



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GAZLIGÖL
(İHSANİYE-AFYONKARAHİSAR)
BÖLGESİNDEKİ SICAK SULARIN
HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPİK
ÖZELLİKLERİ

Hilal ARIOL ERBAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hilal ARIOL ERBAŞ tarafından hazırlanan ‘‘Gazlıgöl (İhsaniye-Afyonkarahisar) Bölgesindeki Sıcak Suların Hidrojeokimyasal ve İzotopik Özellikleri’’ adlı tez çalışması 25/03/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliğı ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Doç.Dr. Ayla BOZDAĞ

.....

Üye

Dr.Öğr.Üy. Güler GÖÇMEZ

.....

Üye

Dr.Öğr.Üy.Tülay ALTAY

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hilal ARIOL ERBAŞ

Tarih: 25.03.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

GAZLIGÖL (İHSANIYE-AFYONKARAHİSAR) BÖLGESİNDEKİ SICAK SULARIN HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLERİ

Hilal ARIOL ERBAŞ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ayla BOZDAĞ

2022, 91 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Ayla BOZDAĞ
Dr. Öğr. Üyesi Güler GÖÇMEZ
Dr. Öğr. Üyesi Tülay ALTAY

Bu çalışma, Afyonkarahisar İlinin yaklaşık 36 km kuzeybatısında yer alan İhsaniye İlçesine bağlı Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak sularının hidrojeokimyasal özellikleri, kökeni, beslenme alanları ve izotopik bileşimini belirlemek amacıyla yapılmıştır. İnceleme alanını temsil eden 12 soğuk su örneği (derin kuyu, sığ kuyu ve kaynak) ve 8 adet sıcak su örneği (7 sıcak su kuyusu ve 1 reenjeksiyon kuyusu) alınmıştır. Soğuk suların sıcaklıkları 14 -24,5 °C, pH değerleri 7,08 -8,25 ve EC değerleri 136-1927 µS/cm arasında değişmekte olup sıcak suların sıcaklıkları ise 60-74°C, pH değerleri 7,05 -7,54 ve EC değerleri 3920-3975 µS/cm arasında değişmektedir. Tüm sıcak sular Na-HCO₃, soğuk su örnekleri ise Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-SO₄, Ca-Na-HCO₃, Na-Ca-HCO₃ ve Na-Ca-HCO₃-SO₄ tipli sulardır.

Prekambriyen- Kambriyen yaşlı Afyon metamorfitlelerine ait bol kırıklı, çatlaklı ve erime boşluklu kuvarsit, kuvarşist ve kalkşistler Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların rezervuar kayaçlarını oluşturmaktadır. Jeotermal sistemin örtü kayaçlarını yine Afyon metamorfitleleri içerisindeki mikaşistler ve Neojen birimlerin killi seviyeleri oluşturmaktadır. Beslenme bölgelerinin de ana litolojisini oluşturan Afyon metamorfitlelerine ait geçirimli birimlerinde toplanan yağış suları derinlere süzülerek buradaki yüksek jeotermik gradyana bağlı olarak ısınır. Derinlerde ısınan sular faylar ve kırık sistemleri boyunca yükselirken daha sığ derinliklerde bulunan soğuk yeraltı suları ile karışarak ve kondüktif olarak soğuyarak yüzeye doğru çıkar.

Soğuk suların δ¹⁸O ve δD içerikleri sırasıyla -11,03‰ ile -6,09 ‰ ve -80,17‰ ile -48,23 ‰ arasında değişmekte olup sıcak suların δ¹⁸O ve δD içerikleri ise sırasıyla -11,08 ‰ ile -10,67 ‰ ve -84,14 ‰ ile -83,38 ‰ arasında değişmektedir. Sıcak ve soğuk suların δ¹⁸O ve δD değerleri, meteorik bir kökene işaret etmektedir. Fakat sıcak suların soğuk sulara kıyasla daha negatif δ¹⁸O ve δD değerleri daha yüksek kotlardan beslendiklerini göstermektedir. Sıcak suların düşük trityum (ortalama 0,31 TU), yüksek klorür ve EC değerlerine sahip olmaları bu suların soğuk sulara göre daha derin dolaşım ve akiferde kalış süresinin daha uzun olduğunu, soğuk suların ise yüksek trityum (ortalama 5,35 TU) düşük klorür ve EC değerleri sıcak sulara göre çok daha sığ dolaşım ve kalış süresinin kısa olduğunu göstermektedir.

Hidrojeokimyasal olarak olgun olmayan Gazlıgöl sıcak sularının çeşitli jeotermometreler kullanılarak tahmin edilen rezervuar sıcaklığı 100-149 °C aralığındadır.

Anahtar Kelimeler: Afyonkarahisar, Gazlıgöl jeotermal alanı, Hidrojeokimya, İzotop, Jeotermometre

ABSTRACT

MS THESIS

HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPIC CHARACTERISTICS OF THERMAL WATERS IN GAZLIGÖL (İHSANIYE-AFYONKARAHISAR) REGION

Hilal ARIOL ERBAŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geological Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ayla BOZDAĞ

2022, 91 Pages

**Jury
Assoc. Prof. Dr. Ayla BOZDAĞ
Asst. Prof. Dr. Güler GÖÇMEZ
Asst. Prof. Dr. Tülay ALTAY**

This study was carried out to determine the hydrogeochemical properties, origin, recharge areas and isotopic composition of the hot waters in the Gazlıgöl geothermal area of İhsaniye District, which is approximately 36 km northwest of Afyonkarahisar Province. 12 cold water samples (deep well, shallow well and spring) and 8 thermal water samples (7 thermal water wells and 1 reinjection well) representing the study area were collected. The temperatures of cold waters vary between 14-24,5 °C, pH values between 7.08 -8.25 and electrical conductivity values between 136-1927 µS/cm. The temperatures of thermal waters vary between 60-74 °C, pH values 7.05 -7. 54 and electrical conductivity values vary between 3920-3975 µS/cm. Thermal waters are Na-HCO₃ type and cold waters are Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-SO₄, Ca-Na-HCO₃, Na-Ca-HCO₃ and Na-Ca-HCO₃-SO₄ type waters.

The reservoir of the thermal waters in the Gazlıgöl geothermal area is composed of quartzite, quartzschist and calcschists with abundant fractures, cracks and melting gaps belonging to Precambrian-Cambrian aged Afyon metamorphics. The clayey levels of the Neogene units, and the micaschists in the Afyon metamorphics constitute the cap rocks. Meteoric waters collected in the permeable units of Afyon metamorphics forming the main lithology of the recharge regions, infiltrate into the deep and heat up due to the high geothermic gradient. During ascent towards the surface, thermal waters cool by conduction and mixing with the colder groundwater at the shallower depths.

The δ¹⁸O and δD contents of cold waters respectively vary from -11.03‰ to -6.09 ‰ and -80.17 ‰ and -48.23 ‰, and the δ¹⁸O and δD contents of the thermal waters respectively range from -11.08 ‰ to -10,67 ‰, and -84.14 ‰ to -83.38 ‰. The δ¹⁸O and δD values of thermal and cold waters indicate a meteoric origin. However, more negative δ¹⁸O and δD values of the thermal waters compared to cold waters indicate that they are recharged from higher elevations. The thermal waters have low tritium (average 0.31 TU), high chloride and EC values indicator that the thermal waters have a deeper circulation and a longer residence time in the aquifer than cold waters. However, the high tritium (average 5.35 TU), low chloride and EC values of cold waters indicate that they have a much shallower circulation and shorter residence time than hot waters.

The reservoir temperatures calculated using various geothermometers for the Gazlıgöl geothermal field are in the range of 100-149 °C.

Keywords: Afyonkarahisar, Gazlıgöl geothermal area, Hydrogeochemistry, Isotope, Geothermometer

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasının her aşamasında değerli görüş ve bilimsel katkılarını esirgemeyen, karşılaştığım zorluklarda bilgi ve tecrübesiyle yol gösteren, her daim anlayış ve ilgisiyle desteğini hissettiğim, tezin tamamlanmasını sağlayan değerli danışman Hocam Doç. Dr. Ayla BOZDAĞ'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarımnda, örnek alımı başta olmak üzere her türlü imkanı sunan AFJET A.Ş. Genel Müdürü Dr. Yusuf ULUTÜRK'e çok teşekkür ederim.

Bilgisiyle ve tecrübeleriyle hep desteğini hissettiğim, katkılarıyla meslek hayatıma yön veren değerli Jeoloji Yüksek Mühendisi Nusret ÖZDEĞİRMENCİ'ye çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Dr. Ali BOZDAĞ'a teşekkür ederim.

Tez süresi boyunca her türlü desteğini hissettiğim canım eşim, meslektaşım Fatih ERBAŞ'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında destek ve sevgilerini esirgemeyen, beni bu günlere yetiştiren annem Gülten ARIOL'a, babam Hasan Hüseyin ARIOL'a ve canım kardeşlerim Hacer ile Büşra'ya sonsuz teşekkür ederim.

Hilal ARIOL ERBAŞ
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Genel Jeoloji, Volkanizma ve Yapısal Jeoloji	3
2.2. Hidrojeokimya ve Jeotermal	6
3. MATERYAL VE METOT.....	9
3.1. Hazırlık çalışmaları.....	9
3.2. Arazi Çalışmaları.....	9
3.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	10
3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	11
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI	12
4.1. Jeoloji.....	12
4.1.1. Stratigrafi.....	12
4.1.1.1. Afyon Metamorfitleri (Pza)	12
4.1.1.2. İscehisar Mermer Üyesi (Pzamr)	16
4.1.1.3. Seydiler İgnimbiriti (Tmsi).....	17
4.1.1.4. Gebeceler Formasyonu (Tmg)	19
4.1.1.5. Karakaya Volkanitleri (Tmaka)	20
4.1.1.6. Erdemir Formasyonu (Tme)	22
4.1.1.7. Toklargölü Formasyonu (PIQt).....	23
4.1.1.8. Traverten (Qtr)	23
4.1.1.9. Alüvyon (Qal)	25
4.1.2. Yapısal Jeoloji	26
4.1.2.1. Gazlıgöl Fayı	26
4.1.2.2. Yarımca Fayı	27
4.1.2.3. Aydoğmuş Fayı.....	28
4.1.2.4. Diğer Faylar	28
4.1.3. Jeolojik Evrim.....	28

