

**İZMİR-ILIKPINAR SICAK VE MİNERALLİ SULARININ
HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ**

**HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THERMAL
AND MINERAL WATERS OF IZMIR-ILIKPINAR**

MEHMET NAZMİ KAYA

DR. ÖĞR. ÜYESİ LEVENT TEZCAN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

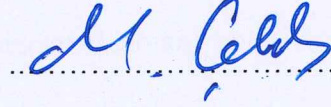
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2019

MEHMET NAZMİ KAYA'nın hazırladığı "İzmir-Ilıkpınar Sıcak ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyasal İncelenmesi" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Başkan



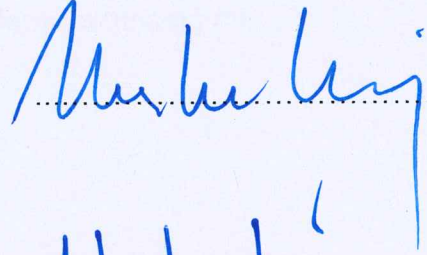
Dr. Öğr. Üyesi Levent TEZCAN

Danışman



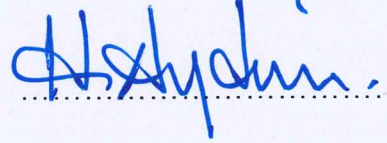
Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ

Üye



Doc. Dr. Harun AYDIN

Üye



Dr. Öğr. Üyesi Türker KURTTAŞ

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak / /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24 / 09 / 2019


MEHMET NAZMI KAYA

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI


Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesi'ne verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

24 / 09 / 2019

 (imza)
MEHMET NAZMI KAYA

ÖZET

İZMİR-ILIKPINAR SICAK VE MİNERALLİ SULARININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

Mehmet Nazmi KAYA

Yüksek Lisans, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Levent TEZCAN

Eylül 2019, 69 sayfa

Bu çalışmada Ilıkpınar jeotermal alanı (Deliömer Köyü-Antik Roma Hamamları) ve civarında yer alan sıcak ve mineralli suların kökenleri belirlenerek bağlı oldukları jeotermal sistemin aydınlatılması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma alanında jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

İzmir'in yaklaşık 35km güneyinde yer alan çalışma alanının, kuzeydoğusunda Menderes İlçesi ve batısında Seferihisar ilçesi bulunmaktadır. Alanın güneyinde ise Kuşadası Körfezi yer alır.

Çalışma alanında, temelde Menderes masifi olarak bilinen Paleozoyik yaşlı metamorfitle bulunmaktadır ve inceleme alanı çevresinde yüzeyde görülmemektedir. Paleozoyik yaşlı metamorfitle üzerine Triyas-Üst Kretase yaşlı Kikladik Zonu bindirme ile gelir. Bu birimi ise, yine bindirme ile Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Flişi üzerlemektedir. Metamorfik birimlerin üzerine uyumsuzlukla gelen Miyosen yaşlı çökel kayaçlar yer almaktadır. Bölgede tüm istifi kesen Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı riyolitik volkanizmaya bağlı domlar gözlenmektedir.

Riyolit-riyodasit lav domları ortaya çıktıkları bölgede ısı kaynağı özelliğine sahip birimler olup, ısıtıcı kayaçlardır. Örtü kayaç, Yeniköy Formasyonunun geçirimsiz killi çökelleri ile Bornova Flişi'ne ait geçirimsiz şistlerdir. Rezervuar özelliğindeki akifer birimler ise, Menderes Masifi ile Kikladik Zonu içerisinde yer alan mermer ve tektonik olarak ikincil gözeneklilik kazanmış olan kristalin şistler, Bornova Flişi içindeki ikincil gözeneklilik kazanmış kalın kireçtaşları ile tektonik hatlar arasında kalan meta kumtaşları ve Yeniköy Formasyonunun kireçtaşı seviyeleri ile geçirimli çakıltaşı ve kumtaşı seviyeleridir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde, önceki yıllarda yapılan çalışmalarda riyolit ve riyoasit lav domları çevresinde 3 jeotermal alan tespit edilmiştir. Bunlar sırasıyla; Akyar-Kızılcağaç-Dikmen-Kovukluardı Jeotermal Alanı, Ilıkpınar jeotermal alanı ve çalışma alanı dışında kalan Cumalı Tuzla jeotermal alanıdır.

Önceki çalışmalarda bahsedilen jeotermal alanlardan ilkinde yer alan Kızılcağaç-Dikmen-Kovukluardı kaynaklarının, yağışlı ve kurak dönemde yapılan örnek toplama sürecinde kurumuş oldukları gözlenmiştir. Bu alanda sadece Akyar Kaynağı yaklaşık 36°C sıcaklıkta, ~0,5-1l/s debiyle doğal boşalım yapan kaynaktır.

Ilıkpınar jeotermal alanını, Deliömer (Antik Roma Hamamları) kaynağı temsil etmektedir ve ~1-2l/s debiyle, iki dönemde de kaynak çıkış sıcaklığı yaklaşık 32°C'dir.

Cumalı Tuzla jeotermal alanı (Doğanbey Kaplıcaları) ise, çalışma alanının dışında, hemen güney batısında yer almaktadır. Buradaki doğal boşalım, geniş bir hat boyunca yer alır ve her biri ~3-5l/s debili onlarca kaynaktan oluşur. Doğal çıkışlar yaklaşık 70-75°C'lik akışkana sahiptir. Buradaki kaynağın sıcaklık ve debisi, çalışma alanındaki kaynaklardan daha yüksektir. Bu farklılığa neden olan faktörlerin anlaşılabilmesi amacıyla buradan da örnek alınarak değerlendirilmeye katılmıştır.

Bu çalışmada söz konusu jeotermal alanlardaki jeotermal kaynakların beslenimi, dolaşımı ve birbirleriyle olan ilişkileri hidrojeokimyasal değerlendirmeler ile belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda Ilıkpınar ve çevresinde belirlenen sıcak ve soğuk su kaynaklarından örnekler alınarak su kimyası analizleri (Majör iyon ve kararlı izotop) yaptırılmıştır. Majör iyon analizlerine göre sahada yer alan

suların Ca/Na-HCO₃ tipinde olduğu belirlenmiştir. Doğanbey kaynağı ise Na- Cl su tipinde olup çalışma alanındaki sulardan farklıdır.

İz element analizi sonuçlarına göre sahada yer alan suların bir kısmında 10,48 ppb ile 117,6 ppb arasında arsenik tespit edilmiş olup Dünya Sağlık rgt'nün içme suyu için belirlediği 10 ppb limit değerinin üzerinde yer alır.

Çalışma alanı içinde kalan sıcak su örnekleri meteorik kökenli olup, benzer beslenme alanını temsil etmektedir. Sıcak sularda önemli bir oksijen-18 ya da buharlaşma değişimi gözlenmemektedir.

Sıcak su kaynaklarının trityum içeriği sifıra yakındır. Akarsu ve yağmur suyu örnekleri, güncel trityum seviyelerine yakın (4-7 TU) değerlere sahipken, sıcak ve mineralli su örnekleri oldukça düşük trityum içeriklerine sahiptir. Bu durum yeraltısuyu geçiş süresinin görece uzun (>50 yıl) olmasına bağlıdır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeokimya, Jeotermal, Menderes, Seferihisar, Akyar, Ilıkınar, Antik Roma Hamamları, Doğanbey.

ABSTRACT

HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THERMAL AND MINERAL WATERS OF IZMIR-ILIKPINAR

Mehmet Nazmi KAYA

**Master of Science, Department of Geological (Hydrogeological)
Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Levent TEZCAN

September 2019, 69 pages

The aim of this study was to determine the origins of hot and mineral waters in and around the Ilıkpınar Geothermal Area (Deliömer Village-Ancient Roman Baths) and to explain their relationship with cold water resources and to clarify the geothermal system to which they are connected. For this purpose, geological, hydrogeological and hydrogeochemical studies were carried out.

The study area, which is approximately 35km south of Izmir, is located in the northeast of Menderes District and west of Seferihisar District. To the south of the area is the Gulf of Kuşadası.

There are Paleozoic metamorphics known as Menderes Massif in the study area that don't seen on the surface around the study area. The Triassic-Upper Cretaceous Cycladic Zone overlies the Paleozoic Metamorphics. This unit is overlain by the Upper Cretaceous-Paleocene Bornova Flysch. The Miocene sedimentary rocks are unconformably overlain the metamorphic units. Domes related to Upper Miocene-Pliocene rhyolitic volcanism are observed in the region.

The rhyolite-rhyodacite lava domes are units with heat source in the region and they are heating rocks. The overlying rock is the impermeable clayey deposits of the Yeniköy Formation and the impermeable schists of the Bornova Flysch. The reservoir aquifer units are marble and crystalline schists that gains secondary permeability tectonically within the Menderes Massif and the Cycladic Zone, thick sandstones between the secondary porosity within the Bornova flysch and the limestone levels of the Yeniköy Formation.

Three geothermal areas have been identified around the rhyolite and rhyodacite lava domes in the study area and its vicinity. Those are; Akyar-Kızılcaağaç-Dikmen-Kovukluardı Geothermal Area, Ilıkpınar-Pilav Tepe Geothermal Area and Cumalı Tuzla Geothermal Area which is outside the study area.

It is observed that Kızılcaağaç-Dikmen-Kovukluardı springs, which are in the first of the geothermal areas mentioned in previous studies, have dried up during the rainy and dry period of sample collection. In this area, only Akyar Spring is a natural discharge source at a temperature of 36°C with a flow rate of ~ 0.5-1 l/s.

The geothermal area of Ilıkpınar-Pilav Tepe is represented by the source of Deliömer (Ancient Roman Baths) and with a flow rate of ~ 1-2 l/s, the temperature of the flowing source is approximately 32°C in both periods.

Cumalı Tuzla Geothermal Area (Doğanbey Thermal Springs) is located just outside the study area, just south-west. The natural discharge here lies along a wide line and consists of tens of sources, each with a flow rate of ~ 3-5 l/s. Natural flow sources are approximately 70-75 °C. The temperature and flow rate of the spring here is higher than the springs in the study area. In order to understand the factors that cause this difference, a sample was also taken and evaluated.

In this study, the geothermal resources in the mentioned geothermal areas feeding system, circulation and their relations with each other are tried to be determined by hydrogeochemical evaluations. In this context, water chemistry analyzes (Major ion and stable isotope) were completed by taking samples from hot and cold water sources determined in and around Ilıkpınar.

According to the major ion analyzes, the water samples in the field are Ca/Na-HCO₃ type. The Doğanbey spring is different from the waters in the study area with water type of Na-Cl.

According to trace element analysis, arsenic was determined between 10,48 ppb and 117,6 ppb in some of the waters in the field and it is above the 10 ppb limit value determined by the World Health Organization for drinking water.

The hot water samples in the study area are of meteoric origin and represent a similar recharge area. No significant oxygen-18 or evaporation change was observed in hot waters.

The tritium content of hot water sources are close to zero. While rivers and rainwater samples have values close to current tritium levels (4-7 TU), hot and mineral water samples have very low tritium contents. This is due to the fact that the groundwater residence time is relatively long (> 50 years).

Keywords: Hydrogeochemistry, Geothermal, Menderes, Seferihisar, Akyar, Ilıkpınar, Ancient Roman Baths, Doğanbey.

TEŞEKKÜR

Yazar bu çalışmanın çeşitli aşamalarında destek ve katkılarından dolayı aşağıda adı geçen kişi ve kuruluşlara içtenlikle teşekkür eder.

Dr. Öğr. Üyesi Levent TEZCAN (Tez Danışmanı), çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübeleri ile araştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, saha, laboratuvar ve değerlendirme çalışmalarında yol gösterici olmuştur.

Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK, çalışmanın tamamlanmasında, bilgi ve tecrübeleri ile değerlendirme çalışmalarında yol gösterici olmuştur.

Turgay KARACALAR (Aytemiz Şirketler Grubu Yatırımlar Genel Müdürü), çalışmanın tüm aşamalarında maddi ve manevi katkıda bulunmuştur.

Dr. Öğr. Üyesi Onur KÖSE (YÜ) çalışmanın tamamlanmasında önerileri ve yorumları ile katkıda bulunmuştur.

Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ (HÜ), Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) ölçüm cihazlarından yararlanmamı sağlamış ve kararlı izotop analizlerini gerçekleştirmiştir.

Prof. Dr. Serdar BAYARI (HÜ), Prof. Dr. N. Nur ÖZYURT (HÜ), Öğretim Görevlileri Füsun MUSLU (HÜ) ve Esin ORHAN (HÜ), su kimyası analizleri ve trityum analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Dr. Elif YILMAZ TURALI, Hidrojeoloji Yük. Müh. Kemal KOÇ ve Hidrojeoloji Müh. Deniz ÖZBEK, tezin her aşamasında önerileri ve yorumları ile katkıda bulunmuşlardır.

Son olarak sevgili ailem; Azmi KAYA, Ferda KAYA tezimin her aşamasında verdikleri desteklerinden dolayı içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER	x
ÇİZELGELER	xii
FOTOĞRAFLAR	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
Simgeler	xiv
Kisaltmalar	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri	2
1.3. İnceleme Alanının Yeri.....	2
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü	4
1.5. Doruk Ağı ve Hidrografya.....	6
1.6. Önceki Çalışmalar.....	8
2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ	13
2.1. Genel Stratigrafi	13
2.1.1. Paleozoyik	17
2.1.1.1. Menderes Metamorfikleri	17
2.1.2. Mesozoyik.....	18
2.1.2.1. Kikladik Zonu	18
2.1.2.2. Bornova Flişi.....	18
2.1.3. Senozoyik	19
2.1.3.1. Çatalca Formasyonu.....	19
2.1.3.2. Yeniköy Formasyonu	19
2.1.3.3. Cumaovası Volkanitleri	20
2.1.4. Kuvaterner	22
2.1.4.1. Alüvyon.....	22

2.2.	Tektonik Süreçler ve Miyosen Volkanizması	22
3.	HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLER.....	26
3.1.	Litolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	30
3.1.1.	Menderes Metamorfitleri.....	30
3.1.2.	Kikladik Zonu.....	30
3.1.3.	Bornova Flişi.....	31
3.1.4.	Çatalca ve Yeniköy Formasyonları	31
3.1.5.	Riyolitik Volkanizma Ürünleri	31
3.1.6.	Kuvaterner Alüvyon	32
3.2.	Su Noktaları.....	32
3.2.1.	Kaynaklar	32
3.2.2.	Akarsular	32
3.2.3.	Baraj ve Göletler.....	34
3.2.4.	Sıcak ve Mineralli Sular	34
3.2.5.	Sondaj Kuyuları	34
4.	HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRME	36
4.1.	Majör İyon Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi	43
4.2.	Suların Mineral Doygunlukları.....	53
4.3.	Jeotermometre Uygulamaları	55
4.3.1.	Silis jeotermometreleri	55
4.3.2.	Katyon Jeotermometreleri	57
4.3.3.	İzotop Hidrolojisi	58
5.	SONUÇLAR	62
6.	KAYNAKLAR.....	64
7.	ÖZGEÇMİŞ	69

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 1.1. İnceleme Alanının Yer Bulduru Haritası	3
Şekil 1.2. Menderes İlçesinde Ortalama Sıcaklık (kırmızı eğri) ve yağışın (mavi çubuk) yıl içerisinde değişimi (Kaynak: tr.climate-data.org, 1982 ve 2012 yılları arasındaki verilerin analizi ile oluşturulmuştur.)	5
Şekil 1.3. Çalışma alanı ve çevresinin önemli yükselteleri, akarsuları ve kaynakları	7
Şekil 1.4. Çalışma alanında bazı akarsu yataklarında gözlemlenen doğrultu atımlı faylara bağlı ötelenme (Yfm: Yeniköy Formasyonu, Ry: Riyolit, Ds: Dasit, Qal: Alüvyon).....	8
Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şimşek, Ş. ve Eşder, T., 1975'ten değiştirilerek).....	14
Şekil 2.2. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası	15
Şekil 2.3. Çalışma alanı ve çevresinin jeolojik kesitleri	16
Şekil. 2.4. Cumaovası havzasını gösteren yapısal blok diyagram (Sözbilir, H., Uzel, B., 2008'den değiştirilerek)	23
Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası	27
Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresinin hidrojeolojik kesitleri	28
Şekil 4.1. Çalışma alanı ve çevresindeki su örnekleme noktaları	38
Şekil 4.2. Yağışlı dönem örneklerinin Piper diyagramındaki yeri	44
Şekil 4.3. Kurak dönem örneklerinin Piper diyagramındaki yeri.....	45
Şekil 4.4. Tüm örneklerin Piper diyagramındaki karşılaştırmaları (*İG-2: MD-6, *İG-3: MD-3, *İG-7: MD-7, *İG-10: MD-10, *Doğanbey: MD-13 ile aynı kaynakları temsil etmektedir. *Bulut,M.,2013 ve MTA,1995).....	46
Şekil 4.5. Çalışma alanı ve çevresinde örneklenen tüm örnekler için hazırlanan Schoeller Diyagramı	47
Şekil 4.6. Çalışma alanı içerisinde kalan örnekler için hazırlanan Schoeller Diyagramı	48
Şekil 4.7. İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı (a: Mart 2015, b: Eylül 2015, *İG-2: MD-6, *İG-3: MD-3, *İG-7: MD-7, *İG-10: MD-10, *Doğanbey: MD-13 ile aynı kaynakları temsil etmektedir. *Bulut,M.,2013 ve MTA, 1995)	52
Şekil 4.8. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki suların Na-K-Mg üçgen diyagramı (Giggenbach, 1988).....	57

Şekil 4.9. Şematik ^{18}O -D grafiği (Kurttaş, T., 1997).....	60
Şekil 4.10. Çalışma alanından alınan su örneklerinin ^{18}O -D grafiği (İMSD: İzmir Meteorik Su Doğrusu, AMSD: Akdeniz Meteorik Su Doğrusu, KMSD: Küresel Meteorik Su Doğrusu)	61



ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 1.1. Menderes İlçesi iklim tablosu (Kaynak: tr.climate-data.org, 1982 ve 2012 yılları arasındaki verilerin analizi ile oluşturulmuştur.).....	5
Çizelge 4.1. Çalışma alanı ve çevresindeki su örnekleme noktaları	37
Çizelge 4.2. İnceleme alanında toplanmış su örneklerinin fizikokimyasal özellikleri ve majör iyon içerikleri (mek/l)	39
Çizelge 4.3. İnceleme alanında toplanmış su örneklerinin eser element içerikleri (ppb)	40
Çizelge 4.4 Çalışma alanında toplanan örneklerde belirlenen su tipleri	43
Çizelge 4.5. Çalışma alanındaki su noktalarının SI değerleri	54
Çizelge 4.6. Silis jeotermometre eşitlikleri (S: SiO ₂ ppm)	56
Çizelge 4.7. Çalışma alanındaki sıcak su noktaları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C, Kaynak çıkış sıcaklığından daha düşük veya eşit)	56
Çizelge 4.8. Çalışma alanında toplanmış örnekleri izotop içerikleri	58

FOTOĞRAFLAR

Sayfa

Foto 1.1. Çalışma alanındaki bitki örtüsünden bir görüntü	4
Foto 2.1. Cumaovası Volkanitlerinden (Riyolitlerden) bir görünüm	21
Foto 2.2. Çalışma alanında sağ yönlü doğrultu atımlı fay düzleminden bir görüntü	25



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

l/s	Litre/Saniye
m	Metre
mek/l	Miliekivelan/Litre
mg/l	Miligram/Litre
ppm	Milyonda bir
ppb	Milyarda bir
K	Denge Sabiti
S	Tuzluluk
SI	Saturation Index (Doygunluk İndisi)
T	Sıcaklık (°C)
² H, D	Döteryum
³ H	Trityum
¹⁸ O	Oksijen-18
µS/cm	Mikrosimens/Santimetre
δ	İzotop değişiminin SMOW'dan sapma miktarı

Kısaltmalar

Bkz.	Bakınız
EC	Elektriksel İletkenlik
My	Milyon yıl
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ÖEİ	Özgül Elektriksel İletkenlik
pH	Hidrojen iyonu aktivitesi negatif logaritması
SMOW	Standart Mean of Ocean Water (Standart Ortalama Okyanus Suyu)
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, Ilıkınar jeotermal alanı (İzmir-Menderes) ve civarında bulunan sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesinin yapılarak sıcak ve mineralli suların dolaşım ve beslenme mekanizmasının anlaşılması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda öncelikle bölgenin jeolojik, tektonik ve hidrojeolojik özelliklerine ilişkin önceki çalışmalar incelenmiş olup, saha gözlemleri ile birlikte değerlendirilmiş, sıcak ve soğuk su kaynaklarından örnekleme ve analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanından örneklenen suların kimyasal analiz sonuçları yorumlanarak inceleme alanında yer alan su kaynaklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, arazi çalışmaları ve önceki çalışmalardan alınan veriler ile de akifer ve rezervuar litolojilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, jeotermal sistemin bütün bileşenleri (ısı kaynağı yapısı, rezervuar türü ve sıcaklığı, örtü kaya türü ve yapısı gibi) ile ilgili bütüncül bir değerlendirme ile Ilıkınar jeotermal alanının hidrojeolojik kesitleri oluşturulmuştur.

Hazırlanan jeolojik ve hidrojeolojik kesitler ile bölgedeki soğuk ve sıcak suların beslenme ve boşalma mekanizmaları açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışma alanının dışında, hemen güney batısında yer alan Cumalı Tuzla jeotermal alanındaki (Doğanbey kaplıcaları) doğal boşalmalar ise, geniş bir hat boyunca yer almaktadır ve her biri ~3-5l/s debili onlarca kaynaktan oluşur. Buradaki kaynak çıkışlarının sıcaklık ve debisi, çalışma alanındaki kaynaklardan daha yüksektir. Bu farklılığa neden olan faktörlerin anlaşılabilmesi amacıyla buradan da örnek alınarak değerlendirilmeye katılmıştır.

Çalışma alanında Tahtalı Baraj göletinin güney kısmı yer almakla birlikte, bu noktadan su örneği, gölete ulaşımın kısıtlandırılmış olması nedeniyle alınamamıştır. Baraj havzasının beslenme alanında yer alan ve barajı besleyen soğuk su kaynaklarından örnekler alınarak bölgenin su kaynaklarının dolaşım sistemindeki rolü belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

Ilıkpınar jeotermal alanında, bölgedeki litolojik birimlerin jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Alandaki hidrojeolojik yapının açıklanabilmesi amacıyla, öncelikle ofis çalışmaları kapsamında, bölgede daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda türetilmiş olan 1/100000 ve 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları, saha gözlemleriyle değerlendirilerek güncellenmiş, litolojik birimler ve yapısal unsurlar belirlenmiş ve birimlerin litolojik özellikleri ve birbirleri ile ilişkileri gözlemlenmiştir. Bu değerlendirmeler göz önünde bulundurularak jeolojik kesit ve stratigrafik kolon kesitler yardımıyla hidrojeolojik yapı tanımlanmıştır.

Çalışma alanında, 2015 yılının Mart ve Eylül aylarında yapılan saha çalışmaları kapsamında, alan içerisinde yer alan soğuk ve sıcak sulardan mevsimsel örnekleme ve yerinde ölçüm çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Kimyasal analiz sonuçları kullanılarak, birimlerin hidrojeolojik özelliklerinin açıklanması için hidrojeokimyasal çalışmalarda yaygın olarak yararlanılan diyagramlar ve jeokimyasal model programları kullanılmıştır. İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının rezervuar litolojileri, rezervuar sıcaklığı, akifer birimleri, sıcak ve soğuk suların etkileşimi, su kimyası çalışmaları ile tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Alanda, sıcak su kaynaklarıyla ilgili karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla MTA'nın önceki yıllarda yapmış olduğu su kimyası çalışmalarından da faydalanılmıştır.

1.3. İnceleme Alanının Yeri

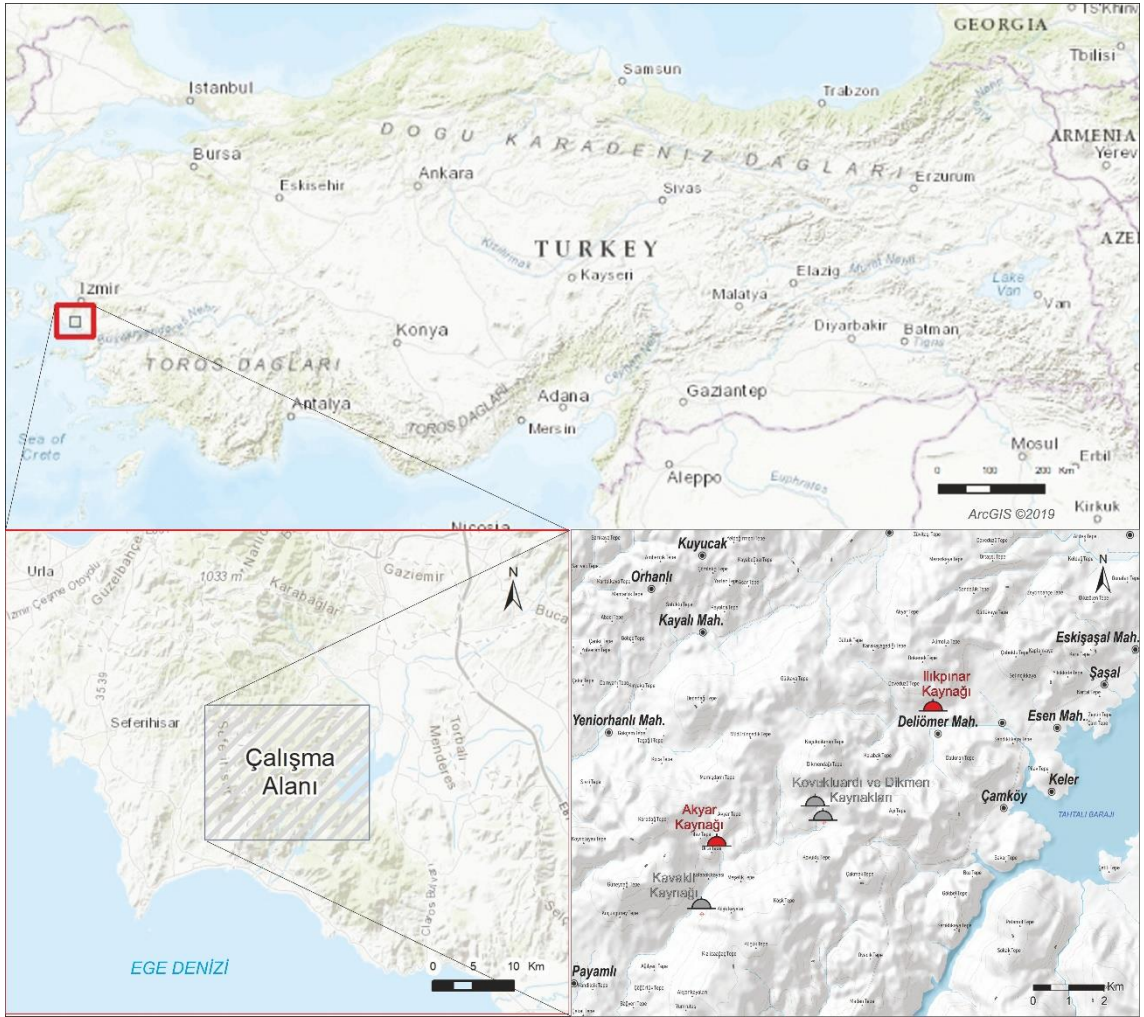
Çalışma alanı, Ege Bölgesi'nde İzmir İlinin yaklaşık 35km güneyinde, kuzeydoğusunda Menderes İlçesi, batısında Seferihisar ve güneyinde Ege Denizi ile sınırlanan alanda yer almaktadır (Şekil 1.1).

