



**TUZLUKÇU-AKŞEHİR (KONYA) BÖLGESİ JEOTERMAL SULARININ
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Timur ÇEVİKOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2023

Bu tez çalışması 21.FENBİL.03 numaralı proje ile AKÜ-BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TUZLUKÇU-AKŞEHİR (KONYA) BÖLGESİ JEOTERMAL
SULARININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Timur ÇEVİKOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Timur ÇEVİKOĞLU tarafından hazırlanan “Tuzlukçu-Akşehir (Konya) Bölgesi Jeotermal Sularının Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 10 / 02 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN

Başkan : Prof. Dr. Ahmet YILDIZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ
Pamukkale Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe 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 tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

10 / 02 / 2023

İmza

Timur ÇEVİKOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TUZLUKÇU-AKŞEHİR (KONYA) BÖLGESİ JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Timur ÇEVİKOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN

Bu araştırmada, Konya İli-Tuzlukçu ilçesi ve çevresinde yer alan 3 adet termal su ve 7 adet soğuk su örneğinin hidrojeokimyası ve kullanım özellikleri incelenmiştir. Loras formsayonu ile Halıcı formasyonu (Kurşunlu Kireçtaşı üyesi) bölgedeki jeotermal sular için rezervuar kayaç özelliği sunmaktadır. Analiz sonuçlarına göre; termal su örneklerinin Na-Ca-HCO₃ ve Na-HCO₃-SO₄, soğuk su örneklerinin Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃ tipli sular oldukları belirlenmiştir. Karbonatlı ve silikatlı kayaçlar ile olan su-kayaç etkileşimi incelenen suların güncel kimyasal kompozisyonunun oluşmasında etkili olan en önemli parametrelerdir. Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$), döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve trityum (^3H) izotop sonuçlarına göre incelenen su örneklerinin meteorik kökenli olduğu ve termal su örneklerinin soğuk su örneklerine nazaran daha yaşlı sular oldukları, $\delta^{13}\text{C}$ izotop analizlerinde ise, sularda bulunan karbonun farklı kökene sahip karbon kaynaklarının bir karışımı olduğu gözlenmiştir. Termal su örneklerinin rezervuar kaya sıcaklıkları 70-100°C aralığında hesaplanmıştır. Kullanım özellikleri dikkate alındığında ise bazı örneklerin nitrit kirlenmesine maruz kaldığı ve bunun haricinde analizi yapılan diğer kimyasal içerikler bakımından sulama ve içme açısından uygun olduğu belirlenmiştir.

2023, viii + 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, izotop, hidrojeokimya, Tuzlukçu, Konya.

ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES OF GEOTHERMAL WATER OF TUZLUKÇU-AKŞEHİR (KONYA) REGION

Timur ÇEVİKOĞLU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Can BAŞARAN

In this research, hydrogeochemistry and usage properties of 3 thermal water and 7 cold water samples located in and around Tuzlukçu (Konya) region were investigated. The Loras and the Halıcı formations (Kurşunlu Limestone member) are the reservoir rock for the geothermal waters. According to the analysis results; it was determined that thermal water samples were Na-Ca-HCO₃ and Na-HCO₃-SO₄, cold water samples were Ca-Mg-HCO₃ and Mg-Ca-HCO₃ type waters. The water-rock interaction with carbonate and silicate rocks are the most important parameters that are effects the current chemical composition of the waters. According to the oxygen ($\delta^{18}\text{O}$), deuterium ($\delta^2\text{H}$) and tritium (^3H) isotope results, it was determined that the water samples are of meteoric origin and the thermal water samples are older than the cold water samples. In the $\delta^{13}\text{C}$ isotope analysis, it was observed that the carbon in the waters is a mixture of carbon sources of different origins. The reservoir rock temperatures of the thermal water samples were calculated in the range of 70-100°C. Considering the usage characteristics, it was determined that some samples were exposed to nitrite pollution and the other samples were suitable for irrigation and drinking in terms of other chemical contents analyzed.

2023, viii + 54 pages

Keywords: Geothermal, isotope, hydrogeochemistry, Tuzlukçu, Konya.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma, arazi çalışmaları sırasındaki desteklerinden dolayı Dodomates Seracılık Sanayi A.Ş.'ne ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışma 21.FENBİL.03 numaralı proje ile AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 İnceleme Alanının Konumu ve Genel Özellikleri	1
1.2 Çalışmanın Amacı.....	2
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. MATERYAL ve METOD.....	5
3.1 Kaynak Araştırması	5
3.2 Saha Çalışmaları	5
3.2.1 Jeoloji-Hidrojeoloji Çalışmaları.....	5
3.2.2 Yerinde Ölçüm ve Örnekleme Çalışmaları	5
3.2.3 Laboratuvar Analizleri	7
3.3 Büro Çalışmaları	7
4. BULGULAR	9
4.1 Jeoloji.....	9
4.1.1 Bölgesel Jeoloji	9
4.1.2 İnceleme Alanının Jeolojisi.....	9
4.1.2.1 Halıcı Formasyonu	9
4.1.2.2 Loras Formasyonu	11
4.1.2.3 Hatip Ofiyoliti	11
4.1.2.4 Aşağıcığıl Formasyonu.....	12
4.1.2.5 Derviş Formasyonu	12
4.1.2.6 Dursunlu Formasyonu	12
4.1.2.7 Akşehir Gölü Çökelleri	13
4.2 Tektonizma	13
4.2.1 Sultandağı Fayı	14
4.2.2 Yunak Fay Zonu.....	14

4.3 İnceleme Alanının Hidrojeolojisi.....	15
4.3.1 Hidrolojik Bütçe.....	15
4.3.2 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	16
4.3.2.1 Geçirimli Birimler	16
4.3.2.2 Yarı Geçirimli Birimler	20
4.3.2.3 Geçirimsiz Birimler	20
4.3.3 Tuzlukçu Jeotermal Sistemi	20
4.3.4 Su Örneklem Noktaları.....	20
4.4 Hidrojeokimya	23
4.4.1 Suların Fiziksel Özellikleri	23
4.4.2 Suların Kimyasal Özellikleri.....	23
4.4.2.1 Hidrojeokimyasal Fasiyes Kavramına Göre Sınıflama	26
4.4.2.2 Piper Diyagramı	26
4.4.2.3 Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı.....	28
4.4.3 Su Kimyasını Etkileyen Süreçler	28
4.5 İzotop Jeokimyası	31
4.5.1 Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$) İzotopları.....	31
4.5.2 Tritiyum İçeriği	32
4.5.3 Su ve Kayaçların $\delta^{13}\text{C}$ İçerikleri.....	33
4.6 Jeotermometri	35
4.7 Suların Kullanım Özellikleri.....	36
4.7.1 Suların İçilebilirlik Özellikleri	37
4.7.2 Suların Sulama Suyu Özellikleri.....	38
4.7.2.1 Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR).....	39
4.7.2.2 Sodyum Yüzdesi (%Na).....	40
4.7.2.3 Artıksal Sodyum Karbonat (RSC).....	41
4.7.2.4 Geçirgenlik İndeksi (PI)	42
4.7.2.5 Magnezyum Tehlikesi (MT)	43
4.7.2.6 Kelly Oranı (KR).....	43
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	44
6. KAYNAKLAR.....	46
ÖZGEÇMİŞ.....	54

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrat Derece
%	Yüzde
‰	Binde
°C	Santigrat Derece
³ H	Trityum
¹⁸ O	Oksijen-18
¹³ C	Karbon-13
² H	Döteryum
m ³	Metreküp
mek/l	Miliekivalan
µs	mikrosimens

Kısaltmalar

DMD	Dünya Meteorik Su Doğrusu
İTASHY	İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik
MTA	Maden Tetkik Arama
ÖEİ	Özgül Elektriksel İletkenlik
SMOW	Standart Mean Ocean Water
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası.	2
Şekil 3.1 T1 kodlu termal su örneğinin yerinde ölçümü.	6
Şekil 3.2 Örneklerin analiz öncesi filtrasyonu.	6
Şekil 3.3 Örneklerin analize hazırlanması.	7
Şekil 4.1 İnceleme alanının jeoloji haritası	10
Şekil 4.2 Loras formasyonuna ait dolomitik kireçtaşlarının arazideki görünümü	11
Şekil 4.3 Derviş formasyonunun arazideki görünümü.	12
Şekil 4.4 Akşehir gölü tabanında gözlenen kuruma çatlakları.	13
Şekil 4.5 Tuzlukçu ve çevresinin genel tektonik haritası.	14
Şekil 4.6 1991 ile 2020 yılları aylık bazda ortalama sıcaklık-yağış dağılımları.	15
Şekil 4.7 Çizelge 4.1'e göre hazırlanmış buharlaşma-terlemenin aylık değişim grafiği.	16
Şekil 4.8 İnceleme alanının hidrojeoloji haritası ve örnekleme noktaları.	19
Şekil 4.9 Tuzlukçu jeotermal sahasının kavramsal modeli.	20
Şekil 4.10 Jeotermal serada kullanılan T1 sondajı.	21
Şekil 4.11 T3 sondajı.	21
Şekil 4.12 T11 kaynak suyu örnekleme noktası.	22
Şekil 4.13 T8 tarımsal sulama sondajı örnekleme noktası.	22
Şekil 4.14 Analizi yapılan su örneklerinin Piper diyagramındaki konumu.	28
Şekil 4.15 Analizi yapılan su örneklerinin yarı logaritmik diyagramdaki konumu.	29
Şekil 4.16 Suların çeşitli iyon konsantrasyonları arasındaki ilişkiler.	30
Şekil 4.17 Suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği	32
Şekil 4.18 Suların EC - ^3H ve Cl - ^3H grafikleri.	33
Şekil 4.19 Sulardaki $\delta^{13}\text{C}$ kökenleri.	34
Şekil 4.20 a) Na-K-Mg diyagramı, b) $\log(\text{SiO}_2)$ - $\log(\text{K}^2/\text{Mg})$ diyagramı	37
Şekil 4.21 Soğuk su örneklerinin Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumu.	39
Şekil 4.22 Soğuk su örneklerinin ABD Tuzluluk Lab. diyagramındaki konumu.	41
Şekil 4.23 Soğuk su örneklerinin Wilcox diyagramındaki konumu.	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Konya Meteoroloji istasyonu verileri.....	17
Çizelge 4.2 Konya Meteoroloji istasyonu verilerinin (1929-2021) ortalamasına göre hazırlanan su bütçesi tablosu (Thornthwait (1948)).	18
Çizelge 4.3 Su örneklerinin in-situ ölçüm sonuçları.	23
Çizelge 4.4 Su örneklerinin analiz sonuçları (mg/l).....	24
Çizelge 4.5 Analizi yapılan örneklerin kimyasal sınıfları.	27
Çizelge 4.6 İzotop analiz sonuçları.	31
Çizelge 4.7 Silis jeotermometresi sonuçları.	36
Çizelge 4.8 Analizi yapılan değerlerin İTASHY 2013 ile karşılaştırılması (mg/l).....	38
Çizelge 4.9 İncelenen suların sulamada kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi.	38

1. GİRİŞ

Türkiye, Asya ve Avrupa kıtaları arasındaki konumuna bağlı olarak önemli bir jeolojik yapıya sahiptir ve tektonik olarak aktif olan Alp-Himalaya Kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Sahip olduğu jeolojik konum nedeniyle genç ve aktif faylar ile volkanik ve magmatik aktivitenin yaygın olduğu Türkiye yaklaşık 1000 adet jeotermal kaynağa sahiptir. 1710MW kurulu güce sahip olan Türkiye 2021 yılsonu itibariyle dünyada 4. sırada yer almaktadır (İnt. Kyn. 1).

Ülkemizde yer alan jeotermal kaynakların %79'u Batı Anadolu'da yer almakta iken, ikinci sırada % 8,5 ile Orta Anadolu ve üçüncü sırada ise % 7,5 ile Marmara Bölgesi gelmektedir (İnt. Kyn. 2). Ankara-Kızılcahamam (50-86°C), Kırşehir (30-78°C), Aksaray (28-56°C), Nevşehir (58-105°C), Yozgat (71-84°C) ve Konya (18-60°C) bölgeleri Orta Anadolu'da yer alan en önemli jeotermal sahalarıdır (İnt. Kyn. 3).

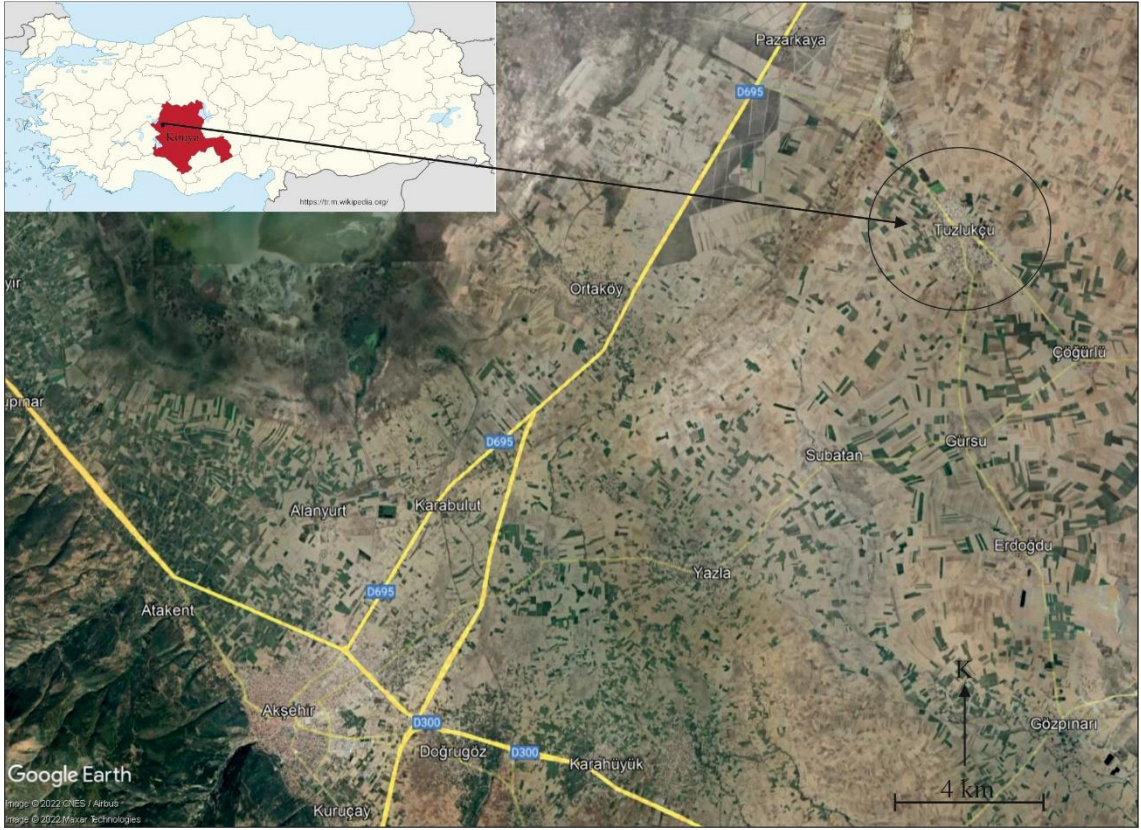
Konya ili genelinde; Karatay, Ilgın, Akşehir, Seydişehir, Cihanbeyli, Hüyük, Karapınar, Ereğli, Kadınhanı, Beyşehir ve Tuzlukçu ilçelerinde yaklaşık 55 adet jeotermal sondaj/kaynak yer almaktadır. Bu alanlarda üretilen jeotermal sular başta genel olarak seracılık ve termal turizm amaçlı olarak kullanılmaktadır. Tez kapsamında önceki çalışmalarda saha bazında detaylı ve bilimsel olarak çalışılmamış olan Tuzlukçu bölgesinde yer alan termal ve soğuk sularının jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tez konusu kapsamında, inceleme alanında yer alan 3 adet termal su ve 7 adet soğuk su örnekleme yapılarak, suların sınıflaması, rezervuar kaya sıcaklıklarının hesaplanması, hidrojeokimyasal geçmişlerinin ve kökenlerinin tahminine yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

1.1 İnceleme Alanının Konumu ve Genel Özellikleri

İnceleme alanı, Konya ili Akşehir ilçesine 25 km uzaklıkta ve 1/25000 ölçekli K27-d3-d4, L27-a1-a2-a3-b1paftalarında yer almaktadır (Şekil 1). Bölgede sıcak ve ılıman bir iklim hâkimdir. Konya ilinin yıllık bazda ortalama sıcaklığı 11.7°C ve ortalama yağış miktarı 329.4 mm'dir (İnt. Kyn. 4).

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Konya ili, Akşehir ilçesi Tuzlukçu bölgesi ve yakın çevresinde yer alan su örneklerinin hidrojeokimyasal bileşimini, izotopik özelliklerini, kökenini ve içme ve sulamada kullanım özelliklerini ve jeotermal suların rezervuar sıcaklığını belirlemektir.



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Umut vd. (1987), Akşehir ve Beyşehir gölleri arasında yer alan birimlerin jeolojisini araştırmış ve Neojen ve daha genç birimlerin stratigrafisi detaylı olarak çalışmışlardır.

Ayhan ve Güzel (1993), Hüyük ilçesi ve civarının jeolojisini ve hidrojeolojik özelliklerini inceleyerek; yeraltı sularını içilebilirlik ve kullanılabilirlik açısından değerlendirmişlerdir. Yazarlar inceledikleri su örneklerinde kirlilik olduğunu tespit etmiştir.

Göçmez vd. (2005), Karapınar-Ereğli çevresindeki termal kaynakların 18-28°C sıcaklığa sahip olduğunu ve iyodürlü, florürlü, sodyumlu, klorürlü su sınıfında olduğunu belirtmişlerdir.

Yazıcıoğlu (2007), Beyşehir-Konya ve çevresini hidrojeolojik olarak inceleyerek, örneklenen suların aynı kökene sahip olan CaCO_3 ve MgCO_3 bileşimli sular olduğunu ve Wilcox Diyagramına göre çok iyi-iyi kullanılabilir sular sınıfında yer aldıklarını belirlemişlerdir.