4.2. HİDROJEOLOJİ	30
4.2.1. İklim ve Özellikleri	30
4.2.1.1. Yağış ve Sıcaklık	30
4.2.1.2. Buharlaşma-Terleme	32
4.2.2. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri	34
4.2.2.1. Geçirimli Birimler	34
4.2.2.2. Yarı Geçirimli Birimler	35
4.2.2.3. Az Geçirimli Birimler	35
4.2.2.4. Geçirimsiz Birimler	36
4.2.3. Su Noktaları	36
4.2.3.1. Yüzeysel Sular	36
4.2.3.2. Soğuk Su Kuyuları	36
4.2.3.3. Soğuk Su Kaynakları	36
4.2.3.4. Sıcak Su Kuyuları	37
4.2.3.5. Sıcak Su Kaynakları	37
4.3. HİDROJEOKİMYA	39
4.3.1. Suların Fiziksel Özellikleri	39
4.3.2. Suların Kimyasal Özellikleri	40
4.3.2.1. Piper Diyagramı	40
4.3.2.2. Schoeller Diyagramı	45
4.3.2.3. Schoeller Sınıflaması	47
4.3.2.4. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) Sınıflaması	48
4.3.2.5. Suların majör iyon kimyasının değerlendirilmesi	51
4.3.2.6. Minör ve iz elementler	56
4.3.3. İnceleme alanındaki Suların İzotopik Özellikleri	60
4.3.3.1. $\delta^{18}\text{O}$ - δD İlişkisi	60
4.3.3.2. ^3H (Tritiyum) İçeriği	64
4.3.4. Jeotermometreler	65
4.3.4.1. Silis Jeotermometreleri	66
4.3.4.2. Katyon Jeotermometreleri	68
4.3.4.3. Silis-Entalpi ve Klorür-Entalpi Karışım Modelleri	70
4.3.4.4. Mineral Denge-Sıcaklık Jeotermometresi	72
4.4. Gazlıgöl Jeotermal Alanının Kavramsal Modeli	75
5. SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası	2
Şekil 3.1. Arazi ve örnekleme çalışmalarından görünüm	10
Şekil 4.1. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Alan ve ark., 2018a, b; Öcal ve Göktaş, 2011; Öcal ve ark., 2011'den değiştirilerek alınmıştır).....	13
Şekil 4.2. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (ölçeksiz).....	14
Şekil 4.3. Afyon metamorfitlelerinden genel görüntü (Çal Tepe)	15
Şekil 4.4. a) Afyon metamorfitlelerine ait şistlerden genel görünüm (Çal Tepe güneyi), b) Afyon metamorfitlelerine ait mikasistler, c) Afyon metamorfitlelerine ait kuvarsitler, d) Afyon metamorfitlelerine ait gnayslar	16
Şekil 4.5. a) İsehisar mermerlerinden genel görünüm, b) Çatlaklarda gözlenen kuvars dolgusu (Alcalı Köyü kuzeyi)	17
Şekil 4.6. Seydiler İgnimbritlerine ait sütunsal yapılardan (Peri bacası görünümünde) genel görünüm (Beyköy civarı).....	18
Şekil 4.7. Gebeceler formasyonuna ait görünüm (Belce Köyü girişi).....	20
Şekil 4.8. a) İnceleme alanındaki Karakaya volkanitlerinden genel görünüm (Belce Köyü güneydoğusu) b) Karakaya volkanitlerinde gözlenen gaz boşlukları.....	21
Şekil 4.9. a) Erdemir formasyonu birimi içerisindeki yoğun demir içeriği görünümü (Kaplanlı Köyü girişi), b) Erdemir formasyonu çakıllarını bağlayan killi-kumlu matris görünümü.....	22
Şekil 4.10. a) Toklargoğlu formasyonuna ait genel görünüm (İhsaniye-Beyköy yolu üzeri), b) Toklargoğlu formasyonuna ait kumtaşları içinde görülen çapraz tabakalanma, c) Toklargoğlu formasyonuna ait az tutturulmuş çakıltaşlarının görünümü.....	24
Şekil 4.11. a) Travertenlere ait genel görünüm (Gazlıgöl Belde Merkezi), b) Travertenlerin dokusuna ait yakın görünüm.....	25
Şekil 4.12. Traverten ve Alüvyon arasındaki faylı dokanağa ait görünüm (Gazlıgöl Belde Merkezi).....	25
Şekil 4.13. İnceleme alanı ve çevresine ait diri fay haritası (Emre ve ark., 2011 ve Özkaymak ve ark., 2019' dan değiştirilerek alınmıştır.)	26
Şekil 4.14. İnceleme alanının tektonik haritası (Faylar; Alan ve ark., 2018b; Öcal ve ark., 2011; Koçyiğit ve Devenci, 2007; Özkaymak ve Sözbilir, 2020; www.yerbilimleri.com; Metin ve ark., 1987 çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır).....	27
Şekil 4.15. İnceleme alanına ait uzun yıllar (1990-2020) a) yağış, b) sıcaklık dağılışı grafikleri	31
Şekil 4.16. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (1990-2020)	31
Şekil 4.17. Yağış ve Buharlaşma-Terlemenin değişim grafiği (30 yıllık ortalama: 1990-2020) (Thornthwaite 1948'e göre).....	32
Şekil 4.18. İnceleme alanından alınan örneklerinin konumları.....	38
Şekil 4.19. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulardan alınan su örneklerinin Piper diyagramındaki konumu (Ekim-2020).....	44
Şekil 4.20. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulardan alınan su örneklerinin Piper diyagramındaki konumu (Mayıs-2021).....	45
Şekil 4.21. İnceleme alanından alınan su örneklerine ait Schoeller diyagramı (Ekim 2020).....	46
Şekil 4.22. İnceleme alanından alınan su örneklerine ait Schoeller diyagramı (Mayıs 2021)	46
Şekil 4.23. İnceleme alanındaki soğuk su örneklerinin Pie diyagramları (Ekim-2020)	49
Şekil 4.24. İnceleme alanındaki soğuk su örneklerinin Pie diyagramları (Mayıs-2021)	50
Şekil 4.25. İnceleme alanındaki sıcak sulardan alınan su örneklerinin Pie diyagramları (Ekim 2020 ve Mayıs-2021)	51
Şekil 4.26. İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak sulara ait Langelier-Ludwing diyagramı (Langelier ve Ludwing, 1942).....	52
Şekil 4.27. İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak suların Cl konsantrasyonları ile çeşitli iyonlar arasındaki ilişki	57
Şekil 4.28. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulara ait Cl-Li-B üçgen diyagramı (Giggenbach, 1991).....	59
Şekil 4.29. İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak suların Oksijen-18 ve döteryum arasındaki ilişki (Ekim 2020).....	62
Şekil 4.30. İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak suların Oksijen-18 ve döteryum arasındaki ilişki (Mayıs 2021).....	62
Şekil 4.31. İnceleme alanındaki sıcak sularının a) $\delta^{18}\text{O}$ -Yükseklik b) δD -Yükseklik diyagramları.....	63
Şekil 4.32. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların trityum(TU)-Cl ilişkisi (Ekim 2020).....	64

Şekil 4.33. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların trityum(TU)-EC ilişkisi (Mayıs 2021)	65
Şekil 4. 34. İnceleme alanındaki sıcak suların log K ² /Mg-log SiO ₂ diyagramı (Giggenbach ve ark., 1994)	67
Şekil 4.35. Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki dağılımı (Giggenbach, 1988)	69
Şekil 4.36. Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların Na/K-Mg/Ca diyagramındaki dağılımı (Giggenbach, 1988).....	70
Şekil 4.37. Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların entalpi-silis diyagramı.....	71
Şekil 4.38. Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların entalpi-klorür diyagramı	71
Şekil 4.39. Gazlıgöl sıcak sularının mineral denge-sıcaklık diyagramları.....	73
Şekil 4.40. Gazlıgöl jeotermal sahasına ait hesaplanan tüm jeotermometrelerinin karşılaştırılması	74
Şekil 4. 41. Gazlıgöl Jeotermal alanındaki yeraltısuyu akış sistemlerinin kavramsal modeli.....	76

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 4.1. Yağış ve Buharlaşma-Terlemenin denestirmeli nem bilançosu (30 yıllık ortalama: 1990-2020) (Thorntwaite 1948'e göre).....	33
Çizelge 4.2. İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örneklerine ait fizikokimyasal analiz sonuçları (mg/l) (Ekim 2020)	41
Çizelge 4.3. İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örneklerine ait fizikokimyasal analiz sonuçları (mg/l) (Mayıs 2021).....	42
Çizelge 4.4. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulara ait iz element konsantrasyonları (mg/l)	43
Çizelge 4.5. Schoeller (1955)'e göre su sınıflaması.....	47
Çizelge 4.6. İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örneklerinin IAH (1979) sınıflaması.....	48
Çizelge 4.7. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulara (Ekim 2020) ait iyonik oranları ve Baz Değişim İndeksleri (meq/l).....	53
Çizelge 4.8. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların izotop δ ¹⁸ O, δD ve ³ H (TU)analiz sonuçları.....	61
Çizelge 4.9. Kimyasal jeotermometreler ve eşitlikleri (Konsantrasyonlar mg/l)	66
Çizelge 4.10. Gazlıgöl sıcak suların kimyasal jeotermometre hesaplamalarından elde edilen rezervuar sıcaklıkları (°C).....	66
Çizelge 4.11. Gazlıgöl sıcak sularının mineral denge-sıcaklık jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklık değerleri (°C)	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
‰	: Binde
δ	: Delta
δD	: Doteryum
Al	: Alüminyum
As	: Arsenik
β	: Beta
B	: Bor
Ba	: Baryum
Bq/L	: Berekel / litre
Br	: Brom
°	: Derece
°C	: Santigrat derece
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
CO ₃	: Karbonat
Cu	: Bakır
F	: Flor
Fe	: Demir
³ H	: Tridyum
HCO ₃	: Bikarbonat
HNO ₃	: Nitrik asit
K	: Potasyum
kJ/kg	: Kilojoule/kilogram
km	: Kilometre
Li	: Lityum
Log	: Logaritma
lt/sn	: Litre/saniye
m	: Metre
m ³ /yıl	: Metreküp / yıl
meq/l	: Miliekivalen / litre
Mg	: Magnezyum
mg/l	: Miligram/litre
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
Mn	: Manganez
Mo	: Molibden
my	: Milyon yıl
μS/cm	: Mikrosiemens/santimetre
Na	: Sodyum
NO ₃	: Nitrat
¹⁸ O	: Oksijen 18 izotopu
P	: Yağış

Pb	: Kurşun
SiO ₂	: Silisyum dioksit
SO ₄	: Sülfat
Sr	: Stronsiyum
T	: Sıcaklık
TU	: Tridyum unit
Zn	: Çinko

Kısaltmalar

AFGAZJET	: Afyon Gazlıgöl Yaylabağı Havzası Jeotermal Isı Dağıtım Turz. San. ve Tic. A.Ş.
AFJET A.Ş.	: Afyon Jeotermal Anonim Şirketi
AMSD	: Akdeniz Meteorik Su Doğrusu
DO	: Çözünmüş oksijen
DSİ	: Devlet Su İşleri
EC	: Elektriksel iletkenlik
Etp	: Potansiyel buharlaşma-terleme
Etpc	: Düzeltilmiş buharlaşma-terleme
Etr	: Gerçek buharlaşma-terleme
IAH	: Uluslararası Hidrojeologlar Birliği
KMSD	: Küresel Meteorik Su Doğrusu
MTA	: Maden Tetkik Arama
pH	: Hidrojen iyon konsantrasyonu
SMOW	: Standart Ortalama Okyanus Suyu
T	: Tepe
TAKK	: Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol
TDS	: Toplam çözünmüş katılar

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, yüksek lisans tezi kapsamında, Gazlıgöl (İhsaniye-Afyonkarahisar) bölgesindeki sıcak suların hidrojeokimyasal ve izotopik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu bölümde; çalışma alanının tanıtılması ve çalışmanın amacı ile ilgili bilgiler verilmiştir.

