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
8. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t = 1264 / (5.31 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
9. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t = 1021 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
10. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t = 1164 / (4.9 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
11. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t = 1498 / (5.7 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
12. Na/K	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
13. Na/K	$t = 1319 / (1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
14. Na/K	$t = 777 / (0.70 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
15. Na/K	$t = 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Truesdell, 1976
16. Na/K	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979a
17. Na/K	$t = 1178 / (1.470 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Nieva ve Nieva, 1987
18. Na/K	$t = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Giggenbach vd., 1983
19. Na/K	$t = 908 / (0.692 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979a
20. SiO ₂ (Kalsedon) (mmol/l)	$t = 1101 / (0.11 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
21. K/Mg	$t = 4410 / (13.95 - \log \text{K}^2/\text{Mg}) - 273.15$	Giggenbach vd., 1983
22. Na-K-Ca (mmol)	$t = 1647 / (\log \text{Na/K} + \beta \log \sqrt{\text{a}/\text{Na} + 2.24}) - 273.15$	Fournier ve Truesdell, 1973
23. Na-K-Ca (R) magnezyum düzeltmeli	$R = (\text{Mg}/\text{Mg} + \text{Ca} + \text{K}) \times 100$ $t = 2200 / [5.470 - \log (\text{Li}/\text{Mg}0.5)] - 273.15$	Fournier ve Potter, 1979
24. Li/Mg	$t = 2200 / [5.470 - \log (\text{Li}/\text{Mg}0.5)] - 273.15$	Kharaka ve Mariner, 1989
25. Na/Li	$t = 1590 / [0.779 + \log (\text{Na}/\text{Li})] - 273.15$	Kharaka vd., 1982
26. Na/Li (mmol) Cl<0.3	$t = 1000 / [0.389 + \log (\text{Na}/\text{Li})] - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
27. Na-Li (mmol) Cl>0.3	$t = 1195 / [0.130 + \log (\text{Na}/\text{Li}0.5)] - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
28. Na/Ca	$t = 1096.7 / [3.08 - \log (\text{Na}/\text{Ca}0.5)] - 273.15$	Tonani, 1980
29. K/Ca	$t = 1930 / [3.861 - \log (\text{K}/\text{Ca}0.5)] - 273.15$	Tonani, 1980

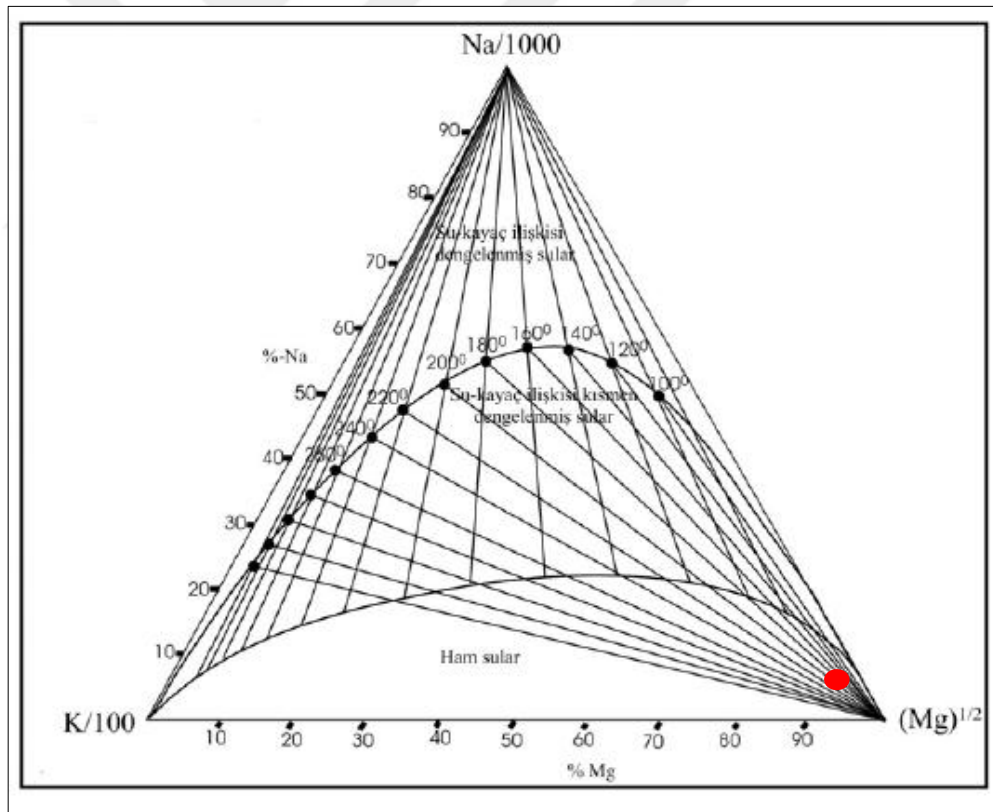
Tablo 4.16 İnceleme alanında bulunan sıcak suya ait jeotermometre sonuçları