Alan, 1/25000 ölçekli İzmir L17c2, L17c3, L18d1 ve L18d4 paftalarında, yaklaşık 200km²lik bir alanı kapsamaktadır.

Ilıkpınar kaynağının bulunduğu Deliömer Köyü, kuzeydoğusunda Şaşal, Esen, Çamköy Mahalleleri, alanın kuzeyinde Yeniköy, kuzeybatı kesiminde Orhanlı, Kuyucak ve Kayalı Mahalleleri ile güneybatıda Payamlı Köyü bulunmaktadır. Bir

kısmı inceleme alanının içinde bulunan Tahtalı baraj gölünün kıyısında yer alan Keler Köyü, barajın su tutmaya başlamasıyla birlikte boşaltılmıştır.

Yaklaşık 3 milyon nüfuslu ve Türkiye'nin 3 büyük şehrinden biri olan İzmir, inceleme alanına 35km mesafededir. İzmir şehir merkezinin güneyinde bulunan İzmir Adnan Menderes Havalimanı ise 15km uzaklıkta bulunmaktadır. Sahanın kuzeyinde bulunan 90 bin nüfusa sahip Gaziemir ilçesi en gelişmiş yerleşim alanlarından biridir. Ayrıca yine kuzeyde bulunan ve 8km mesafede olan Menderes İlçesi 80 bin civarında nüfusa sahiptir.



Şekil 1.1. İnceleme Alanının Yer Bulduru Haritası

Bölgede turizm açısından önemli bölgeler olan Gümüldür ve Doğanbey Beldeleri yaz aylarında yoğun nüfusa sahip olsa da kış sezonunda bu yoğunluk azalarak minimum seviyelere düşer. Çalışma alanının batısında bulunan yaklaşık 40 bin nüfuslu Seferihisar ve güneydoğusundaki aynı nüfuslu Selçuk ilçeleri çalışma alanına 50'şerkm mesafede bulunan önemli yerleşim alanlarıdır.

1.4. İklim ve Bitki Örtüsü

Bölgede yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen tipik Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Kış aylarında, yaz aylarına göre çok daha fazla yağış düşmektedir.

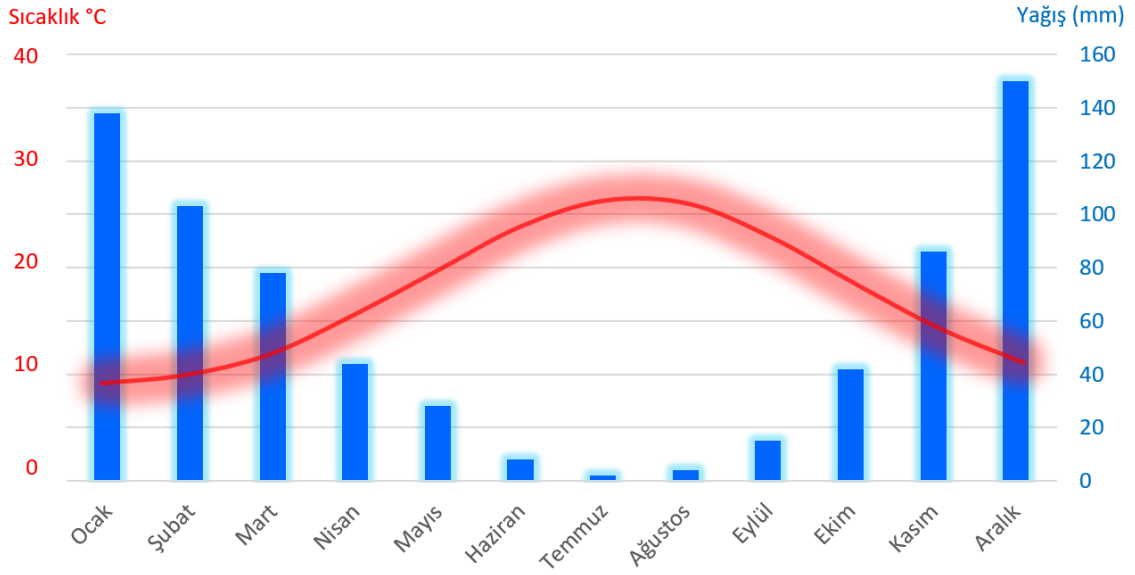
Alanda Akdeniz iklim özelliklerine bağlı olarak geniş yapraklıdan iğne yapraklı orman örtüsüne kadar farklı bitki örtüsü yayılımı gösterir. Bitki örtüsü kıyı kesimlerde ve deniz etkisinin sokulabildiği iç kesimlerde genel olarak kızılçam, Ege Bölgesi'nin kuzey kesiminde meşe ve karaçam ile karakterize edilen kuru ormanlardan oluşmaktadır. Kuzeyden güneye, kıyıda iç kesimlere ve alçak kesimlerden yüksek kesimlere doğru gidildikçe orman örtüsü türü ve yayılımı değişir. İnceleme alanında da arazinin dağlık ve yüksek kesimleri tamamen çam ormanlarıyla örtülüdür.



Foto 1.1. Çalışma alanındaki bitki örtüsünden bir görüntü

Çalışma alanına en yakın İlçe olan Menderes ilçesinde yıllık ortalama sıcaklık 16,7°C'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı ise 699 mm'dir. İlçede en kurak ay Temmuz ayında görülmektedir ve toplam 2 mm ortalama yağış gözlenmiştir. En

yağışlı ay ise Aralık ayı olup, istatistiklere göre bu ay içerisinde ortalama 150 mm'lik yağış gözlenmiştir (Şekil 1.2). Sıcaklık ölçümlerinde en sıcak ay ortalama 25,9°C sıcaklıkla Temmuz ayıdır. En soğuk ay Ocak olup, bu ay içerisinde ölçülen ortalama sıcaklık 8,2°C'dir (Şekil 1.3) [1].



Şekil 1.2. Menderes İlçesinde Ortalama Sıcaklık (kırmızı eğri) ve yağışın (mavi çubuk) yıl içerisinde değişimi (Kaynak: tr.climate-data.org, 1982 ve 2012 yılları arasındaki verilerin analizi ile oluşturulmuştur.)

Çizelge 1.1. Menderes İlçesi iklim tablosu (Kaynak: tr.climate-data.org, 1982 ve 2012 yılları arasındaki verilerin analizi ile oluşturulmuştur.)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort.Sıcaklık (°C)	8,2	9,0	11,0	14,8	19,1	23,4	25,9	25,6	22,3	17,8	13,5	10,2
En düşük Sıcaklık (°C)	4,3	4,9	6,2	9,4	13,2	17,2	20,0	19,6	16,3	12,4	8,9	6,3
En yüksek Sıcaklık (°C)	12,2	13,2	15,8	20,2	25,0	29,6	31,9	31,6	28,4	23,2	18,1	14,1
Yağış (mm)	137	103	79	45	28	8	2	3	15	42	87	150

1.5. Doruk Ağı ve Hidrografya

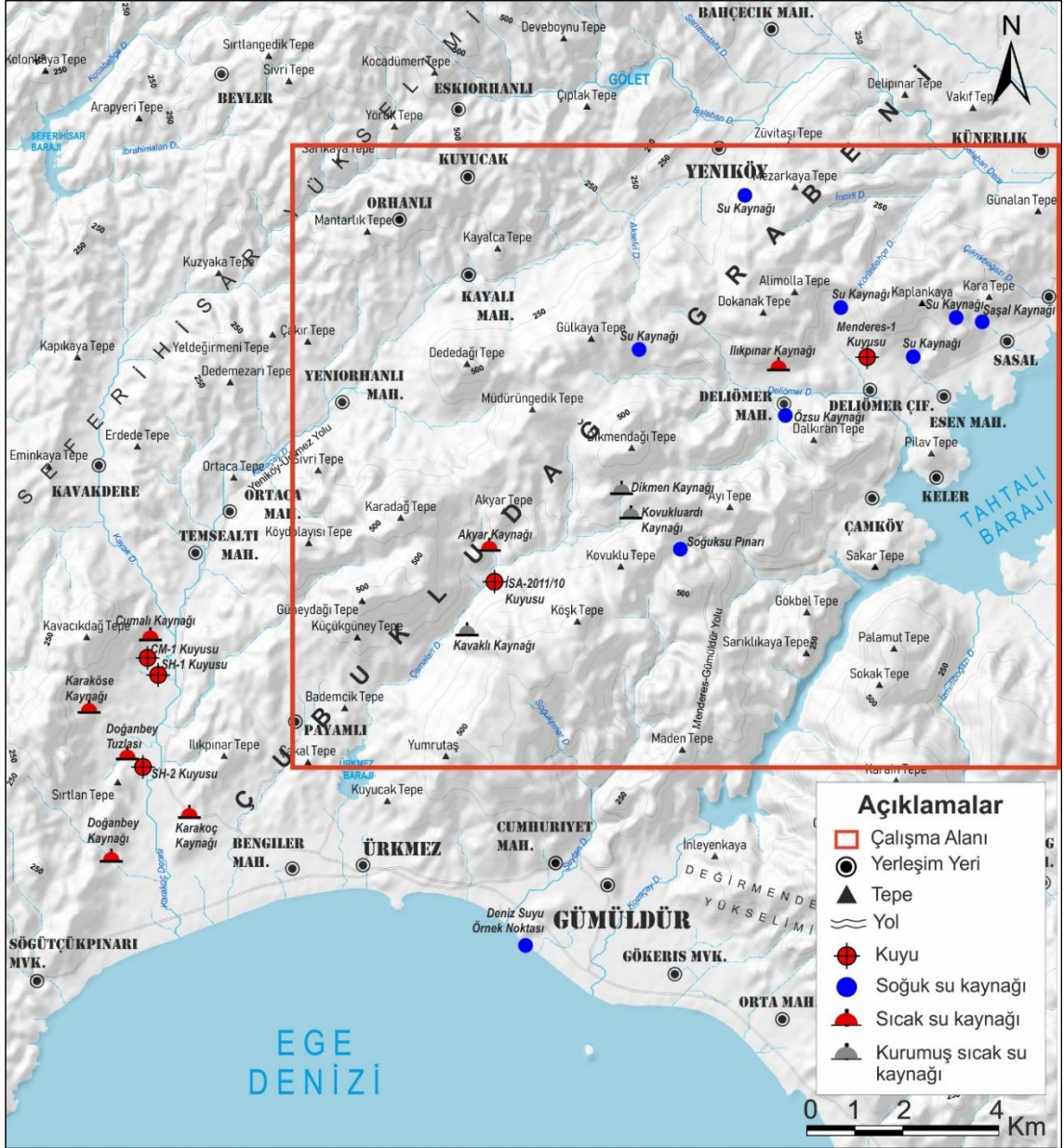
Çalışma alanında, İzmir Balıkesir Transfer Zonu'na bağlı olarak gelişen doğrultu atımlı Tuzla fayı ve buna eşlik eden yapısal unsurlarla şekillenmiş olan Çubukludağ Grabeni, kuzeybatısında Seferihisar yükselimiyle sınırlanmaktadır. Çalışma alanının güneydoğusunda Metamorfik temel birimlerin yüzeyletiği Değirmendere yükselimi bulunmaktadır. Çalışma alanındaki önemli yükseltiler; Dededağı Tepe (544,8m), Dikmendağı Tepe (627m), Ayı Tepe (496m), Çakmak Tepe (544,9m), Dalkıran Tepe (364m), Dokanak Tepe (414,8m), Pilav Tepe (229m), Akyar Tepe (343m), Güneydağı Tepe (601m), Kovuklu Tepe (494m) ve Köşk Tepe (568m)'dir (Şekil 1.3).

Akyar Jeotermal alanında bulunan Akyar dere, Akyar kaynağından sıcak su çıkışı ve akış yukarıdaki yan kollar ile beraber Çamalan deresiyle birleşerek Ürkmez Barajı'na boşalım yapmaktadır (Şekil 1.3). Bir kısmı çalışma alanı içerisinde kalan Ürkmez Barajı'nın su yükü yaklaşık 36m kotundadır.

Bölgede riyolit birimleri kesen ana süreksizlik yapılarından boşalan Şaşal ve Özsü kaynakları işletilmektedir. Şaşal membaa kaptajının bulunduğu yerde yüzey suları Tahtalı Barajı'na, Özsü kaptajının bulunduğu yerdeki yüzey suları ise Ilıkınar jeotermal alanında bulunan Deliömer deresine katılarak Tahtalı Barajı'na dökülmektedir. Ilıkınar (Deliömer) kaynağının kuzeyinde, Bakladökülen dere, kuzeyindeki kollardan gelen derelerle birleşerek Çıkrıkboğazı dere adını alır ve Eski Şaşal Mahallesi üzerinden Tahtalı Barajı'na dökülür. Çalışma alanının kuzeyinde yer alan Sarımustafa deresi ve Akselvi deresi, Yeniköy mahallesi yakınlarında Balaban deresiyle birleşir, çalışma alanının kuzeyinden Balaban deresine katılan İncirli dere ve Körünbahçe dere de ana kolla birleşerek Künerlik üzerinden Tahtalı Barajı'na dökülür. Çalışma alanının GD'sında bulunan İzmirliboğazı dere güneyden kuzeye doğru akarak baraja katılır. Tahtalı Barajı, su yükü yaklaşık 52m kotunda olup yaklaşık 550km²'lik drenaj alanına sahiptir. Tahtalı barajı bendin akış aşağısında Kocaçay deresi üzerinden Kuşadası Körfezi'ne boşalım yapmaktadır.

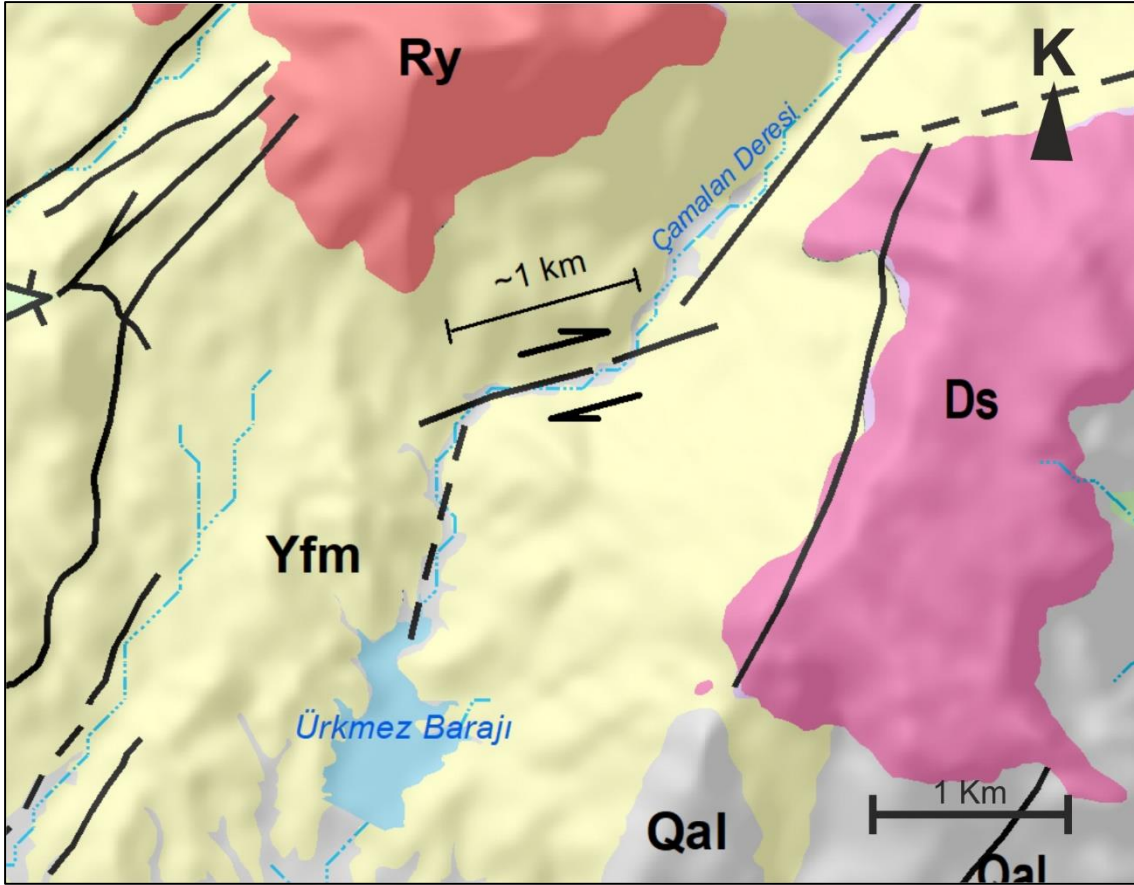
Çalışma alanının güneyinde Şeytan deresi, batıdaki Soğukpınar deresi ile birleşerek Gümüldür üzerinden Kuşadası körfezine boşalmaktadır. Çalışma alanının batısında ise Kocaçay deresi, Ilıca mahallesi yakınında kuzeyden gelen Kavak deresi ile birleştikten sonra Karakoç deresi adını alarak, Karakoç

kaplıcalarından ve Doğanbey kaynağı sıcak su çıkışlarının katıldığı ana kanal ile Kuşadası körfezine boşalım yapmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Çalışma alanı ve çevresinin önemli yükselteleri, akarsuları ve kaynakları

Güncel tektonik rejim altında oluşan Kuzeydoğu-Güneybatı yönlü doğrultu atımlı faylar ve buna bağlı gelişen ikincil yapılar drenaj ağını kontrol etmektedir. Ana fay sistemlerini takip eden KD-GB yönlü ana nehir kolları, ana yapılarla eşlik eden ikincil faylarla ötelenmekte ve yön değiştirmektedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Çalışma alanında bazı akarsu yataklarında gözlemlenen doğrultu atımlı faylara bağlı ötelenme (Yfm: Yeniköy Formasyonu, Ry: Riyolit, Ds: Dasit, Qal: Alüvyon)

1.6. Önceki Çalışmalar

Borsi, S. ve diğ., 1972, Batı Anadolu çevresinde volkanik birimlerin jeokronoloji ve petrografisini çalışmışlardır. Yazarlar çalışma alanında yer alan Cumaovası volkanitlerinin radyometrik yaşlandırma ile 15 ila 17 My arasında olduğunu söylemişlerdir [2].

Şimşek, Ş., Eşder, T., 1975, Çubukludağ Grabeni ve çevresinin jeolojisi ve jeotermal olanaklarını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada Akyar-Kızılcağaç-Dikmen-Kovukluardı jeotermal alanı; Ilıkınar jeotermal alanı ve Cumalı Tuzla jeotermal alanı olmak üzere üç jeotermal bölge tespit edilmiş ve jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal çalışmalar gerçekleştirilerek jeotermal potansiyeli ortaya konulmuştur. Çalışmada rezervuar sıcaklıkları birinci ve ikinci jeotermal alanda 205-207°C; üçüncü jeotermal alanda ise 236,5°C olarak belirtilmiştir [3].

Dominco, E., 1984, Cumalı-Tuzla Geothermal Prospect adlı çalışmada yer alan CM-1 araştırma kuyusunun bitirme raporunda, Cumalı Jeotermal alanındaki sıcak su kaynaklarının boşalttığı akiferi kesmekte olduğunu belirtmiş ve kuyudan alınan örneklerle kaynak suları arasında kimyasal tip olarak belirgin bir fark olmadığını göstermiştir. Bölgedeki jeotermal sistemin sıg bir rezervuara sahip olduğunu ve jeotermal akışkanın yüzeye çıkarken deniz suyu ve soğuk yeraltı suyu ile belirgin bir karışıma uğramadığını ifade etmiştir [4].

McNitt, J., R., 1985, Evaluation of Cumalı-Tuzla Geothermal Prospect adlı raporunda jeotermal rezervuar oluşturacak birimlerin Menderes Metamorfileri içindeki mermer birimler olabileceğini ileri sürmüştür ancak Cumalı bölgesinde açılmış olan CM-1, SH-I ve SH-II kuyularından elde edilen verilere göre hazırlanan raporda metamorfik temelde bölgede verim alınabilecek bir zon olmadığı belirtilmiştir [5].

Candan ve diğ., 1997, bölgede Geç Kretase yaşlı yüksek basınç metamorfilerinin, Kikladlar'ın Türkiye'deki uzantısı olduğunu ileri sürmüşler ve Doğanbey ve Selçuk yarımadalarının bir kısmında yüzeyleyen Menderes Metamorfilerinden ayırdıkları birimleri Kikladik Zonu olarak tanımlamışlardır [6].

Sözbilir, H., Uzel, B., 2008, Batı Anadolu'da Doğrultu-Atımlı Havzaya Ait İlk Kayıtlara Bir Örnek: Cumaovası Havzası adlı çalışmalarında bölgenin tektonizmasını çalışmışlar ve kinematik analiz ile süreksizlik yapılarının oluşum mekanizmalarını ve fay hareketlerini açıklamışlardır. Cumaovası Havzasının KD-GB yönlü aktif doğrultu atımlı faylarla şekillendiğini ve havzanın çok evreli gelişimini gösteren transpresyondan transtansiyona değişen nicel indislerle gerilme tensörünün düşey eksen boyunca saat yönünün tersine döndüğünden bahsetmişlerdir [7].

Barış, N., 2008, Tahtalı Baraj Havzasının Hidrojeolojik İncelenmesi Ve Yeraltısu Kirlenebilirliğinin Ahs-Drastic Yöntemi İle Değerlendirilmesi adlı doktora tezi çalışmasında, İzmir iline içme suyu sağlayan Tahtalı baraj havzasının hidrojeolojik özellikleri belirlenmiş, yeraltı suyu kirliliğe duyarlık haritası oluşturulmuştur. Bu çalışmada, Kuvaterner yaşlı alüvyonun ve killi kireçtaşlarının serbest akifer, konglomeraların yarı basınçlı akifer özelliğinde olduğunu ifade etmiştir. Benzer şekilde, Neojene ait kırıntılı istif, kırık ve çatlaklı

sistemlerinin ve Neojen yaşlı volkaniklerin kırıklı çatlaklı akifer niteliğinde olduğu belirtilmiştir. Yağışlı dönemdeki yeraltı suyu kalitesinde belirgin bir düşüş olduğunu ve kirleticilerin yüksek oranda yüzey suları ile taşındığını ifade etmiştir [8].

Van Hinsbergen, D.J.J. ve diğ., 2010, Reconciling the Geological History of Western Turkey With Plate Circuits and Mantle Tomography adlı çalışmalarında plaka hareketlerine bakılarak, Türkiye'nin batısından geçen boylam üzerinde, 90 milyon yıldan bu yana Afrika plakasının Avrupa kıtasının altına dalarak 1400km yaklaştığını söylemişlerdir. Çarpışmanın son 50 milyon yılda 700km, son 35 milyon yılda ise 450km'lik bir ilerleme kaydettiği belirtilmiştir. Yazarlar bu hareketin sonucunda Torit Anatolit Bloğunun Sakarya kıtasıyla çarpışmasının 90 milyon yıl önce başlamış olabileceğinden bahsederler. Dalmanın devam etmesi ile son 50 milyon yıllık süreçte Türkiye'nin batısında yüksek sıcaklık metamorfizması ve felsik magmatizmanın meydana gelmesine neden olduğu belirtilmiştir. Yazarlar çalışmada, bölgede son 15 milyon yıllık süreçte düşey eksenindeki dönüş ile K-G yönde plaka gerilmesine neden olan sürecin başladığından bahsederler [9].

Candan, O. vd., 2011, Çalışma alanında temel kayaçları Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfiklerinin oluşturduğunu ve masifin genel olarak Alpin sıkışma tektoniğinden etkilenmiş, karmaşık bir tektonik yapı sunduğunu söyler. Yazarlar aynı çalışmada, Menderes Metamorfiklerinin üzerine bindirme ile Triyas-Üst Kretase yaşlı Kikladik Zonu'nun geldiğini ve bu birimin de yine tektonik bindirme ile gelen Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Flişi ile üzerlenmekte olduğunu ileri sürmüşlerdir [10].

Dora, O.Ö., 2011, Menderes Masifindeki Jeolojik Araştırmaların Tarihsel Gelişimini araştırdığı çalışmasında Menderes metamorfiklerini, Pan-Afrikan temel ve Paleozoyik örtü serileri olarak iki farklı grupta ele almıştır [11].

Dünya, H., Dünya, M., Bilgiç, Ö., 2011, Seferihisar-Akyar Jeotermal Enerji Sahası İsa-2011/10 Kuyu Tamamlama Test Raporuna göre, kuyuda maksimum sıcaklık 850m'de 141,18°C ve inilebilen kuyu tabanında (1.208m) 129,76°C sıcaklıklar ölçülmüştür. Artezyen yapmayan kuyuda statik seviye rotary seviyesinden 125m'dedir ve kompresör ile üretim yaptırıldığında; savak-silencer yöntemi ile

debi ölçümü yapılmış ve enjeksiyon öncesi ~21l/s olan üretim debisinin enjeksiyon sonrasında ~29l/s olduğu belirtilmiştir. Test sonuçlarına göre, kompresör kesildiğinde kuyuda üretim kendiliğinden azalarak durmuştur. [12].

Kaba, M., Duruk, H.İ., ve Kaya, M.N., 2013, Menderes-1 gradyan kuyu raporunda 300m derinliğinde açılan kuyuda 0-74m tuf, 74-300m arası Yeniköy Formasyonu kesilmiştir. 230-300m'ler arasında delikli boru yerleştirilen kuyuda üretim yapılmadığı ve kuyunun statik seviyesinin ~14m olduğu belirtilmiştir. Kuyu tabanında ölçülen maksimum sıcaklık 37 °C'dir [13].

Karacık, Z., Genç, Ş.C., Gülmez, F., 2013, çalışmalarında Türkiye'nin batı kesiminin Mesozoyik sonu ve Senozoyik'teki tektonik evrimi iki önemli süreç altında ele almışlardır. İlk evre Neotetis okyanusal kabuğunun kuzey yönlü dalma hareketi ile yitimi ve bunu takiben Torit Anatolit bloğunun Sakarya kıtasıyla çarpışması olarak açıklamışlardır. İkinci evre, çok sayıda horst ve graben yapısının oluşumunu sağlayan kuzey-güney yönlü gerilmeli tektonik rejimi şeklinde belirtilmiştir [14].