Göktaş (2010), Akhüyük bölgesinde yer alan sıcak ve mineralli suların özelliklerini inceleyerek bölgedeki traverten çökelimlerini detaylı olarak araştırmıştır. Çalışma sonucunda incelenen suların 21-28°C sıcaklığa sahip olduğunu ve yüzeye ulaşan suların basınç düşmesi nedeniyle CO_2 gazı uçmasına bağlı olarak CaCO_3 çöktüğünü belirtmiştir.

Çelik Karakaya vd. (2013). Ilgın, Akşehir, Doğanhisar ve Tuzlukçu bölgesinden aldıkları sondaj ve yüzey numuneleri üzerinde stratigrafik incelemeler yaparak, mineralojik olarak çamurtaşlarının kuvars, feldispat, illit, kaolinit, kalsit, dolomit minerallerinden oluştuğunu belirlemişlerdir. İkincil mineraller ise paligorskit, pirofillit, simektit ve klorittir.

Beker vd. (2015), MTA Genel Müdürlüğü Konya ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi kapsamında yaptıkları çalışmada Akşehir ilçesi, Ilgın ilçesi ve Tuzlukçu'da yer alan 6 adet jeotermal kaynak arama ruhsatı içinde jeolojik ve jeofizik etüt çalışması

gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda bölgedeki Dursunlu ve Devriş formasyonlarının örtü nitelikli, Halıcı formasyonu ve Kurşunlu kireçtaşı üyesinin rezervuar nitelikli olduğunu belirterek, muhtemel rezervuar sıcaklığını 72-105°C aralığında hesaplamışlardır.

Bozdağ (2016), Kavak (Seydişehir-Konya) jeotermal sahasında yer alan jeotermal ve soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerini çalışmıştır. Çalışma sonucunda 446-668 µs/cm elektriksel iletkenliğe sahip olan suların Ca-HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃ bileşimli olduğunu belirleyerek, jeotermal sular için 68-105°C'lik bir rezervuar sıcaklığı hesaplamıştır.

Bozdağ ve Göçmez (2016), Cihanbeyli-Konya bölgesinde yer alan Yeniceoba ovasında yer alan suların hidrojeokimyasını ve izotopik özelliklerini çalışarak, incelenen su örneklerinin Mg-Ca-HCO₃'den Na-Cl bileşimine kadar değişen özellikte sular olduğunu ve evaporasyon ve uzun dolaşıma bağlı olarak suların yüksek mineralizasyona sahip olduklarını belirlemişlerdir.

Bozdağ (2017), Çumra Ovası (Konya) yeraltı sularını incelediği çalışmasında yeraltısularında Ca ve Mg'nin hakim katyonları oluşturduğunu, anyonların ise HCO₃-SO₄, SO₄-HCO₃ ve SO₄-Cl fasiyeslerine geçiş gösterdiğini ifade etmiştir.

Demir (2020) Sultandağı Masifi'nin batısında yer alan suları Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-SO₄ ve Ca-Mg-SO₄-(HCO₃) olarak 3 sınıfta gruplandırarak suların 30-84°C arasında bir rezervuar sıcaklığına sahip olabileceğini belirlemiştir.

Davraz vd. (2022), Konya ilindeki jeotermal sahaları hidrojeokimyasal olarak değerlendirerek İsmil, Ilgın, Tuzlukçu, Seydişehir, Hüyük, Ereğli, Kadınhanı, Cihanbeyli, Karapınar ve Beyşehir jeotermal sahalarının kavramsal jeotermal sistem modellerini açıklamışlardır.

3. MATERYAL ve METOD

Bu tez çalışması; kaynak araştırması, saha çalışması ve tez yazımı olmak üzere üç kademede gerçekleştirilmiştir.

3.1 Kaynak Araştırması

Kaynak araştırması aşamasında çalışma alanı ve çevresinde daha önceki çalışmacılar tarafından hazırlanmış olan tez, makale, bildiri ve raporlar gibi kaynaklar incelenmiştir.

3.2 Saha Çalışmaları

Saha çalışmaları aşaması, jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar gerçekleştirilerek, su örnekleme noktalarının seçimi, sıcaklık- elektriksel iletkenlik-pH değerlerinin yerinde ölçümü ve örneklemenin yapılması ile laboratuvar analizleri işlemlerini kapsamaktadır.

3.2.1 Jeoloji-Hidrojeoloji Çalışmaları

Bu aşamada çalışma alanının jeolojik-hidrojeolojik özellikleri literatür ve arazi çalışmaları yardımıyla belirlenmiş ve jeolojik formasyonların su tutma özelliklerine göre hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır.

3.2.2 Yerinde Ölçüm ve Örnekleme Çalışmaları

Çalışma alanından, incelenmek üzere 3 adet termal su ve 7 adet soğuk su örneği alınmıştır. Örneklerin pH, elektriksel iletkenlik (ÖEİ) ve sıcaklık (°C) ölçümleri Hach Lange HQ40D marka çoklu parametre su ölçüm cihazı ile arazide gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Suların kimyasal analizleri aşamasında anyon ve katyon analizi yapılacak örnekler 500 ml HDPE kaplara alınmıştır. Silisyum, bor ve lityum analizleri için 100 ml'lik HDPE kaplar kullanılmıştır. Katyon analizi için alınan örnekler örnekler filtre edilmiş ve pH'ların <2'ye düşürülmesi için ultra saf HNO₃ ilave edilmiştir (Şekil 3.2; 3.3). ¹⁸O ve ²H analizleri için ise 50 ml (HDPE) numune kapları kullanılmıştır. ¹³C izotop analizi için 100 ml'lik kahverengi cam şişeler kullanılmış ve HgCl₂ ilavesiyle organik maddelerin uzaklaşması sağlanmıştır.



Şekil 3.1 T1 kodlu termal su örneğinin yerinde ölçümü.



Şekil 3.2 Örneklerin analiz öncesi filtrasyonu.



Şekil 3.3 Örneklerin analize hazırlanması.

3.2.3 Laboratuvar Analizleri

Örneklerin majör katyon (Na, K, Ca, Mg) ve Li analizlerinde Perkin Elmer 2280 model atomik absorpsiyon spektrometresi, majör anyon (SO_4^{2-} , F^- ve Cl^-) analizlerinde ise Dionex Lc25 marka iyon kromatografisi cihazları kullanılmıştır. B ve SiO_2 analizleri spektrometrik olarak ölçülmüştür. Analiz edilen katyonlar ve anyonlar için dedeksiyon limitleri Na^+ (0,001 mg/l), K^+ (0,001 mg/l), Ca^{2+} (0,001 mg/l), Mg^{2+} (0,001 mg/l), SO_4^{2-} (0,001 mg/l) ve Cl^- (0,01 mg/l)'dir. Suların alkalinite içerikleri ise titrimetrik yöntemle belirlenmiştir. Majör anyon, katyon, B, Li, SiO_2 ve ^3H analizleri Hacettepe Üniversitesi Su ve Çevre Kimyası Laboratuvarında yaptırılmıştır. Suların $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^{13}C analizleri ile kayaçların $\delta^{18}\text{O}$ - ^{13}C analizleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi Duraylı İzotop Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Tespit sınırı $\delta^{18}\text{O}$ için %0,03, $\delta^2\text{H}$ için %0,3 ve ^{13}C analizi için %0,02'dir.

3.3 Büro Çalışmaları

Elde edilen tüm kimyasal sonuçlar AquaChem 9.0 (Calmbach 1997) programında değerlendirilmiş ve suların kimyasal özellikleri, su-kayaç etkileşimi, rezervuar sıcaklığı gibi parametreler yorumlanmıştır. Suların kullanılabilirlik özelliklerinin belirlenebilmesi için analiz sonuçları İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (ITASHY

2013) ile karşılaştırılmış ve Schoeller içilebilirlik, ABD tuzluluk, Wilcox grafikleri ile SAR (Sodyum Adsorbsiyon Oranı), %Na (Yüzde Sodyum), RSC (Kalıntı Sodyum Karbonat), MT (Magnezyum Tehlikesi), PI (Geçirgenlik İndeksi), KI (Kelley Oranı) parametreleri yardımıyla yeraltı sularının kalitesi belirlenmiştir.



4. BULGULAR

4.1 Jeoloji

4.1.1 Bölgesel Jeoloji

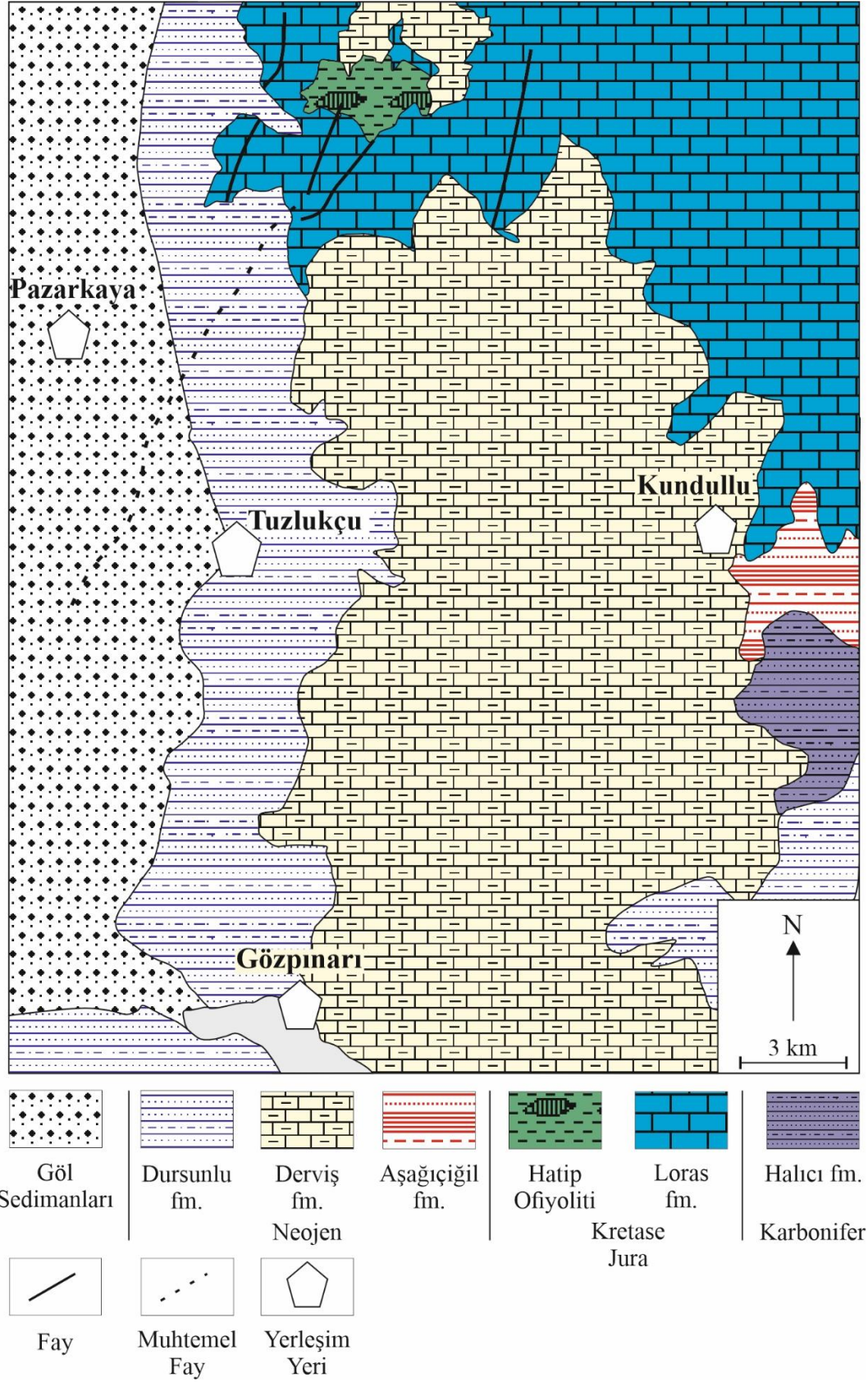
Konya bölgesi farklı yönlerde uzanım sunan yükseltiler arasında yer alan çöküntü havzalarından oluşmuş bir yapıya sahiptir. Orta Anadolu Ovalar Bölgesi içinde konumlanan Konya bölgesinin yüksek kesimlerinde Paleozoyik-Eosen yaşlı temel kayalar yer almakta iken, çöküntü havzalarında egemen olarak Miyosen-Güncel yaşlı gölsel, karasal ve volkanik kayalar yüzeylemektedir (Eren 2011, Şengör ve Yılmaz 1981). Konya bölgesi genel olarak Alpin orojenezi sürecinde deformasyona ve metamorfizmaya uğramış olan Afyon Zonu içerisinde yer alır. Afyon Zonu kuzeybatıda Kütahya-Afyon'dan güneydoğuda Konya-Bolkardağ'a kadar uzanan ve platform tipi sedimanter kayalar ile yeşilşist fasiyesinde metamorfik kayalardan oluşan metamorfik bir kuşaktır (Okay vd. 1996, 2001; Tolluoğlu vd. 1997; Özdamar vd. 2010).

4.1.2 İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanının en yaşlı birimi Karbonifer yaşlı Halıcı Formasyonudur. Jura-Kretase yaşlı Loras Formasyonu ve Hatip Ofiyolitleri, Halıcı formasyonu üzerinde uyumsuzlukla yer alır. Neojen yaşlı kırıntılı kayalar ile Akşehir gölü sedimanları bölgedeki en genç birimleri oluşturmaktadır (Şekil 4.1; Beker vd. 2015; Umut 2008). Birimlerin açıklamaları aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

4.1.2.1 Halıcı Formasyonu

Karbonifer yaşlı olan birim, Özcan vd. (1990) tarafından Halıcı formasyonu olarak adlandırılmış ve Kurşunlu Kireçtaşı üyesi ve kireçtaşı blokları olarak iki alt üyeye ayrılmıştır. Halıcı formasyonu genel olarak grovak, silttaşı, şeyl, çakıltası, çört ve kireçtaşı ardalanmasından oluşan matriks ile bu matriks içerisinde yer alan kireçtaşı blokları ve volkanik kayalardan oluşur. Birim içerisinde yer alan Kurşunlu Kireçtaşı üyesi gri, siyah ve beyaz renkli, orta-kalın katmanlı kireçtaşı ve dolomitlerden oluşur. Tümüyle yeniden kristallenen kireçtaşlarında dolomitleşme de oldukça yaygındır (Beker vd. 2015).



Şekil 4.1 İnceleme alanının jeoloji haritası (Beker vd. 2015; Umut 2008).

4.1.2.2 Loras Formasyonu

Orta Triyas yaşı olan Loras Formasyonu gri renkli kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 4.2). Orta-kalın katmanlı yapıya sahip karbonatlı kayaçlar bej ve beyaz renge sahiptir. Kireçtaşları ile dolomitlerin geçişli olarak yer aldığı birim içerisindeki karbonatlı kayaçlar rekristalize özellikte olup şekerimsi dokuya sahiptir (Umut 2008; Özcan vd. 1990).

4.1.2.3 Hatip Ofiyoliti

Tuzlukçu ilçesinin kuzeyinde Mevlütlü Köyü civarında gözlenen Karbonafer-Üst Kretase yaşı Hatip Ofiyoliti Kretase yaşı olup çamurtaşı, neritik ve pelajik kireçtaşı, bazalt ve ultramafik bloklardan (gabro, diyabaz, serpantin) oluşmaktadır (Umut 2008; Özcan vd. 1990).



Şekil 4.2 Loras formasyonuna ait dolomitik kireçtaşlarının arazideki görünümü (Kundullu kuzeydoğusu).

4.1.2.4 Aşağıçığıl Formasyonu

Kireçtaşı, kumtaşı, tuf, marn ve kilitaşı, linyit damarları ve kırmızı-kahverenkli çakiltaşlarından oluşan Aşağıçığıl formasyonu Neotokton örtü kaya özelliğinde olup sığ ortam çökelimini yansıtmaktadır (Umut vd. 1987, Umut 2008).

4.1.2.5 Derviş Formasyonu

Birim, Umut vd. (1990) tarafından Derviş formasyonu olarak adlandırılmıştır. Derviş Formasyonu, çalışma alanının doğusunda geniş yayılım göstermektedir. İçerdiği fosillere bağlı olarak Pliyosen olarak yaşlandırılan birim marn, kilitaşı, kireçtaşı ara tabakalarında oluşur. Tabakalar yatay veya yataya yakın konumdadır (Beker vd. 2015, Umut vd. 1990). Formasyon içerisinde ince turba ve tuf katmanları oldukça yaygındır.



Şekil 4.3 Derviş formasyonunun arazideki görünümü (Kundullu güneybatısı).

4.1.2.6 Dursunlu Formasyonu

Umut vd. 1987 tarafından adlandırılan birim genel olarak beyaz, sarı ve yeşil renkli kilitaşı, marn ve kumtaşından oluşmakta olup yer yer linyit içerir. Yeşil renkli killerle başlayan istifin alt kısımlarında linyit seviyeleri, üst kısımlarında ise kırmızı ve kahverenkli, yer yer kumlu killer ve çakiltaşları yer alır. İnce çakiltaşları havza içine kadar uzanan sığ akarsu kanallarına işaret etmektedir (Beker vd. 2015, Umut vd. 1990).