JEOTERMOMETRELER	SICAKLIKLAR
1. SiO ₂ (Quartz-no steam loss)	67
2. SiO ₂ (Quartz-maximum steam loss)	72
3. SiO ₂ (Chalcedony)	67
4. SiO ₂ (Quartz)	49
5. SiO ₂ (Quartz)	67
6. SiO ₂ (Quartz)	52
7. SiO ₂ (Quartz)	54
8. SiO ₂ (chalcedony, conductif cooling)	39
9. SiO ₂ (Moganite)	7
10. SiO ₂ (alpha cristobalite)	18
11. SiO ₂ (chachedony after adiabatic steam loss to 100°C)	45
12. SiO ₂ (Quartz steam loss)	54
13. SiO ₂ (Quartz after adiabatic steam loss to 100°C)	71
14. SiO ₂ (Chalcedony)*	37
15. K-Mg	63

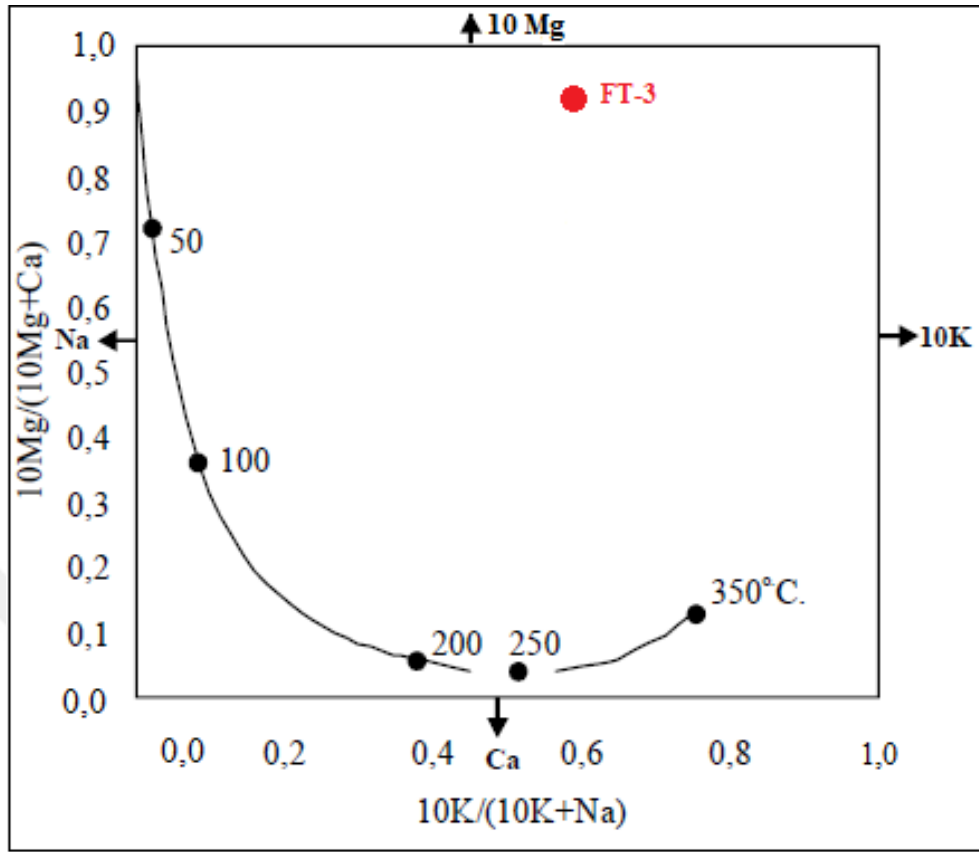
4.9 Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları

Birleşik jeotermometreler değerlendirilirken sıcak suların içerdikleri Na, K ve Mg iyonlarının mg/l cinsinden değerlerinden yola çıkarak sular üç grupta incelenir. Giggenbach (1988) tarafından, suların kayalarla olan ilişkilerindeki denge durumlarının belirlenmesi ve hazne sıcaklıklarının hesaplanması için oluşturulmuş üçgen diyagram üzerinde suların ayrılmış olduğu üç grup gösterilir. Kısaca bahsedecek olursak, diyagramda, ham sular olarak adlandırılan su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı bölüm, karışmış sular olarak adlandırılan su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu bölüm ve su-kayaç ilişkisinin tam dengede olduğu kısımlar yer alır. Na-K-Mg üçgen diyagramı olarak bilinen bu diyagramda olgunlaşmamış ham sular ile kısmen olgunlaşmış suları birbirinden ayıran bir eğri bulunur. Sıcak su örneğimizin Giggenbach (1988) üçgen diyagramında bulunduğu yer Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Giggenbach (1988) tarafından oluşturulan bir başka diyagram ise su-kayaç dengesini Na, K, Ca ve Mg katyonlarına bağlı olarak incelendiği diyagramdır. Bu diyagramda jeotermal sular $10K/(10K+Na)$ oranına karşın $10Mg/(10Mg+Ca)$ oranı ile değerlendirilir. İyonların mg/l cinsinden olan değerleriyle gerekli hesaplamalar yapılır. Diyagram üzerinde eğriye yakın olan su noktalarının, su-kayaç ilişkisindeki dengeye de yakın oldukları, tam tersi durumda, eğriden uzak olan su noktalarının da su-kayaç ilişkisindeki denge durumundan uzak olduğu bilinmektedir. Yorumlar bu bilgiler doğrultusunda yapılabilir. İnceleme alanımızdan alınmış jeotermal su örneğimizin Na-K-Ca-Mg diyagramı üzerinde gösterimi Şekil 4.9'da verilmiştir. Bu su örneğimizin $10K/(10K+Na)$ oranına göre hesaplandığında sonuç 0,6 mg/l çıkarken, $10Mg/(10Mg+Ca)$ oranında yapılan hesaplamalarda sonuç 0,9 mg/l olarak bulunmuştur.



Şekil 4.8 FT-3'ün Na-K-Mg üçgen diyagramında görünümü



Şekil 4.9 FT-3 Na-K-Mg-Ca diyagramında görünümü

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

İnceleme alanı olan Fethiye Girmeler Ilıcası ve çevresinde yapılan çalışmalar sonucunda bölgede yer alan kaya birileri belirlenmiştir. Temelini Menderes Masifi'ne ait Prekambriyen'den Triyas'a kadar olan yaştaki kayaların oluşturduğu inceleme alanında yer alan formasyonlar genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesitte gösterilmiştir. Alanda sırasıyla bulunan formasyonlar; Gebeler Formasyonu, Elmalı Formasyonu, Karapınar Formasyonu, Belenkavak Formasyonu, Ağaçalı Formasyonu, Babadağ Formasyonu, Kayaköy Dolomiti, Çövenliyayla Volkaniti, Marmaris Peridotiti, yamaç molozu ve alüvyon'dur. Akifer özelliği taşıyan birimler ise Neojen tortullarının karbonatları, Menderes Masifi'ne ait mermerler, karbonatlı kayalar ve alüvyondur.