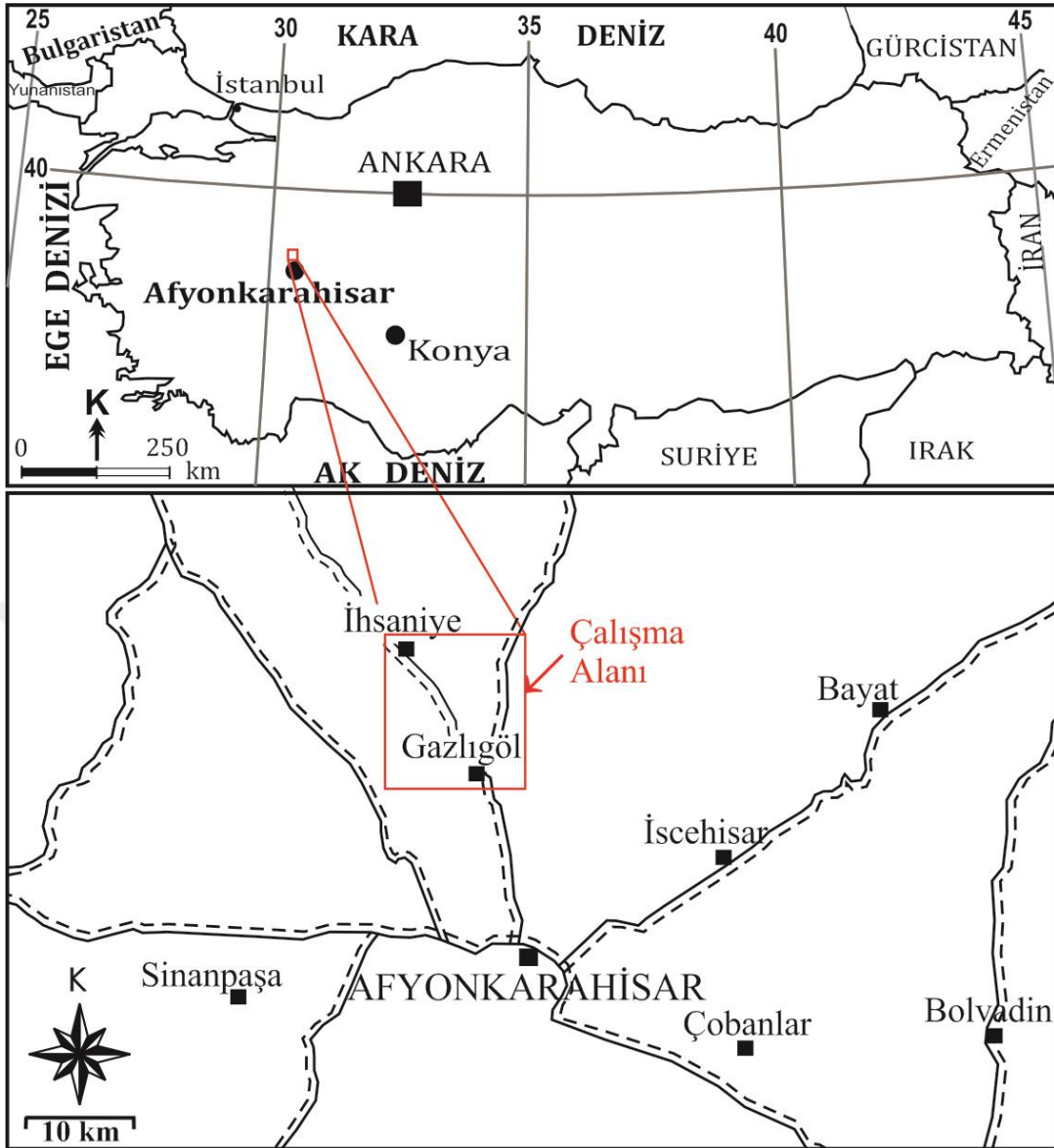
1.1. Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri

Çalışma alanı Afyonkarahisar ilinin yaklaşık 36 km kuzeybatısında yer alan İhsaniye İlçesine bağlı Gazlıgöl Beldesini ve çevresini kapsamaktadır (Şekil 1.1). Çalışma alanı 1/100.000 ölçekli Afyon K24_{b2}, K25_{a1}, K25_{a2} ve Eskişehir J24_{c3}, J25_{d3}, J25_{d4} paftaları içerisinde yer almaktadır.

Çalışma alanı içerisinde bulunan en önemli yerleşim yerleri İhsaniye İlçesi ile Gazlıgöl, Yaylabağı ve Kayıhan Beldeleridir. Ayrıca Gazlıgölakören, Ablak, İğdemir, Beyköy, Bozhüyük, Ayazini, Yeşilyayla, Eynehankuzviran, Yukarı Tandır, Aşağı Tandır, Belce, Saadet, Yarımca, Omuzca, Burhaniye, Kozluca, Kaplanlı, Bostanlı ve Alcalı Köyleri yer almaktadır.

Çalışma alanının doğu ve kuzeydoğu kısmı dağlık, diğer kısımlar az engebeli ve düz bir yapıya sahiptir. İnceleme alanında morfolojik olarak en yüksek nokta 1624 m. yüksekliğindeki Apurören Tepe'dir. İnceleme alanındaki başlıca yükseltiler; Sırıklıdede T. (1547 m), Sivri T. (1483 m), Uzunburun T. (1426 m), Türkmendede T. (1303 m), Bayramateşi T. (1331 m), Avlağı T. (1261 m), Çal T. (1205.4 m), Hamamçalı T. (1199 m), Aydoğmuş T. (1087 m) ve Körözü T. (1067 m)'dir (Bkz. Şekil 4.1).

Çalışma alanının kuzeydoğu kısmında bulunan Ayazini Köyü ve çevresinde, Frig kültürü ve Bizans Dönemine ait çok sayıda kaya yerleşke ve kalıntıları bulunmaktadır (İçlek, 2019).



Şekil 1.1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası

1.2. Çalışmanın Amacı

Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, Gazlıgöl (İhsaniye-Afyonkarahisar) bölgesindeki sıcak suların hidrojeokimyasal ve izotopik özelliklerinin belirlenmesi, sıcak suların kökeni, beslenme yüksekliği, rezervuar sıcaklığı, su-kayaç ilişkisi ve akifer sistemlerindeki dolaşım sürelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

İnceleme alanı ve çevresinde yapılan çalışmalar jeoloji, yapısal jeoloji ve bölgedeki volkanizmaya ait çalışmalar ile özellikle sıcak suların kimyası ile ilgili çalışmalar olmak üzere iki grupta verilmiştir.

2.1. Genel Jeoloji, Volkanizma ve Yapısal Jeoloji

Tatlı (1973), Afyon, Gazlıgöl ve Susuz bölgelerindeki Devoniyen ve Permo-Karbonifer yaşlı metamorfik kayalar “Afyon Paleozoyik Grubu” olarak tanımlamıştır. Araştırmacı bölgenin Alpin Orojenezinden fazla etkilendiğini fakat Hersiniyen Orojenezine ait olabilecek kıvrımların da belirlendiğini belirtmiştir. Ayrıca birimin Sultandağları bölgesinde geniş yüzlekler verdiğini ve üst kesimlerinde Neojen yaşlı çökllelerle örtüldüğünü belirtmişlerdir.

Çuhadar (1977), Akşehir-Simav fay sistemini karakterize eden Akşehir-Afyon ve Sinanpaşa gibi iki büyük graben yapısında akiferlerin çoğunlukla kalınlığı bir kaç metre ile 300 m arasında değişen Pliyo-Kuvaterner yaşlı yelpazelerle temsil edildiğini ifade etmiş, her iki grabenin kenarlarında yüzeyler durumda ve graben dolgusu altında gömülü konumda bulunan önemli faylar boyunca yükselen kükürt ve sülfatça zengin sıcak suların tatlı yeraltı sularına karışarak onların kirlenmesine yol açtığını ortaya koymuştur.

Keller (1983), Afyon ve çevresinde geniş yayılım gösteren volkanik birimlerin kıta içi volkanizma ürünleri olduğunu ve ayrıca Geç Tersiyer’de Arap ve Anadolu levhalarının birbirleriyle çarpışması ve Arap-Afrika levhalarının Anadolu levhası altına dalması sonucu gelişen Akdeniz kıvrım kuşağını takip eden Neojen yaşlı volkanizmanın ürünleri olduğunu belirtmiştir.

Ercan (1986), Afyonkarahisar ve çevresinde Miyosen volkanizmasının etkili olduğunu, Afyonkarahisar yöresindeki volkanik kayaların genellikle manto kökenli bazaltik ve trakibazaltik bileşimli ve ayrıca bölgesel olarak kabuk-manto karışımı latit türde lavlardan oluştuğunu ve Afyon volkanitlerinin aşırı yüksek potasik özellikte olduğunu belirtmiştir.