Bulut, M., 2013, Ege Bölgesinde Yeni Bir Orta-Yüksek Entalpili Jeotermal Alan (Akyar) Menderes Seferihisar- İzmir, Batı Anadolu, Türkiye adlı çalışmasında İnceleme alanı içinde kalan ve Akyar kaynağının hemen güneyinde yer alan, ~29l/s debi ve 141,18 °C'lik maksimum kuyu içi statik sıcaklık elde edilmiş olan İSA-2011/10 kuyusunda ve yakınlarındaki gradyan kuyularından örnekler alınarak hidrokimyasal değerlendirme yapılmıştır. Buna göre Çubukludağ grabeni olarak bilinen havza içinde yapılmış olan jeolojik etüt, jeofizik etüt ve jeotermal araştırmalar ve sondaj çalışması sonucunda sıcak suların deniz suyu ile karışım halinde olduğu ileri sürülmüştür [15].

Pala, E. A., 2016, Seferihisar (İzmir) ve Yakın Çevresi Jeotermal Sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri adlı yüksek lisans tez çalışmasında Seferihisar jeotermal alanının hidrojeolojik modelini oluşturmuştur. Bölgedeki 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 yüzeyletiğini ileri sürmüştür. Mermer bant ve mercekli şistler ile Bornova Filişi'ne ait kumtaşları,

spilitik volkanitlerin, kireçtaşı mercek ve olistolitlerinin ile serpantin kütlelerinin, sıcak suların hazne kayasını oluşturduğunu belirtmiştir. Cumalı ve Tuzla sıcak su kaynaklarının kökeni deniz suyu olan, meteorik su katkısını da içeren, yüksek tuzlu ve yüksek entalpili sulardan; Karakoç ve Doğanbey sıcak su kaynaklarının ise meteorik kökenli, bir miktar deniz suyu karışımı içeren yüksek entalpili, orta tuzlu sulardan oluştuğunu ifade etmiştir. Çalışmada hazne kaya sıcaklığının Cumalı ve Tuzla sıcak grubuna doğru arttığını vurgulamıştır [16].

Göktaş, F., 2019, çalışmasında doğrultu atımlı Tuzla Fayı'nın denetiminde asimetrik bir çöküntü olarak yapılanan Çubukludağ havzasının Alt-Orta Miyosen dolgusu, Çubukludağ grubu kapsamında incelenen Çatalca, Bahçecik, Yeniköy ve Tahtalı formasyonları ile Cumaovası volkanitlerinden oluştuğunu söylemiş ve bu birimleri alt bölümlerine ayırtlamıştır. Yazar ayrıca proje kapsamında Cumaovası volkanitlerinin, riyolit lavlarının hidrotermal alterasyondan fazla etkilenmemiş kesimlerinden alınan örneklerle radyometrik analiz yaptırıldığını, K/Ar yöntemiyle yapılan analizlerde 13,0 My ile 13,8 My arasında değişen yaşlar alındığını ileri sürmektedir [17].

2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

İnceleme alanında yer alan Çubukludağ grabeni, doğrultu atımlı Tuzla Fayı'nın denetiminde asimetrik bir çöküntü yapısı olarak tanımlanmaktadır. Çubukludağ Neojen havzası, Üst Kretase-Paleosen yaşlı İzmir-Ankara Zonu kayaçları üzerinde açılmıştır [17]. Havzada, erken-orta Miyosen aralığındaki çökeller ile riyolitik lav akıntısı, dom ve püskürme ürünleri bulunmaktadır (Şekil 2.1 ve Şekil 2.2).

İnceleme alanı ve çevresinde gerçekleştirilmiş önceki çalışmalarda, bölgesel jeolojik yapıyı açıklayan farklı değerlendirmeler bulunmakla birlikte, alandaki en yaşlı birim olan Menderes Metamorfitlerini üzerleyen Kikladik Zonu ve Alt-Orta Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu içerisinde yer alan riyolitik Cumaovası volkanizmasının yaşlandırılması dışında stratigrafik olarak göze batan görüş farkları bulunmamaktadır. Miyosen'den günümüze kadar olan ve aşağıda detaylarıyla açıklanan birimler ise bu çalışmalarda farklı adlandırmalar kullanılarak ayırtlanmıştır.

Bu çalışmada inceleme alanını kapsayacak şekilde Şimşek, Ş., Eşder, T., (1975); Sözbilir, H., Uzel, B., (2008); Karacık, Z., Genç, Ş.C., Gülmez, F., (2013) ve Göktaş, F., (2019) tarafından yapılmış olan jeolojik çalışmalar temel alınmış olup, bu haritalarda verilen stratigrafik adlandırmalar kullanılmıştır.

Önceki çalışmalardan ve bu çalışmada verileri kullanılan kuyulardan yararlanılarak oluşturulan kolon kesit Şekil 2.1'de, inceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası ise Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Çalışma alanı için oluşturulan jeolojik kesitler Şekil 2.3'te verilmiştir.

2.1. Genel Stratigrafi

İnceleme alanında yer alan Çubukludağ Grabeni'nin bulunduğu kesimde kayaç grupları temel ve örtü olarak iki şekilde ele alınmaktadır. Çubukludağ Grabeni'ni doğu ve batıdan sınırlayan horstlarda Menderes Masifi, Bornova Flişi ve Kikladik Zonuna ait temel birimler yer almaktadır [14].

Örtü birimleri ise karasal ve gölsel çökel kayaçlar ile bunlarla beraber havzaya yerleşmiş felsik volkanik ürünler oluşturmaktadır.

GENELLEŞTİRİLMİŞ STRATİGRAFİ KESİTİ				ÖLÇEKSİZ	
Üst Sistem	Seri	Formasyon	Kalınlık (m)	Simge	LİTOLOJİ
SENOZOYİK	SEMIYÖSEN	Alüvyon	0-75	Qal	Alüvyon, Yamaç molozu, Traverten Uyumsuzluk
		Cumaovası Volkanitleri	?	Tf Agl P Ds Ry	Riyolit, Dasit, Aglomera, Perlit, Tüf ve Tüfit
		Yeniköy Formasyonu	~400	Yfm	Çakıltası, Kumtaşı, Kilitaşı ve Kireçtaşı aralanmalı, yer yer Kömürlü seviyelerden oluşan gösel çökeller
		Çatalca Formasyonu	~75	Çfm	Uyumsuzluk Kumtaşı, Çakıltası, Kireçtaşı, ara ara Kömürlü seviyelerden oluşan gösel çökeller Uyumsuzluk
SENOZOYİK	ÜST KRETASE	Bornova Flişi	~700	Bfz	Bazik, Ultrabazik kayalar, Radyolarit, Blok Kireçtaşları (Kumtaşı ve şeyl egemen matriks içinde karmaşık olarak)
		Kikladik Zonu	?	Kdz	Bindirme Mikaşist, Metavolkanit, Metaçakıltası, Mermer, Metaolistostrom (Pelitik matriks içerisinde bulunan yüksek basınç kayaları Serpantin ve Mermer blokları) Bindirme
PALEOZOYİK	TRİYAS - ÜST KRETASE	Menderes Metamorfileri	?	Met	Bindirme Çeşitli şistler (Mikaşist, Kuvarşist, Kalkşist, Kloritşist, vb.), Mermer, Paragnays

Şekil 2.1. Çalışma alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şimşek, Ş. ve Eşder, T., 1975'ten değiştirilerek)

Çalışma alanında temeli Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfikleri oluşturur. Bu birim çeşitli şistlerden, kalınlığı yer yer değişen mermerlerden ve granitik gnays birimlerden oluşur. Bu birimin üzerine bindirme ile Triyas-Üst Kretase yaşlı Kikladik Zonu gelir [18]. Bu birim de yine tektonik bindirme ile gelen Üst Kretase-Paleosen yaşlı İzmir Flişi (Bornova Karmaşığı) ile üzerlenmektedir.

Neojen öncesi birimlerin üzerini açısız uyumsuzlukla örten Alt-Orta Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu, karasal ve lagünel bir ortamı belirleyen çökellerden oluşmuştur.

Bu serileri ve Yeniköy Formasyonunu Orta Miyosen yaşlı riyolitik Cumaovası Volkanitleri keser. Yayılımı değişken riyolit domları çalışma alanında geniş yer kaplar.

2.1.1. Paleozoyik

2.1.1.1. Menderes Metamorfikleri

Çalışma alanında temel kayaları Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfikleri oluşturur. Menderes Masifi genel olarak Alpin sıkışma tektoniğinden etkilenmiş, karmaşık bir tektonik yapı sunmaktadır [10].

Menderes metamorfikleri, Pan-Afrikan temel ve Paleozoyik örtü serileri olarak iki farklı grupta ele alınmaktadır [11]. Pan-Afrikan temeli oluşturan birimler; kuvarsit ve metaçakıltaşlarıyla başlayan Erken Paleozoyik yaşlı metakırıntılı kayalar ile Pan-Afrikan orojenizinin çeşitli evrelerinde bu birimleri kesen granitoid ve gabroik kayalardan oluşmaktadır [19]. Metakırıntılı serinin alt kesiminde paragnayslar, üst kesiminde ise mikaşist, kuvarsşist gibi çeşitli şistler gözlenmektedir [11].

Menderes Masifi'ne ait birimlerin çekirdek ve örtü serileri olarak sınıflandırılması Bozkurt ve diğ., 1993'de [20] eleştirilmiş ve sonraki çalışmalarda bu birimler Alpin tipi nap yığınları olarak ele alınmıştır [18, 9, 21, 22].

Masife ait birimler, dört farklı nap birlikteliği olarak sınıflandırılmaktadır. İstifin en alt kısmında yer alan Bayındır napı fillit ve mermer aralanmalı, kuvarsit ve yeşil şist fasiyesindeki birimlerden oluşmaktadır. Bunu üzerleyen Bozdağ napları ise metapelitler, amfibolit, dolomit, eklojit ve Triyas granitik sokulumundan meydana gelmektedir [21]. Üst kesimde yer alan Çine napları çoğunlukla deforme olmuş

gnayslar, amfibolit ve eklojitlerden oluşmaktadır [22]. Metamorfik istifin üst kısmında gözlenen, Eosen'de Çine napları üzerine bindirme ile yerleşmiş Selimiye napı ise Alpin tipi (Barrowian) metamorfizma gösteren paleozoyik mermer, metapelit ve metabazitlerden oluşur [22, 23].

Bu birimlerin üzerine bindirme ile Triyas-Üst Kretase yaşlı Kikladik Zonu gelir.

2.1.2. Mesozoyik

2.1.2.1. Kikladik Zonu

Menderes Metamorfitlerinden ayırt edilen, Ege Denizi'ndeki adalarda ve inceleme alanının dışında güneyde yer alan Dilek Yarımadası-Selçuk yöresinde yüzeyleyen Geç Kretase yaşlı yüksek basınç metamorfitlerinin, Kikladlar'ın Türkiye'deki uzantısı olduğu, Candan ve diğ., 1997 tarafından ileri sürülmüş ve son yıllardaki çalışmalarda literatüre bu şekilde geçmiştir [6]. Göktaş, F., 2019'a göre Kikladik metamorfitleri, altta Triyas-Üst Kretase yaşlı, kesintisiz bir çökel serisi (mikaşistler ile bunların içinde yer alan metavolkanit ve metaçakıltaşları üzerinde, geçişli dokanaklarla gelen platform türü mermerler) ve üst kısımda yer alan muhtemel Üst Kretase yaşlı metaolistostromdan (pelitik bir matriks içerisinde yer alan yüksek basınç kayaçları, serpantin ve mermer blokları) oluşan iki tektonik dilimden meydana gelmektedir [17].

Bu birim de yine tektonik bindirme ile gelen Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Flişi ile üzerlenmektedir [19].

2.1.2.2. Bornova Flişi

Bornova Flişi, bazik-ultrabazik kayaçlar, radyolarit ve Mesozoyik yaşlı kireçtaşı bloklarının kumtaşı ve şeyl egemen bir matriks içinde karmaşık olarak bulunduğu bir zondur [17].

Çalışma alanında havza sınırlarında yüzeyleyen Bornova Fliş zonu, metamorfik kompleks üzerinde tektonik konumlu olduğu Eşder (1988) tarafından ifade edilmiştir [24]. Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Flişi, çalışma alanında Kikladlar'ın üzerinde bindirme ile uyumsuz olarak yer almaktadır. Eşder ve Şimşek, 1975'e göre bu birimde kireçtaşları fliş içinde büyük mercerler şeklinde yer alır. Yazarlar flişin altındaki ultrabazik kayaçların faylarla üst seviyelere taşındıklarından bahsederler [3].

2.1.3. Senozoyik

2.1.3.1. Çatalca Formasyonu

Çatalca Formasyonu, kömürlü bataklık düzeyleri içeren gölssel çökellerle başlar ve temel olarak delta çökellerinden oluşur. Çalışma alanındaki kalınlığı yaklaşık 75m'dir. Bornova Flişi üzerine uyumsuzlukla gelen bu birimde kömürlü seviyelerin üzerine karbonat ara dolgulu kumtaşları gelir. Siyah ve gri renkli kumtaşları çakıltaşı seviyeleri ile geçişlidir. Üst seviyelerinde killi kireçtaşı ve marn birimleri bulunur. Bu formasyon, havzanın kuzey kesiminde Tuzla fayının KD-GB uzanımına paralel olarak dar bir alanda yüzeylemektedir [17]. Genç vd. (2001), tarafından birimin Erken-Orta Miyosen yaşlı olabileceği önerilmiştir [25].

2.1.3.2. Yeniköy Formasyonu

İnceleme alanının orta bölümünde (KD-GB) gidişli Çubukludağ Grabeni içerisinde Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu yer alır. Bu formasyon sahanın Kuzeybatı kenarında yüzeyleyen Çatalca Formasyonu dışında, Miyosenden Kuvaterner'e kadar çökelen tüm tortul birimleri kapsar. Birimin çalışma alanındaki kalınlığı değişken olmakla birlikte ortalama 400m'dir.

Göktaş, F., 2019'a göre Yeniköy Formasyonu, Alt Orta Miyosen yaşlı Çubukludağ Grubu içerisinde Çatalca Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelir [17]. Birimin tabanı havza genelinde çökeltme enerjisindeki artışı yansıtan kaba kırıntılılardan oluşmaktadır. Bu kısım kıvılcı-bordo renkli çakıltaşı seviyelerinden meydana gelen ve yelpaze delta ortamındaki tortullaşma ile gölssel kireçtaşı ara düzeylerini kapsar [17]. Çakıltaşı seviyeleri tabandan yukarı doğru, kırmızımsı, kahverengi ve yeşilimsi renklerde, daha küçük taneli çakıltaşı ve kumtaşı seviyelerinden oluşur. Bu seviyelerdeki küçük taneli çakıltaşlarının yuvarlanma dereceleri daha küçüktür [17].

Çakıltaşı kumtaşı seviyelerinin üzerine gelen birimler ise Göktaş, F. 2019'da Yeniköy Formasyonu'ndan Edil üyesi olarak ayırtılan gölssel ortam içerisinde laminalı şeyl egemen istiften oluşur. Birimin alt bölümleri mavimsi/yeşilimsi gri renkli ve masif kıltaşı-silttaşı düzeylerinden meydana gelmiştir. Orta katmanlarında killi kireçtaşı ve laminalı şeyller bulunan bu tortul istif, ince-orta katmanlı kireçtaşı düzeyi ile son bulur. Tortul istif, Cumaovası volkanizmasının birinci evrede oluşturduğu örtü nedeniyle yanal süreksizdir [17].

Killi kireçtaşı ve laminalı şeyller üzerinde, uyumsuz konumlu alüvyon yelpazesi çökelleri ile başlayan örgülü akarsu tortullaşması gözlenir [17]. Bu çökeller genel olarak sarımsı açık gri, mavimsi gri ve soluk kahverengi, yarı yuvarlanmış çakıltası ve kumtaşından meydana gelmiştir. Akarsu istifi içinde seyrek aradüzey olarak bulunan çamurtaşları, sarımsı renklidir ve ince katmanlı kil ve silt düzeylerinden oluşmaktadır. Baskın olarak Bornova Fliş Zonu'ndan beslenmeyi yansıtan kaya türü bileşenleri içinde, Cumaovası volkanitlerinden türemiş olanlar az oranda bulunmaktadır [17].

Göktaş, F., 2019'da Yeniköy Formasyonundan Çamköy Üyesi olarak ayırtılan birimler ise, yukarıda bahsedilen istifi örten tatlı su algli kireçtaşı düzeylerinden oluşur [17]. Çamköy kireçtaşına ait en kalın ve yaygın yüzlekler Deliömer Dere vadisinde (kalınlığı 50m'yi geçen) ve Çamköy güneyinde görülmektedir. Bu birim, Cumaovası volkanizmasının ikinci evre ürünleriyle yan al geçişlidir [17].

2.1.3.3. Cumaovası Volkanitleri

Yeniköy Formasyonu'nun üzerine Cumaovası Volkanitleri uyumsuzlukla gelmektedir. Bu birim, önceki çalışmalarda farklı yaşlarda gösterilmiştir. Borsi ve diğerleri Radyometrik yaşlandırma ile bu birimleri 15 ile 17,7 My aralığında tarihlendirmişlerdir [2]. Karacık ve diğerleri bu birimlerin yaşlarını 17 My olarak belirtmişlerdir [14]. Göktaş, F., 2013'a göre ise bu volkanizmanın yaklaşık 13My yaşında olduğu öne sürülmektedir [26].

Cumaovası Volkanitleri lav akıntıları ve akma breşinden meydana gelir. Çalışma alanı ve yakınında KD-GB yönelimli Çubukludağ grabenini oluşturan faylar boyunca sıralanmış olan tek veya çoklu dom kompleksleri ve çatlaklar boyunca riyolitik çıkışlar gözlenmektedir [14]. Orta Miyosen yaşlı Cumaovası Volkanitleri, tüfit, tuf, aglomera, perlit, riyolit ve riyodasitlerden oluşur.



Foto 2.1. Cumaovası Volkanitlerinden (Riyolitlerden) bir görünüm

Yeniköy Formasyonu tortullaşmasının son dönemlerinde etkinleşerek çökel birimlerle yanal ilişkili gelişim gösteren ve kalkalkali riyolitik volkanitlerle simgelenen Cumaovası volkanizması iki evreden oluşmaktadır [17]. Freatomagmatik volkanizmanın birinci evresi, göl çökelim ortamı içinde gelişmiştir. Piroklastik akma çökelleri ve riyolit lavlarıyla simgelenen ana patlama evresinde göl bütünüyle dolmuştur. Birinci evre Cumaovası volkanitlerinin yerleşimiyle, Yeniköy Formasyonunun çökeldiği havza kapanmış ve volkanik aksın doğusunda kalan alanda yeni bir alt havza biçimlenmiştir. Esas olarak örgülü akarsu çökellerinden oluşan çökeller, ikinci evre Cumaovası volkanitleriyle yanal ilişkilidir. Havzanın güney kenarındaki Bornova Fliş Zonu üzerinde uyumsuz konumlu alüvyon yelpazesi çökelleriyle başlayan istifin içinde göl çökelleri yer alır. Deliömer Dere vadisinin güney yamaçlarında ise, Cumaovası volkanizmasının ikinci evresine ait lav ve piroklastikler çökelleri örter. Bu lokalitede yüzeyleyen çökeller, birinci ve ikinci evre volkanitleri arasında konumlanmaktadır [17].

2.1.4. Kuvaterner

2.1.4.1. Alüvyon

Kuvaterner birimler, alüvyon, yamaç molozu, traverten ve hidrotermal alterasyon zonlarından oluşur. Güncel alüvyon çökelleri alüvyal fan, alüvyal düzlük ve flüvyal çökellerden oluşmaktadır. Alüvyal fan çökelleri derecelenmemiş, çimentolanmamış, blok çakıl boyutu taneler içeren kırmızımsı gri renkte genellikle D-B gidişli fayların kontrol ettiği kısımlarda yer almaktadır. Alüvyal düzlük çökelleri kil, silt, matriks destekli çimentolanmamış kum ve organik maddece zengin kil ve çamurdan oluşur. Flüvyal çökeller ise Cumaovası Havzasındaki nehirler etrafında kum ve konglamera aralanmalı çökellerden meydana gelmektedir [7].

2.2. Tektonik Süreçler ve Miyosen Volkanizması

Türkiye'nin batı kesiminin Mesozoyik sonu ve Senozoyik'teki tektonik evrimi iki önemli süreç altında ele alınmaktadır.

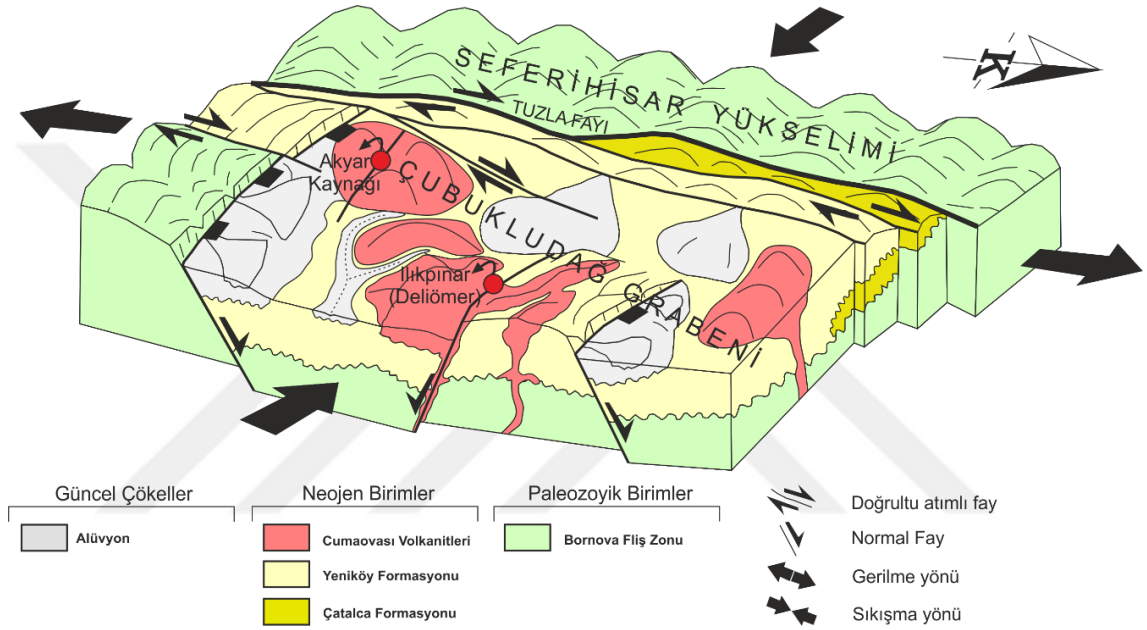
İlk evre Neotetis okyanusal kabuğunun kuzey yönlü dalma hareketi ile yitimi ve bunu takiben Torit Anatolit bloğunun Sakarya kıtasıyla çarpışması olarak açıklanmaktadır [14].

İkinci evre de çok sayıda horst ve graben yapısının oluşumunu sağlayan Kuzey-Güney yönlü gerilmeli tektonik rejimi şeklinde belirtilmiştir [14].

Neotetis okyanusunun dalma hareketiyle kapanması ve kıtasal çarpışma ile gelişen magmatik aktivite, Geç Kretase'den Erken Tersiyer'e kadar devam etmiş, sonrasında ise Miyosen'e kadar volkanik aktivitenin gözlenmediği ara dönemler dışında süregelmiştir. Sıkışmalı rejimin sona ermesi ve gerilmeli tektonik rejime geçiş ve buna bağlı volkanik aktivite birçok çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Batı Anadolu'da etkin olan gerilmeli tektonik rejimle bağlantılı gelişen KD-GB yönelimli Çubukludağ Grabeni, felsik bileşimdeki karasal volkanizma ürünlerinin Miyosen çökelleriyle iç içe gözlendiği bir çöküntü alanıdır. Çalışma alanı ve çevresinde gerçekleştirilmiş olan jeolojik, jeokimyasal ve izotop çalışmalarına göre, 13-17 my öncesine ait karasal volkanizma ürünlerinden oluşan Cumaovası Volkanitleri, riolit domları ve süreksizlik hatları boyunca lav püskürmeleri (fissure eruption) ile tanımlanmaktadır [14, 17].

Farklı bölgelerde görece küçük boyutlu magma odalarından türemiş silikatça zengin, yüzeye yakın konumlu eriyiklere benzer kimyasal bileşimde olan Cumaovası volkanitlerinin çıkış noktaları ve yayılımları, gerilmeli tektonik rejimde gelişen yapısal unsurları takip etmektedir [14]. Çubukludağ Grabeni'nde ilk defa tanımlanan en geniş yayılımlı yüksek silika ve topaz içeren riyolitik lavlar tam olarak yüzeyleşmiş, taze ve altere olmamış domlar halinde graben oluşumuyla bağlantılı fay zonlarını takip edecek şekilde yerleşmiştir (Şekil 2.4).



Şekil. 2.4. Cumaovası havzasını gösteren yapısal blok diyagramı (Sözbilir, H., Uzel, B., 2008'den değiştirilerek)

Erken Miyosen-Kuvaterner sürecinde gelişen gerilmeli tektonik rejim sonucu yersel de olsa naplar, bindirme düzlemleri boyunca yeniden hareket etmişler ve özellikle bu süreçte oluşan genelde düşey, yersel verev atımlı faylarla bugünkü geometrilerini kazanmıştır [27].

Çalışma alanındaki en önemli süreksizlik yapısını oluşturan, Seferihisar yükselimi ile Çubukludağ Grabeni arasında bulunan Tuzla Fayı, önceki çalışmalarda Cumalı Yarılımı [3], Orhanlı Fay Zonu [25], Cumaovası Çizgiselliği [28, 29] ve Cumalı ters fayı [24], olarak adlandırılmıştır.

Grabenin oluşumunda önemli rol oynayan Tuzla Fayı için önceki çalışmalarda, bindirme fayı [3], sağ yönlü doğrultu atımlı fay [30] ve sol yönlü doğrultu atımlı fay [25] tanımlamaları yapılmıştır.

Bu çelişkiyi çözmek amacıyla Sözbilir, H. ve Uzel, B., çalışmalarında fayın karakteristiğine yönelik, fay zonunda ayrıntılı haritalama, kinematik analiz çalışmaları ve jeomorfolojik gözlemler gerçekleştirmişlerdir [31].