4.1.2.7 Akşehir Gölü Çökelleri

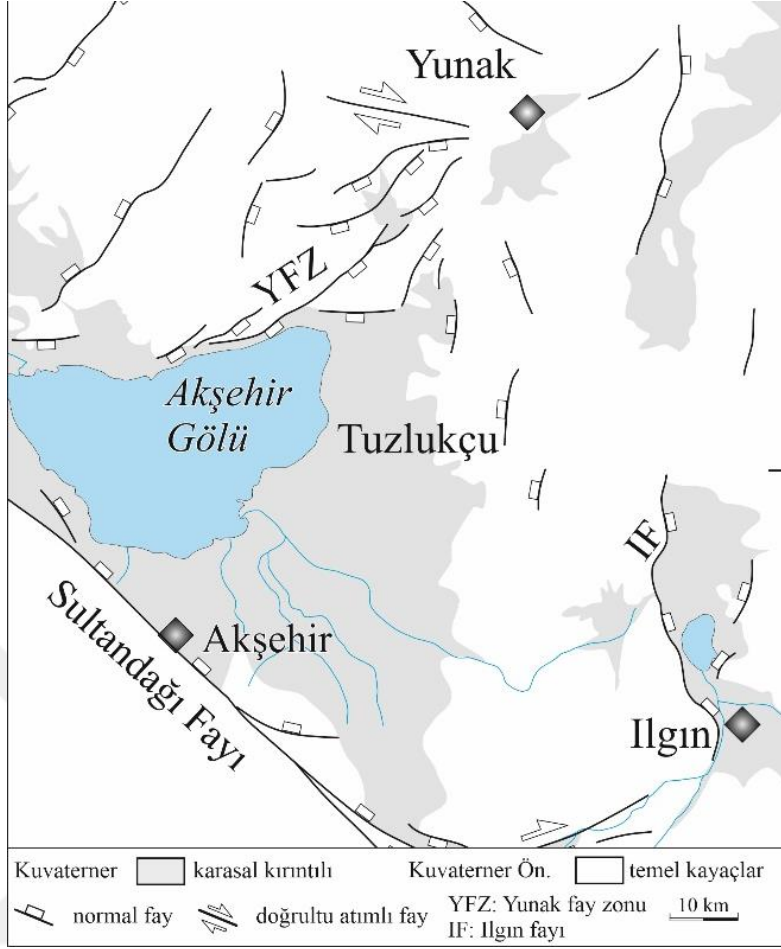
İnceleme alanının batısında yer alan Akşehir gölünün eski tabanında yer alan çakıl-kum-kil-silt boyutlu gölsel çökellerdir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Akşehir gölü tabanında gözlenen kuruma çatlakları.

4.2 Tektonizma

İnceleme alanı genel olarak Afyon-Akşehir grabeninin doğu kenarında yer almaktadır. Tuzlukçu ve yakın çevresinde haritalanan aktif bir fay bulunmamakla birlikte, bölgenin kuzeybatısında Yunak Fay Zonu, doğusunda Ilgın Fayı ve güneybatısında Sultandağı Fayı yer almaktadır (Şekil 4.5; Özkaymak ve Sözbilir 2020).



Şekil 4.5 Tuzlukçu ve çevresinin genel tektonik haritası (Özkaymak ve Sözbilir 2020’den sadeleştirilmiştir).

4.2.1 Sultandağı Fayı

Sultandağı Fayı, 2012 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritasında (Emre vd. 2011) diri fay olarak haritalanmıştır. Sultandağı Fayı toplam uzunluğu 100 km olan eğim atımlı normal bir faydır (Özkaymak 2020).

4.2.2 Yunak Fay Zonu

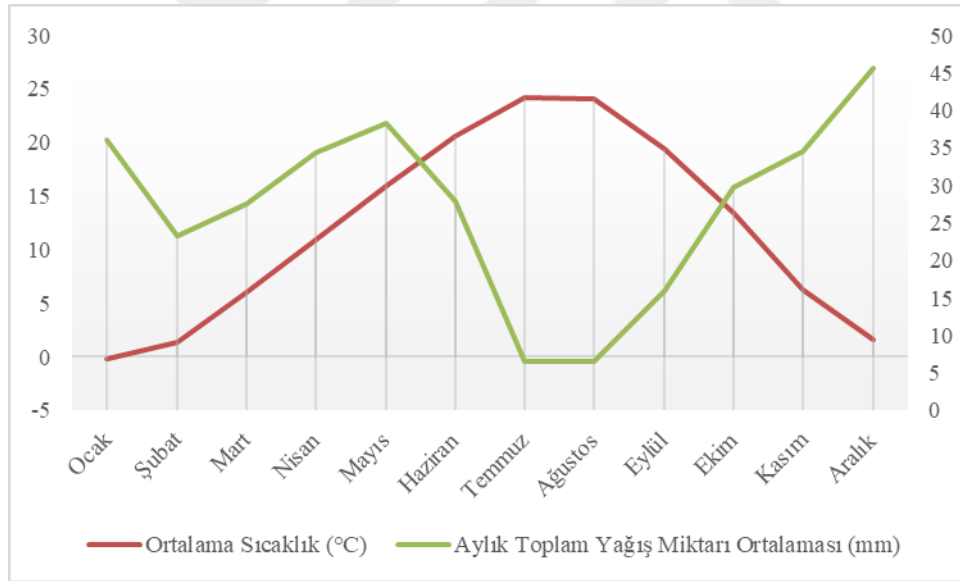
Yunak Fay Zonu, Akşehir Gölü’nün kuzeyinde, güneydoğuda Üçkuyu ile kuzeydoğuda Yunak yerleşim alanları arasında uzanan dört diri fay segmenti ile temsil edilmektedir (Emre vd. 2011). Yunak fay Zonu’nun üretebileceği en büyük deprem büyüklüğü 6.75 olarak hesaplanmıştır (Duman vd. 2018, Emre vd. 2018, Özkaymak 2020).

4.3 İnceleme Alanının Hidrojeolojisi

4.3.1 Hidrolojik Bütçe

Bu bölümde, Konya ili meteoroloji istasyonuna ait olan ve 1991-2020 yıllarını kapsayan sıcaklık ve yağış verilerinden hareketle bölgenin su bütçesi hazırlanmıştır (İnt.kyn.1).

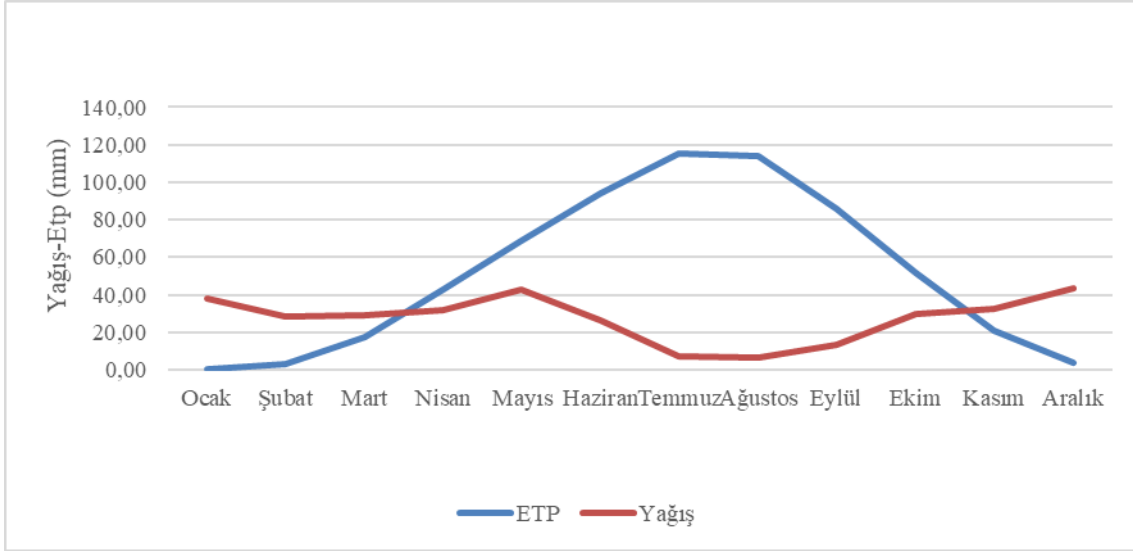
Bölgenin 1929 ile 2021 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklığının 11.8°C olduğu görülmektedir. Bölgede en yüksek sıcaklık Temmuz-2000'de 40.6°C , en düşük sıcaklık ise 1942-Ocak ayında -28.2°C olarak ölçülmüştür. Aylık ortalama sıcaklık değerleri dikkate alındığında en sıcak ay 24.1°C ile Temmuz ayı, en soğuk ay ise, -0.3°C ile Ocak ayıdır. Bölgeye düşen yıllık ortalama yağış 329.4 mm, en fazla yağış alan aylar Aralık, Ocak, Nisan ve Mayıs, en az yağış alan aylar ise Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarıdır (Şekil 4.6, Çizelge 4.1).



Şekil 4.6 1991 ile 2020 yılları arasındaki aylık bazda ortalama sıcaklık-yağış dağılımları.

Tuzlukçu bölgesine ait su bütçesi Konya meteoroloji istasyonundan alınan verilere göre hazırlanarak Çizelge 4.2'de verilmiştir. Aylık potansiyel buharlaşma-terlemeyi (Etp) veren formüle (Thornthwaite 1948) göre yapılan hesaplamalarda yıllık potansiyel buharlaşma ve terleme (Etp) 618.1 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) 299.4 mm olarak bulunmuştur. Su bütçesi incelendiğinde Mart ayı ortalarına kadar yağışın

Etp'den fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.7). Mart ayının ortasından Mayıs ayına kadar teorik olarak 100 mm kabul edilen zemin rezervi kullanılır. Haziran ayı başlangıcından itibaren Kasım ayına kadar tarım su açığı görülmektedir. Etp'nin yağıştan fazla olduğu kurak dönemde su noksanı 409.6 mm'dir.



Şekil 4.7 Çizelge 4.1'e göre hazırlanmış buharlaşma-terlemenin aylık değişim grafiği.

4.3.2 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanındaki jeolojik formasyonlar su bulundurma özelliklerine göre geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz olarak ayrılarak hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 4.8).

4.3.2.1 Geçirimli Birimler

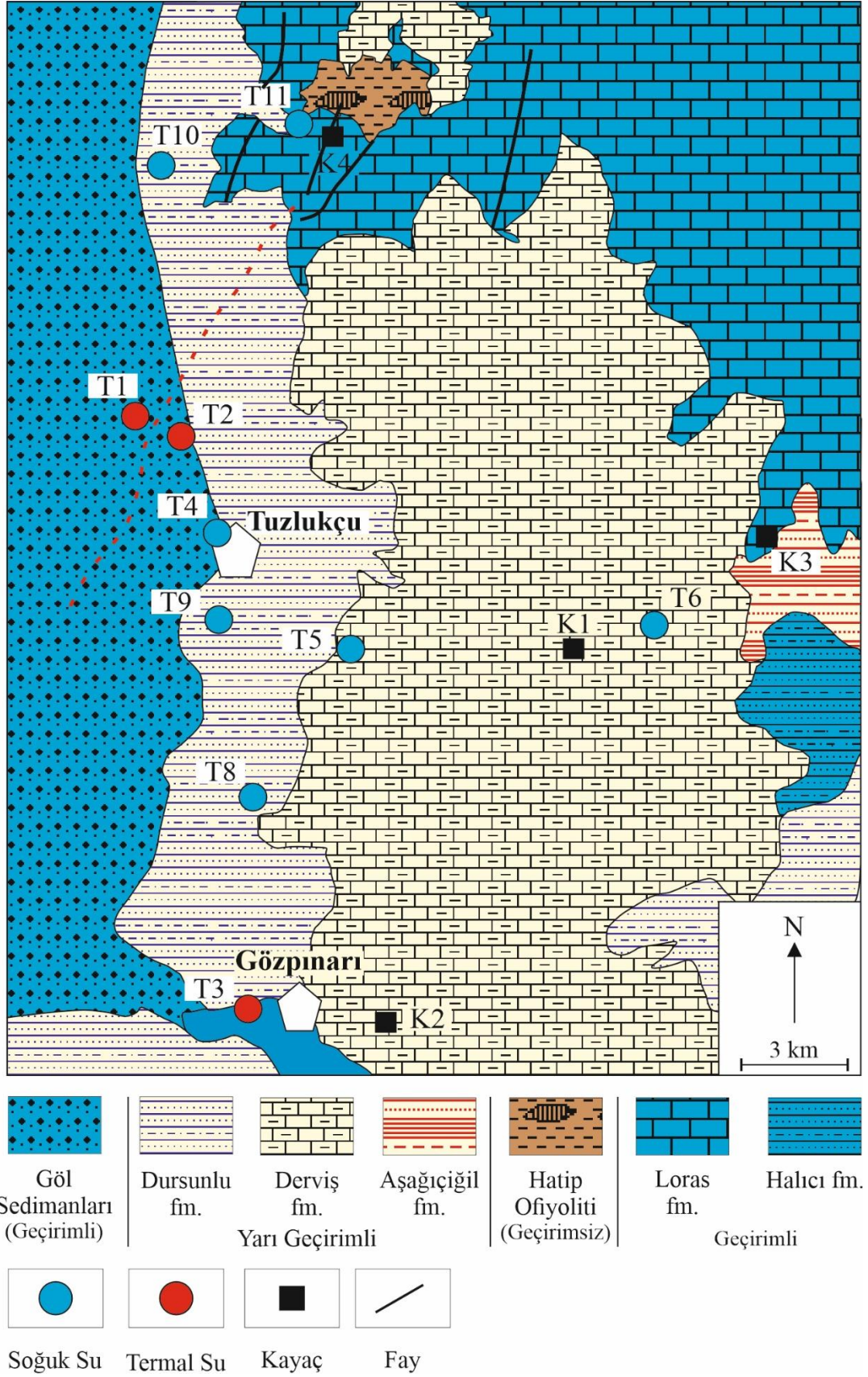
Birbirleriyle bağlantılı kırık ve çatlak sistemleri ile erime boşluklarında yeraltı suyu bulundurma özelliğine sahip Halıcı ve Loras Formasyonları karstik akifer, çakıl ve kum seviyeleri içeren Akşehir Gölü sedimanları ve alüvyon ise gözenekli akifer olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 4.1 Konya Meteoroloji istasyonu verileri.

KONYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1929 - 2021)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.2	1.5	5.6	11.1	15.9	20.1	23.5	23.3	18.8	12.8	6.5	1.7	11.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.6	7	11.8	17.5	22.4	26.7	30.2	30.2	26	20	13	6.6	18
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.2	-3.3	-0.2	4.3	8.6	12.6	15.9	15.6	11	5.9	0.8	-2.3	5.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.3	4.6	5.9	7.2	9	10.7	11.8	11.4	9.7	7.3	5.3	3.2	7.4
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	38.1	28.5	29.3	32	43.1	26.1	7.5	6.4	13.5	29.5	32.2	43.2	329.4
Ölçüm Periyodu (1929 - 2021)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	19.9	23.8	28.9	30.9	34.4	36.7	40.6	39	38.8	31.6	25.4	21.8	40.6
En Düşük Sıcaklık (°C)	-28.2	-26.5	-16.4	-8.6	-1.2	1.8	6	5.3	-3	-8.4	-20	-26	-28.2

Çizelge 4.2 Konya Meteoroloji istasyonu verilerinin (1929-2021) ortalamasına göre hazırlanan su bütçesi tablosu (Thorntwait (1948)).

	T (°C)	i	Enlem Düzeltme Katsayısı	Yağış	ETP	Düzeltilmiş ETP	P-EP	Zemin Rezervi (mm)	Zemin Rezerv Değişimi (mm)	ETR (mm)	Tarımsal Su Açığı (mm)	Su Fazlası (mm)
Ocak	0.2	0.008	0.85	38.1	0.21	0.18	37.9	100	45.3	0.18	0.0	0.00
Şubat	1.5	0.162	0.84	28.5	3.05	2.56	25.9	100.0	0.0	2.56	0.0	25.94
Mart	5.6	1.187	1.03	29.3	17.36	17.89	11.4	100.0	0.0	17.89	0.0	11.41
Nisan	11.1	3.345	1.11	32.0	42.86	47.57	-15.6	84.4	-15.6	47.57	0.0	0.00
Mayıs	15.9	5.763	1.23	43.1	68.88	84.72	-41.6	42.8	-41.6	84.72	0.0	0.00
Haziran	20.1	8.219	1.24	26.1	93.87	116.39	-90.3	0.0	-42.8	68.91	47.5	0.00
Temmuz	23.5	10.413	1.26	7.5	115.38	145.38	-137.9	0.0	0.0	7.50	137.9	0.00
Ağustos	23.3	10.279	1.18	6.4	114.09	134.62	-128.2	0.0	0.0	6.40	128.2	0.00
Eylül	18.8	7.427	1.04	13.5	85.93	89.37	-75.9	0.0	0.0	13.50	75.9	0.00
Ekim	12.8	4.150	0.96	29.5	51.73	49.66	-20.2	0.0	0.0	29.50	20.2	0.00
Kasım	6.5	1.488	0.84	32.2	21.14	17.76	14.4	14.4	14.4	17.76	0.0	0.00
Aralık	1.7	0.195	0.82	43.2	3.60	2.95	40.2	54.7	40.2	2.95	0.0	0.00
	11.8	52.6		329.4	618.1	709	-379.7	496.4	0.0	299	409.6	37.35



Şekil 4.8 İnceleme alanının hidrojeoloji haritası ve örnekleme noktaları.

4.3.2.2 Yarı Geçirimli Birimler

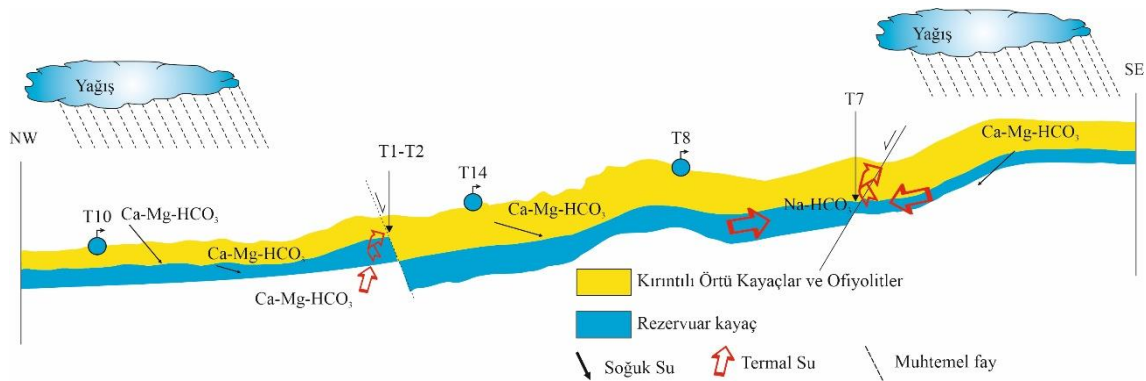
Geçirimsiz özellikteki marn-kiltaşı ve çamurtaşı türü litolojilerle birlikte, geçirimli özellik sunan kumtaşı-çakıltası ve kireçtaşı birimleri içeren Dursunlu, Derviş ve Aşağıcığil formasyonları kısmi geçirimli taneli ortam olarak sınıflandırılmıştır. Halıcı formasyonuna ait Kurşunlu Kireçtaşı üyesi ise kısmi geçirimli kaya ortam özelliğindedir.