Tolluoğlu ve ark. (1997), Afyonkarahisar ili ve çevresinin, batıda Menderes Masifi’nden başlayarak Denizli ilinin kuzeyinden geçen ve hem Denizli hem de Uşak bölgesi üzerinden Afyonkarahisar iline kadar devam eden düşük dereceli metamorfik

bir kuşak olan ve yeşilist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş platform tipi çökellerden oluşan Afyon Zonu içerisinde yer aldığını belirtmişlerdir. Ayrıca Afyon Zonu'nda baskın olarak bulunan bu sedimanter kökenli Afyon metamorfitlerinin Mesozoyik öncesi dönemde birden fazla bölgesel metamorfizma ve deformasyon geçirdiklerini belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu meta-sedimanter istif üzerine Üst Permiyen-Alt Triyas yaşlı polijenik çakıllı konglomeraların çökeldiğini ve konglomeraların ise Triyas-Jura yaşlı karbonatlar tarafından üzerlendiğini belirlemişlerdir. Bölgede Neojen yaşlı genç volkanik ve piroklastik serilerin ise tüm birimleri örttüğünü öne sürmüşlerdir.

Yağmurlu ve ark. (1997), Afyonkarahisar bölgesinden güneye doğru gençleşen bir volkanizmanın varlığını belirtmişlerdir. Belirledikleri volkanik malzemeleri alkalin ve hiperalkalin olarak iki sınıfta toplamışlar ve bölgeden çoğunlukla trakitik, lamproitik, lösitik ve latitik bileşimli kayaların yüzelediğini söylemişlerdir. Bölgedeki volkanizmanın Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı olduğunu ve K-G doğrultulu fay sistemlerine paralel olarak dalma- batma süreçleri ile ilişkili komprasyonel rejimle geliştiğini vurgulamışlardır.

Kibici ve ark. (2001), Afyon ve çevresini içine alan bölgede farklı litolojik ve tektonik özelliklere sahip Toros ve İç Toros tektonik kuşaklarının olduğunu belirtmiştir. Aynı bölgede birbirinden dokanakla ayrılmış iki temel kaya topluluğunun varlığını belirterek, birinin Toros Kuşağına ait Sultandağları'nın devamını oluşturan Toros Paleozoyik ve Mesozoyik birimler olduğunu, diğersinin ise İç Toros Kuşağında yer alan ve Afyon'un KD, K, KB ve B'sında Neojen örtüsü altında geniş alanlar kaplayan Afyon metamorfitleri olduğunu açıklamışlardır. Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfiklerinin temelini kuvars, şist, mermer ve kalkşıstten oluşan Çobanlar formasyonunun oluşturduğunu belirten araştırmacılar bu birimin üstüne sırasıyla kalın tabakalı, ince kristalli İncehisar mermerleri, Deliktaş konglomerası, iri kuvarsit, kuvars, mermer ve şist çakıllarından oluşan Bayat konglomerası ve en üste ise kalkşıst, kloritşist ve mermerlerden oluşan Paşadağ kireçtaşlarının geldiğini ortaya koymuşlardır. Temel üzerine uyumsuzlukla siyah renkli kireçtaşları ve kireçtaşları ile yanal düşey geçişli konglomera, kumtaşı, silttaşı ardalanması ve bol erime boşluklu kireçtaşlarından oluşan Mesozoyik yaşlı birimler gelirken bu birimlerin üzerine uyumsuzlukla konglomera, kumtaşı, kiltası ile çamurtaşı ve marn ardalanması üste doğru tuf - tüfit - marn, killi kireçtaşları, kumtaşı ve aglomeralardan oluşan Tersiyer birimlerin geldiğini ve en üstte Kuvaterner-Holosen yaşlı alüvyonun varlığını açıklamışlardır.

Öcal ve Göktaş (2011), inceleme alanını içine alan K24 paftasında yaptıkları çalışmada, kaya-stratigrafi birimlerini İhsaniye, Altıntaş ve Sandıklı bölgelerinde ayrı ayrı tanımlayarak birbirleri ile denestirmişlerdir. Bölgedeki jeolojik birimleri Otokton-Homa-Akdağ Birimi, Bodrum Napı-Ortadağ Birimi, Bodrum Napı-Çökek Birimi ve Neojen Örtü birimleri olarak dört grupta incelemişlerdir.

Öcal ve ark. (2011), Afyonkarahisar İli ile İhsaniye, Bayat, Şuhut ve Çay İlçelerinin bulunduğu K25 Paftasında yaptıkları çalışmada, bölgedeki stratigrafik birimleri, Homa-Akdağ Birimi, Sultandağı Birimi, Bodrum Napı-Çökek Birim, Aladağ Napı-Çay Birimi ve Neojen Örtü Birimleri olarak 5 grupta değerlendirmişlerdir. Ayrıca K24 paftası 1/100.000 ölçekli Jeoloji Haritasını düzenlemişlerdir.

Kervankıran (2012), Batı anadoluyu iç anadoluya bağlayan bölgede yer alan Afyonkarahisar bölgesindeki termal akışkanların genellikle fayların etkisiyle ve bölgenin jeolojik özellikleriyle ilişkili olduğunu ve bu bölgedeki en önemli sıcak su kaynaklarının K-G ve KB-GD yönlü fay hatlarında olduğunu öne sürmüştür.

Şahin ve Ünlügenç (2014), Bayat ve Bolvadin ilçelerini kapsayan bölgenin, KD-GB ve D-B yönlü sıkışma etkisinde kaldığını ve bu etkiyle yaklaşık KB-GD ve K-G uzanımlı kıvrım eksenlerinin oluştuğunu, K-G doğrultulu bindirmeler ile 3 tektonik dilimin oluştuğunu belirterek bölgeden derledikleri kayaç örneklerinin petrografik özelliklerine göre metamorfik temel birimin yeşilist metamorfizması geçirdiğini belirlemişlerdir.

Alan ve ark. (2018a) ile Alan ve ark. (2018b), inceleme alanı içine alan J24 ve J25 paftalarında yapmış olduğu çalışmalarda bölgedeki stratigrafik birimleri Afyon Metamorfileri, Bozkır Birliği ve Örtü Elemanları olarak üç grup şeklinde incelemişlerdir.

Aksoy (2019), İscehisar (Afyonkarahisar) civarında yapmış olduğu çalışmada bölgede yüzeyleyen Karakaya volkanitlerinin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemesini yaparak, volkanitlerin oluştuğu volkanizmayı ve oluşumundaki süreçleri açıklamaya çalışmıştır. Araştırmacı incelemeler sonucu Karakaya volkanitlerini yeniden adlandırmış ve adlandırmaya göre volkanikleri; Seydiler İgnimbiriti, İscehisar Bazaltik Trakiandeziti, Çalışlar Trakiandeziti, Ağın Trakiti ve Karakaya Lamporiti olarak ayıtlamıştır.

2.2. Hidrojeokimya ve Jeotermal

Mutlu (1996), Afyonkarahisar ilindeki Gazlıgöl, Heybeli-Karaburun, Ömer-Gecek ve Sandıklı eotermal alanlarındaki sıcak suların jeokimyasal özelliklerini incelemiş ve Afyon bölgesindeki önemli jeotermal alanlarının termal akışkanlarına ait rezervuar sıcaklıklarını çeşitli jeotermometreler kullanarak belirlemiştir. Ömer-Gecek jeotermal alanı için 75-155 °C, Gazlıgöl jeotermal alanı için 66-120 °C, Sandıklı jeotermal alanı için 84-97 °C ve Heybeli-Karaburun jeotermal alanı için 56-96 °C'lik rezervuar sıcaklıklarını tespit etmiştir.

Mutlu (1997), Gazlıgöl jeotermal sahasındaki sıcaklıkları 18,5 ile 64 °C arasında değişen termal ve maden sularının Na ve HCO₃ iyonlarınca zengin olduğunu, bakteriyel sülfat indirgenmesinden dolayı termal sularda sülfatın çok düşük konsantrasyonlarda olduğunu ifade etmiştir. Gazlıgöl jeotermal sahasının rezervuar sıcaklığının maksimum 120 °C olduğunu belirtmiştir.

Doğdu ve Bayarı (2002), Afyonkarahisar bölgesindeki önemli jeotermal alanlardan olan Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanlarında bulunan soğuk yeraltı sularının jeotermal akışkandan kaynaklanan kirlenme olasılığını incelemiştir. Sıcak suların Na-Cl, soğuk suların ise Ca-HCO₃ su tipinde olduklarını belirten araştırmacılar sulara ait sıcaklık ve elektriksel iletkenlik değerleri ve Na+K, Cl, Li, B iyonlarının alansal dağılımlarını değerlendirerek soğuk yeraltısuyundaki kirlenmenin jeotermal alanlara yakın olduğunu belirlemiştir.

Göçmez ve Kara (2005), Gazlıgölde yaptıkları jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar sonucu bölgede bulunan sıcak suların rezervuar kayaçlarını Paleozoyik yaşlı kuvarsitlerin ve şistlerin oluşturduğunu, örtü kayaçlarını ise Neojen yaşlı kil ve tuf içeren kayaçların oluşturduğunu belirtmişlerdir. Sıcak ve mineralli suların neotektonizma ve volkanizma ile ilişkili olarak yüksek jeotermal gradyana bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Akkuş ve ark. (2006), Afyon ilindeki jeotermal suların sodyumlu, sülfatlı, magnezyumlu, bikarbonatlı, klorürlü termal sular olduğunu ifade etmişler, jeotermal kaynak koruma alanlarına ilişkin öneriler sunmuşlar ve jeotermal sistemin geliştirilmesi için daha detaylı ilave çalışmaların yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Akkurt (2006), Afyonkarahisar bölgesindeki jeotermal kaynaklarda radon konsantrasyonlarının 0,085 ile 44,57 Bq/L arasında, radyum değerlerinin ise 0,062 ile 4,94 Bq/L arasında değiştiğini ve bu sulardaki radyumun kaynağını suların içinden

geçtiği kütleler içerisindeki radyoaktif maddeler olduğunu belirterek, Afyonkarahisar ili çevresindeki doğal radyoaktivitenin belirlenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Oğuz (2011), Afyonkarahisar-Sandıklı jeotermal alanının hidrotermal alterasyon özelliklerini incelenmiş ve jeotermal suların rezervuar akiferinin Paleozoik şistler ve kuvarsitler olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı bölgedeki üretim sondajlarından elde edilen kırıntı örneklerinde yapılan XRD analizlerinde dolomit, feldispat, zeolit, mika, illit, klorit ve kuvars minerallerini tespit edilmiştir.

Aksever (2011), Afyonkarahisar-Sandıklı bölgesinin hidrojeolojik özelliklerini inceleyerek emniyetli yeraltı suyu kullanımını miktarının $41,62 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olduğunu ve suların Ca-Mg-HCO₃ içerikli olduğunu tespit etmiştir. Bölgede yoğun şekilde sürdürülen tarımsal faaliyetlerde kullanılan suların fazla olmasını yeraltısuyu açısından risk olarak değerlendirmiştir.