Çalışma alanından altı farklı su noktasından su numuneleri alınmış, bu suların analizleri kimyasal türleştirme programları ile değerlendirilmiş, su noktalarının akifer özellikleri belirlenmiş, suların sınıflandırılması yapılmış, birbirleriyle olan ilişkileri belirlenmiş ve mineral doygunluk indeksleri irdelenmiştir. Sıcak ve mineralli sulara için jeotermometre hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca daha önce yapılmış olan çalışmalardan beş su noktasının analizleri alınmış ve değerlendirilmiştir.

Sıcak ve soğuk su örneklerinde yerinde ölçümler yapılmış suların ph, sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik gibi bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Örneklenen suların ph değerleri 4,40-8,70 arasında değişiklik gösterirken, EC değerleri 242-4120 mikroS/cm arasında değişir. Tuzlulukları 0-2 arasında olup sıcaklıklarının 9,80-30,80°C arasında değiştiği gözlenmiştir. Bunun bu verilerin tuzluluk, sıcaklık ve EC değerleri en yüksek olan jeotermal sulardır. Girmeler Ilıcası'ndan alınan jeotermal su örneğinin sıcaklık değeri 30,80 °C, EC değeri 4120 mikroS/cm, tuzluluk değeri 2'dir. ph değeri ise diğer sulara göre en düşük yine jeotermal suya ait iken en yüksek değer 8,70 ile Eşen Çayı'na aittir.

Yapılan kimyasal analizlere göre sıcak ve soğuk sular değerlendirilmiş ve suların sınıflandırmaları yapılmıştır. Sular Fransız sertlik değerine göre sınıflandırıldığında veriler 22,44-72,48 arasında değiştiği için sular, çok sert ve oldukça sert sular sınıfında yer alır. Sodyum adsorbsiyon oranı sınıflamasına göre aldıkları değerler 0,24-3,08 arasında olup çoğu çok iyi özellikte sulama suları sınıfındadır. Köpürme katsayıları hesaplandığında ise veriler 24,42-508,16 mek/l arasında değişir ve suların çoğu köpürmeyen su sınıfında yer alır. Jeotermal su ise çok köpüren su sınıfındadır.

Wilcox Diyagramı'na göre yapılan sınıflandırmada jeotermal suyun sulamaya uygun olmadığı diğer örneklerin ise sulamada kullanılabileceği belirlenmiştir. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı incelendiğinde FT-1, FT-2, FT-4, FT-5, orta tuzlu sular sınıfında yer alır ve tuzluluk tehlikesi yaratmadığı için sulamada kullanılabilir. FT-6 az tuzlu, az sodyumlu sular sınıfında yer alır FT-3 isimli jeotermal su çok tuzlu sular ve orta sodyumlu sular sınıfında yer alır.

Su örneklerinin IAH sınıflamasına göre hidrokimyasal fasiyes tipleri belirlenmiştir. Bu sınıflandırmaya göre FT-1, FT-2 Mg-Ca-HCO₃-SO₄, FT-3 Mg-Na-SO₄-HCO₃, FT-4, FT-5 Ca-HCO₃-SO₄ ve FT-6 Mg-Ca-HCO₃'lı sular sınıfında yer alır.

Schoeller'in, suların mek/l cinsinden klorür, sülfat karbonat ve bikarbonat derişimlerine göre yaptığı sınıflandırmalarda inceleme alanından alınan su örneklerinin klorür derişimleri 0,25 - 1,90 mek/l arasında değiştiği ve suların olağan klorürlü sular sınıfında olduğu belirlenmiştir. Sülfat derişimlerinin 0,72 - 11,76 mek/l arasında değişiklik gösterdiği, 11,76 mek/l olan en yüksek derişimle jeotermal suyun oligosülfatlı sular sınıfında, diğer suların ise olağan sülfatlı sular sınıfında yer aldığı bulunmuştur. İçerdikleri karbonat ve bikarbonat derişimlerinin toplamına göre suların değerleri 2,61- 5,00 mek/l arasında olup örnekler olağan karbonatlı sular sınıfında yer almıştır.