4.3.2.3 Geçirimsiz Birimler

Hatip ofiyolit karışığı ve jips üyesi içerisinde bulunan litolojiler yeraltı suyu bulundurmamaktadır.

4.3.3 Tuzlukçu Jeotermal Sistemi

Tuzlukçu jeotermal sahası Akşehir-Afyon grabeni içinde yer almaktadır. Loras formasyonu ile Halıcı formasyonu (Kurşunlu Kireçtaşı üyesi) bölgedeki jeotermal sular için rezervuar kayaç özelliği sunmaktadır. Yarı geçirimli olarak sınıflandırılan kırıntılı kayaçlar ile geçirimsiz özellikteki ofiyolitler jeotermal sistemin örtü kayacını oluşturmaktadır. Meteorik sular ile beslenen yeraltı suları bölgede yer alan ve alüvyon içerisinde gömülü halde olan KD-GB yönlü muhtemel bir fay hattı boyunca yeraltına süzülerek ısınmakta ve sondajlarla yüzeye çıkarılmaktadır (Şekil 4.9).

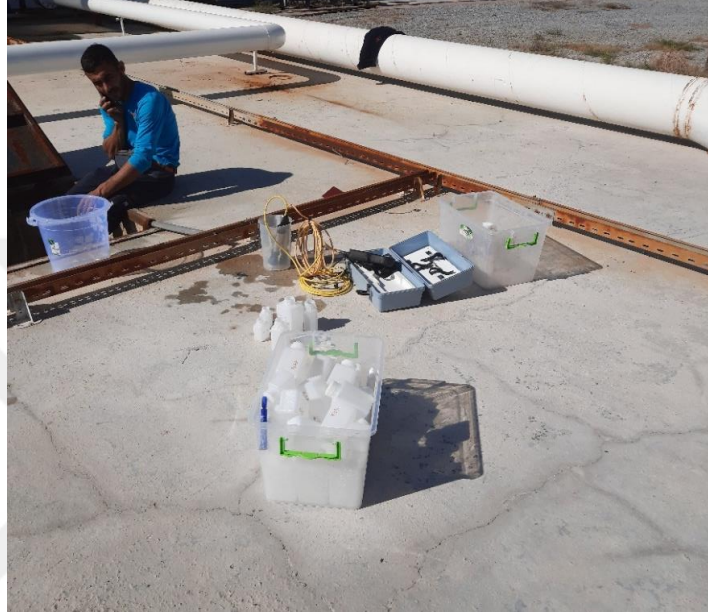


Şekil 4.9 Tuzlukçu jeotermal sahasının kavramsal modeli (ölçeksiz).

4.3.4 Su Örneklemme Noktaları

İnceleme alanında özel firma ve belediyeye ait 3 adet jeotermal sondaj yer almaktadır. T1 ve T2 olarak isimlendirilen jeotermal sondaj suları jeotermal sera ısıtılması amacıyla

kullanılmakta olup sondaj derinlikleri 250 metre debileri ise 30 l/s'dir. T3 sondajı 2200 metre derinliğe sahip olup günümüzde aktif bir kullanımı bulunmamaktadır (Şekil 4.10; 4.11). Örneklenen soğuk sulardan; T4 örneği Tuzlukçu Belediyesi'ne ait sondaj örneği, T5, T8, T9 ve T10 sondaj suyu, T6 ve T11 örnekleri ise kaynak suyu örneğidir (Şekil 4.12; 4.13).



Şekil 4.10 Jeotermal serada kullanılan T1 sondajı.



Şekil 4.11 T3 sondajı.



Şekil 4.12 T11 kaynak suyu örnekleme noktası.



Şekil 4.13 T8 tarımsal sulama sondajı örnekleme noktası.

4.4 Hidrojeokimya

4.4.1 Suların Fiziksel Özellikleri

İnceleme alanında yer alan ve örnekleme yapılan su noktalarının elektriksel iletkenlik, sıcaklık ve pH ölçüm sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir. İncelenen termal su örneklerinin sıcaklıkları 48-56°C arasında, soğuk su örneklerinin sıcaklıkları ise 16-20°C arasında değişmektedir. Elektriksel iletkenlik değerleri termal sularda 3200-8765 $\mu\text{s/cm}$, soğuk sularda ise 310-842 $\mu\text{s/cm}$ aralığında ölçülmüştür. pH değerleri bakımından tüm örnekler nötre yakın, genellikle hafif alkali özelliktedir.

Çizelge 4.3 Su örneklerinin in-situ ölçüm sonuçları.

Örnek Kodu	Örnekleme Tarihi	Koordinat	Özgül Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{s/cm}$)	Sıcaklık (°C)	pH
T1	23.10.2021	378361-4262460; 977m	3200	50	6.7
T2	23.10.2021	378693-4262347; 981m	3290	48	7.1
T3	23.10.2021	381226-4246132, 1022m	8765	56	7.1
T4	23.10.2021	380276-4259410, 993m	842	19.2	7.7
T5	24.10.2021	384127-4255915, 1027	794	18	7.3
T6	24.10.2021	392593-4256397, 1133m	462	16.7	7.6
T8	24.10.2021	381280-4251863, 1010m	775	20	7.9
T9	24.10.2021	380329-4256748, 995m	626	18	7.9
T10	24.10.2021	378739-4269718, 972m	445	16	7.4
T11	24.10.2021	382751-4270725, 1030m	310	18.5	7.6

4.4.2 Suların Kimyasal Özellikleri

Örneklenen sondaj ve kaynak sularının analiz sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Sulardaki iyon ve elementlerin dağılımları aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Kalsiyum (Ca^{++}): Sularda bulunan kalsiyumun ana kaynağı kalsit, aragonit ve dolomit mineralleri ile tali olarak jips, Ca-plajiyoklas, anhidrit, diyopsit, florit, ve amfibol gibi minerallerdir (Hounsflow 1995). İnceleme alanındaki termal suların kalsiyum değerleri 266.0-301.3 mg/l, soğuk suların kalsiyum değerleri ise 49.8-79.2 mg/l arasında değişmektedir.

Magnezyum (Mg^{++}): Sularda magnezyumun en önemli kaynağı dolomit olmakla birlikte, magnezyum içeren diğer minerallerdir (mikalar, amfibol, piroksen, talk, olivin,

serpantin, talk ve tremolit) (Hounslow 1995). İnceleme alanındaki termal suların magnezyum değerleri 84.9-102.7 mg/l, soğuk suların ise 18.2-70.4 mg/l'dir.

Çizelge 4.4 Su örneklerinin analiz sonuçları (mg/l).

Örnek	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₂	NO ₃	SiO ₂	F	Li	B
T1	266.0	84.9	334.6	52.5	159.0	299.1	1475.2	0.0	0.0	28.5	1.4	0.9	1.8
T2	266.4	85.9	349.4	42.1	149.9	292.6	1543.7	0.1	0.0	38.1	1.3	0.8	2.8
T3	301.3	102.7	2030.0	84.5	332.1	1393.0	4232.7	0.4	1.2	38.8	2.1	7.1	36.0
T4	72.3	70.4	48.5	11.2	50.6	97.3	410.8	1.3	31.8	23.8	0.9	0.0	0.0
T5	79.2	50.9	34.8	11.6	20.7	15.7	535.3	0.7	0.4	30.6	0.6	0.2	0.0
T6	61.3	24.9	10.7	2.9	16.2	17.2	242.8	0.0	40.2	7.1	0.2	0.0	0.0
T8	64.5	48.1	70.1	6.8	9.4	4.3	541.5	8.7	2.8	34.4	0.7	0.2	0.0
T9	60.2	48.3	31.0	3.8	26.0	31.9	348.6	0.0	34.1	20.3	0.7	0.1	0.0
T10	52.4	28.8	17.1	6.5	24.6	21.1	230.3	0.0	34.9	14.1	0.3	0.0	0.0
T11	49.8	18.2	7.2	1.2	5.1	8.3	211.6	0.0	6.2	11.9	0.1	0.0	0.0

Sodyum (Na⁺): Sodyum jeotermal akışkanın ana katyonudur (Nicholson 1993). Sodyum klorürün doğadaki bolluğu ve sudaki çözünürlüğünün yüksek olması nedeniyle özellikle termal sularda bolca bulunur. Termal su örneklerinde sodyum değeri 2030.0-334.6 mg/l iken bu değer soğuk su örneklerinde 7.2-70.1 mg/l arasındadır.

Potasyum (K⁺): Sodyumla birlikte jeotermal akışkandaki major katyonlardan diğer olan potasyumun kaynağı mikalar ve feldspat mineralleridir. Genel olarak mağmatik kayalarda sodyum çökel kayalarda ise potasyum hakimdir (Nicholson 1993). Termal su örneklerinin potasyum değerleri 42.1-84.5 mg/l ve soğuk su örneklerinin potasyum değerleri 1.2-11.6 mg/l olarak belirlenmiştir.

Karbonat ve Bikarbonat (CO₃²⁻ ve HCO₃⁻): Sıcak akışkanlardaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğu, atmosfer ve topraktaki karbondioksitten ve karbonatlı kütlelerin erimesinden oluşmaktadır. Toplam çözünmüş karbonat konsantrasyonu (karbonik asit-karbonat ya da bikarbonat oluşumu) çözeltinin pH değerine bağlıdır (Nicholson 1993). Genel olarak Mg-HCO₃, Mg-Ca-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ bileşimli sular kireçtaşları ve dolomitlerle, Ca-HCO₃ tipli sular kireçtaşları ile etkileşimini gösterir (Nicholson 1993, Hounslow 1995, Mazor 2004). İnceleme alanından alınan soğuk su örneklerinin bikarbonat değerleri 211.6-541.5 mg/l, termal suların bikarbonat değerleri ise 1475.2-4232.7 mg/l arasında değişmektedir.

Klorür (Cl⁻): Jeotermal kaynaklarda yüksek klorür içeriği derin bir rezervuar kayaktan beslenmeye işaret eder (Nicholson 1993). Çalışma alanında yer alan termal su örneklerinin klorür miktarları 149.9-332.1 mg/l iken, soğuk sulara bu değer 5.1-50.6 mg/l olarak belirlenmiştir.

Bor (B³⁺): Jeotermal sistemin ilk oluşum aşamasında akışkan içerisine alınan bor jeotermal sistemin geçmişi ve karakteristikleri hakkında önemli bilgiler verir. Bölgede yer alan sıcak suların bor içerikleri 1.8-36.0 mg/l arasında değişmektedir.

Sülfat (SO₄²⁻): Doğal sulardaki sülfatın başlıca kaynakları jips, anhidrit ve şeyl gibi sedimanter kayalardır (Hem 1985). Bu mineraller haricinde antropojenik olarak bakteriyel aktivite, evsel-endüstriyel atık sular, asit yağmuru ve kükürt içeren maden sahalarının drenaj suları da suların sülfat içeriğine etki eden diğer kaynaklardır (Eisen ve Anderson 1979, McNeely vd. 1979, Hem 1985). Analizler sonucunda soğuk sulara 4.3-97.3 mg/l arasında, termal sulara ise 292.6-1393.0 mg/l arasında sülfat içeriği belirlenmiştir.

Florür (F⁻): Florit, apatit, mika ve amfibol gibi mineraller ve bu mineralleri içeren kayalar suların içerdiği florürün kaynağıdır. Kil minerallerinin adsorpsiyonu sonucu ortaya çıkan anyon değişimi de florürün bir diğer kaynağıdır (Hem 1992). İnceleme alanı sularının florür değerleri genel olarak 0.1-2.1 mg/l arasındadır.

Nitrat (NO₃⁻) ve Nitrit (NO₂⁻): Yüzey ve yeraltı sularındaki nitrat ve nitritin başlıca kaynakları, bozunan bitkisel ve hayvansal atıklar, endüstriyel ve evsel atık sular, tarımsal gübreler ve atmosferik azotun yıkanmasıdır (Hem 1985). Sulara özellikle nitritin bulunuşu, suların organik atıklarla kirletildiğini gösterir (McNeely vd. 1979). Nitrat değerleri termal su örneklerinde 0.0-1.2 mg/l, soğuk su örneklerinde 0.4-40.2 mg/l; nitrit değerleri termal su örneklerinde 0.0-0.4 mg/l ve soğuk su örneklerinde 0.0-8.7 mg/l olarak belirlenmiştir.

Silisyum (Si): Silisyum yerkabuğunda oldukça bol bulunan bir elementtir ancak sudaki çözünürlüğü oldukça düşüktür (Hem 1992). Çalışma alanındaki soğuk sular 7.1-34.4 mg/l, sıcak sular ise 28.8-38.8 mg/l değerleri arasında SiO_2 içermektedir.

Lityum (Li^+): Jeotermal su içinde çözündükten sonra kolayca bileşik hale geçmeyen lityum (Li) ikincil etkilerden çok zor etkilendiği için jeotermal sularda izleyici bir elementtir. İncelenen termal suların lityum değerleri 0.8-7.1 mg/l, soğuk suların lityum değerleri ise 0.0-0.2 mg/l olarak belirlenmiştir. Akşehir gölü çökelleri ve tuzlu-jipsli birimler, T3 örneğinin sahip olduğu yüksek lityumun kaynağı olarak gösterilebilir.

4.4.2.1 Hidrojeokimyasal Fasiyes Kavramına Göre Sınıflama

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) raporunda, miliekivalan/litre cinsinden olmak üzere suda %20' den fazla içeriğe sahip olan iyonlar su tipini belirtmektedir (IAH 1979, Başkan ve Canik 1983). İnceleme alanındaki suların hidrokimyasal fasiyes kavramına göre sınıflamasında Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflaması dikkate alınmıştır. Su sınıfları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Genel olarak Akşehir Gölü'ne bağlı olarak oluşan tuzlu-jipsli zonlar SO_4^{2-} zenginleşmesine neden olurken, soğuk suların kimyasal bileşimleri dolomit-kireçtaşı etkileşimlerine bağlı olarak Ca-Mg arasında değişim göstermektedir.

4.4.2.2 Piper Diyagramı

Piper (1944) tarafından oluşturulan üçgen diyagram; anyon ve katyonların (% mek/l cinsinden) yer aldığı iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların birlikte yer aldığı eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar üzerinde suların fasiyes tipleri belirlenebilmekte, 9 ayrı bölüme ayrılmış olan dörtgen diyagramda ise suların sınıflaması yapılabilmektedir. Buna göre;

1 numaralı alan: Alkali toprak elementler ($\text{Ca} + \text{Mg}$) > Alkali elementler ($\text{Na} + \text{K}$)

2 numaralı alan: ($\text{Ca} + \text{Mg}$) < ($\text{Na} + \text{K}$)

3 numaralı alan: Zayıf asit kökleri ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$) > Güçlü asit kökleri ($\text{Cl} + \text{SO}_4$)

4 numaralı alan: ($\text{Cl} + \text{SO}_4$) < ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$)

5 numaralı alan: Karbonat sertliği % 50 ‘den fazla olan sular

6 numaralı alan: Karbonat olmayan sertliği % 50’den fazla olan sular

7 numaralı alan: Karbonat olmayan alkalitesi % 50’den fazla olan sular deniz ve çok acı sular

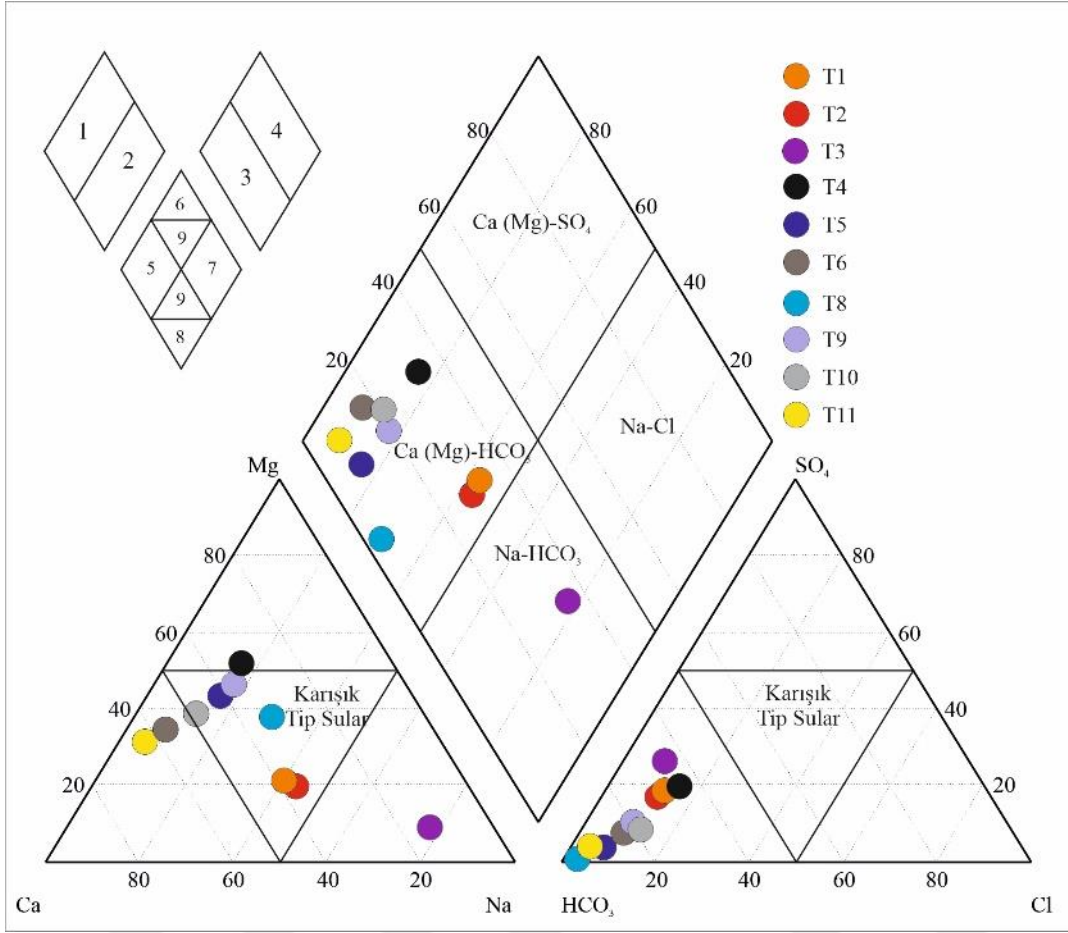
8 numaralı alan: Karbonat alkaliler % 50’den fazla olan sular (aşırı yumuşak sular)

9 numaralı alan: İyonların hiçbirisi % 50’yi geçmeyen karışık sular; olarak sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 4.5 Analizi yapılan örneklerin kimyasal sınıfları.