Yapılan kinematik analiz çalışmaları sonucunda, iki farklı hareketi belirten kinematik göstergeler olduğunu ortaya konulmuştur. Buna göre sol yönlü doğrultu atımlı hareketin, sağ yönlü doğrultu atımlı hareket yapıları tarafından kesildiği söylenmektedir [31]. Fay boyunca iki farklı hareket olduğuna yönelik bu söylemleri topografik harita, uydu fotoğrafları ve arazi gözlemleriyle saptanan jeomorfolojik belirteçlerle de (dere ötelenmeleri, basınç sırtları, vb.) desteklemiştir. Ayrıca elde edilen kinematik verilerin değerlendirilmesi sonucunda, bölgedeki ilk hareketin yaklaşık D-B açılma ve K-G doğrultulu sıkışma ile ilişkili olduğu, İkinci hareketin ise yaklaşık K-G açılma ve DB doğrultulu sıkışma ile ilişkili olduğu ortaya konulmuştur [31].

Sonuç olarak Tuzla fay zonu, bölgedeki stres dağılımındaki değişime bağlı olarak önce sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak çalışmış ve sağ yönlü doğrultu atımlı fay şeklinde yeniden aktif hale geçmiştir [31].

Fayın güncel reaktivasyonu ise, Doğanbey depremi ile belgelenmiştir [31].

Çalışma alanı ve çevresinde yer alan tektonik süreksizlikler, K-G yönlü gerilme ve D-B yönlü sıkışmaya bağlı olarak sağ yönlü doğrultu atımlı, oblik bileşene sahip faylardan meydana gelmektedir.



Foto 2.2. Çalışma alanında sağ yönlü doğrultu atımlı fay düzleminde bir görüntü

3. HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLER

Çalışma alanında temel kayaçları Paleozoyik yaşlı Menderes Metamorfikleri, üzerine bindirme ile gelen Geç Kretase yaşlı Kikladik Zonu ve yine bindirme ile üzerleyen Üst Kretase-Paleosen yaşlı Bornova Flişi oluşturur.

Örtü birimleri ise Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu'nun geçirimsiz kıltaşı, silttaşı ve marn zonları, Cumaovası volkanizmasının depolama ürünlerinden ince taneli tuf ve tüfitleri ile tüm istifi üzerleyen güncel alüvyonlardaki killi seviyeler oluşturur.

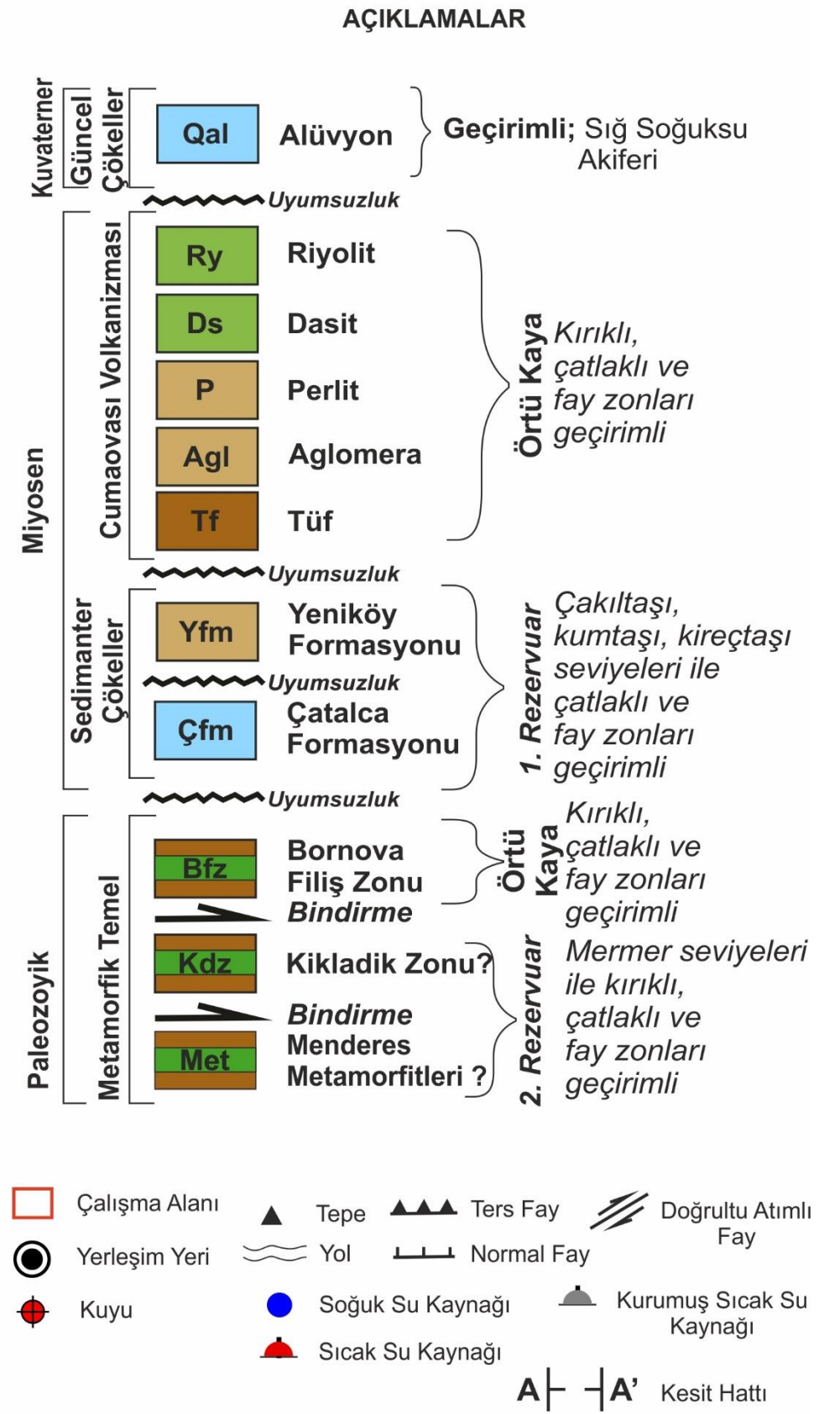
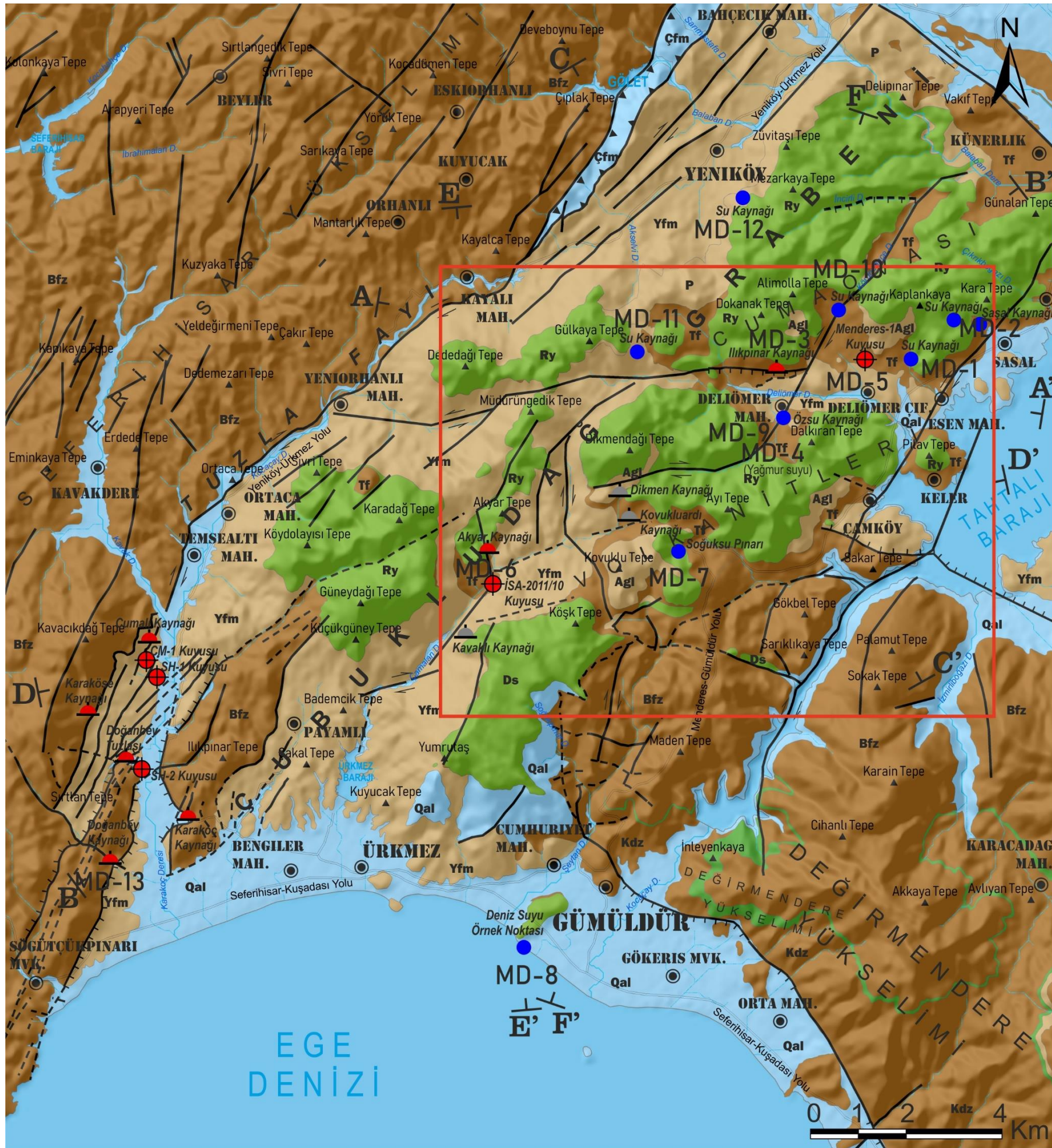
Alanda suların iletimini sağlayan yerel akifer özellikteki birimler; Alüvyon birimlerin pekişmemiş çakıllı ve kumlu seviyeleri, Yeniköy ve Çatalca formasyonlarının geçirimli çakıltası, kumtaşı seviyeleri, Cumaovası volkanizmasının kırıklı çatlaklı riyolit, dasit birimleri ile volkanik depolama ürünlerinden kaba taneli aglomera ve perlit birimleri, Bornova Flişi içerisinde genel olarak tektonik süreçlerle ikincil gözeneklilik kazanmış olan metavolkanitler, spilitik bazaltlar ile karstik boşluklara sahip kireçtaşı seviyeleri ile Kikladik zonu ve Menderes Masifinin karstlaşmış mermer seviyeleridir.

Çalışma alanı ve çevresinin Hidrojeoloji haritası Şekil 3.1'de ve Hidrojeolojik kesitleri Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çalışma alanında bulunan Ilıkpınar (Deliömer) kaynağı ve Akyar kaynağı, doğal boşalım yapan ılık su kaynaklarıdır. Bu kaynaklar, tektonik hatlar boyunca sıralanmış olan soğuk su çıkışlarıyla birlikte gerçekleşen boşalımı temsil ederler.

İnceleme alanının güneybatısında yer alan Cumalı kaynağı yakınında açılmış olan SH-I kuyusu, 442m derinliğe kadar Yeniköy Formasyonu içerisinde devam etmiş ve bu derinlikte tamamlanmıştır. Kuyuda akışkan üretimi olmadığı görülmüş ve Yeniköy Formasyonuna ait bu kesimdeki birimler geçirimsiz olarak tanımlanmıştır [5].

Doğanbey Tuzlası'nın yakınında açılan SH-II kuyusunda yaklaşık 20m kesilen alüvyon sonrasında 600m'ye kadar Bornova Flişi kesilmiş, daha sonra kuyu 1232m'de metamorfikler içerisinde tamamlanmıştır. Yaklaşık 100m derinlikteki spilitik bazalt ve hemen altında yer alan kireçtaşı seviyelerinde 1-2l/s 'lik 45°C sıcaklıkta akışkan gelişi gözlenmiştir. Bornova Flişi'nin bu seviyeleri düşük iletililiğe sahip zonlar olarak tanımlanmıştır [5].



Şekil 3.1. Çalışma alanı ve çevresinin Hidrojeoloji Haritası

Cumalı kaynağı ile SH-1 kuyusu arasında açılan CM-1 kuyusunda yaklaşık 200m Neojen birimleri kesilmiş, 200-600m arası ise Bornova Flişi içerisindeki spilitik bazalt, kireçtaşları ve şistler geçilmiş sonrasında ise yeşilşist ve zeolit fasiyesinde, kloritşist, talkşist ve serizitşist ve tabanda metaserpantinitle kesilmiştir. Bu birimler litolojik olarak Bornova Flişi'nin altında yer alan Kikladik zonuna ait birimler olarak kabul edilebilir. 1417m'ye kadar açılan kuyu Kikladik zonunda içerisinde tamamlanmıştır. Bu kuyuda spilitik bazalt seviyelerinden 2-10l/s arasında airlift ile debi elde edilmiş. Kuyu açık bırakıldığında her yarım saatte bir birkaç dakikalık gayzer çıkışları gözlenmiş, bu seviyeler raporda düşük iletkenliğe sahip birimler olarak tanımlanmıştır [5].

İnceleme alanı içinde kalan ve Akyar kaynağının hemen güneyinde yer alan İSA-2011/10 kuyusunda 0-60m'ler arası Cumaovası volkanitlerine ait tuf, 60-440m'ler arasında karbonat çimentolu çakıltaşı, kumtaşı, kiltası ardalanmalı Yeniköy Formasyonu kesilmiş, 440-840m'ler arasında metakırıntılı birimlerden meydana gelen Bornova Flişi ve 840-1200m'ye kadar da Menderes Metamorfiklerine (Kikladik Zonu?) ait birimler gözlenmiştir. Kuyuda 1175-1185m'ler arasında tam kaçak gözlenmiş olup, sonrasında sirkülasyon tekrar sağlanmıştır. Bu zon üretim zonu olarak tespit edilmiş ve kuyu 1215,5m'de tamamlanmıştır. Kuyu tabanından alınan karot, mikaşist ve kuvarşist olarak tanımlanmıştır [15]. Rapordaki açıklamalarda, metamorfikler içerisinde mikaşist, kuvarşist, serizitşist tanımlamaları mevcuttur. Çalışma alanında görülmeyen, ancak güneyde yüzlek veren metamorfik birimler, güncel çalışmalarda Kikladik Zonu'na ait birimler olarak ayırtlandıkları için bu tanımlamalara göre kuyuda kesilen bu zon da Kikladik Zonu olarak kabul edilmiştir. Kuyuda yapılan üretim testlerinde ise, artezyen yapmayan kuyunun, statik seviyesi yüzeyden itibaren 125m olduğu belirtilmiş, kompresör ile ~21l/s üretim olan kuyuda enjeksiyon sonrası ~29l/s olduğu ancak kompresör kesildiğinde üretim kendiliğinden azalarak durduğu belirtilmiştir [12]. Tam kaçak olan seviyeler, Kikladik Zonu'nun fay ile ilişkili kırıklı çatlaklı zonlarının oluşturduğu ikincil gözenekli birimlerdir.

Çalışma alanının içinde, Ilıkpınar (Deliömer) kaynağının yaklaşık 2km doğusunda açılan Menderes-1 kuyusunda, 0-74m arasında Cumaovası volkanitlerinden tuf, tüfit, 74m'den 300m'ye kadar ise Yeniköy Formasyonuna ait çakıltaşı, kumtaşı, kiltası birimler kesilmiştir. Koruma boruları 0-230m'ler arası kapalı boru, 230-

300m'ler arası delikli boru olacak şekilde yerleştirilmiştir. Statik seviyesi ~14m olan kuyuda herhangi bir üretim yapılmamaktadır. Jeotermal kaynak arama amacıyla açılan kuyudan elde edilen verilere göre Yeniköy Formasyonunun bu kısımları iletimliliği düşük birimler olarak tanımlanmıştır [13].

DSİ tarafından 1993 yılında Yeniköy yakınlarında açılan 42691B kuyusunda 153m kireçtaşı kesilmiştir. Statik seviyesi 40m olan kuyuda dinamik seviye 8l/s debi ile 24 saat çekim yapıldıktan sonra 24m düşerek 64m olarak ölçülmüştür [32]. Buna göre Yeniköy Formasyonuna ait kireçtaşı birimlerinin kırıklı çatlaklı zonları geçirimli birimlerdir.

3.1. Litolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

3.1.1. Menderes Metamorfileri

Menderes Masifine ait olan Paleozoyik yaşlı temel birimler çeşitli şistler, granitik gnayslar ve kalınlığı değişken mermer seviyelerinden oluşur. Menderes Metamorfileri içerisinde geniş alanlarda yüzeyleyebildiği ve Neotektonik rejimde gelişen yapısal unsurların suyun dolaşımına izin verebilecek ölçüde geliştiği durumda mermer birimler kalınlıkları ve yayılımlarına göre akifer oluşturabilecek potansiyele sahiptir. Ancak çalışma alanı yakın çevresinde Menderes Masifi'ne ait birimler yüzeylememektedir.

3.1.2. Kikladik Zonu

Menderes Metamorfileri üzerine bindirme ile gelen Kikladik Masifi, altta Triyas-Üst Kretase yaşlı, kesintisiz bir çökel serisi (mikaşistler ile bunların içinde yer alan metavolkanit ve metaçakıltaşları üzerinde, geçişli dokanaklarla gelen platform türü mermerler) ve üst kısımda yer alan muhtemel Üst Kretase yaşlı metaolistostromdan (pelitik bir matriks içerisinde yer alan yüksek basınç kayaçları, serpantin ve mermer blokları) oluşan iki tektonik dilimden meydana gelmektedir [17]. Suyun dolaşımına izin verecek ana fay zonu ve bununla doğrudan bağlantılı kırık çatlaklı kısımlarda, ikincil gözenekliliğe sahip birimler akifer özelliği gösterebilmektedir. Kikladik zonunun bunun dışındaki bölümlerin geçirimsiz özelliklere sahip olduğu düşünülmektedir ve akiklöd (şistler ve metasedimenter birimler) ve yer yer akifüj (metavolkanit birimler) olarak değerlendirilmektedir [5].

3.1.3. Bornova Flişi

Kikladik zonunun üzerine yine bindirme ile gelen Bornova Flişi, bazik-ultrabazik kayaçlar, radyolarit ve Mesozoyik yaşlı kireçtaşı bloklarının kumtaşı ve şeyl egemen bir matriks içinde karmaşık olarak bulunduğu bir zondur [17]. Genel olarak düşük geçirimli-geçirimsiz birimlerin yaygın olarak gözleendiği Bornova Flişi'nin, CM-1 kuyusunda kesilen spilitik bazalt seviyelerinin ve SH-II kuyusunda ise üst kesimlerdeki kireçtaşı seviyelerinin düşük verimli akifer niteliğinde olduğu söylenmiştir [5].

3.1.4. Çatalca ve Yeniköy Formasyonları

Miyosen yaşlı sedimanter çökellerin oluşturduğu bu birimler suyu iletme özelliklerine göre, geçirimsizlikleri açısından heterojen bir yapıya sahiptir.

Çatalca Formasyonu görsel çökelim ortamında kömürlü seviyelere sahip kumtaşı, çakıltaşı ve kireçtaşı seviyelerinden meydana gelmiştir. Bu birimlerin iyi pekişmiş ve çoğunlukla kil matriks içermesi nedeniyle ilksel geçirgenlikleri çok düşüktür [16]. Bu birimde suyu iletilecek geçirimli zonları tektonik olarak ikincil gözeneklilik kazanmış olan seviyeler oluşturur.

Yeniköy Formasyonunda da benzer şekilde gözlenen çakıltaşlarının iyi pekişmiş olmaları ve kil boyu dolgu malzemesi içermeleri nedeniyle ilksel geçirgenlikleri çok düşüktür [16]. Killi kumtaşı, killi kireçtaşı ve kıltaşı seviyeleri geniş yayılım gösteren Yeniköy Formasyonu inceleme alanında genellikle düşük geçirimli-geçirimsizdir.

Bu birimlerde tektonizma sonucu oluşan ikincil porozite ve permeabilite söz konusudur. Bu formasyonun kireçtaşı seviyeleri de su verebilecek birimlerdir [5, 13, 32].

3.1.5. Riyolitik Volkanizma Ürünleri

Volkanik birimlerin çıkışlarının sıralandığı doğrultu atımlı fay setlerinin geliştiği bölgede, yüzeyde görece düşük debili kaynakların gözleendiği yerel yeraltısuyu sistemleri oluşmuştur. Riyolit birimlerden çıkış yapan MD-7 kaynağında, yıl boyunca akış gözlenmekte ve kurak dönemde ~4 l/s, yağışlı dönemde ise ~10l/s debi ile akış olmaktadır. Buna göre soğuma çatlakları ve fay zonları ile kazandığı kırıklı seviyeleri suyu taşıyıp iletilebilme özelliğine sahiptir.

Doğal boşalım gerçekleştiren kaynakların bir kısmı riyolit-tüf sınırında olmaktadır. Bu nedenle sedimanter birimlerle eş zamanlı yerleşen diğer volkanizma ürünlerinden tüf ve tüfit seviyeleri, kalınlıklarına göre sınırlayıcı birimler olmakta ve akıtar olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca Akyar sıcak su kaynağının yakınlarında açılmış olan İSA2011/10 kuyusunda 60 m, Ilıkpınar (Deliömer) sıcak su kaynağının yakınlarında açılan Menderes-1 no'lu kuyuda ise 74m tüf kesilmiştir. Her iki kuyuda da bu seviyelerden herhangi bir üretim gözlenmemektedir.

3.1.6. Kuvaterner Alüvyon

Kuvaterner yaşlı birimler genellikle geçirimli gevşek çakıl ve kum olmak üzere, çamurtaşı, hidrotermal alterasyon ürünleri ve kilden meydana gelir. Kalınlığı ve dağılımı değişken olan bu birimler, suyu iletme özelliklerine göre de heterojen bir yapı gösterirler. Alüvyon birimler, inceleme alanında güncel çökme ortamlarında ortalama 75m kalınlığa ulaşabilmektedir. Bu birimin yamaç molozu ve akarsu çökellerinde, pekişmemiş çakıllardan ve kumlardan oluşan bölümleri serbest akifer özelliği gösterir. Çökelediği yere göre tane boyu değişken olan bu birimlerin killi ve çamurlu seviyeleri ise geçirimsiz sayılabilecek özelliktedir [32, 33]

3.2. Su Noktaları

3.2.1. Kaynaklar

İnceleme alanında soğuk su kaynakları genellikle Cumaovası volkanitlerine ait birimlerde, KD-GB doğrultulu faylar ve bunlarla bağlantılı olarak gelişmiş olan kırık ve çatlak zonlarından, düşük debilerde (0,1–3 l/s) boşalmaktadır. Bu kaynaklar çoğunlukla yakın yerleşim bölgelerinin içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadırlar.

3.2.2. Akarsular

Çalışma alanı ve çevresi morfolojik olarak engebeli bir yapıya sahiptir. Buna bağlı olarak gelişen vadilerde mevsimsel dere yatakları mevcuttur (Bkz. Şekil 1.3). Bu derelerin yıl boyunca ortalama debileri düşüktür (~10 l/s) ve çoğunluğu mevsimsel derelerden oluşur.

İnceleme alanında yer alan havzada yüzey suları, içme ve sulama suyu sağlayan baraj ve göletleri beslemektedir.

Çalışma alanında yer alan önemli derelerden bazıları;

Deliömer Deresi: Ilıkpınar (MD-3), Özsu (MD-9) ve MD-11 kaynaklarından boşalan sular Deliömer Deresi'ne katılarak Tahtalı Barajı'na dökülür. Derenin debisi ~10 l/s'dir ve yaz aylarında oldukça azalır (~5 l/s).

Akyar Deresi: Akyar (MD-6) kaynağının da katıldığı Akyar dere, düşük debili bir deredir. Yaz aylarında debisi yaklaşık 5 l/s'dir. Akyar deresi, akış yukarıdaki yan kollar ile beraber Çamalan deresiyle birleşerek Ürkmez Barajı'na boşalım yapmaktadır.

Çıkrıkboğazı Deresi: Şaşal Köyü'nün kuzeyinde yer alan Bakladökülen dere, kuzeyindeki kollardan gelen derelerle birleşerek Çıkrıkboğazı dere adını alır ve Eski Şaşal Mahallesi üzerinden Tahtalı Barajı'na dökülen mevsimsel bir deredir.

Balaban Deresi: Tahtalı Barajı'nı besleyen önemli akarsulardan biri olan Balaban dere, çalışma alanının kuzeyinde yer alan mevsimsel Sarımustafa ve Akselvi dereleriyle, Yeniköy mahallesi yakınlarında birleşir. Çalışma alanının hemen kuzeyinde bulunan mevsimsel İncirli dere ve Körünbahçe dere de Balaban deresiyle birleşerek Künerlik üzerinden Tahtalı Barajı'na dökülürler. Derenin yaz mevsimlerinde ortalama debisi ~15 l/s'dir.

Şeytan Deresi: İnceleme alanının güneyinde yer alır. Mevsimsel Soğukpınar deresi ile birleşerek Gümüldür üzerinden Kuşadası körfezine boşalmaktadır.

İzmirliboğazı Deresi: Çalışma alanının güneydoğusunda yer alır. Tahtalı Barajı'nı besleyen mevsimsel derelerden biridir.

Kocaçay Deresi: Çalışma alanının batısında yer alır. Yaz aylarında ~15l/s debiye sahiptir. Kuyucak, Kayalı ve Orhanlı Mahallelerinden gelen akış yukarıdaki kollardan beslenerek Cumalı ve Doğanbey kaynaklarının bulunduğu Ilıca Mahallesi üzerinde Kavak deresi ile birleşerek Karakoç dere adını alır ve Kuşadası körfezine dökülür.

3.2.3. Baraj ve Göletler

İnceleme alanının batısında, içme suyu temini amacıyla yapılmış olan Tahtalı Barajı, 52m kotundadır ve yaklaşık 550km²'lik drenaj alanına sahiptir. Baraj, çalışma alanının kuzey ve batısındaki akarsu ağlarından beslenmektedir.

Çalışma alanının güney batısında yer alan Payamlı'da bulunan Ürkmez Barajı, 36m kotundadır. Akyar kaynağının da katıldığı Akyar deresi ve Çamalan deresini de içine alan yaklaşık 30km²'lik drenaj alanına sahiptir.

Bölgede ayrıca sulama amacıyla hem DSİ tarafından hem de şahıslarca yapılmış küçük göletler ve havuzlar bulunmaktadır.

3.2.4. Sıcak ve Mineralli Sular

Çalışma alanında bulunan sıcak su kaynakları, Cumaovası volkanitlerinin derinlerdeki magmatik ısı kaynağından etkilenerek, fay ve fayların kırıklı çatlaklı zonlarından yüzeye ulaşan düşük debili sulardan meydana gelmektedir.

İnceleme alanında bulunan Ilıkınar (Deliömer) kaynağı ve Akyar kaynağı, doğal boşalım yapan ılık su kaynaklarıdır.

Ilıkınar kaynağı yıl boyunca yaklaşık 32 °C'de 1-2l/s debiyle akar. Antik Roma Hamamlarının bulunduğu bölgeden çıkan bu kaynak, içme suyu ve sulama suyu ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır.