Demir ve Memiş (2015), Afyonkarahisar bölgesindeki jeotermal sahaların sıcaklıkları ve kimyasal bileşimlerinin birbirinden farklı olduğunu ve Ömer-Gecek sahasında Na-Cl-HCO₃, Gazlıgöl sahasında Na-HCO₃, Heybeli sahasında Na-Ca-HCO₃-SO₄ ve Sandıklı sahasındaki suların Na-Ca-SO₄-HCO₃ tipinde olduğunu belirtmişlerdir. Gazlıgöl bölgesinde Afyonkarahisar ilindeki diğer jeotermal alanlara göre HCO₃ içeriğinin yüksek ve SO₄ içeriğinin düşük olduğunu vurgulamışlardır.

Başaran (2017), Afyonkarahisar ili Heybeli jeotermal alanında yapmış olduğu hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalar sonucunda incelenen sıcak su örneklerinin sıcaklık değerlerinin 28,9 °C-54,7°C arasında değişkenlik gösterdiği ve suların Na-Ca-HCO₃-SO₄ tipte olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca kalsit, dolomit, kalsedon ve aragonit gibi kabuklaşma yapıcı çökelimlerin varlığından bahsetmiştir.

Şeker (2019), Afyonkarahisar ili Sandıklı, Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal sahalarında rezistivite (doğru akım öz direnç) yöntemiyle jeofizik çalışmaları yapmış ve jeotermal alanlardaki sıcak yerlerinin belirlenmesiyle ilgili veriler sunmuştur. Araştırmacı tarafından yapılan çalışma sonucu elde edilen verilere göre Gazlıgöl-Akören bölgesinde 1245 metre derinliğinde bir adet sıcak su sondaj kuyusu açılmış ve 44°C sıcaklığında jeotermal akışkan elde edilmiştir.

Başaran ve ark. (2020), Afyonkarahisar ili Bayatcık jeotermal alanında yapmış oldukları çalışmada bölgedeki sıcak suların akiferinin Paleozoyik yaşlı çatlaklı ve karstik mermerler olduğunu belirtmişlerdir. Termal suların Na-Ca-Cl-HCO₃ tipinde olduğunu belirten araştırmacılar su kimyasını etkileyen en önemli parametrenin katyon değişimi ve karbonatlı kayaçların varlığı olduğunu belirtmişlerdir. Tritiyum analiz

sonuçlarına göre suların 50 yıldan daha yaşı olduğunu söyleyen araştırmacılar ve jeotermometre uygulamaları sonucu termal suların hazne kaya sıcaklıklarının 72-191  C arasında olduğunu belirlemişlerdir.



3. MATERYAL VE METOT

Gazlıgöl ve çevresinde yapılan bu çalışma; hazırlık çalışmaları, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve bulguların değerlendirilmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir.

3.1. Hazırlık çalışmaları

Arazi çalışmalarına başlamadan önce detaylı literatür araştırmaları yapılarak, çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılmış olan; tezler, yayınlar, raporlar derlenmiş ve jeolojik çalışmalar için elde edilen bilgilerle saha çalışmaları planlanmıştır. Ayrıca saha çalışmaları ile su örnekleme ve yerinde ölçüm parametreleri için gerekli dökümanlar (etiket, numune kabı ve aletler) derlenerek, kontrolleri yapılmış ve yerinde ölçüm için gerekli cihazların (EC, pH, T (°C), DO ölçer) kalibrasyonları gerçekleştirilmiştir.

3.2. Arazi Çalışmaları

Bu çalışmada inceleme alanı ve çevresine ait jeoloji haritasının oluşturulmasında Öcal ve ark. (2011), Öcal ve Göktaş (2011), Alan ve ark. (2018a) ve Alan ve ark. (2018b) tarafından yapılmış 1/100.000 ölçekli jeoloji haritaları kullanılarak gerekli yerlerde detaylı çalışma ve arazi gözlemleri yapılarak düzenlenmiştir. Ayrıca literatür bilgileri ışığında inceleme alanında yerinde gözlemler ve araştırmalar yapılarak gerekli görülen alanlarda düzenlemeler ve/veya değişiklikler yapılmıştır. İnceleme alanındaki jeolojik birimler ve sınır ilişkileri yerinde incelenmiş ve topografik harita üzerine çizilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde numune alınabilecek su noktalarının (kaynak, çeşme, sığ soğuk su kuyusu, derin soğuk su kuyusu ve derin sıcak su) koordinatları Magellan eXplorist 310 marka GPS ile belirlenip topoğrafik haritalara işaretlenmiştir. Çalışma alanında belirlenen toplam 20 adet su örnekleme noktalarından kurak (2020-Ekim) ve yağışlı (2021-Mayıs) dönemlerde sıcaklık (T-°C), özgül elektriksel iletkenlik (EC), hidrojen iyon konsantrasyonu (pH) ve çözülmüş oksijen (DO) ölçümleri yapılmıştır. Su örnekleri analiz amacına göre farklı miktar ve örnek kaplarına alınmış olup kimyasal analizler için ikişer adet 500 ml, duraylı izotop analizleri için 500 ml temiz polietilen şişeler kullanılmıştır. Tritiyum analizleri için 1 litrelik polietilen şişeler kullanılmış olup ve karbon-13 izotop analizi için 50 ml'lik koyu renkli cam şişeler kullanılmıştır. Her

örnekleme noktasında örnekleme işleminden önce şişeler kendi örnek suyu ile iki üç kez yıkanmıştır.



Şekil 3.1. Arazi ve örnekleme çalışmalarından görünüm

3.3. Laboratuvar Çalışmaları

Kurak ve yağışlı dönemlerde alınan su örnekleri anyon ve katyon içeriklerinin tespiti için ikişer adet 500 ml'lik polietilen şişelere konularak analiz başlangıcına kadar +4 °C 'de buzdolabında korunmuştur. Çalışma alanından derlenen sıcak ve soğuk su örneklerinin kurak ve yağışlı dönemde ayrı ayrı olmak üzere fizikokimyasal analizleri (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, Cl, SO₄, CO₃, F_l ve NO₃) ve toplam çözünmüş katılar (TDS-mg/l) değerleri Devlet Su İşleri (DSİ) 4. Bölge Müdürlüğü (Konya), Kalite Kontrol ve Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. İz elementler ve SiO₂ analizleri DSİ Genel Müdürlüğü (Ankara), Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Daire Başkanlığı, Kimya

laboratuvarında ve Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (KOSKİ) Su Kalite Kontrol laboratuvarında yaptırılmıştır.

Çalışma alanından alınan su örneklerinin Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum (δD) ve trityum (^3H) izotop analizleri DSİ Genel Müdürlüğü, TAKK İzotop Laboratuvarında yaptırılmıştır.

3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Literatür taraması, jeoloji, yapısal jeoloji, su kimyası ve izotop analizlerinden elde edilen veriler değerlendirilerek tez yazım işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tez yazım aşamasında jeoloji haritası CoreDRAW (www.corel.com) yardımıyla çizilmiştir. Su kimyası analizlerinden elde edilen veriler, AqQA 1.1 (www.rockware.com) ve PhreeqCi (versiyon 2) (Parkhurst ve Appelo, 1999) bilgisayar programları ve excel programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Afyonkarahisar Meteoroloji 5. Bölge Müdürlüğü'nden alınan uzun yıllar meteorolojik yağış veriler kullanılarak bölgeye ait yağış-buharlaştırma-terleme değişim grafikleri hazırlanmış ve inceleme alanının su bilançosu belirlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

4.1. Jeoloji

4.1.1. Stratigrafi

Gazlıgöl ve çevresinde Prekambriyen'den Kuvaterner-Güncel'e kadar çökelmiş jeolojik birimler yüzlek vermektedir (Şekil 4.1).

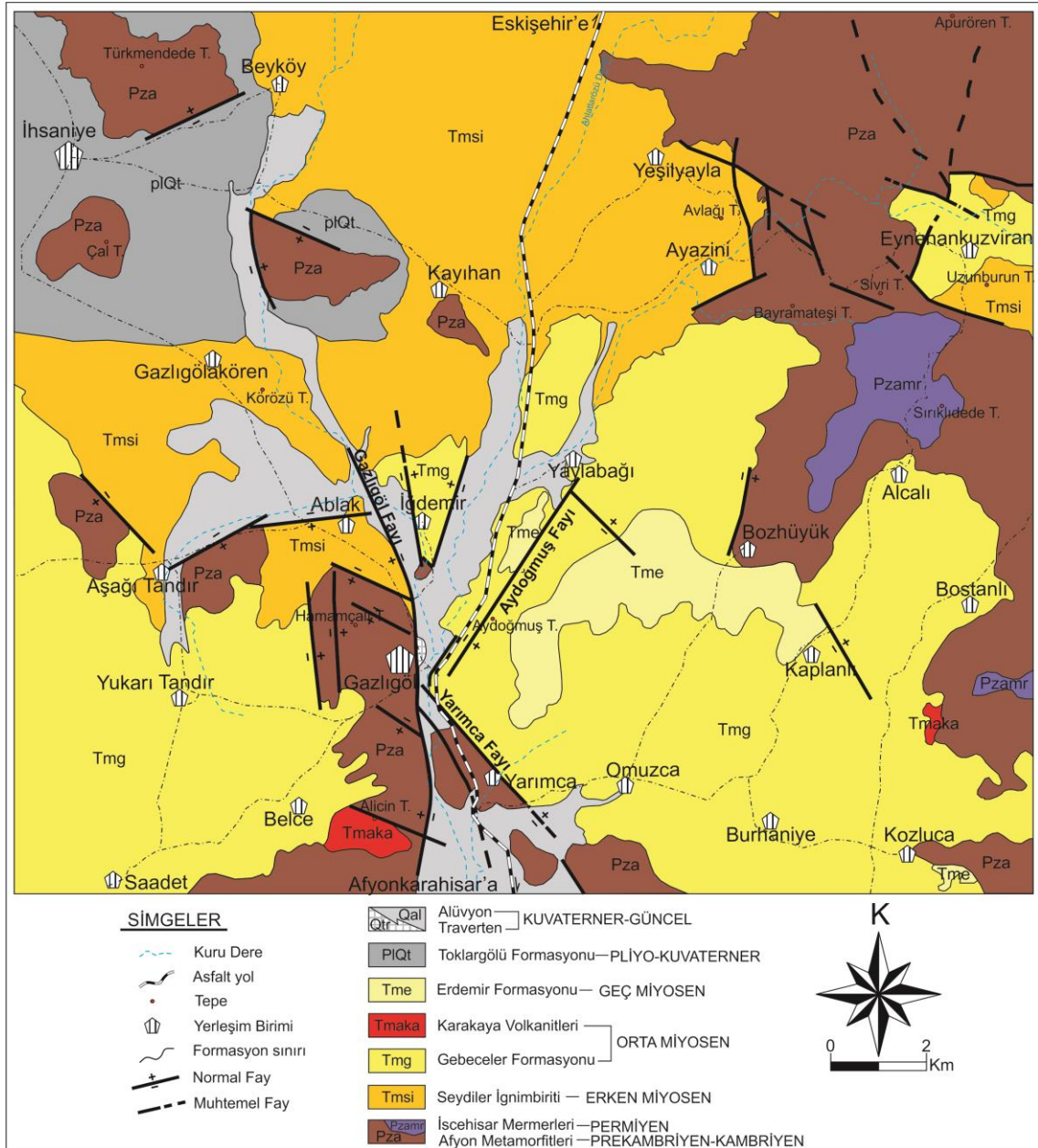
Çalışma alanının temelini şist, mikaşist, kuvarsit, kuvarsşist, kalkşist, metaçakılda ve gnayslardan oluşan Prekambriyen-Kambriyen yaşlı Afyon metamorfileri oluşturmaktadır. Afyon metamorfileri içerisinde üye mertebesinde ayırtlanmış Permiyen yaşlı İscehisar mermer üyesi bulunmaktadır. Bu temel birimler Erken Miyosen yaşlı Seydiler ignimbiritleri tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Seydiler ignimbiritleri üzerine ise Orta Miyosen yaşlı çakılda, kumtaşı ve gösel kireçtaşlarından oluşan Gebeceler formasyonu gelmektedir. Bazaltlardan oluşan Orta Miyosen yaşlı Karakaya volkanitleri ise kendinden yaşlı birimleri kesmektedir. Bu birimler üzerine uyumsuzlukla, çamurtaşı, çakılda, kum ve kil boyutlu malzemedan oluşan Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Erdemir formasyonu gelir. Neojen birimler üzerine polijenik kökenli çakıldaşlarından ve yer yer kumtaşlarından oluşan Pliyo-Kuvaterner yaşlı Toklargoölü formasyonu ise Erdemir formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Travertenler ve tutturulmamış gevşek malzemedan oluşan Kuvaterner-Güncel yaşlı alüvyonlar ise bütün birimleri uyumsuz olarak örtmektedir (Şekil 4.2).