Örnek Kodu	Su Tipi
T1	Na-Ca-HCO ₃
T2	Na-Ca-HCO ₃
T3	Na-HCO ₃ -SO ₄
T4	Mg-Ca-Na-HCO ₃
T5	Mg-Ca-HCO ₃
T6	Ca-Mg-HCO ₃
T8	Mg-Ca-Na-HCO ₃
T9	Mg-Ca-HCO ₃
T10	Ca-Mg-HCO ₃
T11	Ca-Mg-HCO ₃

Piper diyagramında eşkenar dörtgen incelendiğinde T3 örneği hariç diğer tüm örneklerin Ca(Mg)-HCO₃ alanında yer aldığı görülmektedir. Bu diyagrama göre sular ayrıca 1-3 ve 5 numaralı alanlarda, T3 örneği ayrıca 9 numaralı alanda yer almaktadır. Üçgen diyagramlarda ise T6 ve T11 örneklerinin majör katyonunun kalsiyum, T3 örneğinin majör katyonunun sodyum olduğu ve diğer tüm örneklerin karışık tip katyonlar sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bölgedeki dolomitik litolojilere bağlı olarak örneklerde magnezyum alanına doğru hafif olarak yönelmiştir. Anyonların gösterildiği diyagramda ise HCO₃ tüm örneklerin majör anyonu olarak göze çarpmaktadır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14 Analizi yapılan su örneklerinin Piper diyagramındaki konumu.

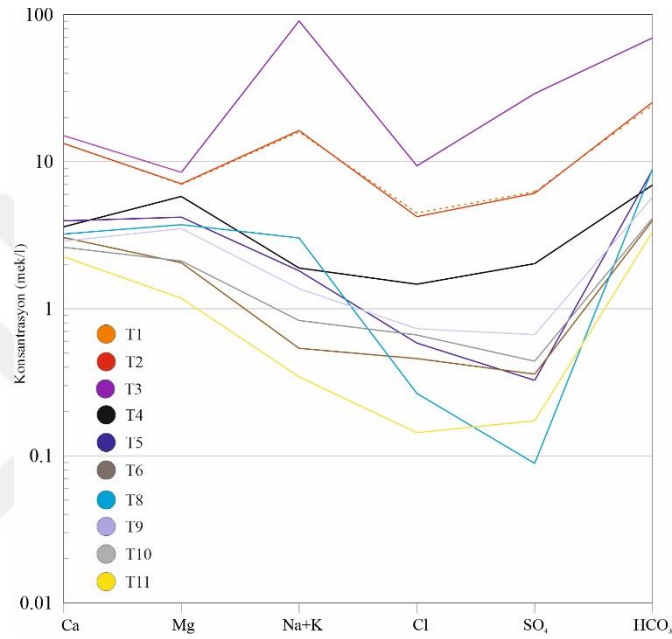
4.4.2.3 Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramı

Yarı logaritmik diyagram yeryüzünde benzer jeokimyasal süreçten geçmiş suların belirlenmesinde ve örneklerin karşılaştırılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Schoeller diyagramı incelendiğinde; T1 ve T2 örneklerinin birbiriyle tamamen benzer özellikte olduğu, daha derin olan T3 örneğinin ise özellikle sodyum içeriği bakımından diğer iki termal su örneğinden ayrıldığı görülmektedir. Soğuk su örneklerinde ise kalsiyum ve magnezyumla birlikte bikarbonat iyonunun baskın olduğu görülmektedir (Şekil 4.15).

4.4.3 Su Kimyasını Etkileyen Süreçler

Molar Na^+/Cl^- oranı, sulardaki sodyumun kaynağı için iyi bir göstergedir. Sudaki sodyumun ana kaynağı, Na^+/Cl^- oranı bire yakınsa halit mineralinin çözünmesi, birden büyükse silikat bozunma reaksiyonlarıdır (Meybeck, 1987). İncelene su örneklerinin

Na^+/Cl^- oranları termal sularda 5.43, soğuk su örneklerinde ise 3.1 olarak belirlenmiştir. Bu yüksek değerler sulardaki sodyum kaynağının silikat bozunma reaksiyonu olduğuna işaret etmektedir. Termal suların görece daha yüksek Na^+/Cl^- değerleri ayrıca bu suların içeriklerinin uzun ve daha derin dolaşıma da bağlı olarak su-kayaç etkileşimi ile denetlendiğini göstermektedir (Ducci et al. 1992; Han et al. 2010; Dotsika et al. 2021; Erbaş and Bozdağ 2022).



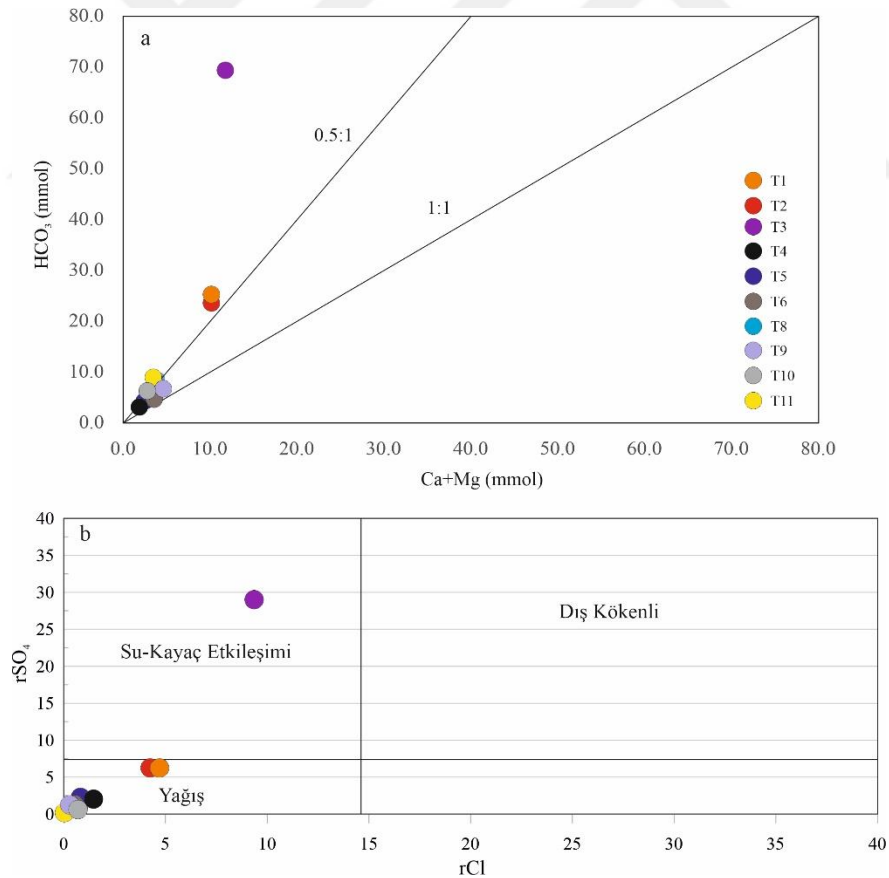
Şekil 4.15 Analizi yapılan su örneklerinin yarı logaritmik diyagramdaki konumu.

Çözülmüş karbonatlı kayacın türünü belirlemek için $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ oranı kullanılmaktadır. $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ oranının bire yakın olması dolomit çözünmesini, 1-2 arasındaki değerler kalsit çözünmesini ve daha yüksek değerler silikat mineralinin çözünmesini gösterir (Mayo ve Loucks 1995, Lakshmanan vd. 2003, Narany vd. 2014, Ravikumar vd. 2015, Setiawan vd. 2020, Yasin ve Kargın 2021). Buna göre; $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ oranı bire yakın olan T4, T5, T8, T9 ve T10 örneklerinde çözülmüş karbonatlı kayaç ağırlıklı olarak dolomit, $\text{Ca}^{+2}/\text{Mg}^{+2}$ oranı 1-2 arasında olan T1, T2, T3, T6, ve T11 örneklerinde ise kalsittir. Buna göre kalsitik ve dolomitik özellikleri ile tanımlanan Kurşunlu and Loras kireçtaşları-dolomitler bölgedeki suların kimyasına doğrudan etki etmektedir.

Suların $(\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}) / \text{HCO}_3^-$ oranları (mmol/l) termal sularda 0.2-0.4 arasında, soğuk sularda 0.5-0.7 arasında değişmektedir. Suların $(\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}) - \text{HCO}_3^-$ grafiğinde (Şekil

4.16a), tüm sular genellikle 0.5:1 ile 1:1 çizgisi arasına konumlanmıştır. Bu da sulardaki Ca^{+2} , Mg^{+2} ve HCO_3^- iyonlarının başlıca kaynağının karbonat ayrışması olduğunu göstermektedir. Özellikle termal sularda bu iyonlar, daha az oranda olmak üzere, silikatlı kayaların çözünmesi ile de yeraltı sularına katılmış olabilir.

Sülfür mineralleri (pirit, jips ve anhidrit), organik maddeler ve evaporitik birimler sulardaki sülfatın başlıca kaynaklarıdır (Egemeier 1981, Favara vd. 1998, Goldscheider vd. 2010). Şekil 6.3b'ye göre soğuk sudaki sülfatların kaynağı yağmur suyu iken, en derin ve en sıcak termal su örneğinin (T3) sülfat kaynağı su-kayaç etkileşimi, diğer termal sularda ki sülfat kaynağı ise su-kayaç etkileşimi ile yağış suyundan kaynaklı sülfatın karışımıdır (Toscano vd. 2020; Yasin ve Kargın 2021). Güncel yağmur suyu analizi ile yağmur suyunun SO_4^{-2} değeri bilinmediğinden, Özellikle T1 ve T2 örnekleri için yağmur suyundan sülfat katkısı ihmal edilebilir düzeyde olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.16 Suların çeşitli iyon konsantrasyonları arasındaki ilişkiler.

4.5 İzotop Jeokimyası

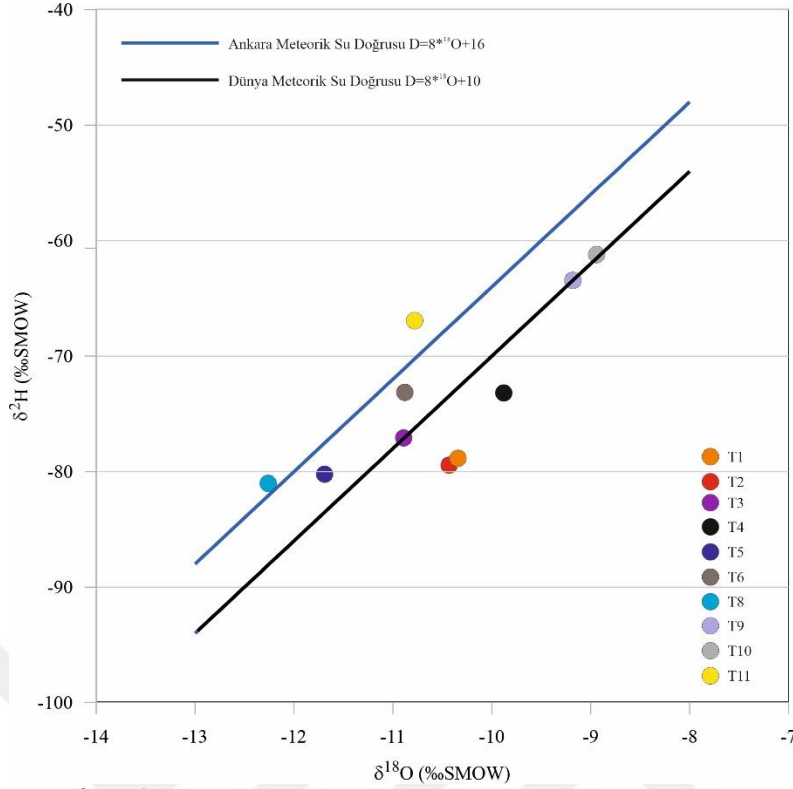
Duraylı izotoplardan ^{18}O ve ^2H (döteryum) ile radyojenik izotop olan ^3H ölçümleri, suların kökeni, dolaşım süresi, su-kaya etkileşimi, karışım ve suların yaşı hakkında bilgi vermesinden dolayı oldukça sık kullanılmaktadır. ^{13}C değerleri de hem sulardaki hem de kayalardaki karbonun kökeninin anlaşılmasına olanak sağlar. İncelenen su ve kayaç örneklerinin, ^{18}O , ^2H , ^3H , ^{13}C analiz sonuçları Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 İzotop analiz sonuçları.

Örnek	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) VSMOW	δD (‰) VSMOW	^3H	$\delta^{13}\text{C-DIC}$ (‰) VPDB
T1	-10.34	-78.99	0.28 (hata oranı: 0.35)	5.2
T2	-10.38	-79.23	0.14 hata oranı: (0.34)	4.4
T3	-10.89	-77.08	0.08 (hata oranı: 0.34)	-0.9
T4	-9.88	-73.18	1.71 (hata oranı: 0.38)	-6.7
T5	-11.69	-80.23	na	na
T6	-10.88	-73.14	1.70 (hata oranı: 0.38)	-9.7
T8	-12.26	-81.03	na	na
T9	-9.16	-63.55	na	-8.2
T10	-8.94	-61.20	na	na
T11	-10.78	-66.93	na	-10.9
	^{13}C (‰) VPDB		^{18}O (‰) VPDB	
K1	-1.16		-9.96	
K2	-5.43		-9.76	
K3	1.34		-1.34	
K4	-0.50		-2.78	
K5	-4.83		-8.46	

4.5.1 Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$) İzotopları

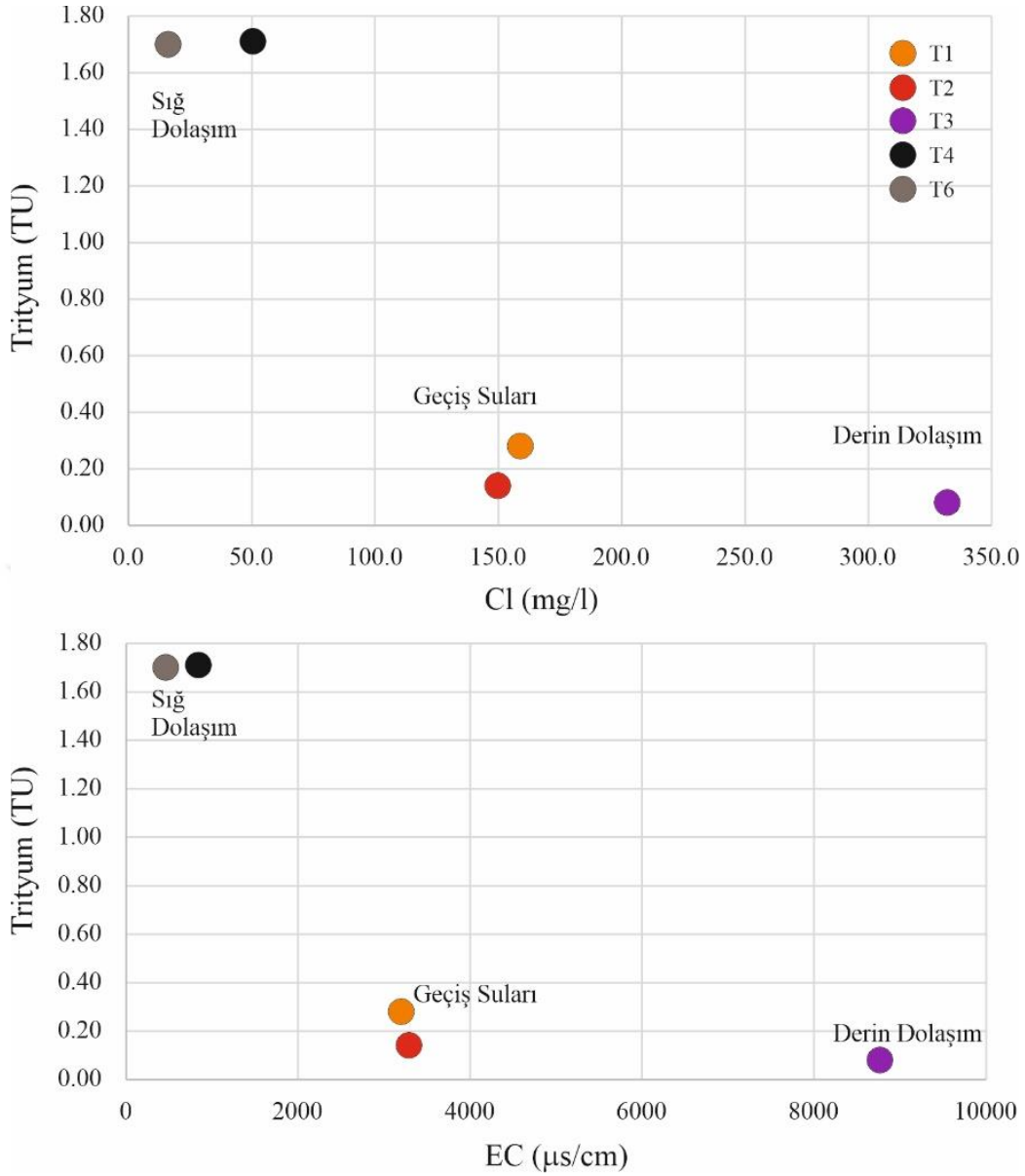
Suların ^{18}O ve ^2H (döteryum) içerikleri SMOW (Standart Mean Ocean Water) standardına göre ölçülmektedir (Fritz ve Fontes 1980). Duraylı izotop bileşimleri belli bir standardın bileşiminden olan sapmalar olarak δ (delta) ile tanımlanır. Jeotermal ve soğuk su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramı incelendiğinde suların genel olarak Dünya Meteorik Su Doğrusu ile Ankara Meteorik Su Doğrusu üzerinde ve arasında yer aldığı ve suların meteorik kökenli olduğu görülmektedir (Şekil 4.17). Özellikle T5 ve T8 kodlu örneklerin değerleri diğer sulara nazaran daha negatif olup, diğer su örneklerine göre daha yüksek kotlara düşen yağışlardan beslendiklerine işaret etmektedir.