Akyar kaynağı ise yıl boyunca yaklaşık 36 °C'de, daha çok sızıntı şeklinde (0,1-0,5 l/s) doğal boşalım yapmaktadır. Bu kaynaktan, düşük debili olması nedeniyle herhangi bir şekilde yararlanılmamaktadır.

Ayrıca çalışma alanının güneybatısında bulunan ve alanın dışında kalan diğer sıcak su kaynakları; Doğanbey, Cumalı, Tuzla ve Karakoç kaynaklarıdır. Bu kaynaklar, birbirinden birkaç yüz metre uzaklıktaki doğal boşalım noktalarından oluşurlar ve bu termal suların sıcaklığı 70-82°C arasında değişmektedir [17].

3.2.5. Sondaj Kuyuları

İnceleme alanında araştırma ve sulama suyu temini amacıyla DSİ tarafından açılmış kuyular bulunmaktadır. Bu kuyular genellikle Yeniköy Formasyonunun kireçtaşı seviyelerinden, Alüvyon birimlerin geçirimli çakıllı seviyelerinden üretim yapmakta olup kompresör ile 5-15l/s debiler ölçülmüştür [32, 33].

Çalışma alanında ayrıca jeotermal kaynak arama amacıyla;

Akyar (MD-6) kaynağının yaklaşık 700m güneyinde MTA tarafından İSA-10 kuyusu açılmıştır. 1215,5m derinlikte tamamlanan kuyuda artezyen yoktur ve statik seviyesi yüzeyden itibaren 125m'dedir [13].

Ilıkpınar (MD-3) kaynağının yaklaşık 2km doğusunda açılan Menderes-1 kuyusu (MD-5) 300m derinliktedir. Artezyen yapmayan kuyuda statik seviye ~14m'dedir [14].

Doğanbey (MD-13) kaynağının yakınlarında açılan SH-1 (442m) , SH-2 (1232m) ve CM-1 (1417m) kuyularında da üretim testleri sırasında 1-10l/s aralığında debi ölçümleri yapılmıştır ve kuyular artezyen yapmamaktadır [6].

Sahada ayrıca bu çalışmada verileri elde edilemeyen jeotermal arama ve sulama suyu amaçlarıyla açılan kuyular bulunmaktadır.

4. HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRME

Jeotermal kaynaklar, kullanıldıkları yere göre ülke ekonomisine çok önemli katkılar sağlamaktadır. Kaynağın sıcaklığı ve verimine göre elektrik üretimi, kurutma, ısıtma, seracılık, balıkçılık vb. faaliyetler yapılmaktadır.

Yeryüzüne ulaşan termal sular, genellikle rezervuardaki sıcaklıklarından daha düşük sıcaklığa sahiptirler. Suların rezervuardaki sıcaklığı, verimleri ve kimyasal özellikleri hakkında doğruya en yakın bilgiler rezervuara kadar ulaşan kuyulardan alınan örneklerin incelenmesi ile elde edilir. Ancak bu durum çoğu zaman sondajların ekonomik açıdan pahalı yatırımlar olmasından, rezervuara kadar inilememesi ve kuyu açma işleminin uzun süre alması gibi nedenlerden dolayı imkânsızdır [34].

Rezervuar sıcaklıklarının tahmin edilmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Su kimyası analiz ve doğal izotop sonuçlarının jeotermometre olarak kullanılması, sığ ve derin kuyularda ölçülen sıcaklıklardan yararlanılarak rezervuar sıcaklığının tahmini ve jeotermal alanlarda gözlenen hidrotermal alterasyon sonucu oluşan tepkimelerin (su-kayaç etkileşimi) incelenmesi bu yöntemlerden bazılarıdır [34].

Bu çalışmada rezervuarın sıcaklığının hesaplanması için su kimyası ve doğal izotop sonuçları kullanılmıştır. İnceleme alanında Mart ve Eylül 2015'te gerçekleştirilen arazi çalışmaları sırasında, Ilıkpınar (Deliömer), Akyar ve Doğanbey sıcak su kaynaklarından, soğuk su kaynaklarından, yağmur ve deniz suyundan örneklemeler yapılmıştır (Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1). Majör iyon içerikleri ile fiziko-kimyasal ölçümler Çizelge 4.2'de, eser elementler ise Çizelge 4.3'te sunulmuştur.

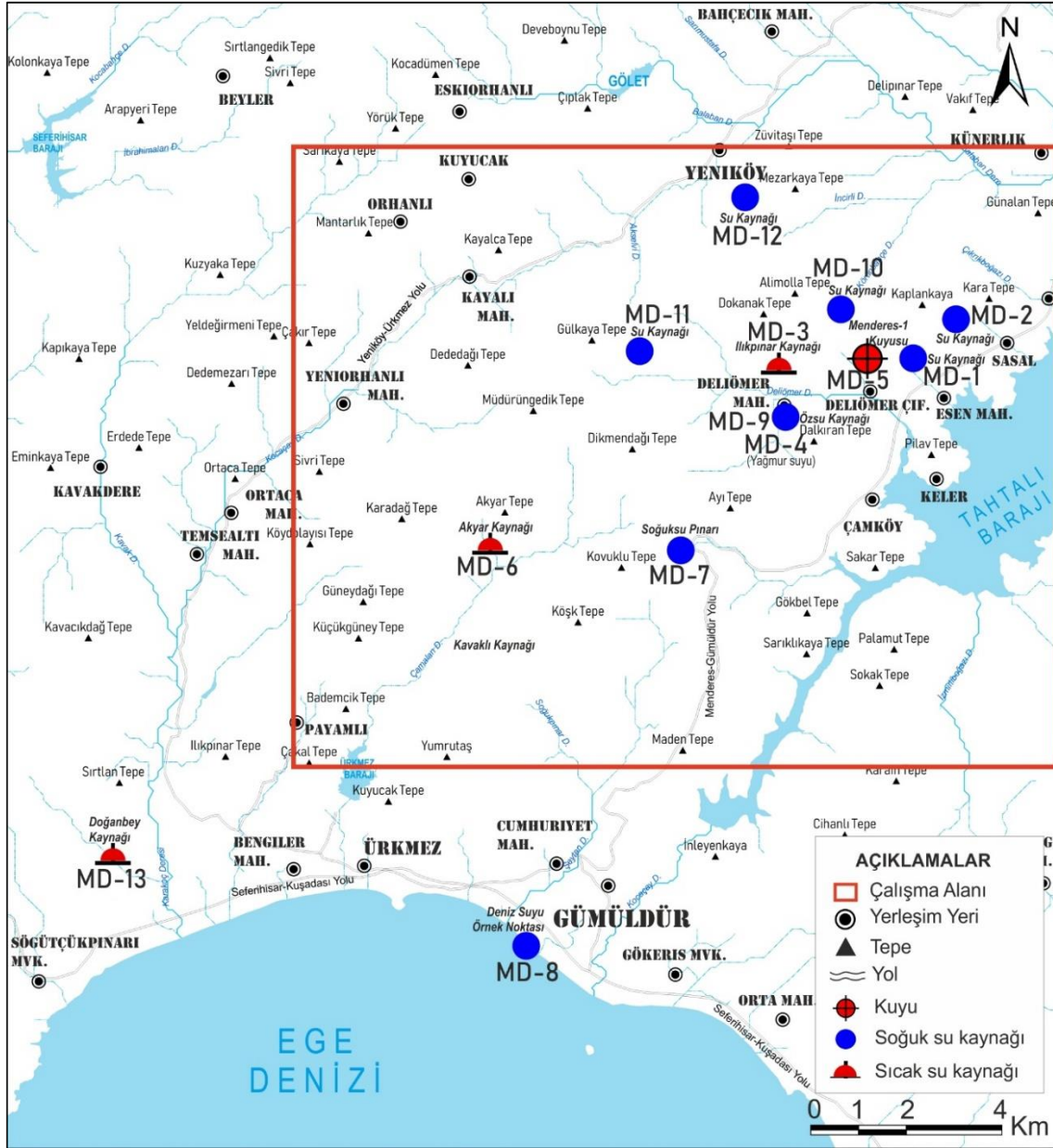
Alınan su örneklerinin majör iyon, eser element ve trityum analizleri Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Su Kimyası Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

Çalışmaya katkı sağlaması ve karşılaştırma yapılması amacıyla, örneklenen noktalara ait önceki çalışmalarda alınmış örnekler de değerlendirilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1. Çalışma alanı ve çevresindeki su örnekleme noktaları

Örnek Adı	Açıklama	Koordinatlar		
		X (Sağa)	Y (Yukarı)	Z (m)
MD-1	Kaynak-Akarsu	507990	4225550	110
MD-2	Kaynak-Akarsu	508888	4226369	239
MD-3	Ilıkpınar Kaynağı (Deliömer)	505233	4225316	127
MD-4	Yağmur Suyu	505312	4224366	118
MD-5	Menderes-1 Kuyusu	507029	4225545	92
MD-6	Akyar Kaynağı	499020	4221691	192
MD-7	Kaynak (Pınar)	503120	4221525	270
MD-8	Deniz Suyu	499876	4213235	0
MD-9	Özsu Kaynağı	505312	4224366	118
MD-10	Kaynak	506475	4226578	178
MD-11	Kaynak	502256	4225701	314
MD-12	Kaynak	504468	4228927	287
MD-13	Doğanbey Kaynağı	491281	4215095	24

Koordinatlar UTM, ED-50, 6° olarak verilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışma alanı ve çevresindeki su örnekleme noktaları

Çizelge 4.2. İnceleme alanında toplanmış su örneklerinin fizikokimyasal özellikleri ve majör iyon içerikleri (mek/l)

Örnek No	Açıklama	Dönem	Z	EC ₂₅ (µS/cm)	pH	T (°C)	EC Lab (µS/cm)	pH Lab	Ca (mek/l)	Mg (mek/l)	Na (mek/l)	K (mek/l)	HCO ₃ (mek/l)	SO ₄ (mek/l)	Cl (mek/l)	CO ₃ (mek/l)	% Hata
MD-01	Kaynak-Akarsu	M15	110	100	7,66	11,40	164	7,45	0,60	0,31	0,58	0,07	0,65	0,43	0,43	0,00	1,76
MD-01	Kaynak-Akarsu	E15	110	200		21,30	145	6,24	0,47	0,19	0,79	0,08	0,94	0,14	0,50	0,00	-1,45
MD-02	Kaynak-Akarsu	M15	239	100	7,84	11,30	156	6,90	0,64	0,32	0,54	0,07	0,60	0,39	0,47	0,00	3,84
MD-03	Ilıkpınar Kaynağı	M15	127	500	7,27	32,00	396	6,77	2,76	0,26	1,19	0,24	3,40	0,26	0,55	0,00	2,66
MD-03	Ilıkpınar Kaynağı	E15	127	420		31,80	374	7,59	2,61	0,25	1,26	0,24	2,48	0,30	0,60	0,76	2,78
MD-04	Yağmur Suyu	M15	118	0	7,50	11,90	64	6,81	0,46	0,03	0,07	0,01	0,45	0,08	0,06	0,00	-1,84
MD-05	Kuyu	M15	92	600	7,57	18,20	560	7,25	2,55	0,30	3,49	0,08	5,30	0,38	0,40	0,00	2,60
MD-05	Kuyu	E15	92	600		19,90	536	7,41	2,52	0,30	3,27	0,08	5,14	0,36	0,43	0,00	1,99
MD-06	Akyar Kaynağı	M15	192	400	7,52	36,20	307	6,74	1,48	0,25	1,29	0,33	2,60	0,11	0,62	0,00	0,30
MD-06	Akyar Kaynağı	E15	192	360		34,70	336	6,91	1,58	0,26	1,47	0,35	2,67	0,12	0,72	0,00	2,12
MD-07	Kaynak (Pınar)	M15	270	100	7,93	16,90	120	6,50	0,43	0,13	0,60	0,06	0,80	0,12	0,36	0,00	-2,09
MD-07	Kaynak (Pınar)	E15	270	123		19,30	120	6,20	0,41	0,13	0,72	0,06	0,86	0,08	0,46	0,00	-2,43
MD-08	Deniz Suyu	M15	0	65000	7,39	15,60	59076	7,39	54,98	163,86	488,77	11,85	2,90	53,56	629,78	0,00	2,36
MD-08	Deniz Suyu	E15	0	65000		24,80	57580	7,35	53,60	160,07	561,85	11,67	2,10	62,60	683,96	0,95	2,45
MD-09	Özsu Kaynağı	M15	200	100	7,85	14,70	120	7,88	0,89	0,18	0,26	0,03	1,20	0,14	0,04	0,00	-0,76
MD-10	Kaynak	E15	178	208		19,80	193	7,08	0,89	0,16	0,92	0,11	1,67	0,08	0,41	0,00	-2,08
MD-11	Kaynak	E15	314	238		24,30	105	7,20	0,44	0,17	0,48	0,06	0,65	0,19	0,35	0,00	-2,02
MD-12	Kaynak	E15	287	475		18,10	384	6,62	2,87	0,47	0,93	0,17	3,33	0,31	0,65	0,00	1,61
MD-13	Doğanbey Kaynağı	E15	24	12350		76,70	10050	6,47	18,80	6,76	87,73	3,97	10,67	5,41	96,22	0,00	2,16
İG-02*	Akyar Kaynağı (MD-6)	A09		449	7.10	33.00			3.10	0.56	1.01	0.21	4.18	0.07	0.69	0.00	-0.58
İG-03*	Ilıkpınar Kaynağı (MD-3)	A09		379	7.00	33.00			2.36	0.19	1.21	0.26	3.29	0.32	0.63	0.00	-2.63
İG-07*	Kaynak (Pınar) (MD-7)	A09		116	6.40	22.50			0.26	0.08	0.70	0.10	0.68	0.09	0.41	0.00	-1.11
İG-10*	Kaynak (MD-10)	A09		181	6.50	20.00			0.71	0.09	0.94	0.14	1.46	0.09	0.40	0.00	-1.74
İSA-10*	Akyar Sondajı	A09		5690	8.50	84.00			0.46	0.64	50.20	4.04	4.46	4.23	47.87	0.00	-1.09
Doğanbey**	Termal kaynak (MD-13)	95		12370	6.80	78.00			11.73	8.23	119.63	6.50	1.52	7.81	139.39	22.96	-8.06

Önceki çalışmalardan alınan veriler: *Bulut, M., 2013, **MTA,1995

Çizelge 4.3. İnceleme alanında toplanmış su örneklerinin eser element içerikleri (ppb)

Örnek No	Dönem	F	NO2	Br	NO3	CO3	Li	NH4	SiO2	B	Be	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Zn	Ga	Ge
MD-01	M15	0.02	0.00	0.02	0.40	0.00	0.00	0.00	34.27	0.00	0.01	50.83	14.26	0.38	4.78	0.00	29.18	6.56	0.00	0.00
MD-01	E15	0.08	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	52.66	0.00	0.20	125.50	13.22	0.69	5.02	226.30	78.00	7.67	0.00	0.77
MD-02	M15	0.02	0.00	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00	25.30	0.00	0.02	36.50	14.68	0.30	2.37	0.00	29.76	7.00	0.00	0.00
MD-03	M15	0.04	0.00	0.06	1.18	0.00	0.00	0.00	46.13	0.00	0.00	28.70	13.87	0.23	1.02	0.00	50.20	7.05	0.00	0.00
MD-03	E15	0.26	0.00	0.06	0.45	22.86	0.01	0.00	55.46	0.00	0.00	19.27	12.38	0.43	2.57	47.85	116.90	15.78	0.00	0.00
MD-04	M15	0.03	0.14	0.01	3.06	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	30.78	13.39	0.06	1.66	11.21	22.96	6675.00	0.06	0.00
MD-05	M15	0.22	0.00	0.05	0.26	0.00	0.04	0.00	41.97	0.00	0.00	27.15	13.38	0.82	2.27	0.00	24.41	6.14	0.70	0.00
MD-05	E15	0.33	0.00	0.06	0.32	0.00	0.03	0.00	46.74	0.00	0.00	22.98	12.06	0.40	1.04	0.44	116.40	11.84	0.23	0.00
MD-06	M15	0.14	0.00	0.07	0.30	0.00	0.04	0.00	43.25	0.00	0.02	25.84	12.77	0.94	1.57	0.00	56.35	8.51	0.00	0.00
MD-06	E15	0.30	0.00	0.06	0.14	0.00	0.03	0.00	53.44	0.00	0.06	21.56	11.58	0.76	1.59	0.36	73.95	43.34	0.00	0.00
MD-07	M15	0.01	0.00	0.03	0.16	0.00	0.00	0.00	41.33	0.00	0.24	48.62	13.13	0.20	2.48	0.00	23.50	7.58	0.00	0.00
MD-07	E15	0.05	0.00	0.05	0.12	0.00	0.00	0.00	48.75	0.00	0.50	54.15	11.26	0.23	1.54	1.93	21.14	7.17	0.00	0.00
MD-08	M15	5.29	0.00	56.81	2.57	0.00	0.00	0.00	0.00	5.46	1.44	7554.00	532.10	403.90	98.26	0.00	2319.50	237.70	210.80	0.00
MD-08	E15	20.73	0.00	70.56	0.00	28.57	0.00	0.00	0.00	5.20	2.40	6093.00	476.10	307.30	94.85	0.00	1630.50	224.90	190.90	0.00
MD-09	M15	0.06	0.00	0.00	2.42	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.14	29.69	14.89	0.82	1.97	0.00	36.39	8.13	0.00	0.00
MD-10	E15	0.08	0.00	0.04	0.43	0.00	0.01	0.00	55.79	0.00	0.06	21.23	11.55	0.93	1.66	0.00	40.15	5.48	0.00	0.00
MD-11	E15	0.06	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	47.97	0.00	0.08	68.21	10.59	0.66	1.44	0.00	23.11	6.18	0.00	0.00
MD-12	E15	0.29	0.00	0.09	0.02	0.00	0.01	0.00	55.34	0.00	0.00	23.47	10.24	0.79	0.77	32.70	115.05	5.26	0.00	0.00
MD-13	E15	5.54	0.00	9.06	0.41	0.00	4.34	0.00	63.79	96.91	2.66	1988.00	138.30	56.92	21.37	235.80	601.50	81.58	68.09	21.35

Çizelge 4.3. (devam ediyor)

Örnek No	Dönem	As	Se	Rb	Sr	Zr	Nb	Mo	Pd	Cd	Sb	Cs	Ba	Eu	Ta	W	Hg	Tl	Pb	U
MD-01	M15	4.65	0.00	8.47	44.74	0.00	0.01	0.00	0.23	0.00	0.31	0.05	11.06	0.01	4.91	0.00	0.00	0.01	18.08	0.04
MD-01	E15	10.48	0.00	11.77	32.52	0.14	0.18	0.00	0.17	0.00	0.46	0.67	8.79	0.01	7.03	0.00	0.01	0.07	20.15	0.64
MD-02	M15	4.32	0.00	8.03	45.57	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.26	0.03	8.23	0.01	3.27	0.00	0.01	0.01	10.00	0.02
MD-03	M15	28.60	0.00	19.34	78.17	0.07	0.00	3.72	0.29	0.00	0.21	1.06	3.06	0.00	5.45	0.00	0.00	0.01	5.51	0.38
MD-03	E15	35.17	0.00	19.26	87.37	0.23	0.00	3.54	0.28	0.04	0.25	1.02	3.15	0.00	5.13	0.00	0.02	0.02	10.50	0.41
MD-04	M15	5.64	3.33	2.10	10.33	0.00	0.00	0.00	0.05	0.18	0.63	0.00	12.10	0.01	5.69	0.00	0.02	0.03	8.41	0.00
MD-05	M15	15.43	0.00	4.65	127.40	0.00	0.00	24.22	0.40	0.01	0.45	0.08	34.24	0.02	4.83	24.14	0.18	0.01	12.18	5.17
MD-05	E15	15.33	0.00	4.86	153.40	0.27	0.00	17.66	0.67	0.10	0.21	0.09	21.49	0.01	3.84	16.89	0.14	0.01	6.32	4.11
MD-06	M15	8.12	0.00	48.05	118.80	0.01	0.00	0.00	0.45	0.00	0.21	4.81	3.32	0.00	4.72	0.00	0.01	0.09	7.97	11.65
MD-06	E15	8.35	0.00	56.22	139.10	0.07	0.00	0.00	0.59	0.00	0.11	5.67	2.12	0.00	3.31	0.00	0.02	0.10	8.25	10.22
MD-07	M15	6.18	0.00	11.32	21.11	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.28	1.25	2.68	0.00	4.68	0.00	0.00	0.03	10.67	4.20
MD-07	E15	6.15	0.00	11.50	20.73	0.00	0.01	0.00	0.10	0.00	0.20	1.42	4.72	0.00	8.53	0.00	0.02	0.02	8.26	5.10
MD-08	M15	597.70	625.30	256.30	17330	41.35	0.46	44.43	69.63	0.53	132.40	1.84	8606.00	4.88	194.90	0.26	1.47	0.36	666.50	8.47
MD-08	E15	511.60	338.10	171.20	11770	32.56	0.29	26.63	47.35	0.50	113.30	1.06	7276.00	4.21	184.20	0.00	1.57	0.22	842.00	7.05
MD-09	M15	4.96	0.00	2.97	54.33	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.35	1.88	4.78	0.00	5.28	0.00	0.04	0.01	7.76	0.21
MD-10	E15	14.30	0.00	16.06	23.54	0.02	0.00	0.00	0.10	0.00	0.29	0.19	2.13	0.00	4.48	0.00	0.01	0.01	8.33	5.92
MD-11	E15	7.57	0.00	4.23	30.82	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.22	0.08	4.05	0.00	4.76	0.00	0.00	0.01	7.39	0.07
MD-12	E15	18.09	0.00	13.76	130.90	0.22	0.00	0.00	0.50	0.04	0.51	0.24	14.46	0.01	6.03	0.00	0.01	0.03	5.10	7.87
MD-13	E15	177.6	20.28	1191	4310.	10.75	0.00	0.00	17.27	0.00	66.99	737.40	2416.00	1.32	77.82	105.90	1.10	2.06	243.90	0.00

Arazi çalışmaları sırasında örnekleme noktalarında fizikokimyasal parametreler (sıcaklık, pH, özgül elektriksel iletkenlik) ölçülmüştür. Bölgedeki soğuk su kaynaklarının sıcaklıkları Mart 2015 dönemi için ortalama 13,2°C olup, 11,3°C ile 16,9°C arasında değişmektedir. Sıcak su kaynakları için ise, Ilıkpınar (Deliömer) sıcak su kaynağında 32°C, Akyar kaynağında 36,2°C ölçülmüştür. Örnekleme sırasında kullanımda olmayan Menderes-1 kuyusunda sıcaklık 18,2°C olarak ölçülmüştür. Özgül Elektriksel İletkenlik değerleri (EC₂₅), soğuk su kaynaklarında ortalama 154 µS/cm, Menderes-1 kuyusunda 644 µS/cm, sıcak su kaynaklarından Ilıkpınar (Deliömer) kaynağında 455 µS/cm, Akyar kaynağında 353 µS/cm ölçülmüştür. pH değerleri ise soğuk su kaynaklarında 7,66 ile 7,93 aralığında değişmektedir. Bu değer Menderes-1 kuyusunda 7,57, sıcak su kaynaklarından Ilıkpınar (Deliömer) kaynağında 7,27, Akyar kaynağında 7,52 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.4).

Eylül 2015 döneminde çalışma alanı ve çevresinde alınan soğuk su örneklerinin ortalama sıcaklıkları 20,5°C olup, 19,3°C ile 24,3°C arasında değişmektedir. Sıcak su kaynakları için ise, Ilıkpınar (Deliömer) sıcak su kaynağında 31,8°C, Akyar kaynağında 34,7°C ölçülmüştür. Örnekleme sırasında kullanımda olmayan Menderes-1 kuyusunda sıcaklık 19,9°C olarak ölçülmüştür. Özgül Elektriksel İletkenlik değerleri (EC₂₅), soğuk su kaynaklarında ortalama 249 µS/cm, Menderes-1 kuyusunda 600 µS/cm, sıcak su kaynaklarından Ilıkpınar (Deliömer) kaynağında 420 µS/cm, Akyar kaynağında 360 µS/cm ölçülmüştür. Arazide prob arızası nedeniyle pH ölçümü yapılamamıştır. Örneklerin laboratuvar pH değerleri ise soğuk su kaynaklarında 6,20 ile 7,20 aralığında değişmektedir, Menderes-1 kuyusunda 7,41 sıcak su kaynaklarından Ilıkpınar (Deliömer) kaynağında 7,59 Akyar kaynağında 6,91 olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.4).

Çalışma alanından toplanan suların eser element analizleri incelendiğinde, arsenik içerikleri MD-1 kurak dönem örneğinde 10,48 ppb, MD-3 (Ilıkpınar) örneğinde 35,17 ppb, MD-5 (Menderes-1 Kuyusu) örneğinde 15,43 ppb, MD-10 örneğinde 14,30 ppb, MD-12 örneğinde 18,09 ppb ve MD-13 Doğanbey kaynağında 177,6 ppb ölçülmüştür. Buna göre, sahadaki suların arsenik içerikleri, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 1993'e göre, içme sularında belirtilen 10 ppb üst sınırının üzerindedir [35].

4.1. Majör İyon Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 4.2'de sunulan majör iyon içerikleri ile yapılan anyon-kasyon dengesi değerleri -%2,4 ile %3,84 arasında değişmekte olup, analiz sonuçları kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Çalışma alanı içerisinde yer alan Ilıkpınar ve Akyar sıcak su kaynakları Ca-Na-HCO₃ fasiyesinde iken, alan dışında yer alan Doğanbey kaynağı Na-Cl fasiyesinde bulunmaktadır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Çalışma alanında toplanan örneklerde belirlenen su tipleri

Örnek	Dönem	Açıklama	Su Tipi	T °C	pH	EC µS/cm	TÇM* mg/l
MD-01	Mart 15	Kaynak-Akarsu	Ca-Na -HCO ₃	11.4	7.45	100	142.4
MD-01	Eylül 15	Kaynak-Akarsu	Na-HCO ₃	21.3	6.24	200	168.0
MD-02	Mart 15	Kaynak-Akarsu	Ca-Na-HCO ₃	11.3	6.9	100	129.2
MD-03	Mart 15	Ilıkpınar Kaynağı	Ca-Na-HCO ₃	32.0	6.77	500	381.9
MD-03	Eylül 15	Ilıkpınar Kaynağı	Ca-Na-HCO ₃	31.8	7.59	420	359.7
MD-04	Mart 15	Yağmur Suyu	Ca-HCO ₃	11.9	6.81	0	55.3
MD-05	Mart 15	Kuyu	Na-Ca-HCO ₃	18.2	7.25	600	536.7
MD-05	Eylül 15	Kuyu	Na-Ca-HCO ₃	19.9	7.41	600	526.0
MD-06	Mart 15	Akyar Kaynağı	Ca-Na-HCO ₃	36.2	6.74	400	305.0
MD-06	Eylül 15	Akyar Kaynağı	Ca-Na-HCO ₃	34.7	6.91	360	330.3
MD-07	Mart 15	Kaynak (Pınar)	Na-Ca-HCO ₃	16.9	6.5	100	135.0
MD-07	Eylül 15	Kaynak (Pınar)	Na-Ca-HCO ₃	19.3	6.2	122.5	150.5
MD-08	Mart 15	Deniz Suyu	Na-Mg-Cl	15.6	7.39	65000	39968.9
MD-08	Eylül 15	Deniz Suyu	Na-Mg-Cl	24.8	7.35	65000	43920.1
MD-09	Mart 15	Özsu Kaynağı	Ca-HCO ₃	14.7	7.88	100	110.9
MD-10	Eylül 15	Kaynak	Na-Ca-HCO ₃	19.8	7.08	208	221.6
MD-11	Eylül 15	Kaynak	Na-Ca-HCO ₃	24.3	7.2	238	133.8
MD-12	Eylül 15	Kaynak	Ca-Na-HCO ₃	18.1	6.62	475	388.9
MD-13	Eylül 15	Doğanbey Kaynağı	Na-Cl	76.7	6.47	12350	7141.3

*TÇM PhreeqC programı ile hesaplanmıştır.