4.1.1.1. Afyon Metamorfileri (Pza)

Afyon ve çevresinde görülen şist, mikaşist, metariyolit, metabazit, kuvarsit, metaçakılda, kalkşist ve mermerlerden oluşan metamorfik birimler ilk kez Metin ve ark. (1987) tarafından "Afyon metamorfileri" adı altında incelenmiştir. Kibici ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada birim içerisindeki mermerleri "İscehisar formasyonu" adı altında incelemişlerdir. Kuşçu ve Yıldız (2001) Ayazini ve çevresinde yaptıkları çalışmada, Afyon metamorfiklerini "Çobanlar şisti" ve "İscehisar mermerleri" olarak tanımlamışlardır. Öcal ve ark. (2011) Afyon metamorfilerini Permiyen öncesi yaşlı metamorfiler ve Permiyen yaşlı kristalize kireçtaşları olarak iki ayrı formasyon

şeklinde incelemişlerdir. Alan ve ark. (2018a, b) tarafından ise metamorfik birimler “İhsaniye formasyonu” ve “İscehisar formasyonu” adı altında incelenmiştir.

Birim, inceleme alanının kuzeybatısında bulunan İhsaniye ve çevresinde, Gazlıgöl ve çevresinde ve alanın doğusunda kuzey-güney doğrultusunda yüzlek vermektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Alan ve ark., 2018a, b; Öcal ve Göktaş, 2011; Öcal ve ark., 2011’den değiştirilerek alınmıştır)

ÜST SİSTEM	SENOZOYİK								LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	KUVATERNER	NEOJEN			MIYOSEN			PLİYOSEN		
SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	SİMGELER	KALINLIK(m)				
			ALÜVİYON TRAVERTEN		Qal				Kil, kum, çakıl, silt ve çamur	
					Qtr				Uyumsuzluk	
					PIQt	30			Kızıl ve turuncu renkli, orta ve kötü boyanmalı, çakıltaşları ile gri-kahverenkli ince orta katmanlı kumtaşı	
									Uyumsuzluk	
					Tme	2-50			Gri-boz renkli, kalın istif sunan, çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı ardalanması	
									Uyumsuzluk	
					Tmaka	40			Koyu kırmızı renkli, akma yapılı, gaz boşluklu bazaltlar	
					Tmg				Gri-sarı renkli, tabandan itibaren derecelenme gösteren çakıltaşı, kumtaşı, gösel kireçtaşı ve ara ara çamurtaşı seviyeleri	
									Uyumsuzluk	
					Tmsi	200-450			Tabanı beyaz ve pembe renkli, iki farklı evrede oluşmuş, pekleşmiş ve pekleşmemiş tüf, tüfit, aglomera	
									Uyumsuzluk	
					Pzmr	500			Beyaz, krem ve yer yer grimsi renkli, orta kalın ve yer yer düzensiz tabakalanmaya sahip mermerler	
									Yeşilimsi gri, kahve, kızılımsı kahve, sarımsı renkli çoğunlukla şist, mikaşist, kuvarsit, kuvarşist, paragnays ve ortognayslar	

Şekil 4.2. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (ölçeksiz)

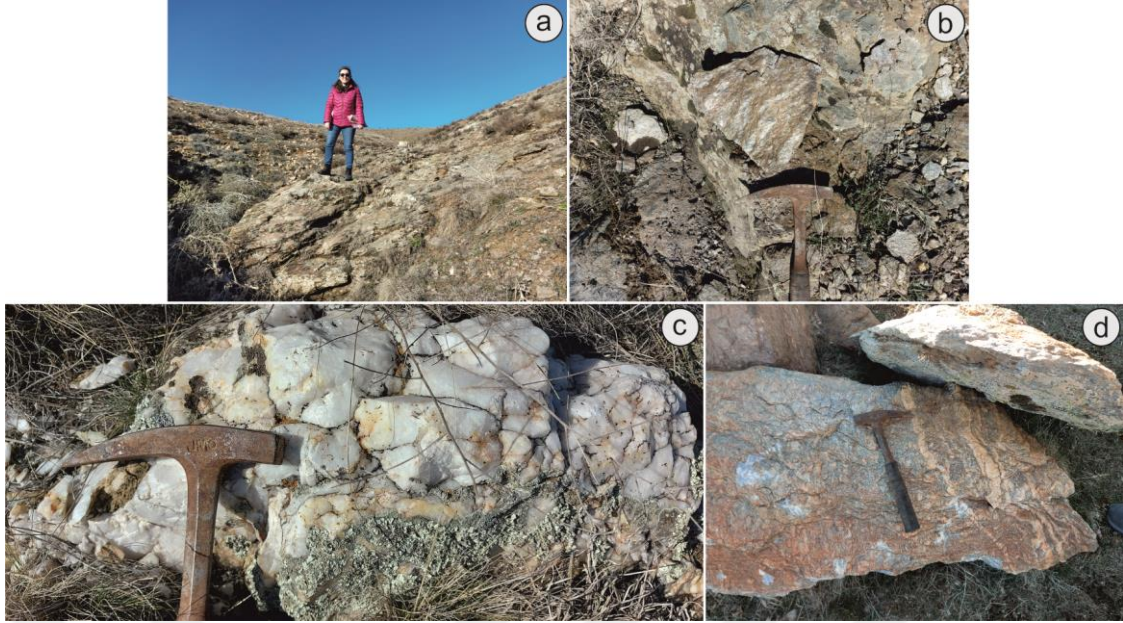
Birim, yeşilimsi gri, kahve, kızılımsı kahve, sarımsı renkler sunan çoğunlukla şist, mikaşist, kuvarsit, kuvarşist, paragnays ve ortagnayslardan oluşmaktadır (Alan ve ark. 2018a, b) (Şekil 4.3). Şistler genellikle alanın doğusunda, kuzey batısında (Çal Tepe civarı) ve Gazlıgöl çevresinde grimsi yeşil renkli, bol yapraklanmalı olup çoğunlukla bozunma yüzeyleri toprağımsı görüntü sunmaktadır (Şekil 4.4 a, b). Kuvarsitler beyaz ve krem renkli genellikle boşluk içeren, yer yer kırık ve çatlaklı yapı sunmaktadır (Şekil 4.4 c). Parlak grimsi yeşil renkler sunan mikaşistler, kırılğan yapıda ve çoğunlukla döküntü şeklinde gözlenmekte olup şistozite yüzeyleri belirgindir (Şekil 4.4 a, b). Paragnayslar genellikle grimsi-sarımsı renkli, iri kuvars tanelidir. İnceleme alanındaki metamorfikler mostrada bol kıvrımlı ve dalgalı bir yapı sunmaktadırlar (Şekil 4.4 d).



Şekil 4.3. Afyon metamorfitlelerinden genel görüntü (Çal Tepe)

Afyon metamorfitleleri mineralojik anlamda biyotit, muskovit, albit, klorit, amfibol, epidot ile kuvars minerallerinden oluşmaktadır (Kuşçu ve Yıldız, 2001). Kuvars ve kalsit mineralleri ile yoğun olarak serisit ve muskovit minerallerinden oluşan kayaçlar şistozite göstermektedir (Ulutürk, 2009).

İnceleme alanının temelini oluşturan Prekamriyen-Kambriyen yaşlı Afyon metamorfikleri üzerine Erken Miyosen yaşlı Seydiler ignimbiriti uyumsuz olarak gelmektedir (Alan ve ark., 2018b). Metin ve ark. (1988), birimin kalınlığının yaklaşık 2000-2500 metreye ulaştığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.4. a) Afyon metamorfitlerine ait şistlerden genel görünüm (Çal Tepe güneyi), b) Afyon metamorfitlerine ait mikaşistler, c) Afyon metamorfitlerine ait kuvarsitler, d) Afyon metamorfitlerine ait gnayslar

Alan ve ark. (2018a, b) yaptıkları çalışmada Gürsu ve Göncüoğlu (2008)'nin "Afyonkarahisar temel karmaşığı" olarak inceledikleri birim ile İhsaniye formasyonunu deneştirmişler ve Afyonkarahisar temel karmaşığında yapılan Zr-evaporasyon yöntemiyle elde edilen yaş tayininde birimin yaşı 541 ± 4 My olarak belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre birimin yaşı Prekambriyen olarak yaşlandırılmıştır.