Şekil 4.17 Suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği (Craig 1961, Dirican vd., 2005).

4.5.2 Trityum İçeriği

Yarılanma ömrü 12.32 yıl olan trityum (^3H) radyoaktif bir izotoptur (Lucas ve Unterweger 2000). Bir bölgede incelenen suların başlangıç ve güncel trityum değerinin bilinmesi durumunda, yeraltı suyunun göreceli yaşının ve sirkülasyon süresinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Genel olarak 0.8 TU'dan düşük değere sahip olan olan sular 1952 yılı öncesi yağışlardan beslenen suları, 0.8 - 4 TU arasında olan sular genç ve yaşlı suların karışımını, 5–15 TU arasında olan sular ise güncel suları (5–10 yıl) göstermektedir (Clark ve Fritz 1997). İnceleme alanı sularının trityum değerleri 0.08-1.71 TU arasında değişmektedir (Çizelge 4.6). Bu değerlerden hareketle incelenen su örneklerinin 1952 yılı öncesi yağışlardan beslenen yaşlı sular olduğu söylenebilir. T1, T2 ve T3 örneklerinin görece düşük trityum içerikleri, bu suların incelenen ve analizi yapılan diğer soğuk su örneklerine göre daha yaşlı yağışlardan beslendiğini göstermektedir. İncelenen su örneklerinin $\text{EC-}^3\text{H}$ ve $\text{Cl-}^3\text{H}$ grafiklerinde de T4 ve T6 kodlu soğuk su örneklerinin sığ dolaşımli sular, T1 ve T2 termal su örneklerinin geçiş suları ve T3 kodlu termal su örneğinin derin dolaşımli sular alanında yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.18).

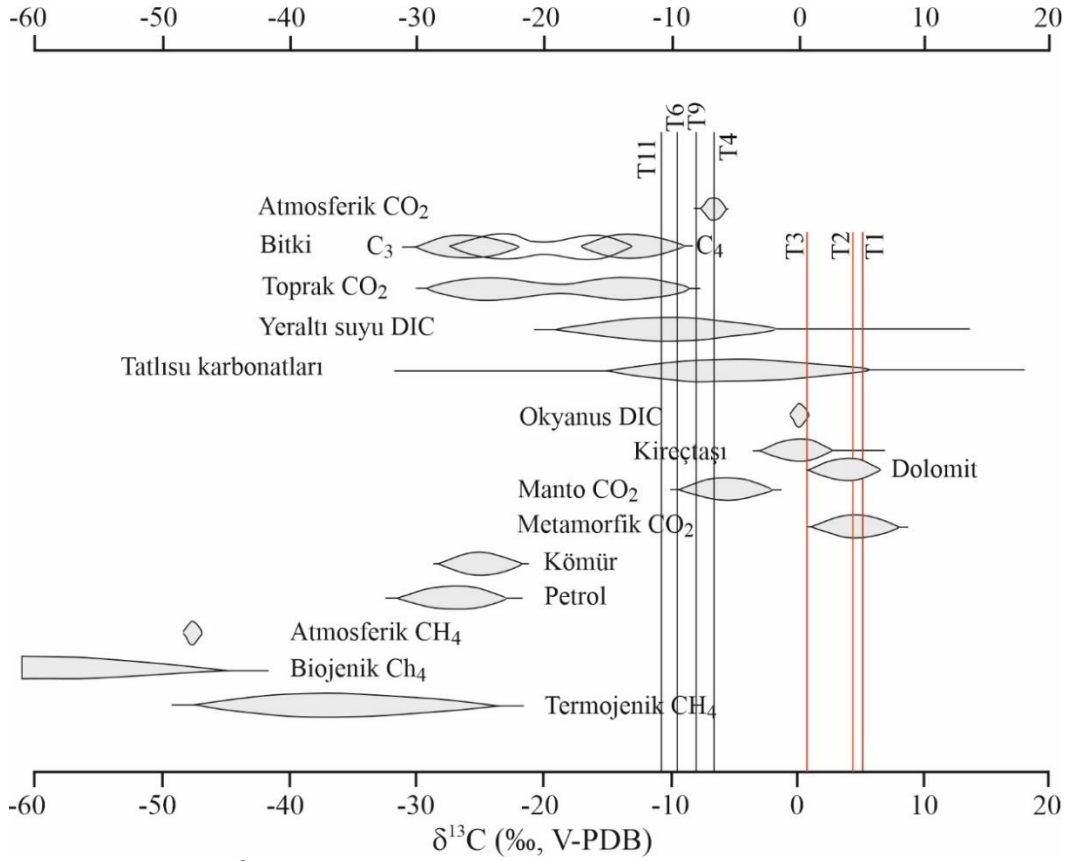


Şekil 4.18 Suların EC-³H ve Cl-³H grafikleri.

4.5.3 Su ve Kayaçların $\delta^{13}\text{C}$ İçerikleri

Atmosferik CO₂, bitkiler, tatlı su karbonatları, karbonatlı kayaçların çözünmesi gibi bir çok faktör su ve kayaçların karbon içeriğinde etkilidir. Yeraltı sularındaki çözünmüş inorganik karbon da kaynakların bir karışımını yansıtır. Bu farklı karbon girdilerinin karbon izotop bileşimi de değişken olup geniş bir aralıkta yer alırlar. Örneğin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri atmosferik CO₂ için ‰-6 ile ‰-7, topraktaki CO₂(g) için ‰-15, kalsit ve diğer karbonat minerallerinin çözünmesinden ortaya çıkan karbonun değerleri ise denizel kireçtaşları için ‰-3 ile ‰+3 ve tatlısu karbonatları için ‰-15 ile ‰+5 arasındadır (Clark ve Fritz 1997).

İnceleme alanı sularının $\delta^{13}\text{C}$ (DIC-Suda çözünmüş inorganik karbon) değerleri ‰-5.24 ile -10.92 (‰ VPDB) arasında değişmektedir (Çizelge 7.1). Bu değerlere göre termal sulardaki karbonun kökeni dolomit, kireçtaşı, tatlı su karbonatları, yeraltı suyundaki çözünmüş karbon iken, soğuk sulardaki karbonun kökeni ise zemin CO_2 'i, bitkiler, tatlı su karbonatları ve yeraltı suyundaki çözünmüş karbon gibi farklı birleşimlerin kombinasyonudur (Şekil 4.19)



Şekil 4.19 Sulardaki $\delta^{13}\text{C}$ kökenleri. Kırmızı çizgiler termal suları, siyah çizgiler soğuk suları gösterir (Clark ve Fritz 1997, Clark 2015).

Çalışma alanındaki karbonatlı kayaçlarının (K1, K2, K3, K4) birincil kaynaklarının belirlenebilmesi için elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ analiz sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Tuzlukçu jeotermal sahası ve çevresinden, farklı litolojiye sahip olan kayaçlardan alınan örnekler üzerinde yapılan analizler sonucunda kayaç örneklerinde karbon izotop oranlarının -5,43 ile +1,34 arasında değiştiği belirlenmiştir. Loras formasyonuna ait olan K3 ve K4 kaya örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ‰0'a yakın olup, bu değer karbonun birincil kaynağı olarak denizel karbonatları işaret etmektedir (Ayyıldız vd. 2004, Clark 2015, Morales-Arredondo vd. 2022). Neojen yaşlı Derviş formasyonundan alınan K1 ve K2

örneklerinin negatif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri bu kayaçların ilksel kökeni olarak sıg denizel karbonatları işaret eder (Nagendra vd. 2010; Morales-Arredondo vd. 2022).

Diğer yandan denizel ve denizel olmayan karbonat kökeni eşitlik 4.1 kullanılarak hesaplanabilir (Keith ve Weber 1964, Cuna vd. 2001).

$$Z = 2.048 * (\delta^{13}\text{C} + 50) + 0.498 * (\delta^{18}\text{O} + 50) \quad (\delta^{13}\text{C} \text{ and } \delta^{18}\text{O} \text{ as } \text{‰ PDB}) \quad (4.1)$$

Z değeri 120'den büyük olan kaya örnekleri denizel karbonatları, 120'nin altındaki Z değerleri ise tatlı suları göstermektedir. Z değerleri K1 için 119, K2 için 111, K3 için 123 ve K4 için 124 olarak belirlenmiştir. Bu değerler K1 ve K2 örnekleri için sıg, K3 ve K4 örnekleri için ise daha derin çökeltme koşullarına işaret etmektedir.

Şekil 4.19'a göre belirlenen karbon kaynaklarından hareketle, bölgedeki soğuk sulardaki karbonun kaynağı zemin CO_2 'i, bitkiler, Derviş formasyonu'na ait karbonatlı kayaçlar, yeraltı suyundaki çözünmüş karbon gibi farklı birleşimlerin kombinasyonudur. Termal suların içerdiği karbonun kaynağı ise Loras formasyonunun dolomit-kireçtaşı seviyeleri, tatlı su karbonatları, yeraltı suyundaki çözünmüş karbondur.

4.6 Jeotermometri

Jeotermal suların hazne kaya sıcaklıklarının belirlenmesinde sıklıkla kullanılan jeotermometre hesaplamaları ile rezervuar sıcaklığı tahmin edilmekte ve termal suların potansiyeli hakkında bilgi sahibi olunmaktadır.

Na-K-Mg diyagramı hem suların olgunluklarının hem de rezervuar sıcaklıklarının belirlenmesi için oldukça önemlidir (Giggenbach 1988). Şekil 4.20a incelendiğinde T1 ve T2 örneklerinin ham sular alanında yer aldığı, T3 örneğinin ise kısmen dengelenmiş sular alanına yaklaştığı görülmektedir. Her iki durumda da incelenen termal su örnekleri için su-kayaç etkileşimi devam etmektedir. Grafik üzerinden T1 ve T2 örneklerinin yaklaşık 80°C, T3 örneğinin yaklaşık 100°C rezervuar sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir.

Log (SiO₂) ve log (K²/Mg) diyagramı (Şekil 4.20b), iki düşük sıcaklık jeotermometresinin bir kombinasyonu olduğundan sadece kuvars ya da sadece K/Mg hesaplamalarına göre oldukça gerçekçi sonuçlar vermekle birlikte, sular içinde hakim olan silika türünü de vermesi açısından oldukça önemlidir (Giggenbach ve Glover 1992; Giggenbach vd. 1994, Das vd. 2021). Şekil 8.2 incelendiğinde bölgedeki termal suların silis içeriğinin kuvars tarafından kontrol edildiği ve rezervuar sıcaklıklarının T1 ve T2 örnekleri için 70-80°C, T3 örneği için 80-100°C arasında olduğu görülmektedir.

Silis jeotermometresi sonuçlarına göre T1, T2 ve T3 örneklerinde kalsedon jeotermometreleri ölçülene çok yakın değerler verirken, kuvars jeotermometreleri hesaplamaları T1 örneği için maksimum 78°C, T2 örneği için maksimum 90°C ve T3 örneği için maksimum 91°C rezervuar sıcaklığı vermektedir (Çizelge 4.7). Tüm bu değerler hem Na-K-Mg diyagramı (Şekil 4.20a) hem de log (SiO₂) ve log (K²/Mg) diyagramı (Şekil 4.20b) ile oldukça uyumludur.

Hesaplanan katyon jeotermometreleri ise 250-300°C ye ulaşan ve gerçekçi olmayan sonuçlar verdiği için değerlendirilmede kullanılmamıştır.

Çizelge 4.7 Silis jeotermometresi sonuçları.

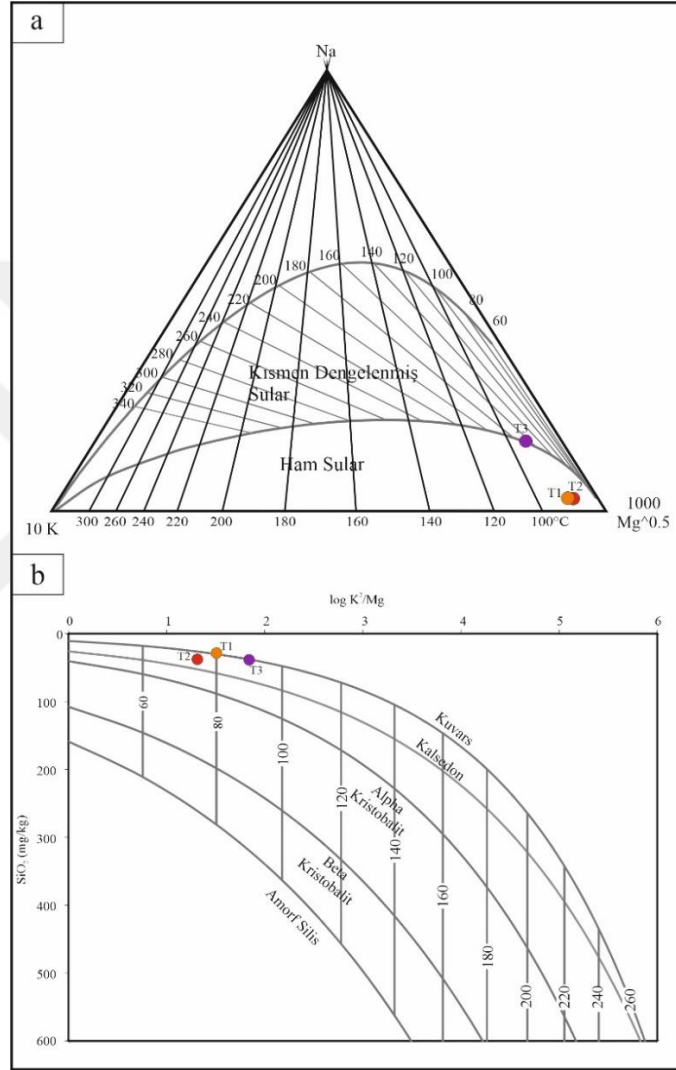
Jeotermometre	Referans	T1	T2	T3
Ölçülen Sıcaklık (°C)		50	48	56
SiO ₂ (Alfa Kristobalit)	Fournier 1977	28	39	40
SiO ₂ (Beta Kristobalit)	Fournier 1977	-18	-7	-6
SiO ₂ (Kalsedon)	Fournier 1977	46	59	60
SiO ₂ (Kalsedon)	Arnorsson vd. 1983	49	61	62
SiO ₂ (Kalsedon, adiyabatik buhar kaybı)	Arnorsson vd. 1983	55	66	66
SiO ₂ (Kuvars)	Verma 2000	70	83	84
SiO ₂ (Kuvars)	Fournier 1977	77	90	90
SiO ₂ (Kuvars)	Verma ve Santoyo, 1997	78	90	91
SiO ₂ (Kuvars)	Arnorsson vd. 1983	65	78	78

4.7 Suların Kullanım Özellikleri

İnceleme alanındaki soğuk su örnekleri, içme ve tarımsal sulama amaçlı olarak kullanıldığından, suların kullanılabilirlik özelliklerinin tespiti oldukça önemlidir.

4.7.1 Suların İçilebilirlik Özellikleri

İncelenen soğuk su örneklerinin içme suyu olarak kullanım özelliklerinin belirlenmesi için analiz sonuçları İTASHY 2013 standartları karşılaştırılmış ve Schoeller içilebilirlik diyagramı kullanılmıştır.



Şekil 4.20 a) Na-K-Mg diyagramı (Giggenbach 1988), b) log (SiO₂) - log (K²/Mg) diyagramı (Giggenbach ve Goguel 1989), birimler mg/l.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte (İTASHY 2013) belirtilen sınır değerler ve analizi yapılan elementler dikkate alındığında T4, T5 ve T8 örneklerinin nitrit (NO₂) bakımından sınır değeri aştığı görülmektedir (Çizelge 4.8). Sulardaki nitrit (NO₂) kirliliği evsel-hayvansal atıklar ve tarımsal faaliyetlerin bu suları doğrudan etkilediğini göstermektedir.

Çizelge 4.8 Analizi yapılan değerlerin İTASHY 2013 standardı ile karşılaştırılması (mg/l).