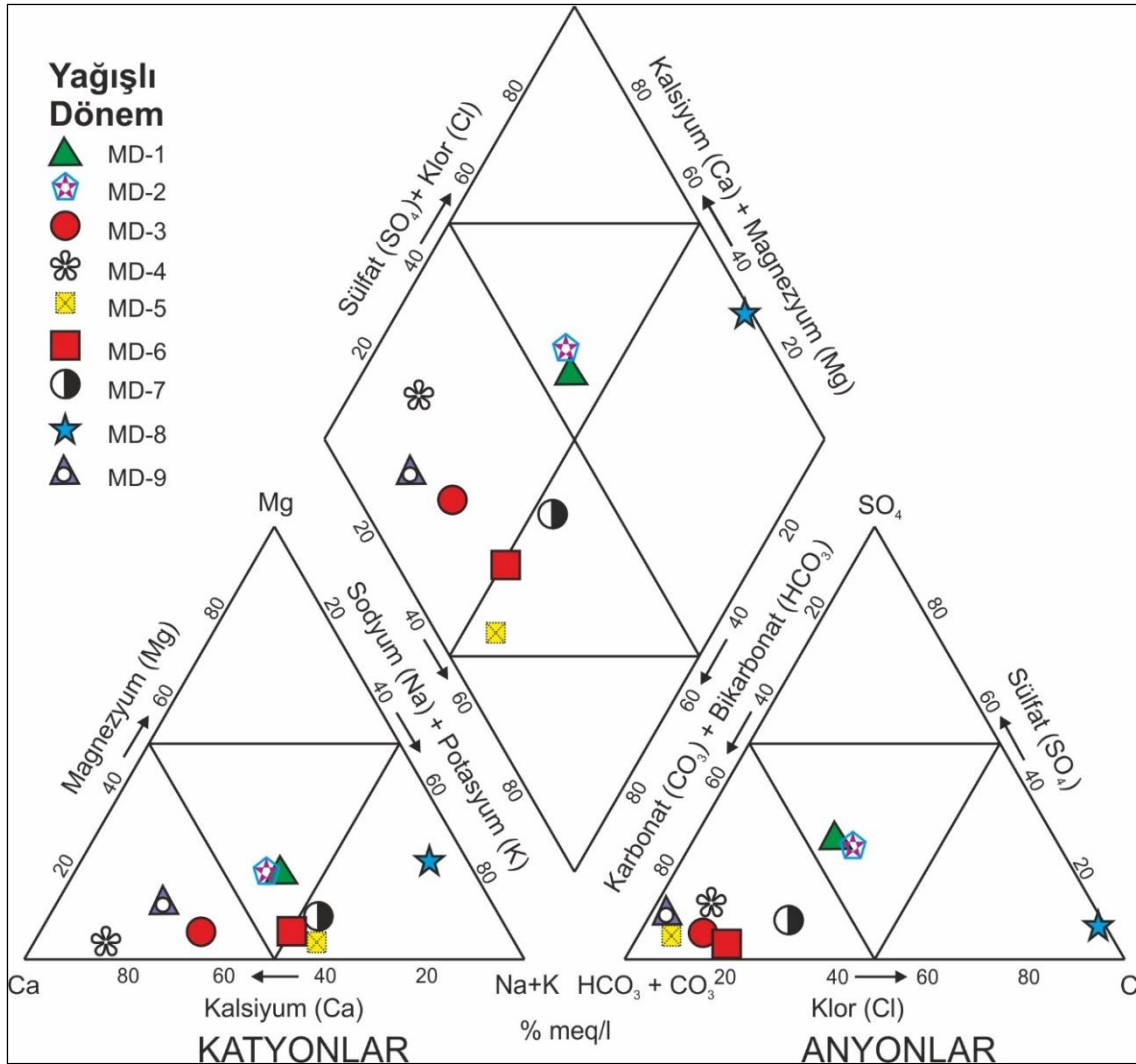
Çalışma alanı ve çevresinden toplanan su örnekleri, örnekleme dönemleri için ayrı ayrı ve tüm örnekler birlikte Piper diyagramları üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

Piper diyagramlarında görüldüğü gibi sıcak sular dönemsel bir farklılık göstermemektedir. Ilıkpınar kaynağı (MD-3) Ca-HCO₃ fasiyesinde yer alırken, Akyar (MD-6) kaynağı Ca/Na-HCO₃ fasiyesine yakın bir konumda bulunmaktadır. Şekil 4.4'te Mart ve Eylül 2015 yılında toplanmış örnekler, 1995 ve 2013 yılında önceki çalışmalarda toplanmış örneklerle birlikte gösterilmiştir. Ilıkpınar kaynağından alınmış tüm örnekler aynı konumda yer almaktadır. Akyar kaynağında 2013 yılında alınmış örnek, Ilıkpınar kaynağı ile benzer kompozisyon sunmaktadır. Doğanbey kaynağı (MD-13) Na-Cl fasiyesinde yer almakta olup çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarından hidrokimyasal olarak farklılık göstermektedir. Ilıkpınar ve Akyar kaynaklarının TÇM içerikleri birbirine yakın

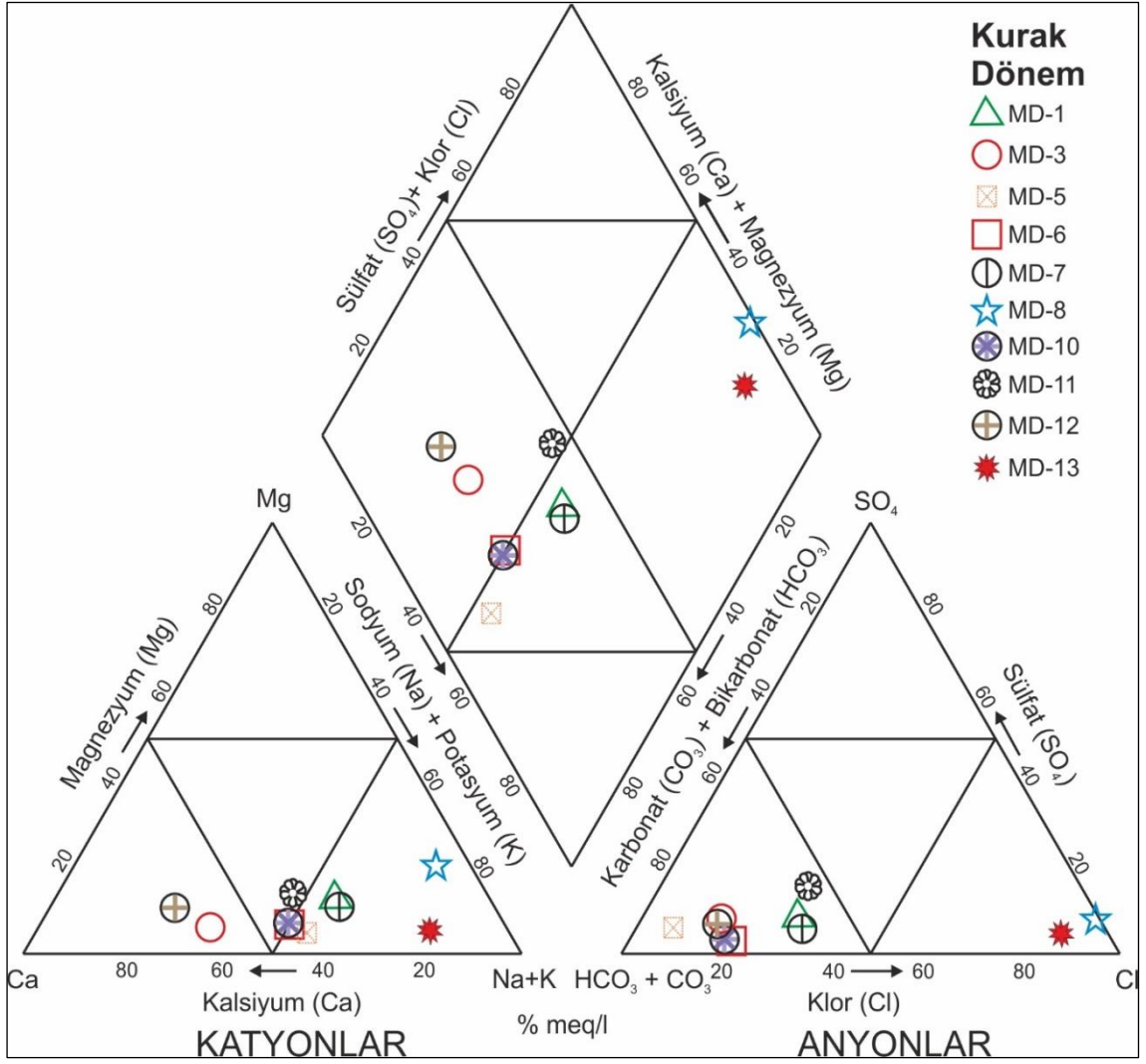
(300-380 mg/l arası) iken Doğanbey kaynağında bu değer 7141 mg/l'dir (Çizelge 4.4).

MD-9 Özsu Kaynağı, yağışlı dönemde Ilıkınar kaynağı ile benzer fasiyeste gözlenmiştir. Deliömer derenin karşı sahilinde, Ilıkınar kaynağı ile yakın kottan boşalan bu mevsimsel kaynağın TÇM içeriği daha azdır (110 mg/l).

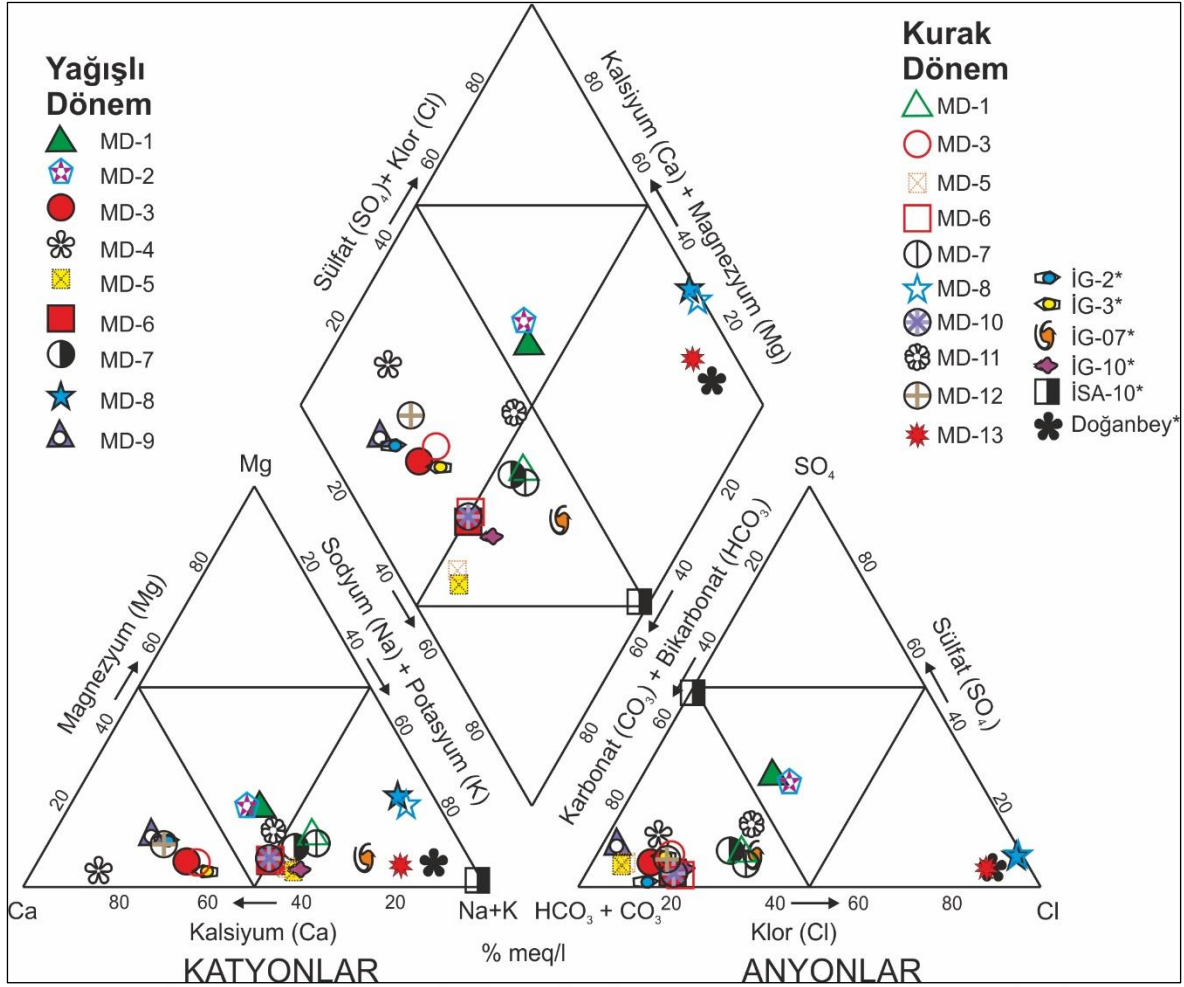
Eylül ayında örneklenen MD-12 no'lu soğuk su kaynağı, Ilıkınar kaynağı ile benzer kompozisyona ve TÇM (388 mg/l) içeriğine sahip olup sıcaklığı 18,1°C'dir. MD-12 kaynağı Ilıkınar kaynağının boşaldığı Dokanak Tepe'nin kuzeybatı yamacında daha üst kottan boşalmaktadır.



Şekil 4.2. Yağışlı dönem örneklerinin Piper diyagramındaki yeri



Şekil 4.3. Kurak dönem örneklerinin Piper diyagramındaki yeri

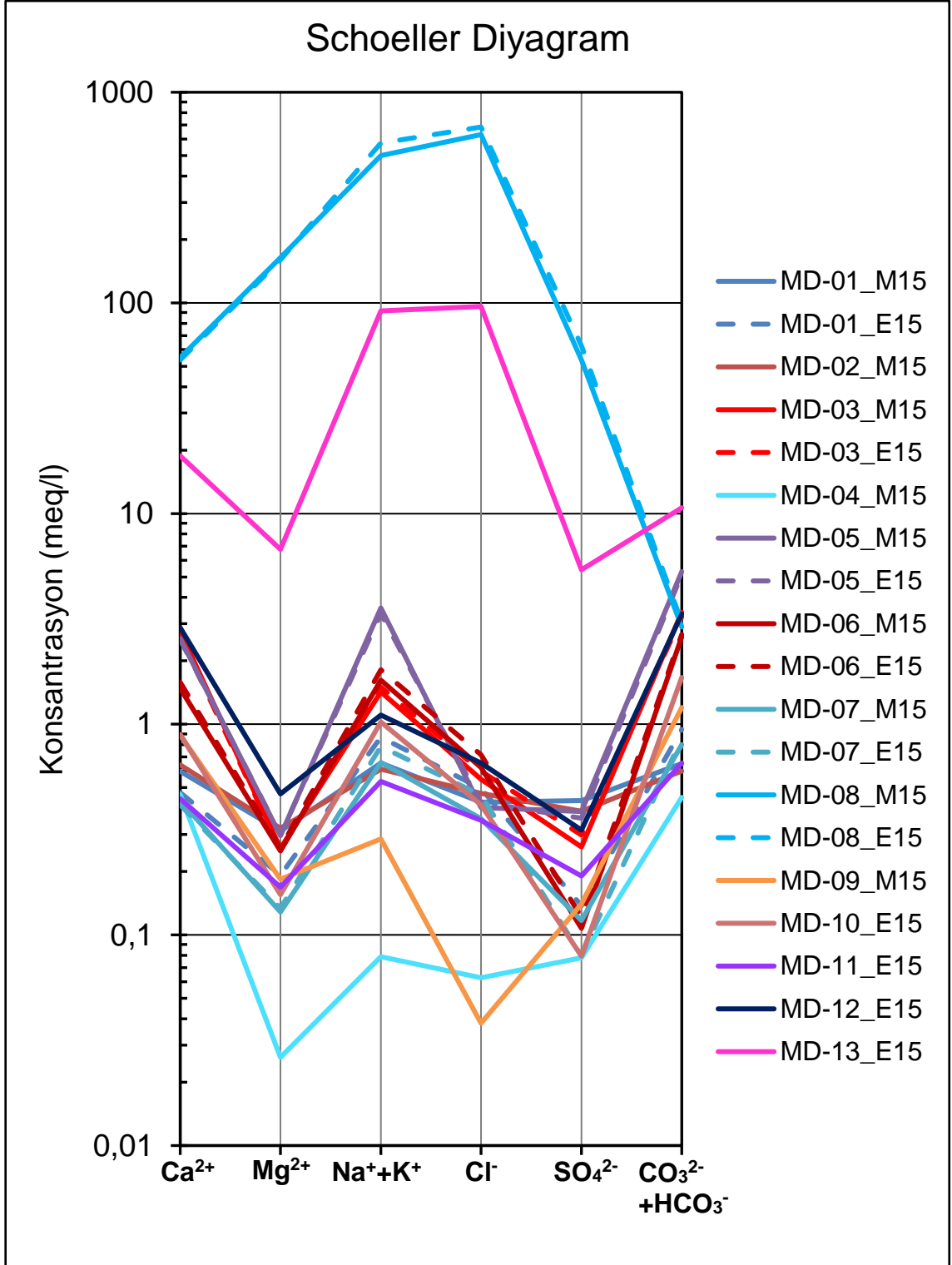


Şekil 4.4. Tüm örneklerin Piper diyagramındaki karşılaştırmaları (*İG-2: MD-6, *İG-3: MD-3, *İG-7: MD-7, *İG-10: MD-10, *Doğanbey: MD-13 ile aynı kaynakları temsil etmektedir. *Bulut,M.,2013 ve MTA,1995)

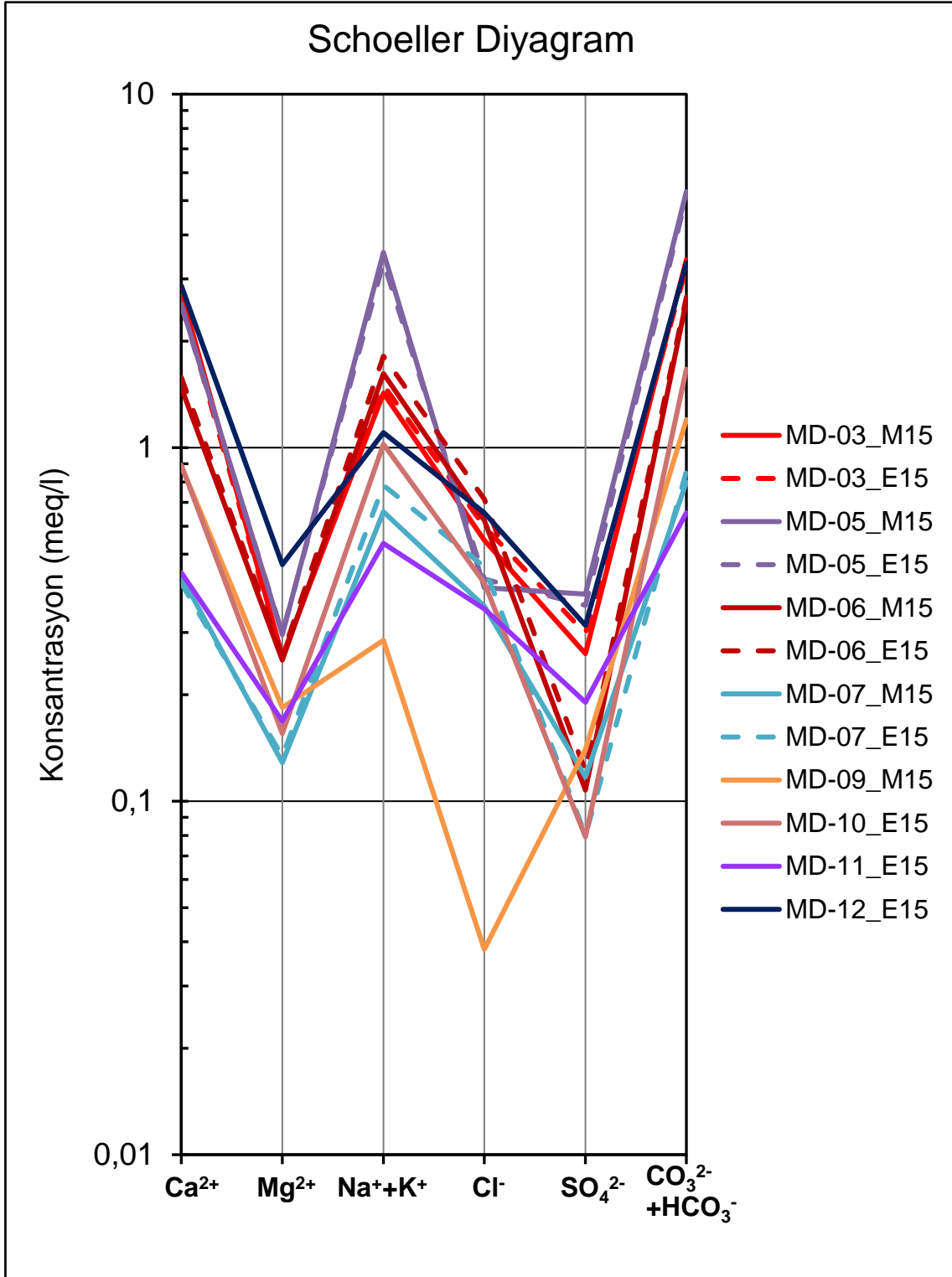
Çalışma alanından toplanan su örnekleri, kaynak, kuyu, deniz ve yağmur suları yarı logaritmik Schoeller diyagramında karşılaştırılmıştır (Şekil 4.5)

Schoeller diyagramında deniz suyu (MD-8), yağmur suyu (MD-4) ve Doğanbey kaynağı (MD-13) farklı fasiyes ve kimyasal özellikleri ile çalışma alanındaki örneklerden ayrılmaktadır. Çalışma alanında yer alan yeraltısuyu boşalımları incelendiğinde (Şekil 4.6), Akyar kaynağının Ilıkpınar kaynağından daha düşük Ca^+ ve SO_4^{2-} içeriği ile ayrıldığı görülmektedir. Ilıkpınar kaynağı ile benzerlik gösteren MD-2 soğuksu kaynağı ise düşük Na^++K^+ , yüksek $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ içeriği ile farklılık göstermektedir. MD-5 kuyusu Na^++K^+ ve SO_4^{2-} içeriğinin fazlalığı ile ayrılmaktadır. MD-5 kuyusu çalışma kapsamında alınan en yüksek iyon derişimine sahip örnektir. Kullanılmayan kuyunun derin dolaşimli yeraltısuyu sisteminden karışıma uğrayarak derin dolaşimli sular sınıfına girdiği söylenebilir.

Örneklerin kimyasal içerikleri kurak ve yağışlı dönemlerde önemli bir farklılık göstermemektedir.

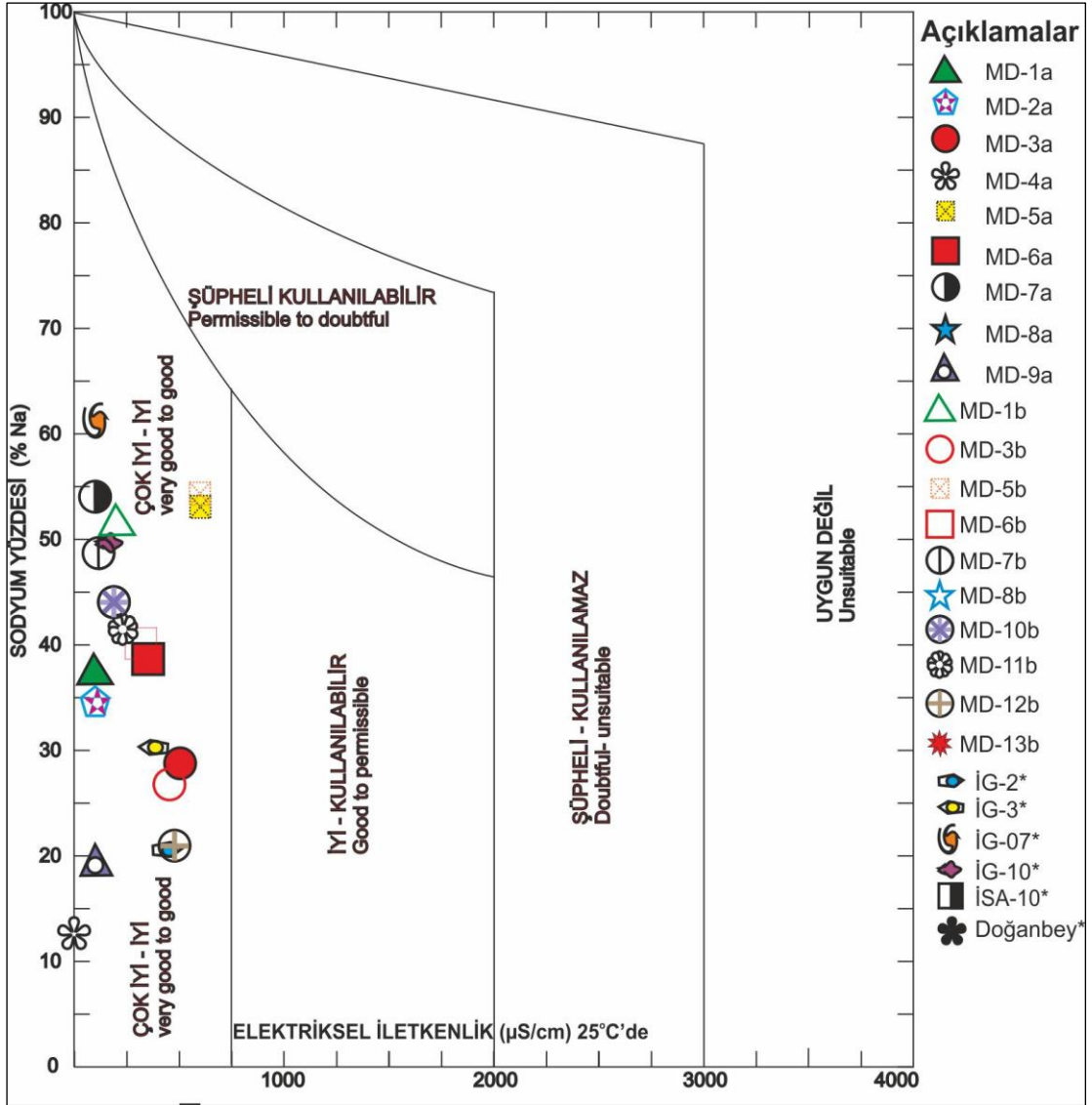


Şekil 4.5. Çalışma alanı ve çevresinde örneklenen tüm örnekler için hazırlanan Schoeller Diyagramı



Şekil 4.6. Çalışma alanı içerisinde kalan örnekler için hazırlanan Schoeller Diyagramı

İnceleme alanında yer alan kuyu sularının sulama suyu amaçlı kullanımının uygun olup olmadığını belirlemek için bu suların Wilcox diyagramında değerlendirmeleri yapılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramı (a: Mart 2015, b: Eylül 2015, *İG-2: MD-6, *İG-3: MD-3, *İG-7: MD-7, *İG-10: MD-10, *Doğanbey: MD-13 ile aynı kaynakları temsil etmektedir. *Bulut,M.,2013 ve MTA, 1995)

Wilcox diyagramında; sodyum yüzdesi (%Na) ve EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değerleri suların sulama suyu olarak kullanımı için “çok iyi-iyi”, “iyi kullanılabilir”, “şüpheli kullanılabilir”, “şüpheli” kullanılamaz” ve “uygun değil” bölümlerini kapsamaktadır.