KAYNAKLAR

- Atabey, E. (2013). *Muğla İli Tıbbi Jeolojik Unsurları ve Halk Sağlığı* (1). Muğla: Esin Basımevi.
- Avşar, Ö., Kurtuluş, B., Gürsu, S., Kuşçu, G. ve Kaçaroğlu, F. (2016). Geochemical and isotopic characteristics of structurally controlled geothermal and mineral waters of Muğla. *Geothermics*, 64, 466-481.
- Alçıçek, M.C., Boyraz, S., Gül, A., Ulusal, F., ve Topal, S., (2006). Eşen vadisi Neojen tortullarının stratigrafisi ve sedimentolojisi, GB Anadolu. *TÜBİTAK Araştırma Projesi Raporu, Proje no: ÇAYDAG 104Y242*, Ankara.
- Arnorsson, S., (1983). Chemical equilibria in Icelandic geothermal system simplifications for chemical geothermometry investigations. *Geothermics* 12 (2-3), 119-128.
- Back, W. (1996). Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. U.S. *Geology Survey Professional Paper*, 498-A, 42.
- Başkan, M. E. ve Canik, B. (1983). *IAH Map of mineral and thermal waters of Turkey Aegean Region: MTA*, Ankara, Rapor no. 189, 80.
- Bilgin, Z.R., Metin, Y., Çörekçioğlu, E., Bilgiç, T. ve Şan, Ö. (1997). Bozburun Marmaris Köyceğiz Dalaman (Muğla) dolayının jeolojisi. *MTA*, Ankara, Rapor no. 10008
- Bilecen, L. ve Öz, G. (1974). *Türkiye maden suları* (1).

- Bozcu, M., Yağmurlu F. ve Şentürk, M. (2007). Fethiye-Burdur Fay Zonunun bazı neotektonik ve paleosismolojik özellikleri: GB-Türkiye. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31 (1), 25-48.
- Bjarnason, J.O. (1994). *The Speciation Program WATCH*, version 2.1. Orkustofnun, Reykjavik.
- Calmbach, L., (1997). *Aquachem Computer Code Version 3.7. 42*, Phreeqc (Parkhurst & Appelo, 1999) *Waterloo Hydrogeologic*. Waterloo, ON.
- Çapan, U., (1980). *Toros kuşağı ofiyolit masiflerinin iç yapıları, petrolojisi ve petrokimyalarına yaklaşımlar*. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Doyuran, V., (1999). *Fethiye Özel Çevre Koruma Bölgesi ve Su Kaynakları Yönetimi Projesi*. Jeoloji-Jeofizik Araştırma Merkezi, Ankara.
- Demirtaş, R. ve Yılmaz, R. (1996). *Türkiye'nin sismotektoniği*. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Erguvanlı, E. ve Yüzer, E. (1973). *Yeraltı suları jeolojisi*. İstanbul: İTÜ Matbaası
- Erakman, B., Meşhur, M., Gül, M. A., Alkan, H., Öztaş, Y. ve Akpınar, M. (1982). Fethiye-Köyceğiz-Tefenni-Elmalı-Kalkan arasında kalan alanın jeolojisi. *Türkiye Altıncı Petrol Kongresi Bildirileri*, 23-31.
- Fornier, R. O., ve Rowe, J.J., (1966). Estimatin of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet-steam wells. *American Journal of Science*, 246, 685-697.
- Fornier, R.O., (1977a). A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. *Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy*, 133-143.

Fornier, R.O., (1997b). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy*, 199-210.

Fornier, R.O., (1979a). A revised equation for the Na-K geothermometer Geothermal Resources. *Council Transgender*, 3, 221-224

Fornier, R.O., (1979b). Geochemical and hydrogeological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hot spring systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 5, 1-16

Fornier, R.O. ve Truesdell, A.H., (1973). An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1255-1275

Fornier, R.O. ve Potter, R.W., (1979). Magnesium Correction to the Na-K-Ca Chemical Geothermometer. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, 1543-1550

Graciansky, P. C., (1968). Teke Yarımadası (Likya) Toroslarının üst üste gelmiş ünitelerinin stratigrafisi ve Dinaro Toroslardaki yeri. *MTA Dergisi*, 71, 73-92.

Graciansky, P. C., (1972). *Recherches geologiques dans le taurus Lycien*, These University of Paris-Sud, Centre d'Orsay.

Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L., Truesdell, A. H., (1983). Isotopic and chemical composition of Parbati Valley geothermal discharges, North West Himalaya, India. *Geothermics*, 12 (2-3), 51-62.

Giggenbach, W. F., (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.

Işık, A. ve Dilemre, A., (2000). Türkiye termal ve mineralli sular envanteri Muğla, MTA, Rapor no. 10372

Karaca, Ö. (2007). *Fethiye yerleşim alanı zeminlerinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve jeotektonik haritalarının coğrafi bilgi sistemler (CBS kullanılarak hazırlanması)*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta

Kazancı, N. ve Uysal, F. (2008). *Eşen vadisi Pleyistosen tortullarının sedimentolojik incelenmesi* (Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu Ankara Üniversitesi)

Langmuir, D., (1971). Geochemistry of some carbonate ground waters in Central Pennsylvania. *Geochimica et Cosmochimica*, 35 (10), 1023-1045.

McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A. A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, L., Gürkan, O., Hamburger, K., Hurst, K., Kahle, H.G., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R. E., Sanlı, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., Veis, G., (2000). Global positioning system constraints on plate kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695-5720.

Mahon, W.A., (1966). Silica in hot water discharged from drill holes at Wairakei, New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 9, 165-144.

Nemec, W. ve Kazancı, N., (1999). Quaternary colluvium in West central Anatolia: Sedimentary facies and palaeoclimatic significance. *Sedimentology*, 46 (1), 139-170.

Nicholson, K., (1993). *Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques* (1). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag

Nieva, D. ve Nieva, R., (1987). Development in geothermal energy in Mexico, part 12 A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. *Heat Recovery Systems and CHP*, 7 (3), 243-258.

Öner, E. (2001) Eşen Çayı delta ovasının alüvyal jeomorfolojisi ve jeoarkeolojik değerlendirmeler. *Türkiye Kuvatlerini Çalıştayı Makaleler Kitabı*, 103-121.

Önalın, M., (1979). *Elmalı-Kaş (Antalya) arasındaki bölgenin jeolojisi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Şenel, M., Akdeniz, N., Öztürk, E., Özdemir, T., Kadıncık, G., Metin, Y., Öcal, H., Serdaroğlu, M. Ve Örcen, S. (1994). Fethiye (Muğla)-Kalkan Antalya ve Kuzeyi jeolojisi. *MTA*, Ankara, Rapor no. 9761

Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z. R., Şen, M.A., Karaman, T., Dinçer, M. A., Durukan, E., Arbas, A. Örcen, S. ve Bilgi, C. (1989). Çameli (Denizli) Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) dolayının jeolojisi. *MTA*, Ankara, Rapor no. 9429

Şengör A.M.C. ve Yılmaz Y., (1981) Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*. 75, 181-241.

Şahinci, A. (1991a), *Doğal suların jeokimyası*. reform matbaası, Beyler-İzmir, 548.

Şahinci, A. (1991b), *Jeotermal sistemler ve jeokimyasal özellikleri*. Reform matbaası, Beyler-İzmir, 548.

Şahinci, A. (1986). Yeraltısuları jeokimyası. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları*. No: MM/JEO- 86 EY 99, İzmir.

Türk Standartları 266 (TS-266) (2005). *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Sular-İçme ve Kullanma Suları*, Ankara.

Tarcan, G. (2002). *Jeotermal su kimyası ders notları*. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Thuizat, R., Whitechurch, H., Montigny, R. ve Juteau, T. (1981). K-Ar dating some ophiolitic metamorphic soles from the Eastern Mediterranean: New Evidence for oceanic thrusting before obduction *Earth and Planetary Science Letters*, 52, (2), 302-310.

Truesdell, A. H., (1976). Summary of section III geochemical techniques in exploration. *Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resource*, 1, 13-39

Tonani, F., (1980). Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. *Advances in European Geothermal Research*, 428-443

Yağmurlu, F. ve Şentürk, M., (2005). Güneybatı Anadolu'nun güncel tektonik yapısı. *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu* , 55-61