	ÖEİ (µs/cm)	pH	Na	Cl	SO ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	F	Al	As	B
T4	842	7.7	48.5	50.6	97.3	1.3	31.8	0.00	0.9	0.000	0.000	0
T5	794	7.3	34.8	20.7	15.7	0.7	0.4	0.00	0.6	0.000	0.000	0
T6	462	7.6	10.7	16.2	17.2	0.0	40.2	0.00	0.2	0.000	0.000	0
T8	775	7.9	70.1	9.4	4.3	8.7	2.8	0.00	0.7	0.000	0.000	0
T9	626	7.9	31.0	26.0	31.9	0.0	34.1	0.00	0.7	0.000	0.000	0
T10	445	7.4	17.1	24.6	21.1	0.0	34.9	0.00	0.3	0.000	0.000	0
T11	310	7.6	7.2	5.1	8.3	0.0	6.2	0.00	0.1	0.000	0.000	0
(İTASHY2013)	2500	6.5-9.5	200	250	250	0.5	50	0.5	1.5	0.2	0.01	1

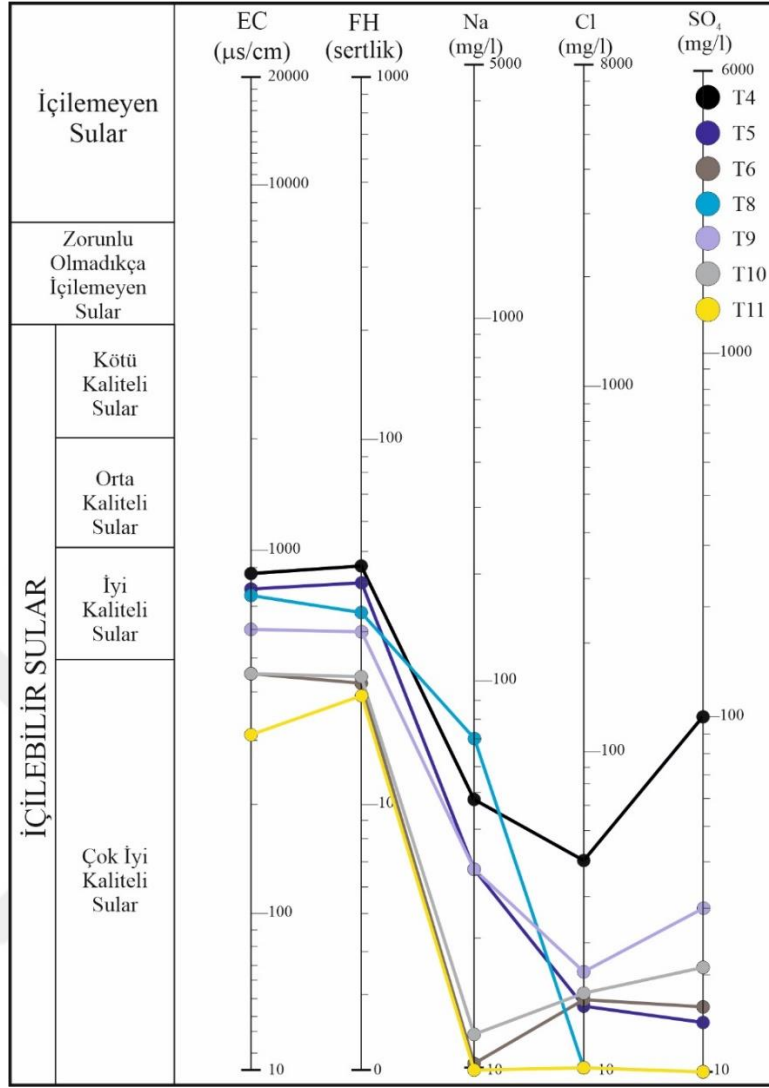
Schoeller içilebilirlik diyagramı da ayrıca suların içilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu diyagrama göre bölgedeki soğuk su örneklerinden T4, T5 ve T8 kodlu örnekler “iyi kaliteli sular”, T6, T10 ve T11 numaralı örnekler ise “çok iyi kaliteli sular” sınıfında yer almaktadır (Şekil 4.21).

4.7.2 Suların Sulama Suyu Özellikleri

Bu bölümde, inceleme alanında yer alan ve sulamada da kullanılan soğuk su örneklerinin sulama suyu kalitesi araştırılmıştır. Sulama suyu kalitesini belirlemek için elde edilen analiz sonuçlarından hareketle suların sodyum yüzdesi (%Na), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), artıksal sodyum karbonat (RSC), magnezyum tehlikesi (MT), geçirgenlik indeksi (PI), Kelley oranı (KI) değerleri hesaplanmıştır, sular ayrıca Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvar diyagramında değerlendirilmiştir. Hesaplanan parametrelere ait sonuçlar Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.9 İnceleme alanı sularının sulamada kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler.

	ÖEİ (µs/cm)	SAR	%Na	RSC	PI %	MT %	KI	PS	TH
T4	842	1.0	17.9	-2.7	40.9	61.6	0.2	2.4	470.3
T5	794	0.7	15.2	0.6	46.4	51.5	0.2	0.7	407.1
T6	462	0.3	8.2	-1.1	44.1	40.2	0.1	0.6	255.5
T8	775	1.6	29.3	1.7	59.0	55.1	0.4	0.3	358.9
T9	626	0.7	16.0	-1.3	44.9	57.0	0.2	1.1	349.0
T10	445	0.5	12.6	-1.2	46.9	47.5	0.1	0.9	249.3
T11	310	0.2	7.2	-0.5	50.6	37.6	0.1	0.2	199.2



Şekil 4.21 Soğuk su örneklerinin Schoeller içilebilirlik diyagramındaki konumu.

4.7.2.1 Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

Sodyum (Na) içeriği toprağın geçirgenliğini azaltarak toprak üzerinde kabuk oluşmasına neden olur ve köklerin hava almasını engeller. SAR içeriği eşitlik 4.2'den hareketle hesaplanmaktadır (Richards 1954).

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{(rCa+rMg)/2}} \quad (\text{mek/l}) \quad (4.2)$$

Suların “Çok İyi Özellikte Sulama Suları” sınıfında yer alması için SAR değerinin 10’dan küçük olması istenmektedir. SAR değer 26’dan büyük olan sular ise “Kötü Özellikte Sulama Suları” olarak sınıflandırılmaktadır. SAR değer 10-26 arası olan sular “İyi-

orta Özellikte Sulama Suları”olarak sınıflandırılır (Richards 1954, Todd 1980). İnceleme alanı suları SAR değerlerine göre sınıflandırıldığında incelenen soğuk su örneklerinin tamamının “Çok İyi Özellikte Sulama Suları” sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Sulama suyu değerlendirmesinde kullanılan bir diyagram olan ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı elektriksel iletkenlik ve SAR değerlerine göre 16 ayrı sınıfa ayrılmıştır (Richards 1954). Bu kategorilerin anlamları oluşturulurken C1, C2, C3 ve C4 sınıfları tuzluluğa göre, S1, S2, S3 ve S4 sınıfları ise sodyum miktarına göre alt sınıfları oluşturmaktadır.

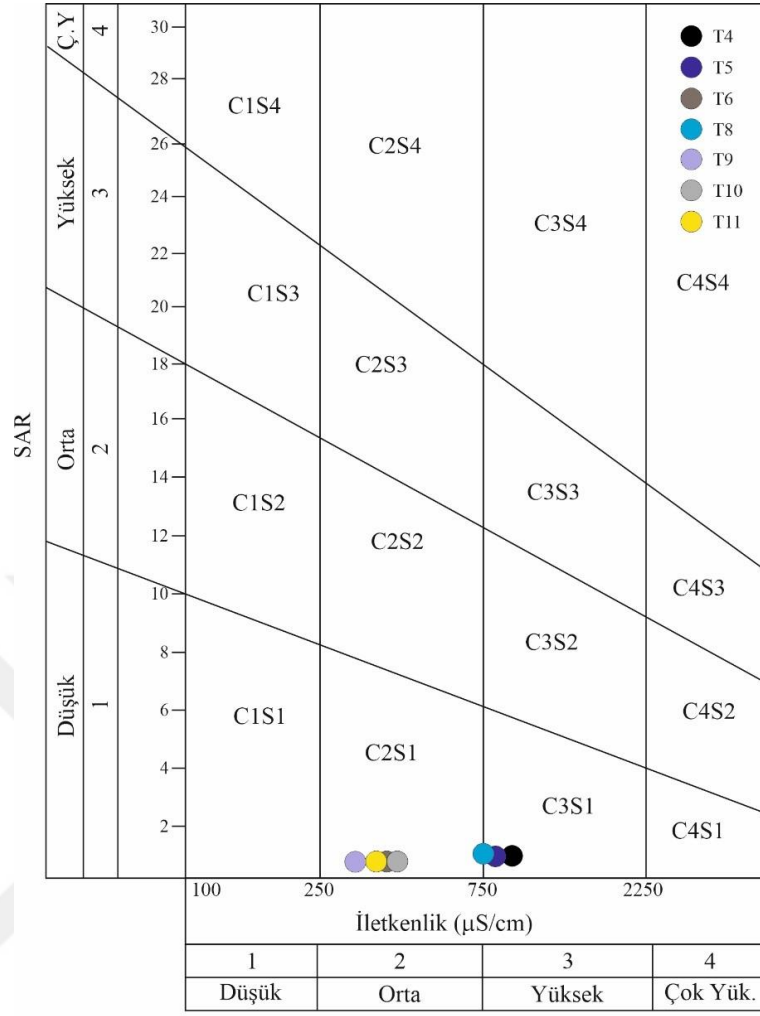
ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre T4, T5 ve T8 örnekleri C2S1 (Genellikle tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir, orta tuzlu sular) su sınıfında yer almakta iken, T6, T9, T10 ve T11 numaralı örnekler C3S1 sınıfında (Genel olarak tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir, tuzlu sular) yer almaktadır (Şekil 4.22).

4.7.2.2 Sodyum Yüzdesi (%Na)

% Na değeri birimler mek/l olmak üzere aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$\%Na = \frac{rNa}{rNa+rCa+rMg+rK} \times 100 \quad (4.3)$$

“Çok iyi” olarak sınıflandırılacak olan suların %Na değeri 0-20 arasındadır. Bu değer 20-40 arası ise su “iyi” sınıfında, 40-60 arasında ise “izin verilebilir” sınıfında ve 60-80 arasında ise “şüpheli” sınıfında yer alır. %Na değer 80’den büyük olanlar ise “uygun değil” olarak sınıflandırılmaktadır (Wilcox 1955). İncelenen soğuk su örneklerinin %Na değerleri T8 numaralı örnek haricinde 0-20 arasında yer almakta olup bu örnekler “çok iyi” sınıfında yer alırlar. T8 kodlu örnek ise “iyi” sınıfında yer almaktadır. Suların sulamaya uygunluğunu değerlendirmek için Wilcox (1955) tarafından önerilen ve suların EC ve %Na değerlerini kullanarak hazırlanan diyagramdan da faydalanılmaktadır. Bu diyagramda inceleme alanı sulardan T4 ve T5 kodlu örnekler “iyi kullanılabilir” sular sınıfında yer alırken, diğer su örnekleri “çok iyi kullanılabilir” sınıfta yer almaktadır (Şekil 4.23).



TUZLULUK TEHLİKESİ

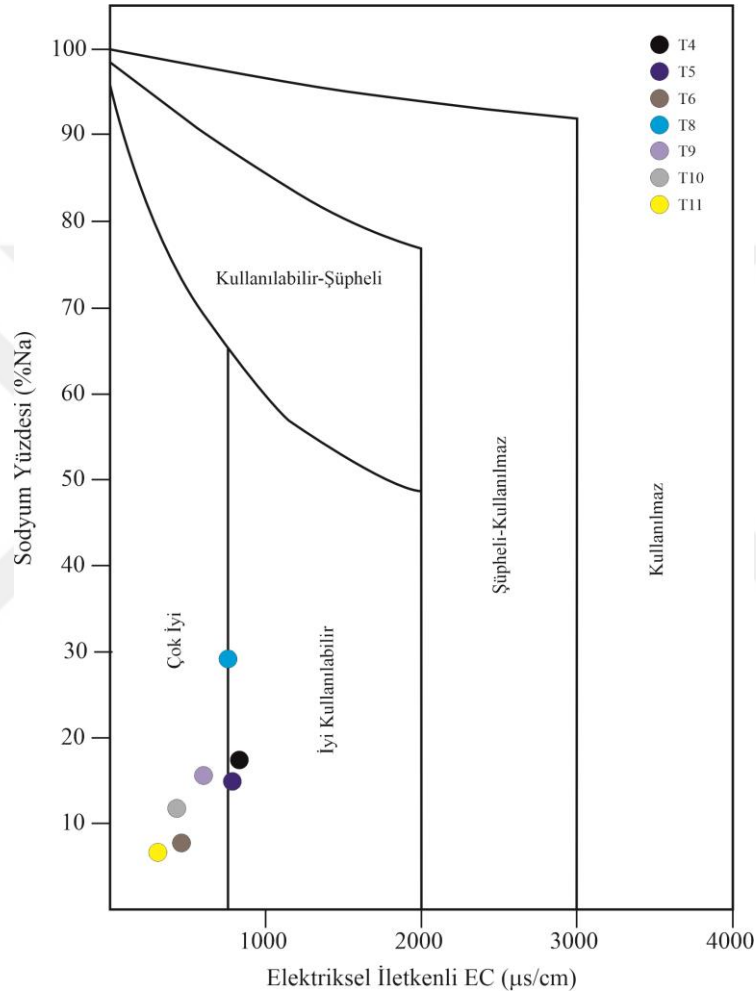
Şekil 4.22 Soğuk su örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramındaki konumu.

4.7.2.3 Artıksal Sodyum Karbonat (RSC)

Su içeriğinde karbonat ve bikarbonat toplamının kalsiyum ve magnezyum toplamından fazla olması durumunda (pozitif RSC değeri), karbonat ve bikarbonat iyonları ortamdaki sodyum ile birleşerek kalıcı sodyum karbonat oluşturabilir. Bu oluşuma bağlı olarak toprağın geçirgenliği azalır ve hava alması güçleşir (Çuhadar ve Tamgaç 1994, Eaton 1950, Richards 1954). RSC değeri birimler mek/l olmak üzere;

$$RSC = (rCO_3 + rHCO_3) - (rCa + rMg) \quad (4.4)$$

formülü ile hesaplanır. Artıksal Sodyum Karbonat değeri 1.25’den küçük olan sular “iyi”, artıksal Sodyum Karbonat değeri 1.25-2.5 arası olan sular “şüpheli” ve RSC>2.5 olan sular ise “uygun değil” olarak sınıflandırılmaktadır (Eaton 1950, Richards 1954). İncelenen su örneklerinin RSC değerleri -2.7 ile 0.6 arasında değişmekte olup, tüm su örnekleri güvenli olarak kullanılabilir özelliktedir.



Şekil 4.23 Soğuk su örneklerinin Wilcox diyagramındaki konumu.

4.7.2.4 Geçirgenlik İndeksi (PI)

Geçirgenlik İndeksi değeri birimler mek/l olmak üzere aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır (Doneen 1964);

$$PI = 100 \times \frac{rNa + \sqrt{rHCO_3}}{rNa + rCa + rMg} \quad (4.5)$$

PI değerleri >%75 olan su örnekleri “çok iyi”, %75-%25 arası olanlar “iyi” ve <%25 olan örnekler ise “uygun değil” olarak sınıflandırılmaktadır (Ragunath 1987). Bölgede yer alan ve analizi yapılan soğuk su örneklerinin PI değerleri %40.9 ile %59 arasında değişmekte olup tüm örnekler “iyi” olarak sınıflandırılmıştır.

4.7.2.5 Magnezyum Tehlikesi (MT)

Suda yüksek derişimdeki magnezyum ve kil partikülleri arasında büyük miktarda su adsorbe edilerek toprağın geçirgenliğini azaltır ve bu da bitki gelişimi üzerinde olumsuz etki yaratır. Sudaki yüksek magnezyum oranı toprağı tuzlandırmaktadır (Joshi vd. 2009, Venugopal vd. 2009). MT değerlerinin 50’den yüksek olması, incelenen suyun sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadığı belirtilmektedir. 50 mek/l’den küçük MT değerleri ise suyun sulamaya uygun olduğunu gösterir (Szabolcs ve Darab 1964, Raghunath 1987). Birimler mek/l olmak üzere magnezyum tehlikesi;

$$MT = 100 \times \frac{rMg}{rMg+rCa} \quad (4.6)$$

MT değerleri 50’nin altında olan T6, T10 ve T11 örnekleri “sulamaya uygun sular” sınıfında yer alırken, T4, T5, T8, T9 “sulamaya uygun olmayan sular” olarak sınıflandırılmıştır.

4.7.2.6 Kelly Oranı (KR)

Kelly oranı 1’in altında olan sular sulama suyuna uygun iken 1’den büyük Kelly oranı değerleri suda bol miktarda sodyum varlığına işaret eder. 1-2 arasında yer alan değerler ise kısmen uygun olarak sınıflandırılmıştır. Birimler mek/l olmak üzere Kelly (1940; 1951) oranı aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$KI = \frac{rNa}{rCa+rMg} \quad (4.7)$$

İncelenen su örneklerinin Kelly oranları 0.1-0.4 arasında değişmekte olup, tüm örnekler sulamaya uygun olarak sınıflandırılmıştır.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında Konya ili, Tuzlukçu ilçesi ve çevresinde yer alan 3 adet termal su ve 7 adet soğuk su örneğinin hidrojeokimyasal özelliklerinin, rezervuar kayaç sıcaklıklarının, su-kayaç etkileşimlerinin, kalitelerinin ve kullanım koşullarının belirlenebilmesi için yapılmıştır.

Tuzlukçu jeotermal sahası Akşehir-Afyon grabeni içinde yer almaktadır. Loras formasyonu ile Halıcı formasyonu (Kurşunlu Kireçtaşı üyesi) bölgedeki jeotermal sular için rezervuar kayaç özelliği sunmaktadır. Yarı geçirimli olarak sınıflandırılan kırıntılı kayaçlar ile geçirimsiz özellikteki ofiyolitler jeotermal sistemin örtü kayacını oluşturmaktadır.

İncelenen termal su örneklerinin sıcaklıkları 48-56°C arasında, soğuk su örneklerinin sıcaklıkları ise 16-20°C arasında değişmektedir. Elektriksel iletkenlik değerleri termal sularda 3200-8765 $\mu\text{S}/\text{cm}$, soğuk sularda ise 310-842 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında ölçülmüştür. pH değerleri bakımından tüm örnekler nötr özelliktedir.

Gerçekleştirilen kimyasal analizler sonucunda, incelenen termal su örneklerinde sodyumun başlıca katyon olarak yer aldığı görülmektedir. Termal suların su tipleri Na-Ca-HCO₃ olarak belirlenmiştir. Soğuk su örneklerinde ise hazne kayaçlarına bağlı olarak Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-Ca-HCO₃ su tipleri hakimdir. Suların kimyasal bileşimlerini etkileyen ana mekanizmalar, su-kayaç etkileşimine bağlı silikat bozunma reaksiyonudur. Bölgedeki karbonatlı kayaçlar suların su tiplerinin oluşmasında birincil öneme sahiptir.

Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Tritiyum (^3H) izotop sonuçlarına göre incelenen su örneklerinin meteorik kökenli olduğu ve termal su örneklerinin soğuk su örneklerine nazaran daha yaşlı sular oldukları belirlenmiştir. Analizi yapılan soğuk su örnekleri sığ dolaşıma sahip iken, T1 ve T2 termal su örnekleri geçiş sularını, en sıcak ve en derin termal su örneği olan T3 örneği ise derin dolaşımli suları işaret etmektedir.