İnceleme alanındaki sular Wilcox diyagramı üzerinde değerlendirildiğinde; MD-13 MD-8, İSA-10 gibi EC değerleri 4000'den yüksek olan sular hariç tüm su örnekleri “çok iyi-iyi” bölümde yer almaktadırlar. İnceleme alanında bulunan

ancak EC'leri 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den büyük olan sular bu diyagram üzerinde yer almamakla birlikte sulama suyu amaçlı kullanımları uygun değildir.

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı üzerinde, sodyum (alkali) tehlikesi ve tuzluluk tehlikesinin belirlenmesi amacıyla Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) ve EC değerleri işaretlenmiştir (Şekil 4.8.).

SAR; Sodyum iyonunun iyon takası (ion exchange) reaksiyonlarındaki aktifliğinin ifadesi olup, sodiklik tehlikesi yönünden suların sınıflamasında kullanılan genel bir ölçüdür. Bikarbonat ve karbonat değerleri nispeten düşük olan suların değerlendirilmesi için SAR kullanılan bir kriterdir. SAR değeri sodyumu tek başına değil, Ca^{2+} ve Mg^{2+} ile karşılıklı etkileşimi ve kation takas reaksiyonlarındaki aktifliğini dikkate aldığı için % Na^+ 'ya göre daha hassastır. Ca^{2+} ve Mg^{2+} suda sodyum tehlikesini azaltıcı etki gösterir [36].

ABD laboratuvarı diyagramında geçen tuzluluk ve sodyum sınıflarının anlamları şu şekildedir;

C1: Az tuzlu suları göstermektedir. EC değeri 0-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. Çoğu toprakta her türlü bitkinin sulanmasında kullanılabilir.

C2: Orta derecede tuzlu suları göstermektedir. EC değeri 250–750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. Orta derecede bir yıkama varsa, tuzluluk kontrolüne gerek kalkmaksızın, tuza orta derecede dayanıklı bütün bitkilerin sulamasında kullanılabilir.

C3: Yüksek tuzlu, EC değeri 750-2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olan suları göstermektedir. Drenaj durumu iyi olmayan topraklarda ve tuza hassas bitkiler için kullanılmamalıdır. Tuza dayanıklı bitkiler seçilerek ve tuz kontrolü yapılarak kullanılabilir.

C4: Çok yüksek tuzlu, EC değeri 2250–5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olan suları ifade etmektedir. Normal şartlarda sulamaya uygun değildir. Yüksek permeabilite, çok iyi drenaj, tam yıkamayı sağlayacak kadar bol sulama ve tuzluluğa çok dayanıklı bitki seçimi gibi özel hallerde kullanılabilir.

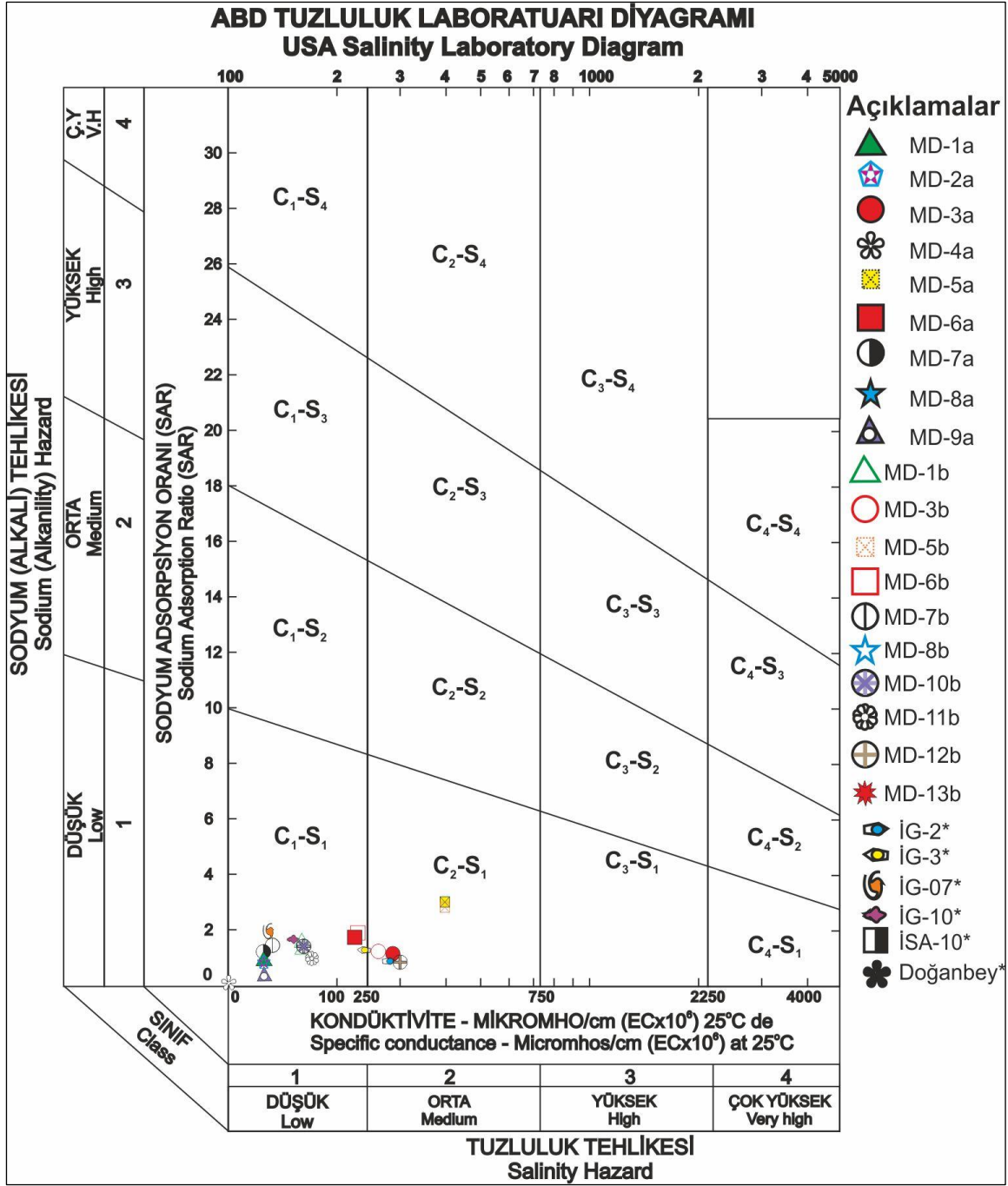
S1: Az sodyumlu suyu göstermektedir. Bu sınıftaki bir su, sodyum tehlikesi yaratmaksızın kullanılabilir.

S2: Orta sodyumlu suyu temsil eder. Fazlaca değişebilir sodyum var demektir. İnce yapılı topraklarda özellikle jips yönünden fakir topraklarda önemli bir sodyum tehlikesi gösterebilir.

S3: Yüksek sodyumlu suları gösterir. Birçok toprakta sodyum tehlikesi yaratır ve sodikleşmeye yol açar. Bol jipsli topraklarda, çok iyi yıkama ve suya organik maddeler katmak üzere kullanılırsa sodyum tehlikesi önlenir.

S4: Çok yüksek sodyumlu suları ifade eder. Sulama amaçlarına uygun değildir. Ancak tuzluluğun orta ve düşük olması, jipsle birlikte kullanılarak suda kimyasal değişiklikler yapılması gibi çok özel bazı hallerde kullanılabilir [36].

Çalışma alanında bulunan kaynak ve kuyu suları, diyagram üzerinde değerlendirildiğinde; MD-1a, MD-1b, MD-2a, MD-4a, MD-6a, MD-6b, MD-7a, MD-7b, MD-9a, MD-10b, MD-11b, İG-3, İG-7 ve İG-10 suları C1-S1 (düşük derecede tuzlu, düşük sodyumlu sular) grubunda yer almaktadır. MD-3a, MD-3b, MD-5a, MD-5b, MD-12b ve İG-2 suları C2-S1 (orta derecede tuzlu, düşük sodyumlu sular) grubunda yer almaktadır. İnceleme alanında bulunan ancak EC'leri 5000 µS/cm'den büyük olan sular (MD-8, MD-13, İSA-10 ve Doğanbey kaynağı (eski analiz) bu diyagram üzerinde yer almamaktadırlar.



Şekil 4.7. İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı (a: Mart 2015, b: Eylül 2015, *İG-2: MD-6, *İG-3: MD-3, *İG-7: MD-7, *İG-10: MD-10, *Doğanbey: MD-13 ile aynı kaynakları temsil etmektedir. *Bulut, M., 2013 ve MTA, 1995)

4.2. Suların Mineral Doygunlukları

Yeraltı sularında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam hakkında yorum yapabilmeye olanağı sağlamaktadır. Bu amaçla inceleme alanındaki suların çeşitli minerallere göre doygunluk durumları incelenmiştir. Karstik birimlerle çevrili olan sıcak su ve kuyuların beslenme havzası, yeraltı sularında doğal olarak bulunan kalsit, dolomit gibi karbonat mineralleri, sülfat ve jips gibi kayaç minerallerinin doygunluk değerleri araştırılmıştır.

Doygunluk indisi (SI), İyonik aktivite çarpımı (IAP) ile denge sabitinin (K) log (IAP/K) şeklinde de gösterilen logaritmik bir kavramdır.

Her mineral için özellikle sıcaklıkla ve kısmen de basınçla değişen değerler içermektedir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indisi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır.

SI (log IAP/K)=0 ise su, ilgili mineral dengededir.

SI (log IAP/K)>0 ise su, ilgili mineralle aşırı doygunudur (mineral çökeltici özelliktedir).

SI (log IAP/K)<0 ise su, ilgili mineralle doygun değildir (mineral çözücü özelliktedir)

İnceleme alanında yer alan suların mineral doygunluk indisleri hesaplamasında PhreeqC Interactive 2.8 adlı bilgisayar programı kullanılmıştır [37]. Hesaplamalarda arazide ölçülen pH (arazide ölçümü olmayanlar için lab pH değerleri kullanılmıştır) ve sıcaklık değerleri ile kimyasal analiz sonuçları dikkate alınmıştır. Bilgisayar programında elde edilen doygunluk değerleri (SI) Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Çalışma alanında toplanmış örneklerin doygunluk indisleri incelendiğinde, tüm örneklerin demir ve silis minerallerine doygun olduğu, karbonat, sülfat mineralleri ve halit açısından doygun olmadığı görülmektedir. Çalışma alanı dışında kalan Doğanbey sıcak su kaynağı ise hemen hemen tüm mineraller için doygun su sınıfında bulunmaktadır. Çizelge 4.3'te verilen eser element içerikleri incelendiğinde, örneklerin Fe içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5. Çalışma alanındaki su noktalarının SI değerleri

Örnek	Albit	Anhidrit	Aragonit	Barit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Florit	Goetit	Jips	Halit	Hematit	Kuvars	Siderit	Talk
MD-01_E15	0.55	-3.63	-1.82	-1.53	-1.68	0.54	-3.66	-3.87	6.71	-3.40	-8.02	15.40	0.98	-1.60	-4.38
MD-01_M15	0.10	-3.06	-2.05	-0.77	-1.89	0.47	-4.14	-4.86	5.72	-2.81	-8.20	13.38	0.95	-2.30	-5.71
MD-02_M15	-0.46	-3.08	-2.05	-0.94	-1.90	0.34	-4.17	-4.82	5.73	-2.82	-8.19	13.39	0.82	-2.32	-6.21
MD-03_E15	-0.67	-2.69	-0.38	-1.97	-0.24	0.44	-1.29	-2.34	7.16	-2.50	-7.79	16.36	0.85	-1.00	-2.95
MD-03_M15	-0.77	-2.71	-0.42	-2.04	-0.28	0.36	-1.39	-3.94	6.81	-2.53	-7.86	15.66	0.76	-1.43	-3.22
MD-04_M15		-3.86	-2.28	-1.41	-2.12		-5.56	-4.57	5.68	-3.60	-9.93	13.31		-2.52	
MD-05_E15	0.32	-2.69	-0.48	-0.89	-0.33	0.50	-1.53	-2.03	6.65	-2.45	-7.51	15.29	0.95	-0.87	-4.42
MD-05_M15	0.39	-2.66	-0.49	-0.63	-0.34	0.48	-1.58	-2.36	5.87	-2.42	-7.50	13.73	0.93	-1.56	-4.83
MD-06_E15	-0.77	-3.22	-0.70	-2.51	-0.57	0.39	-1.69	-2.43	7.03	-3.04	-7.65	16.12	0.79	-1.42	-2.61
MD-06_M15	-1.11	-3.28	-0.72	-2.38	-0.58	0.28	-1.70	-3.12	6.93	-3.12	-7.76	15.92	0.68	-1.60	-2.85
MD-07_E15	0.17	-3.92	-1.94	-1.98	-1.79	0.53	-4.02	-4.30	6.05	-3.68	-8.09	14.07	0.97	-2.21	-5.19
MD-07_M15	-0.02	-3.73	-1.99	-2.01	-1.84	0.49	-4.18	-5.65	5.97	-3.49	-8.27	13.90	0.94	-2.21	-5.82
MD-08_E15		-0.47	0.05	2.26	0.20		1.06	0.94	7.62	-0.27	-2.33	17.25		-0.52	
MD-08_M15		-0.50	-0.30	2.49	-0.15		0.23	-0.37	7.26	-0.27	-2.40	16.49		-0.70	
MD-09_M15		-3.37	-1.54	-1.67	-1.39		-3.48	-3.76	6.01	-3.12	-9.60	13.97		-1.89	
MD-10_E15	0.00	-3.64	-1.33	-2.39	-1.19	0.58	-3.07	-3.60	6.31	-3.40	-8.04	14.61	1.03	-1.68	-4.77
MD-11_E15	-0.24	-3.50	-1.95	-1.76	-1.81	0.46	-3.92	-4.18	6.33	-3.27	-8.40	14.66	0.89	-2.27	-4.35
MD-12_E15	0.12	-2.67	-0.62	-1.06	-0.47	0.60	-1.69	-2.04	6.60	-2.42	-7.85	15.17	1.05	-1.03	-3.70
MD-13_E15	0.88	-0.94	0.99	0.90	1.10	0.08	1.96	0.14	7.40	-1.13	-4.02	17.01	0.37	-2.33	4.76

4.3. Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermal sular yeraltında izledikleri yol boyunca yüzeye erişirken temas ettikleri kayalarla ısı alışverişi ve soğuk yeraltısuyunun karışması sonucu soğur ve rezervuar içindeki sıcaklık değerlerinden daha düşük sıcaklık değerlerine sahip olurlar. Rezervuardaki akışkan sıcaklığının tahmin edilmesi amacıyla jeotermometre yöntemleri geliştirilmiştir. Jeotermometreler; kimyasal ve izotop jeotermometreleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Kimyasal jeotermometreler kaynak veya kuyu başından alınan örneklerin kimyasal bileşimine (özellikle silis, katyon derişimi ve buhar içerisindeki gazların bağıl oranlarına) izotopik jeotermometreler ise su-gaz-mineral fazları arasındaki izotopik değişime dayalıdır. Kimyasal analizlerin, sondajlara göre daha ucuz ve kısa sürede yapılabilmesi jeotermal araştırmalarda rezervuar sıcaklığının tahmininde kimyasal jeotermometrelerin yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada sadece kimyasal jeotermometreler ile rezervuar sıcaklığı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

4.3.1. Silis jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki sıcaklığa bağılı çözünürlüğüne dayalıdır. Termodinamik olarak belirli bir kritik noktaya kadar sıcaklık arttıkça silis çözünürlüğü önemli ölçüde artmaktadır. Kuvars, kristobalit, kalsedon ve amorf silis gibi değişik silis formlarının su içerisindeki çözünürlüğü farklı olduğu için farklı jeotermometre eşitlikleri geliştirilmiştir (Çizelge 4.6). Silis için geliştirilen jeotermometre eşitliklerinin her biri farklı sıcaklık değer aralıkları için geçerlidir. Kuvars çözünürlüğü, sıcaklığı 120-180 °C'den daha yüksek olan jeotermal rezervuarlarda çözülmüş silisi kontrol eder [38]. Daha yüksek sıcaklıkta akifer kayaktan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenmektedir. Sıcaklığı 180 °C'den az olan jeotermal sistemlerde ise kuvarstan çok kalsedon ile bir denge söz konusudur. Bu nedenle sıcaklığı 180 °C'den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180 °C'den daha yüksek jeotermal sistemlerde ise kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmektedir [39]. Doğal sularda çözülmüş olarak bulunan silis miktarı genellikle 20-30 mg/l civarındadır. Yüzeye yakın deniz sularında, silis miktarı çok düşük olup, çoğu zaman 1 mg/l'nin altındadır. Bunun sebebi, mevcut silisin deniz canlılarının kabuk iskeletinin oluşturulmasında tüketilmiş olmasıdır [36]. İnceleme

alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının silis derişimleri 43,3-153 ppm aralıklarında değişmektedir. Çizelge 4,6'da verilen silis jeotermometre eşitlikleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Silis jeotermometreleri ile sıcak ve mineralli suların rezervuar sıcaklığı 64-127°C arasında hesaplanmıştır. Ilıkınar kaynakları 67-127°C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları verirken Akyar kaynakları her eşitlik için daha düşük rezervuar sıcaklığına sahip görölmektedir.

Çizelge 4.6. Silis jeotermometre eşitlikleri (S: SiO₂ ppm)

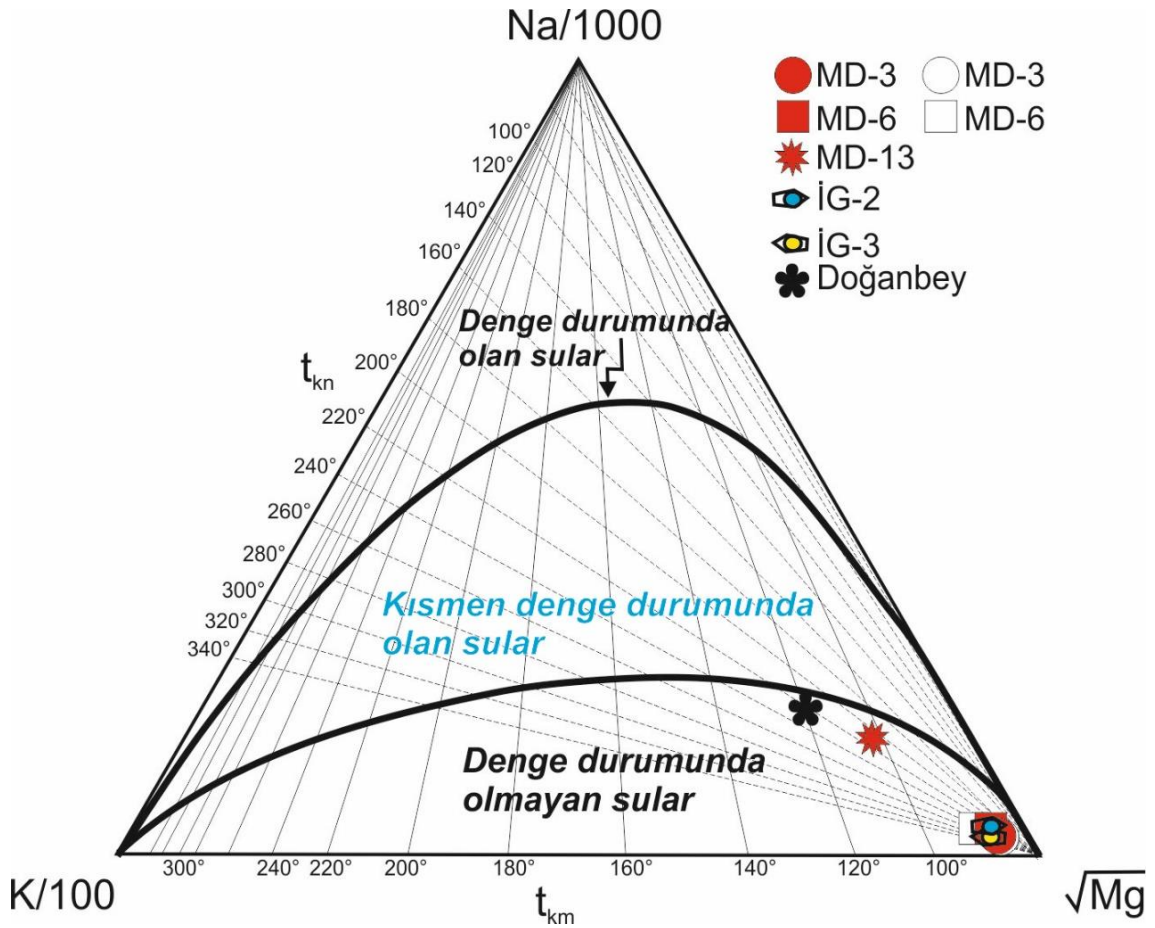
No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği	Uygulama Aralığı (°C)	Referans
1	Kuvars	$t^{\circ}\text{C} = -42.2 + 0.28831\text{S} - 3.6686 \times 10^{-4}\text{S}^2 + 3.1665 \times 10^{-7}\text{S}^3 + 77.034 \log\text{S}$	25-900	[40]Fournier and Potter (1982)
2	Kuvars (buhar-kayıbı yok)	$t^{\circ}\text{C} = (1309 / (5.19 - \log\text{S})) - 273.15$	25-250	[41]Fournier (1977)
3	Kuvars (100°C'de maks. buhar kaybı)	$t^{\circ}\text{C} = (1522 / (5.75 - \log\text{S})) - 273.15$	25-250	[41]Fournier (1977)
4	Kuvars	$t^{\circ}\text{C} = -55.3 + 0.36559\text{S} - 5.3954 \times 10^{-4}\text{S}^2 + 5.5132 \times 10^{-7}\text{S}^3 + 74.360 \log\text{S}$	0-350	[39]D'Amore and Arnorsson (2000)
5	Kalsedon (buhar kaybı yok)	$t^{\circ}\text{C} = (1032 / (4.69 - \log\text{S})) - 273.15$	0-250	[41]Fournier (1977)
6	Kalsedon (buhar kaybı yok)	$t^{\circ}\text{C} = (1112 / (4.91 - \log\text{S})) - 273.15$	25-180	[42]Arnorsson et al. (1983)

Çizelge 4.7. Çalışma alanındaki sıcak su noktaları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C, Kaynak çıkış sıcaklığından daha düşük veya eşit)

Örnek No	Jeotermometre eşitliği (°C)					
	1	2	3	4	5	6
MD-03_A13	127,73	127,55	124,58	118,00	99,85	99,16
MD-03_M15	107,06	106,71	106,78	94,50	77,15	78,08
MD-03_E15	98,54	98,09	99,34	85,19	67,89	69,42
MD-06_A13	112,97	112,67	111,90	101,07	83,61	84,09
MD-06_M15	105,31	104,94	105,26	92,58	75,25	76,30
MD-06_E15	95,64	95,17	96,80	82,07	64,77	66,49
MD-13_1995	133,34	133,18	129,33	124,65	106,05	104,89
MD-13_E15	113,81	113,53	112,63	102,02	84,53	84,95

4.3.2. Katyon Jeotermometreleri

Katyon jeotermometreleri iyon değişimine dayalı jeotermometreler olup genelde uzun süreli geçiş zamanına sahip yeraltı suları ile beslenen jeotermal akiferlerde kullanımı daha uygundur. Katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya uygulanıp/uygulanamayacağı belirlemek için Giggenbach (1988) tarafından önerilen $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+} - \text{K}^+$ üçgeni oluşturulmuştur [43]. Sahadaki sıcak su örnekleri “**Denge Durumunda Olmayan Sular**” bölümünde yer aldıkları için, bu sulara jeotermometre uygulanması güvenilir sonuç vermeyeceğinden uygulanmamıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki suların Na-K-Mg üçgen diyagramı (Giggenbach, 1988)

4.3.3. İzotop Hidrolojisi

Doğal beslenme gerçekleştiikten sonra, suyun akifer içindeki hareketi sırasında gerçekleşen hidrojeokimyasal süreçlerin çoğundan etkilenmeyen ancak fiziksel ve kimyasal süreçler hakkında fikir sahibi olmayı sağlayan suyun doğal bileşenleri olan kararlı döteryum (^2H , D) ve oksijen-18 (^{18}O) ile radyoaktif trityum (^3H) izotopları hidrojeoloji çalışmalarında doğal izleyiciler olarak kullanılmaktadır [44].

Yeraltısuyu beslenimi, dolaşımı ve boşalım koşullarına bağlı olarak çeşitli fiziksel ve kimyasal süreçlere göre izotop içeriğinde meydana gelen farklılaşma suyun hareketiyle ilgili önemli bilgiler verir.

Su örneklerinde ölçülen kararlı izotop içeriği, ağır izotopun (^{18}O ve D) hafif izotopa (^{16}O ve ^1H) oranının standart okyanus suyunun (SMOW) izotop içeriğinden farkı olarak raporlanır. Kararlı izotoplar için kullanılan standart SMOW'dur. Standarttan farklı olarak ölçülen izotop içeriği binde (‰) olarak ifade edilir ve delta (δ) simgesi ile gösterilir.