4.1.1.2. İscehisar Mermer Üyesi (Pzamr)

Afyon metamorfileri içerisinde gözlenen mermerler ilk kez Metin ve ark. (1987) tarafından "İscehisar mermerleri" adı altında incelenmiştir. Daha sonra birim içerisindeki mermerler Ulutürk (2009) ve Yıldız ve ark. (2017) tarafından "Oyuklutepe mermerleri" adı altında incelenmiştir. Öcal ve ark. (2011) ise birimi Afyon metamorfikleri içerisinde "Mermer üyesi" adı altında incelemiştir.

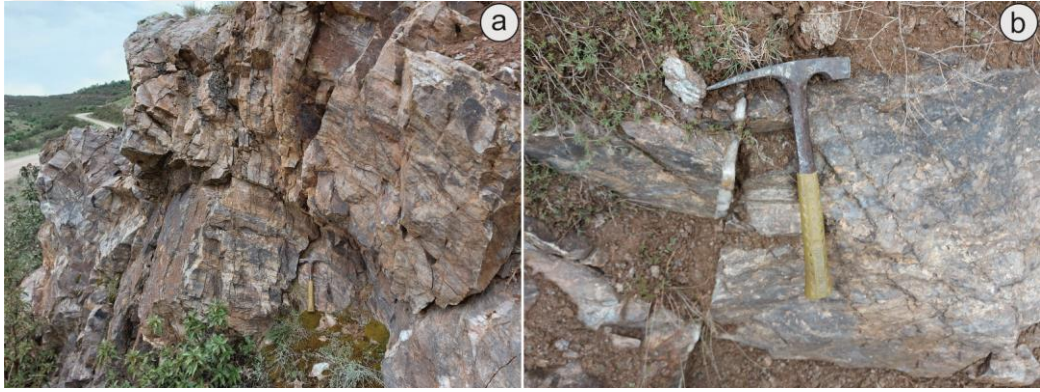
Birim, inceleme alanının doğusundaki Alcalı Köyünün kuzeyinde ve Bostanlı köyünün güneydoğusunda gözlenmektedir (Şekil 4.1).

Gri, koyu gri, kahverengi, beyaz ve krem renklerde gözlenen mermerler çoğunlukla orta-kalın tabakalı olup yer yer düzensiz tabakalanma göstermektedir (Şekil 4.5 a). İnceleme alanının doğusunda bulunan İscehisar ve çevresinde geniş alanlarda yüzlek veren mermerler bölgede ekonomik olarak işletilmektedir. İnceleme alanında bol

kırıklı ve çatlaklı yapı sunan mermerlerin, çatlak açıklıkları 0,1 – 3 cm arasında değişmekte olup çatlakları çoğunlukla kalsit ve kuvars dolguludur (Şekil 4.5 b). Ana bileşen olarak kalsit mineralinden oluşan birimde tali mineral olarak mika, kuvars ve klorit mineralleri de görülmektedir (Tolluoğlu ve ark. 1997).

Geç Permiyen yaşlı birim üzerine uyumsuz olarak Seydiler İgnimbiritleri gelmektedir. Kibici ve ark. (2001) birimin kalınlığının 300 metre civarında olduğunu, Alan ve ark. (2018a, b) ise birimin kalınlığının 500 metre civarında olduğunu belirtmişlerdir.

Alan ve ark. (2018a, b) ve Öcal ve ark. (2011), Afyon metamorfikleri içerisinde mermerleri de içine alan “İscehisar formasyonu” adı altında inceledikleri birimin yaşını Geç Permiyen olarak belirlemişlerdir.



Şekil 4.5. a) İscehisar mermerlerinden genel görünüm, b) Çatlaklarda gözlenen kuvars dolgusu (Alcalı Köyü kuzeyi)

4.1.1.3. Seydiler İgnimbiriti (Tmsi)

Metin ve ark. (1987) tarafından “Seydiler tuf ve aglomeraları” adı altında değerlendirilen birim, Aydar ve ark. (1998) tarafından ilk kez “Seydiler İgnimbiritleri” adıyla incelenmiştir.

İnceleme alanında çok geniş bir yayılım sunan birim, Gazlıgölkören, Kayıhan, Ayazini, Beyköy ve çevresinde gözlenmektedir (Şekil 4.1).

İnceleme alanında morfolojiye uygun olarak yayılım sunan birim genellikle gri, sarı, pembe, krem ve beyaz renkler sunmaktadır. İgnimbiritler çoğunlukla masif yapıda gözlenmesine rağmen yer yer orta-sert ve sütunsal yapılar da sergilemektedir. İgnimbiritlerin alt yüzeyleri genellikle grimsi kahve renklerde olup inceden kaba boyuta değişen kül boyutlu malzemedan oluşmaktadır. Birim içerisinde orta-ince yer yer iri

boyutlu pomza ve Afyon metamorfilerine ait kayaç parçaları bulunmaktadır. Birim alt seviyelerde daha masif ve kaynaklanma derecesi daha yüksek olup üst seviyelere doğru kaynaklanma derecesi azalmaktadır ve ayrıca üst seviyelerde gaz boşlukları da gözlenmektedir (Dedeoğlu, 2014). Birimi oluşturan matriks, yoğun bir şekilde dumanlı kuvars içermekte olup, volkan camı, metamorfik kaya parçaları ve az oranda riyoitik parçalar ile litik bileşenli parçalardan oluşmaktadır (Aydar ve ark., 1998).

Bölgedeki ignimbiritlerin iki evreli bir volkanizma ile oluştuğunu belirten Aydar ve ark. (1998) bu evreleri, Alt Seydiler ve Üst Seydiler olarak tanımlamıştır. Alt Seydiler ignimbiritlerinin, Üst Seydiler ignimbiritlerine göre yayılımı ve kalınlığı daha fazla olup kaynaklanmamış olmasına rağmen bazı seviyeler kaynaklanmış şekilde görülmektedir. Bu kaynaklanmış bölümlerde soğuma sütunları gelişmiştir. Mineralojik içerikleri bakımından Alt Seydiler ignimbiritleri, Üst Seydiler ignimbiritlerine göre plajiyoklaz bakımından fakirken biyotit miktarları fazladır (Aydar ve ark., 1998). Şahin ve Ünlügenç (2014), petrografik ve mineralojik incelemelere göre birimi vitrik tuf, kristal tuf ve lapilli tuf olmak üzere farklı türlere ayırmışlardır.

İnceleme alanında özellikle Ayazini ve çevresinde, Beyköy dolaylarında yüzeysel süreçler sonucu tüflerin yumuşak kısımlarının aşınmasıyla sütunsal, sivri uçlu ve şapkasız peribacası görünümlü morfolojik oluşumlar görülmektedir (Şekil 4.6).

Birimin kolay işlenebilmesi dolayısıyla yapı taşı olarak kullanılmakla birlikte, yontulabilir olması sebebiyle geçmiş devirlerde de kaya yerleşimleri olarak uygarlıklara ev sahipliği yapmışlardır.



Şekil 4.6. Seydiler İgnimbiritlerine ait sütunsal yapılardan (Peri bacası görünümünde) genel görünüm (Beyköy civarı)

İnceleme alanı içerisinde bulunan Ayazini dolayından alınan kayaç örneklerinde Anderson (1997) tarafından yaptırılan Ar/Ar yaş tayininde birimin yaşını $18.6 \pm 0,5$ My Ar/Ar olarak hesaplamıştır. Radyometrik yaş dikkate alınarak Seydiler ignimbiritinin yaşının Erken Miyosen olduğunu belirtmiştir.

Birimin kalınlığı yaklaşık 200-450 m arasında değişmekte olup Alt Seydiler ignimbiritinin kalınlığı yaklaşık 250 m. ve Üst Seydiler ignimbiritinin kalınlığı ise yaklaşık 200 m'dir (Aydar ve ark., 1998).

Erken Miyosen yaşlı Seydiler ignimbiriti, inceleme alanının temelini oluşturan Afyon metamorfitlelerinin üzerine uyumsuzlukla gelirken birimin üzerine ise Orta Miyosen yaşlı Gebeceler formasyonu uyumsuzlukla gelmektedir.

4.1.1.4. Gebeceler Formasyonu (Tmg)

Erişen (1972) tarafından ilk kez adlandırılan birim, Tatlı (1973) ve Metin ve ark. (1987) tarafından da Gebeceler formasyonu adı altında incelenmiştir. Kibici ve ark. (2001) ise birimi Gebeceler formasyonu içinde “Özburun marn üyesi”, “Seydiler tuf ve aglomerası” ve “Akpınar kireçtaşı üyesi” olarak üye mertebesine ayırarak incelemişlerdir. Göçmez ve Kara (2005) bölgede yaptıkları çalışmada formasyonu tabandan başlayarak yukarıya doğru, “Konglomera üyesi” ile “Seydiler volkanik tuf ve aglomerası” adı altında üye mertebesine ayırarak incelemişlerdir.

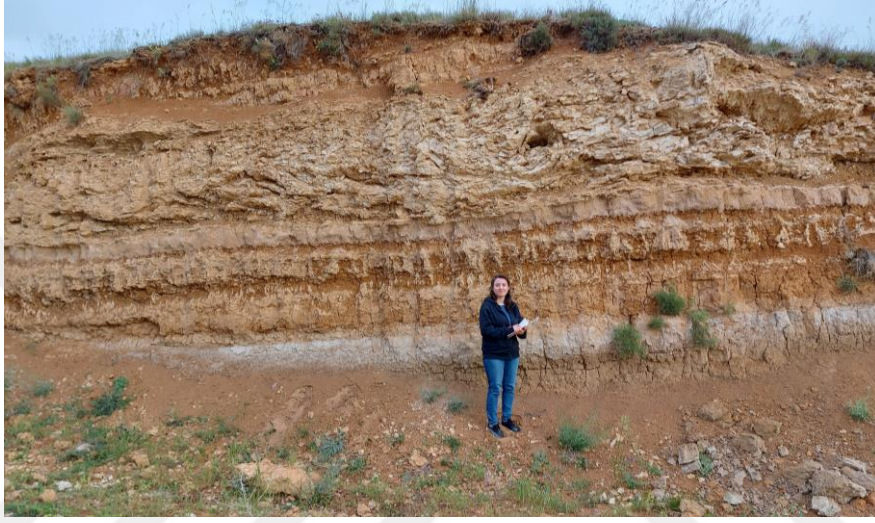
Çakıltası, kumtaşı, marn, silttaşı, tuf, aglomera ve yatay tabakalı gösel kireçtaşlarından oluşan birim inceleme alanının orta ve güney bölümünde geniş alanda yüzlek vermekte olup, çoğunlukla Yaylabağı, Gazlıgöl beldeleri ile Kaplanlı, Burhaniye, Omuzca, Yarımca, İğdemir, Yukarıtandır, Aşağıtandır, Saadet ve Belce köyleri ve çevrelerinde gözlenmektedir (Şekil 4.1).