Su ve kayaç örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ analizlerinde, sulara bulunan karbonun farklı kökene sahip karbon kaynaklarının bir karışımı olduğu gözlenmiştir. Kayaç örneklerinde ise Neojen yaşlı karbonatlı kayaçlar sığ ortamları, jeotermal sahanın rezervuar kayacı olan karbonatlı kayaçlar ise derin denizel ortamları işaret etmektedir.

Yapılan jeotermometre hesaplamalarında T1 ve T2 numaralı örnekler için genel olarak 70-90°C, T3 örneği için ise 80-100°C civarında bir rezervuar kayaç sıcaklığı hesaplanmıştır.

İncelenen soğuk su örneklerinden bazıları, dış kökenli kirlenmeye işaret eden nitrit bakımından içilemez özellikte olup, genel olarak analizi yapılan diğer parametreler izin verilen limitlere uymaktadır. Örnekler içilebilirlik diyagramında ise “iyi-çok iyi” özellikte sular olarak belirlenmiştir.

Sodyum absorpsiyon oranına göre tüm soğuk su örnekleri “çok iyi kaliteli sular” sınıfında yer almakta iken, RSC sınıfları “iyi”, PI sınıfları “iyi” KR sınıfları “uygun” olarak belirlenmiştir. Sadece magnezyum tehlikesi bakımında bazı su örnekleri (T4, T5, T8, T9) “sulamaya uygun olmayan sular” olarak sınıflandırılmıştır.

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramında soğuk su örnekleri C2S1-C3S1 sınıfında yer almaktadır. Wilcox diyagramında da tüm soğuk su örnekleri “çok iyi-iyi” kaliteli sular sınıfında yer almaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Arnorsson S, Gunnlaugsson E, Svavarsson H, 1983, The Chemistry of geothermal waters in Iceland-II. Mineral Equilibria and independent Variables Controlling Water Compositions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 547-566.
- Ayhan A, Güzel A, 1993, Hüyük ilçesi ve civarının jeoloji ve hidrojeoloji incelemesi raporu, 72s.
- Ayyildiz T, Tekin E, Satir M, 2004, Water circulation near the mixed-water and microbiologic activity of the Mesozoic Dolomite Sequence, an example from the Central Taurus, Turkey. *Carbonates and Evaporites*, 19, 107–117.
- Başkan M E, Canik B, 1983, IAH map of mineral and thermal waters of Turkey Aegean Region. MTA, Ankara, 80s.
- Beker K, Karzaoglu H, Başıkara M, Arıgün Z, 2015, Konya İli Tuzlukçu-Konarı (Ar: 99), Köklüce (Ar: 100), Erdoğdu (Ar: 101), Kazak (Ar: 102), Akşehir-Yeşilköy (Ar: 103) Ve Ilgın-Boğazkent (Ar: 104) Jeotermal Kaynak Arama Ruhsat Sahaları Jeotermal Etüt ve Ktg-2013/15 Jeotermal Kuyusu Raporu, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Daire Başkanlığı, Konya İl. Bölge Müdürlüğü.
- Bozdağ A, 2016, Hydrogeochemical and isotopic characteristics of Kavak (Seydişehir-Konya) geothermal field, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*. 121. 10.1016/j.jafrearsci.2016.05.019.
- Bozdağ A, 2017, Çumra (Konya) ovasındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri ve sulama suyu kalitesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5, 559-571.
- Bozdağ A, Göçmez G, 2016, Hydrogeochemical and isotopic study of groundwater in a semi-arid region: Yeniceoba Plain (Cihanbeyli-KONYA), Central Anatolia, Turkey. *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 90, 230-241.
- Calmbach L, 1997, AquaChem computer code-version 3.7. 42. Waterloo, Ontario, Canada.
- Clark I 2015, *Groundwater Geochemistry and Isotopes*, CRC Press Taylor & Francis Group 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742.
- Clark I D, Fritz P, 1997, *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis Publishers, 328p, New York.

- Craig H 1961, Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133, 1702–1703.
- Cuna S, Luttge D, Hosu A, 2001, Carbon and Oxygen Isotope Ratios in Rona Limestone, Romania. *Studia UBB Geologia*. 46, 139-152. 10.5038/1937-8602.46.1.11.
- Çelik Karakaya M, Karakaya N, Altay T, 2013, Tuzlukçu, Akşehir, Doğanhisar ve Ilgın (Konya) Arasında Bulunan Neojen-Kuvaterner Killerinin Mineralojisi ve Jeokimyası, Tubitak Projesi, Proje no: 11401051.
- Çuhadar G, Tamgaç S, 1994, Hidrojeolojik Etütlerde Su Kimyası Verilerini Toplama ve Değerlendirme Yöntemleri. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, DSİ Yayınları, 1-22s, Ankara.
- Das P, Maya K, Padmalal D 2021, Hydrochemistry, geothermometry and origin of the low-temperature thermal springs of South Konkan region, India. *Geothermics* 90, 101997 <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101997>
- Davraz A, Nalbantçılar MT, Varol S, Önden İ, 2022, Hydrogeochemistry and reservoir characterization of the Konya geothermal fields, Central Anatolia/Turkey, *Geochemistry*, 125867.
- Demir S, 2020, Hydrogeochemical characteristics of the thermal and non-thermal waters in the western side of the Sultandağ Massif, SW Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-16.
- Dirican A, Unal S, Acar Y, Demircan M, 2005, The Temporal and Seasonal Variation of H₂ and O₁₈ in Atmospheric Water Vapour and Precipitation From Ankara, Turkey in Relation to Air Mass Trajectories at Mediterranean Basin. (Final Report of a Coordinated Research Project 2000–2004 No. IAEA-TECDOC-1453).
- Doneen L D, 1964, Notes on water quality in agriculture, Davis: Water Science and Engineering, University of California.
- Dotsika E, Dalampakis P, Spyridonos E, et al., 2021, Chemical and isotopic characterization of the thermal fluids emerging along the North–Northeastern Greece. *Scientific Reports* 11, 16291. doi.org/10.1038/s41598-021-95656-6
- Duchi V, Minissale A, Manganelli M 1992, Chemical composition of natural deep and shallow hydrothermal fluids in the Larderello geothermal field. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 49, 313–328. [doi:10.1016/0377-](https://doi.org/10.1016/0377-)

0273(92)90020-e

- Duman T Y, Çan T, Emre Ö, vd., 2018, Seismotectonic database of Turkey. Bull Earthquake Eng 16, 3277–3316.
- Eaton E M, 1950, “Significance of carbonate in irrigation waters”, Soil Science, 69, 123-133.
- Egemeier SJ 1981, Cavern development by thermal waters. Bull. Natl Speleol. Soc. 3, 31–51.
- Eisena C, Anderson M P, 1979, The effects of urbanization on ground-water quality-A case study. Groundwater, 17, 456-462.
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Şaroğlu F, Olgun Ş, vd., 2018, Active fault database of Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering 16, 3229-3275.
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, 2011, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Ilgın (NJ 36-6) Paftası, Seri No: 21, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Erbaş H, Bozdağ A, 2022, Hydrogeochemical characteristics and Evaluation of the geothermal fluids in the Gazlıgöl geothermal field (Afyonkarahisar), Western Anatolia, Turkey, Geothermics 105, 102543. doi.org/10.1016/j.geothermics.2022.102543
- Eren Y, 2011, Konya’nın jeolojisi, neo-tektonik yapısı ve depremselliği, I. Konya Kent Sempozyumu.
- Favara R, Grassa F, Inguaggiato S., D’Amore F, 1998, Geochemical and hydrogeological characterization of thermal springs in Western Sicily, Italy. J. Volcanol. Geotherm. Res. 84, 125–141.
- Fournier R O, 1977, A review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems, Proceedings of the symposium on geothermal energy, Cento Scientific Programme, 133-143.
- Fritz P, Fontes J C, 1980, Introduction Handbook of Enviromental Isotope Geochemistry, Vol. 1, New York, Elsevier, 1-19.
- Giggenbach W F, 1988, Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. Geochimica et Cosmochimica Acta, 52, 2749-2765.
- Giggenbach W F, Glover R B, 1992, Tectonic regime and major processes governing the chemistry of water and gas discharges from the Rotorua geothermal field,

- New Zealand. Geothermics 21, 121–140.
- Giggenbach W F, Goguel R L, 1989, Collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas discharges. NZ DSIR Chemistry Report 2401, 1–82.
- Giggenbach W F, Sheppard D S, Robinson B W, Stewart M K, Lyon G L, 1994, Geochemical structure and position of the Waiotapu geothermal field, New Zealand. Geothermics 23, 599–644.
- Goldscheider N, Mádl-Szönyi J, Eröss A, et al., 2010, Review: Thermal water resources in carbonate rock aquifers. Hydrogeol Journal, 18, 1303–1318. <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0611-3>
- Göçmez G, Kara İ, Nalbantçılar M T, Güzel A, 2005, Konyada’ki Sıcak ve Mineralli Suların Hidrokimyasal Özellikleri II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu.
- Göktaş İ, 2010, Akhüyük (Ereğli-Konya) Sıcak ve Mineralli Suların Kimyasal Özellikleri Ve Traverten Çökeliminde Etkili Olan Faktörlerin, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 97s.
- Han D M, Liang X, Jin M G, Currell M J, Song X F, Liu C M, 2010, Evaluation of groundwater hydrochemical characteristics and mixing behavior in the Daying and Qicun geothermal systems, Xinzhou Basin. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 189, 92-104.
- Hem J D 1985, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water (Vol. 2254). Department of the Interior, US Geological Survey.
- Hem J D, 1992, Study and Interpretation of The Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper, 2254.
- Hounslow A W, 1995, Water Quality Data: Analysis and Interpretation. Lewis Publishers, 54p.
- IAH, 1979, Map of Mineral ve Thermal Water of Europe. Scale 1:500.000, International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.
- İTASHY, 2013, İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelikte değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, Resmi Gazete, sayı:28580.
- Joshi D M, Kumar A, Agrawal N, 2009, Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar district, Rasayan Journal of Chemistry, 2, 285–292.
- Keith M L, Weber Y N, 1964, Carbon and oxygen isotopic composition of selected

- limestone and fossils, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28, 1787-1816.
- Kelly W P, 1940, Permissible composition and concentration of irrigation waters. *Proceedings of ASCE*, 66, 607.
- Kelly W P, 1951, *Alkali soils-their formation, properties and reclamation*. New York: Reinhold.
- Lakshmanan E, Kannan K, Senthil K M, 2003, Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical process of groundwater in part of Kancheepuram district, Tamilnadu, India. *Environmental Geosciences*, 10, 157–166. <https://doi.org/10.1306/eg100403011>.
- Lucas L L, Unterweger M P, 2000, “Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of tritium”, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 105, 541–549.
- Mayo A L, Loucks M D, 1995, Solute and isotopic geochemistry and groundwater flow in the Central Wasatch Range, Utah, *Journal of Hydrology*, 172, 31–59. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02748-E](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02748-E).
- Mazor E, 2004, *Chemical and Isotope Groundwater Hydrology*, (3th edition), Marcel Dekker, p. 453.
- McNeely R N, Neimanis V P, Dwyer L, 1979, Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters. In *Water quality sourcebook: a guide to water quality parameters*. Environment Canada.
- Meybeck M, 1987, “Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads”, *American Journal of Science*, 287, 401–428.
- Morales-Arredondo J I, Hernández M A A, Juárez-Aparicio F, et al., 2022, Use of $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ and NO_3 to identify hydrogeochemical processes related to contamination in an aquifer located in central Mexico. *Acta Geochimica*, 41, 367–392, <https://doi.org/10.1007/s11631-021-00519-6>.
- Müller G, 1967, Diagenesis in argillaceous sediments. In: Larsen, G. Chilingar, G.V. (Eds.), *Diagenesis in Sediments*. Elsevier, Amsterdam, 8, 127-177.
- Nagendra R, Kamalak Kannan BV, Sen G, Gilbert H, Bakkiaraj D et al., 2010, Sequence surfaces and paleobathymetric trends in Albion to Maastrichtian sediments of Ariyalur area, Cauvery Basin India, *Marine and Petroleum Geology*, 28, 895–905. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2010.04.002>

- Narany ST, Ramli MF, Aris AZK et al., 2014, Identification of the hydrogeochemical processes in groundwater using classic integrated geochemical methods and geostatistical techniques in Amol-Babol plain. Iran Scientific World Journal, 419058. <https://doi.org/10.1155/2014/419058>.
- Nicholson K, 1993, Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques. Springer-Verlag, 263p. Berlin.
- Okay AI, Satır M, Maluski H, Siyako M, Monie P, Metzger R, Akyüz S, 1996, Paleoand Neo-Tethyan events in north-western Turkey: Geologic and geochronologic constraints, in Yin, A. ve Harrison, M., eds, Tectonic of Asia, Cambridge University Press, 420-441.
- Okay A I, Tansel I, Tüysüz O, 2001, Obduction, subduction and collusion as reflected in the Upper Cretaceous-Lower Eocene sedimentary record of western Turkey, Geological Magazine, 138, 117-142.
- Özcan A, Göncüoğlu M C, Turhan N, Şentürk K, Uysal Ş, Işık A, 1990, Konya-Kadınhanı-Ilgın dolayının temel jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9535, Ankara (yayımlanmamış).
- Özdamar Ş, Esenli F, Uz B, 2010, Ilgın (Konya) kuzeyindeki metasedimanter ve metavolkanik kayaların jeolojisi ve jeokimyası, İTÜ Mühendislik Dergisi, 9, 25-37.
- Özkaymak Ç, 2020, Afyonkarahisar İli Sismotektonik Özellikleri Ve Deprem Kaynakları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü Raporu, 33 s, Afyonkarahisar.
- Özkaymak Ç, Sözbilir H, 2020, Batı Anadolu'da Genişleme Alanı Tipi Jeotermal Ortamın Varlığına Dair Yapısal Veriler: Afyon-Akşehir Grabeni'nden Örnek Bir Çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20, 693-702.
- Piper A M, 1944, A Graphic Procedure in the geochemical interpretation of Water Analysis, Transactions, American Geophysical Union, 25, 914-23.
- Ragunath H M, 1987, Groundwater (p. 563). New Delhi: Wiley Eastern.
- Ravikumar P, Prakash KI, Somashekar RK, 2015, Suitability Assessment of Deep Groundwater for Drinking and Irrigation Use in the Parts of Hoskote and Malur Taluks, Karnataka (India) Environmental Research Engineering and

- Management 71, 15-26 <http://dx.doi.org/10.5755/j01.arem.71.1.9809>
- Richards L A, 1954, Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils (p. 60). US Department of Agriculture hand book.
- Sengör A M C, Yılmaz Y, 1981, Tethyan evolution of Turkey:a plate tectonic approach, Tectonophysics, 75, 81-241.
- Setiawan T, Alam B Y S, Haryono E, 2020, Hydrochemical and environmental isotopes analysis for characterizing a complex karst hydrogeological system of Watuputih area, Rembang, Central Java. Indonesia. Hydrogeology Journal, 28, 1635–2165. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02128-8>.
- Szabolcs I, Darab C, 1964, The Influence of Irrigation Water of High Sodium Carbonate Content of Soils. In: Szabolcs I (ed) Proceedings of 8th International Congress Soil Science Sodics SoilsISSS, Trans, II, 802-812.
- Thorntwaite C W, 1948, An approach toward a rational classification. Geographical Review, 38, 55-94.
- Todd D K, 1980, Groundwater hydrology (2nd ed., p. 315). New York: Wiley.
- Tolluoğlu A Ü, Erkan Y, Sümer E Ö, Boyacı M N, Yavaş F B, 1997, Afyon metasedimanter grubunun Mesozoyik öncesi metamorfik evrimi. Türkiye Jeoloji Bülteni, 40, 1-17.
- Toscano R, Villanueva R C A, Martínez R C, et al., 2020, Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in the urban area of Zamora, Mexico. Water 12 556. <https://doi.org/10.3390/w12020556>.
- Umut M, 2008, 1:100000 ölçekli jeoloji haritaları, Ilgın K27 paftası, MTA Jeoloji etütleri dairesi, Ankara.
- Umut M, Bilgin AZ, Güner E, Gedik İ, Acarlar M, 1990, Kadınhanı-Saray-Sülüklü (Konya) dolayının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 9030, Ankara (yayımlanmamış).
- Umut M, Karabıyıkoglu M, Saraç G, Bulut V, Demirci AR, Erkan M, vd., 1987, Tuzlukçu- Ilgın-Doğanhisar-Doğanbey (Konya) ve dolayının jeolojisi M.T.A. Enstitüsü Arsivi, Rapor No:293, 51s, Ankara.
- Venugopal T, Giridharan L, Jayaprakash M, Periakali P, 2009, Environmental Impact Assessment and Seasonal Variation Study of the Groundwater in the Vicinity of River Adyar, Chennai, India”, Environmental Monitoring and Assessment, 149,

81-97.

- Verma M P, 2000, Limitations in applying silica geothermometers for geothermal reservoir evaluation Proceedings, Twenty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, vols. 24–26, Stanford University, Stanford, California.
- Verma M P, Santoyo E, 1997, New improved equations for Na/K, Na/Li and SiO₂ geothermometers by outlier detection and rejection, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 79, 9-23, 10.1016/S0377-0273(97)00024-3
- Wilcox L V, 1955, Classification and use of irrigation waters (19 pp). USDA Circular No. 969.
- Yasin D, Kargın M 2021 Hydrogeochemical and isotopic characteristics of water resources in Çubuk-Melikşah (Ankara/Turkey). Environmental Earth Sciences, 80 513. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09813-1>.
- Yazıcıoğlu D, 2007 Hüyük – İmrenler – Burunsuz – Köşk (Beyşehir - Konya) Çevresinin Hidrojeoloji İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 100s.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2021-installed-power-generation-capacity-mwe/>, 25.01.2023
- 2- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>, 11.01.2023
- 3- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita>, 11.01.2023
- 4- <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=KONYA>, 25.12.2022