^{18}O ve D içeren ağır su moleküllerinin hafif su moleküllerinden daha düşük buhar basıncına ve daha düşük kaynama noktasına sahip olması nedeniyle, su ile dengede olan buhar fazı ^{18}O ve D açısından daha fakirdir.

Çizelge 4.8. Çalışma alanında toplanmış örnekleri izotop içerikleri

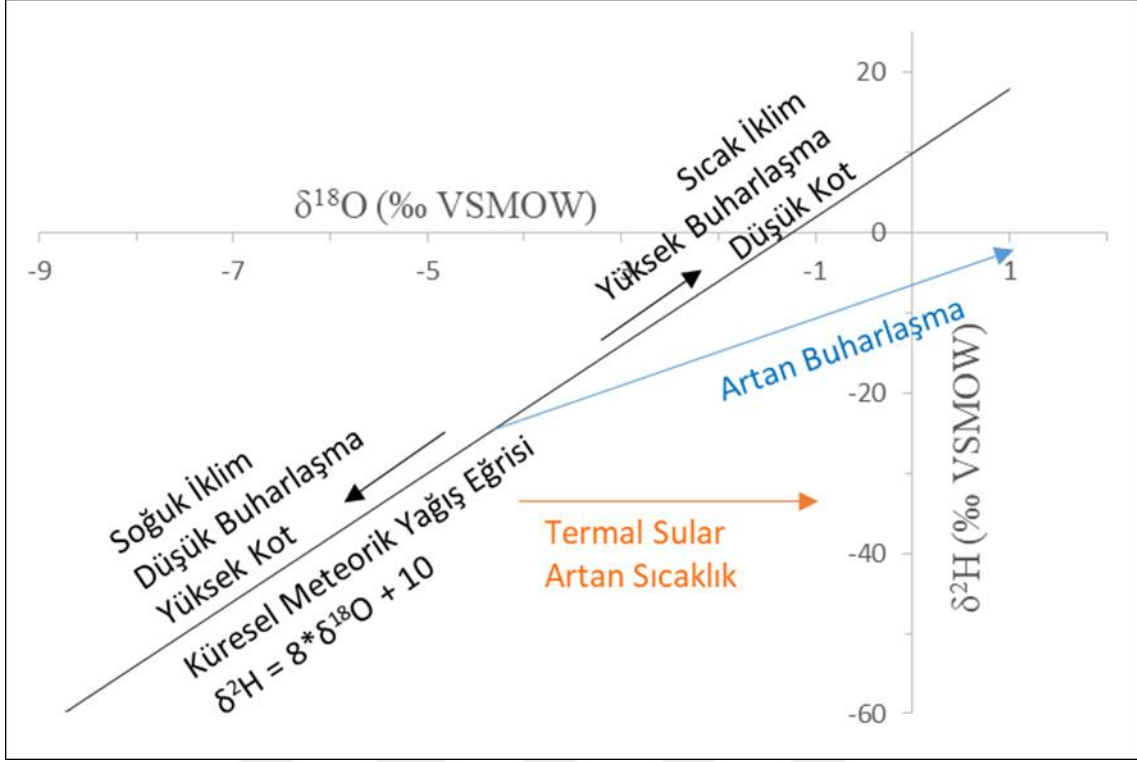
Örnek	$\delta^{18}\text{O}\%$	$\delta\text{D}\%$	Trityum (TU)
MD-01_E15	-5.89	-32.90	0.42
MD-01_M15	-6.16	-34.78	5.41
MD-02_M15	-6.03	-31.58	4.04
MD-03_E15	-6.09	-32.07	-0.21
MD-03_M15	-5.74	-29.41	-0.29
MD-04_M15	-0.11	-6.89	6.68
MD-05_E15	-5.52	-29.14	-0.28
MD-05_M15	-5.49	-28.62	0.87
MD-06_E15	-5.84	-29.28	0.13
MD-06_M15	-5.82	-29.96	0.46
MD-07_E15	-6.52	-32.49	0.32
MD-07_M15	-6.19	-28.93	2.32

Çizelge 4.8. (devam ediyor)

Örnek	$\delta^{18}\text{O}\text{‰}$	$\delta\text{D}\text{‰}$	Tritiyum (TU)
MD-08_E15	1.10	8.88	0.59
MD-08_M15	1.47	6.36	1.68
MD-09_M15	-8.33	-49.34	4.16
MD-10_E15	-6.15	-32.45	0.01
MD-11_E15	-6.36	-31.53	1.26
MD-12_E15	-6.36	-30.86	0.30
MD-13_E15	-5.54	-32.83	-0.05

Yağışa kaynaklık eden atmosferik nem denizden itibaren buharlaşarak oluştuğundan ^{18}O ve D içeriği denizden daha azdır. Yağmur oluşumunu tetikleyen yoğunlaşma sürecinde ise yoğunlaşmanın oluştuğu sıcaklığa bağlı olarak buhar fazındaki izotop içeriğinin ^{18}O ve D içeriği daha negatif hale gelir. Bu nedenle atmosferdeki nem kıyıda iç kesimlere doğru hareket ettikçe, yağışla birlikte ^{18}O ve D içeriği gittikçe fakirleşir. Daha sıcak dönemlerde meydana gelen yağışlarda buharlaşma etkisi nedeniyle soğuk dönemde meydana gelen yağışlara göre ^{18}O ve D içeriği daha zengin olur [45]. Bu nedenle iklimin daha soğuk olduğu dönemlerde, deniz kenarından kara içlerine ve yüksek kesimlere doğru yağışın ^{18}O ve D içeriği azalır.

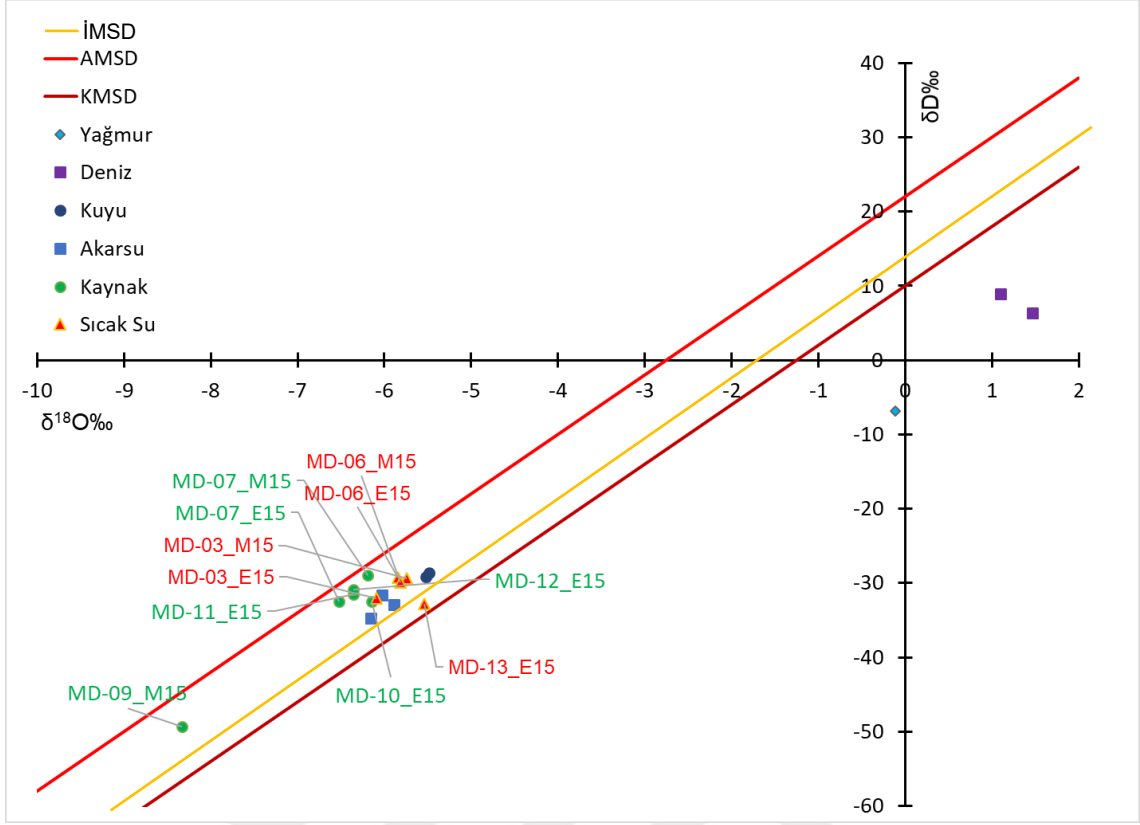
Suların sınıflandırılmasıyla ilgili grafiksel yorum için Craig (1961) tarafından aşağıdaki eşitlikle temsil edilen ^{18}O -D eğrisi kullanılmaktadır (Şekil 4.9). Genellikle aynı bölgedeki yağışlara ait kararlı izotop değerleriyle yeraltısuyuna ait izotop değerleri suların kökenlerinin aynı olduğu durumda bu doğru üzerinde bir küme halinde toplanır. Bu doğru, küresel meteorik su doğrusu olarak adlandırılmaktadır. Eğer su buharlaşmaya uğramadıysa eğim değeri 8 olur ve D eksenini kestiği yer D fazlası olarak adlandırılır. Küresel meteorik su doğrusu; $\delta^2\text{D} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10$ eşitliği ile temsil edilir.



Şekil 4.9. Şematik ^{18}O -D grafiği (Kurttaş, T., 1997)

Çalışma alanından toplanmış örneklerin kararlı izotop analizleri Şekil 4.10'da sunulmuştur. Bölgede yer alan tüm sıcak su örnekleri meteorik kökenli olup, grafik üzerinde soğuk sularla birlikte Akdeniz bölgesi için geçerli Akdeniz meteorik su doğrusuna ($\delta^2\text{D} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 22$) ve İzmir meteorik su doğrusuna ($\delta^2\text{D} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 13,376$) yakın çıkmıştır [46].

Yağışlı ve kurak dönemde toplanmış, Akyar kaynağı örnekleri (MD-06) benzer konumda çıkmış, yıl içerisinde beslenme nedeniyle izotopik kompozisyonunda bir değişiklik görülmemiştir. Ilıkınar kaynağı (MD-03) ise yağışlı dönemde Akyar kaynağı ile benzer bir kompozisyon göstermiştir. Doğanbey kaynağı, küresel meteorik su doğrusu üzerinde yer almaktadır. MD-09 Özsu Kaynağı dışında kalan su örneklerinin tamamı benzer izotopik kompozisyona sahip olmaları nedeniyle benzer beslenme alanını temsil etmektedir. Sıcak sularda önemli bir oksijen-18 ya da buharlaşma değişimi gözlenmemektedir.



Şekil 4.10. Çalışma alanından alınan su örneklerinin ^{18}O -D grafiği (İMSD: İzmir Meteorik Su Doğrusu, AMSD: Akdeniz Meteorik Su Doğrusu, KMSD: Küresel Meteorik Su Doğrusu)

Sıcak su kaynaklarının trityum içeriği yok denilecek kadar azdır. Akarsu ve yağmur suyu örnekleri, güncel trityum seviyelerine yakın (4-7 TU) değerlere sahipken, kuyu, sıcak su ve MD-09 dışındaki soğuk su örnekleri oldukça düşük trityum içeriklerine sahiptir. Bu durum yeraltısuyu geçiş süresinin kısmen uzun (>50 yıl) olmasına bağlıdır. Daha negatif kararlı izotop içeriğine sahip MD-09 Özsü kaynağı ise güncel ve nispeten soğuk bir dönemde beslenmiş ve sıcak su kaynaklarına göre daha kısa geçiş süresine sahip bir kaynağı temsil etmektedir.

5. SONUÇLAR

İlkipınar jeotermal alanı ve civarında bulunan sıcak su kaynakları (MD-3, MD-6 ve MD-13) ile soğuk su kaynakları (MD-1, MD-2, MD-5, MD-7, MD-9, MD-10, MD-11 ve MD-12) hidrojeokimyasal ve izotopik olarak incelenmiştir.

İnceleme alanındaki su örneklerinin genel fasiyesi anyonlar için HCO_3^- , kationlar için $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanı dışında yer alan Doğanbey kaynağı (MD-13), çalışma alanı içinde yer alan kaynakların tümünden farklıdır. Buna göre MD-13 adıyla temsil edilen bu kaynaktan Eylül 2015'de örneklenen suyun kimyasal tipi anyonlar için $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$, kationlar için $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların kökenlerinin belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada İlkipınar (Deliömer) kaynağı MD-3 ve Akyar kaynağı MD-6 sıcak su kaynakları olup, soğuk su kaynaklarından MD-12 ile benzerlik göstermektedirler.

İnceleme alanı içerisinde kalan diğer soğuk su kaynakları ise derin dolaşıma sahip olmayan, meteorik kökenli ve düşük çözünmüş madde miktarlarına sahip sulardır.

Çalışma alanından toplanan suların eser element analizleri incelendiğinde, sahadaki bazı suların arsenik içeriklerinin 10,48 ppb ile 35,17 ppb arasında değiştiği görülmektedir. Bu değer Doğanbey kaynağında ise 177,6 ppb ile oldukça yüksek ölçülmüştür. Buna göre, sahadaki 10 ppb üzerinde arsenik içeren bu suların içme suyu olarak kullanılması sakıncalıdır.

İlkipınar (MD-3) kaynağının hidrokimyasal incelemesi sonucu kaynağın, bölgede yer alan jeotermal kaynaklardan farklı olarak düşük sıcaklık ve düşük toplam çözünmüş madde içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.

Kaynak (MD-3), derin bir dolaşıma sahip olmamakla birlikte, görece uzun bir dolaşım süresine sahiptir. Kararlı izotop kompozisyonu açısından, yakın çevrede yer alan soğuk su kaynakları ile benzer bileşime sahip kaynağın, gerilmeli tektonik rejimde gelişen yapısal unsurları takip eden görece küçük boyutlu magma odaları aracılığı ile ısındığı ve çevresindeki soğuk su kaynaklarından farklılaştığı görülmektedir.

Benzer beslenme alanı ve hidrokimyasal bileşime sahip Akyar kaynağı (MD-6) da lokal magma odaları aracılığı ile ısınmaktadır.

Hidrokimya ve izotop içeriği benzer, görece daha yüksek kottan boşalan MD-12 kaynağının daha düşük sıcaklıkta olması, yapısal unsurları takip eden magma odalarından daha uzakta ya da daha yüksekte olması ile açıklanmaktadır.

Çalışma alanında açılmış sıcak su amaçlı kuyularında derin bir dolaşıma rastlanılmamıştır. Ilıkınar ve Akyar kaynakları, çalışma alanı çevresinde yer alan jeotermal kaynaklardan farklı olarak, sığ dolaşıma sahip ve lokal ısı kaynakları aracılığıyla ısınan ılık sulardır.

Bölgedeki ılık suların ısınmasında etkili olan Cumaovası volkanizması, genel olarak jeotermal ısı kaynağı olan ve tektonik süreçlerle gelişen hareketler sonucu meydana gelen kabuk incelmeleri ile ilişkilidir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, bölgedeki jeotermal sistemin bileşenleri ile ilgili bütüncül bir değerlendirme ile Ilıkınar jeotermal alanının hidrojeolojik kesitleri oluşturulmuştur. Buna göre hazırlanan Jeolojik ve Hidrojeolojik kesitlerde, Cumaovası volkanitlerinin yayılımları, litolojilerin kalınlıkları, fayların yönelimleri gibi parametreler varsayımlara dayanılarak çizilmiştir. Litolojik birimlerin Hidrojeolojik özellikleri de, önceki çalışmalardaki yayın, tez ve sondaj verileri bir araya getirilerek yapılan varsayımlar ile belirlenmiş, bölgedeki soğuk ve sıcak suların beslenme ve boşalım mekanizmaları bu şekilde açıklanmaya çalışılmıştır.

Alandaki suların kullanımına yönelik Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramları'na göre elde edilen sonuçlar her ne kadar sulamaya uygun gözükseler de, hidrojeoloji birliğinin sınıflandırmasına göre, sıcaklıkları sürekli olarak 20°C üzerinde olan sular termal sular sınıfında yer aldıklarından dolayı tarımsal amaçlı kullanılmaları önerilmemektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] <https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/izmir/menderes-21648/#temperature-graph>, Son erişim tarihi: 12 Eylül 2019.
- [2] Borsi, S. ve diğ., 1972, *Geochronology and petrology of recent volcanics in the Eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesvos Island)*. *Bulletin of Volcanology*, 36, 473–496.
- [3] Şimşek, Ş., Eşder, T., 1975, *İzmir (Seferihisar) Alanı, Çubukludağ Grabeni ile Dolaylarının Jeolojisi ve Jeotermal Olanakları*, MTA.
- [4] Dominco, E., 1984, *Cumalı-Tuzla Geothermal Prospect (İzmir, Turkey) Evaluation of Geochemical Data*, UNRFNRE.
- [5] McNitt, J.R., 1985, *Evaluation of the Cumalı-Tuzla Geothermal Prospect, Turkey*.
- [6] Candan, O., Oberhänsli, R., Ölsner, F. ve Dürr, St., 1997. *Blueschist relics in the Mesozoic coverseries of the Menderes Massif and correlations with Samos Island, Cyclades*. *Schweiz Mineral.Petrol. Mitt.*, 77, 95-99.
- [7] Sozibilir, H., Uzel, B., 2008, *A First Record of a Strike-slip Basin in Western Anatolia and Its Tectonic Implication: The Cumaovası Basin*.
- [8] Barış, N., 2008, *Tahtalı Baraj Havzasının Hidrojeolojik İncelenmesi ve Yeraltı Suyu Kirlenebilirliğinin Ahs- Drastic Yöntemi İle Değerlendirilmesi*.
- [9] van Hinsbergen, D.J.J. ve diğ., 2010, *Reconciling the geological history of western Turkey with plate circuits and mantle tomography*. *Earth and Planetary Science Letters* 297, 674–686.
- [10] Candan, O., vd., 2011, *Menderes Masifi'nin Pan-Afrikan Temel ve Paleozoyik Erken Tersiyer Örtü Serilerinin Polimetamorfik Evrimi*.

- [11] Dora, O.Ö., 2011, *Menderes Masifindeki Jeolojik Araştırmaların Tarihsel Gelişimi*.
- [12] Dünya, H. ve diğ., 2011, *Seferihisar-Akyar Jeotermal Enerji Sahası İsa-2011/10 Kuyu Tamamlama Test Raporu*.
- [13] Kaba, M., Duruk, H.İ., Kaya, M.N., 2013, *Menderes-1 Gradyan Kuyu Raporu (Yayınlanmamış)*.
- [14] Karacık, Z., Genç, Ş.C., Gülmez, F., 2013, *Petrochemical features of Miocene volcanism around the Çubukludağ graben and Karaburun peninsula, western Turkey: Implications for crustal melting related silicic volcanism*, *Journal of Asian Earth Sciences* 73: 199-219.
- [15] Bulut, M., 2013, *Ege Bölgesi'nde Yeni Bir Orta-Yüksek Entalpili Jeotermal Alan (Akyar) Menderes-Seferihisar-İzmir, Batı Anadolu, Türkiye, MTA Dergisi (2013) 147: 153-167*.
- [16] Pala, E. A., 2016, *Seferihisar (İzmir) Ve Yakın Çevresi Jeotermal Sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri*.
- [17] Gökteş, F., 2019, *Çubukludağ Havzasındaki Neojen Tortullaşması ve Volkanizmasının Stratigrafisi, Batı Anadolu*.
- [18] Ring, U., Gessner, K., Güngör, T., Passchier, C.S., 1999, *The Menderes Massif of Western Turkey and the Cycladic Massif in the Aegean-do they really correlate? Journal of the Geological Society, London* 156, 3-6.
- [19] Koralay, E., vd., 2011, *Menderes Masifindeki Pan-Afrikan ve Triyas Yaşlı Metagranitoidlerin Jeolojisi ve Jeokronolijisi, Batı Anadolu, Türkiye*.
- [20] Bozkurt, E., Park, R.G. & Winchester, J.A. 1993, *Evidence against the core/cover interpretation of the southern sector of the Menderes Massif, west Turkey. Terra Nova* 5, 445-451.

- [21] Gessner K, Ring U, Johnson C, Hetzel R, Passchier C, Güngör T. 2001. An active bivergent rolling-hinge detachment system: the central Menderes metamorphic core complex in western Turkey. *Geology* 29: 611-614.
- [22] Ring, U., Layer, P.W., 2003. High-pressure metamorphism in the Aegean, eastern Mediterranean: underplating and exhumation from the Late Cretaceous until the Miocene to Recent above the retreating Hellenic subductionzone. *Tectonics* 22, 1022.
- [23] Schmidt, A., Pourteau, A., Candan, O., Oberhänsli, R., 2015, Lu–Hf geochronology on cm-sized garnets using microsampling: New constraints on garnet growth rates and duration of metamorphism during continental collision (Menderes Massif, Turkey), *Earth and Planetary Science Letters* 432. 24–35.
- [24] Eşder, T. 1988, *Gümüldür-Cumaovası (İzmir) Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanaklarının Araştırılması. İ. Ü. Fen Bil. Ens. Doktora Tezi.*
- [25] Genç, C. Ş., Altunkaynak, Ş., Karacık, Z., Yazman, m ve Yılmaz, Y. 2001. The Çubukludağ graben, South of İzmir: its tectonic significance in the Neogene geological evolution of the western Anatolia. *Geodinamica Acta* 14, 45-55.
- [26] Gökaş, F., 2013, *Cumaovası Volkanitlerinin Zamanstratigrafik Konumuna İlişkin Yeni Veriler Hakkında Kısa Not, MTA Dergisi* 147: 179-183.
- [27] Çakmakoğlu, A., 2007, *Dilek Yarımadası, Söke ve Selçuk Çevresinin Neojen Öncesi Tektonostratigrafisi.*
- [28] Şaroğlu, F.; Emre, Ö. ve Boray, A., 1987, *Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. MTA. Jeoloji Etüdüleri Dairesi Başkanlığı, Derleme Rap. No:8174, Ankara.*
- [29] Şaroğlu, F., Kuşçu, I., 1992, *Türkiye Diri Fay Haritası, MTA., Ankara.*

- [30] Emre, Ö. ve Barka, A., 2000, *Gediz Grabeni-Ege Denizi Arasının (İzmir Yöresi) Aktif Fayları. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, (BADSEM2000), Bildiriler Kitabı, İzmir, 131-132.*
- [31] Sözbilir, H., Uzel, B., 2006, *Orhanlı (Tuzla) Fay Zonundaki Jeolojik-Jeomorfolojik Belirteçler ve Odak Mekanizma Çözümünün Karşılaştırılması: Batı Anadolu'da KD-Uzanımlı Doğrultu Atımlı Fayların Reaktivasyonu, 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, 20-24 Mart 2006, Ankara.*
- [32] DSİ, 1993, *Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları İdaresi Başkanlığı Su Kuyusu Kütüğü, Kuyu No: B35/42691B.*
- [33] DSİ, 1994, *Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları İdaresi Başkanlığı Su Kuyusu Kütüğü, Kuyu No: B35/47346.*
- [34] Şimşek, Ş., Doğdu, M.F., Akan, B., 1997, *Hidrojeotermometreler Ders Notları, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Müh. Bölümü, Beytepe-Ankara, say. 1-5.*
- [35] Dünya Sağlık Örgütü (WHO), 1993, *Guidelines for Drinking-Water Quality, Volume 1: Recommendations, 2nded. WHO, Geneva.*
- [36] Doğan, L., 1981, *Hidrojeolojide su kimyası, DSİ yayınları, 178s, Ankara.*
- [37] Parkhurst, D.L. and Appelo C.A.J., 1999, *User's guide to PHREEOC (Version 2)-a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, USGS Water Resources Investigation Report 99-4259, 312s.*
- [38] Fournier, R.O.,1991, *Water Geothermometers Applied To Geothermal Energy, In: D'amore, F. (Co-ordinator), Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, UNITAR/UNDP Publications, Rome, Italy, 37-69.*

- [39] *D'Amore F., and Arnorsson, S., 2000, Geothermometry. Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use. Arnorsson, S. (ed.), IAEA, Vienna. pp.152-199.*
- [40] *Fournier, R.O., Potter, R.W. II, 1982, A revised and expanded silica (quartz) geothermometer, Geothermal Research Council Bull. 11, 3-9.*
- [41] *Fournier, R.O., 1977, Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. Geothermics. 5, 41-50.*
- [42] *Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H., 1983, The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. Geochimica et Cosmochimica Acta, 47, 567-577.*
- [43] *Giggenbach, W. F., 1988, Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers, Geochimica et Cosmochimica Acta. 55, 2749-2765.*
- [44] *Kurttaş, T., 1997, Gökova (Muğla) Karst Kaynaklarının Çevresel İzotop İncelemesi, Doktora Tezi, 221 (Yayınlanmamış).*
- [45] *Fritz, P. and Fontes, J.Ch., 1980, Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, say. 75-140.*
- [46] *Dilaver, A.T., Aydın, B., Özyurt, N.N. ve Bayarı, C.S., 2018, Türkiye Yağışlarının İzotop İçerikleri (2012-2016), DSİ-TAKK ve MGM-AD, Ankara, 44 s.*
- [47] *Struckmeier, W.F., Margat, J., 1995, Hydrogeological Maps A Guide and a Standard Legend, Volume 17, Say. 171.*



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 24/09/2019

Tez Başlığı / Konusu: İZMİR-ILIKPINAR SICAK VE MİNERALLİ SULARININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 91 sayfalık kısmına ilişkin, 24/09/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

24/09/2019

Adı Soyadı: Mehmet Nazmi KAYA
Öğrenci No: N11220545
Anabilim Dalı: Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği
Programı: Yüksek Lisans
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğr. Üyesi Levent TEZCAN

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Nazmi KAYA

Doğum Yeri : Üsküdar

Doğum Yılı : 1984

Medeni Durumu : Bekar

Eğitim Durumu :

Lise : 1999-2003 Kayabeyazıtöğlu YDA Lisesi

Lisans : 2004-2010 Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji)
Müh. Bölümü

İş Tecrübesi :

Kasım 2016-Ocak 2019 Zorlu Enerji Grubu

Uzman-Arama Departmanı

- 165 MWe Kızıldere-III GPP Projesi
- Alaşehir-II GPP Projesi

Temmuz 2011-Kasım 2016 Aytemiz Elektrik Üretim A.Ş.

Uzman-Jeotermal Enerji Arama Departmanı

- Jeotermal Ruhsatları Geliştirme Projeleri

Ağustos 2010-Kasım 2010 ÇE-KA

Tünel/Saha Mühendisi

- Sarıgözel Barajı'nın Derivasyon Tünel Kazısı, Kahramanmaraş

Ağustos 2008-Eylül 2008 Onur Taahhüt Taşımacılık İnşaat Tic. Ve san. A.Ş.

Stajer

- Asfalt Uygulamaları, Bolu-Ankara Otoban Yenileme Çalışmaları