İnceleme alanında grimsi, sarı renkli çakıltası seviyeleri ile başlayan birim yanal ve düşey yönde kumtaşlarına geçmektedir. Çakıltaları genellikle koyu gri, açık gri ve krem renklerde olup orta ve iri tanelidir. Yarı köşeli ve köşeli çakıllardan oluşan çakıltalarında yanal ve düşey yönde derecelenme ve tabakalanma bulunmamaktadır. Çakıltalarının matriks içeriği fazla olup çakıllar çoğunlukla Seydiler ignimbiriti ile volkanik ve metamorfik kayaçlara aittir. Birimin hakim litolojisini oluşturan grimsi krem renkli kumtaşları ince-orta taneli ve kötü boylanmalı olup düzensiz tabakalanma sunmaktadır. Seydiler ignimbiritlerine ait dumanlı kuvars taneleri ise kumtaşları

içerisinde yoğun bir şekilde görülmektedir (Öcal ve ark., 2011). Kumtaşları içerisinde yer yer çamurtaşı seviyeleri gözlenmektedir (Şekil 4.7).

Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfileri ile Seydiler ignimbiritleri'ni uyumsuzlukla örten birimin yaşı Orta Miyosen olarak tespit edilmiştir (Öcal ve ark., 2011).

Orta Miyosen yaşlı Gebeceler formasyonu üzerine Orta Miyosen yaşlı Karakaya volkanitleri gelmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.7. Gebeceler formasyonuna ait görünüm (Belce Köyü girişi)

4.1.1.5. Karakaya Volkanitleri (Tmaka)

Trakibazalt, bazaltik trakiandezit, trakiandezit ve bazaltlardan oluşan birim içerisindeki bazaltlar Metin ve ark. (1987) tarafından ilk kez “Karakaya bazaltı” olarak adlandırılmıştır. Aydar ve ark. (1998) ise birimin Köroğlu kalderasının ikinci evresi olarak kaldera dışı sokulumlar olduğunu belirterek birimi “lav akmaları ve daykları” adıyla incelemiştir. Öcal ve ark. (2011) bölgede yaptıkları çalışmada birimin adını “Karakaya volkanitleri” olarak tanımlamışlardır.

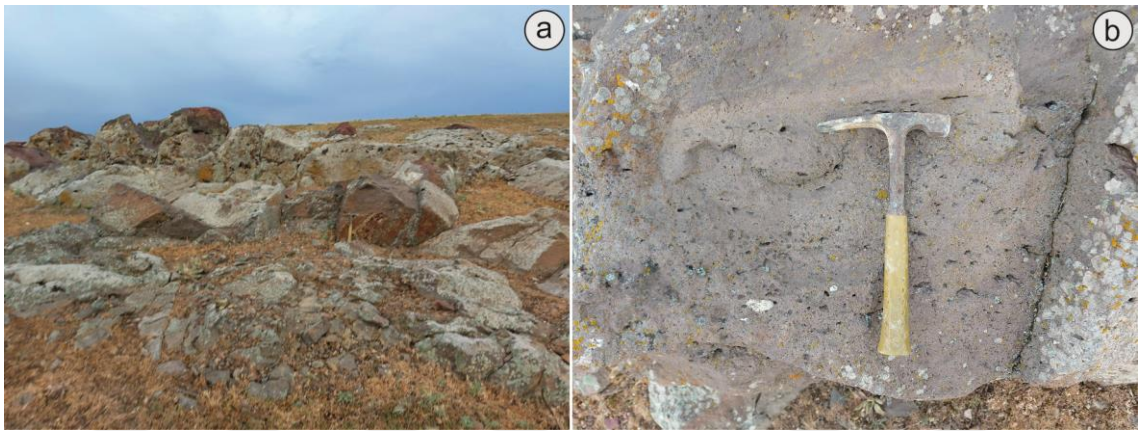
İnceleme alanının yakın çevresinde geniş alanlarda yüzlek veren birim, inceleme alanı içerisinde Belce'nin doğusundaki Alicin Tepe ve Kozluca'nın kuzeyinde dar alanlarda yüzlek vermektedir (Şekil 4.1). Bu birim inceleme alanı dışında İscehisar ve Bademli civarında da görülmektedir (Kibici ve ark., 2012).

Karakaya volkanitleri inceleme alanında koyu kırmızı renkli, taze kırık yüzeyleri kızılımsı kahve renk sunmaktadır. Birimin üst düzeylerinde yoğun gaz boşlukları

gözlenmekte olup, soğuma çatlakları belirgindir. İnceleme alanında genellikle akma yapısı gözlenen bazaltlarda topoğrafik olarak çok yüksek morfoloji gözlenmemektedir (Şekil 4.8 a, b).

Ulutürk (2009), tarafından yapılan minerolojik ve petrografik çalışmada birim, nefelinli bazaltlar olarak tanımlanmış ve bazaltların iri kristalli piroksen, ojit, hornblend, plajyoklas, serpantinize demir oksit ve nefelin mineralleri içerdikleri belirlenmiştir.

İnceleme alanının dışında yer alan İscehisar ve Bademli civarında Devlet Su İşleri tarafından yapılan sondajlarda Karakaya volkanitlerinin kalınlığının 40 m. olduğu belirtilmiştir (Ulutürk, 2009).



Şekil 4.8. a) İnceleme alanındaki Karakaya volkanitlerinden genel görünüm (Belce Köyü güneydoğusu)
b) Karakaya volkanitlerinde gözlenen gaz boşlukları

Öcal ve ark. (2011) çalışmasında Karakaya volkanitlerinin, Orta Miyosen dönemine ait Gebeceler alüvyonal birimlerinin sedimantasyon süreçlerinde etkinliğinin devam ettiğini belirtmişlerdir. Ulutürk (2009)'da üst kesimlerde tuf, aglomera ile volkanik camlar ile geçişli olduğunu söylemiştir. Besang ve ark. (1977) Afyon ili çevresinde yaptıkları çalışmalarında Karakaya volkanizmasının Orta Miyosen sonlarına kadar etkinliğini sürdürdüğünü belirtmişlerdir. Yalçın (1988) ise aynı bölgede Karakaya volkanitlerinde yaptığı incelemelerde K/Ar yaşlandırma çalışmasına göre bazaltik lavların 9 My yaşında olduğunu belirlemiştir. Bu verilere göre birimin yaşı Orta Miyosen olarak belirtilmiştir.

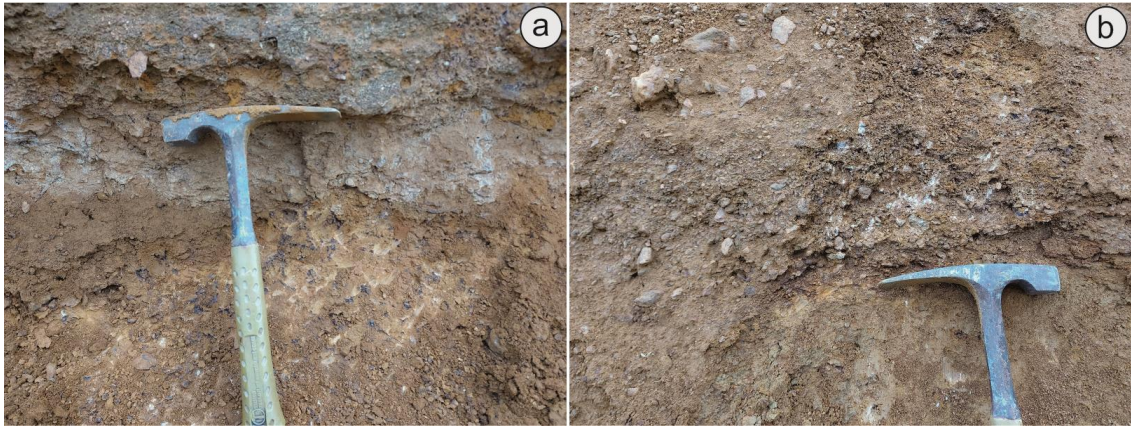
Birim alandaki kendinden yaşlı birimleri kesmekte olup Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Erdemir formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir.

4.1.1.6. Erdemir Formasyonu (Tme)

Metin ve ark. (1987) tarafından Gebeceler formasyonu içerisinde ‘‘Erdemir konglomera üyesi’’ olarak üye mertebesinde incelenen birimi, Öcal ve ark. (2011) Geç Miyosen-Pliyosen tortul sekansını yansıttığını ve Orta Miyosen tortullaşmasını bölgesel uyumsuzlukla örttüğünü öne sürerek Gebeceler formasyonundan ayrılıp ‘‘Erdemir formasyonu’’ adı altında incelemiştir. Metin ve ark. (1987) tarafından ‘‘Erdemir konglomera üyesi’’ olarak ayrıtlanan tortul istifi, Şahin ve Ünlügenç (2014) formasyon mertebesinde ele alarak ‘‘Erdemir formasyonu’’ olarak incelemiştir. Şahin ve Ünlügenç (2014) yaptığı çalışmada Erdemir formasyonunun, Ilgın (Konya) dolaylarında tanımlanmış olan ‘‘Topraklı formasyonu’’ ile deneştirilebileceğini belirtmiştir.

Birim, inceleme alanında Yaylabağı güneyinde, Aydoğmuş Tepenin doğusu ile Bozhöyük Köyünün batısında kalan alanda yayılım sunmaktadır (Şekil 4.1).

Birim, sarı, kızılımsı kahverengi, turuncu ve yeşilimsi renkler sunan çamurtaşı ile başlayıp, üst seviyelere doğru kum boyutlu malzeme ve polijenik kökenli koyu kahve-sarı renkli, köşeli, kötü boylanmalı, iri ve orta boyutlu çakıltaşlarına geçiş göstermektedir. Çakıltaşlarında yer yer ters derecelenme gözlenmekte olup bağlayıcısı killi kumlu malzemedен oluşmakta ve genellikle altere özellikler göstermekte olup kızılımsı kahve renkli demir oksit içeriği yoğunluktadır (Şekil 4.9 a, b).



Şekil 4.9. a) Erdemir formasyonu birimi içerisindeki yoğun demir içeriği görünümü (Kaplanlı Köyü girişi), b) Erdemir formasyonu çakıllarını bağlayan killi-kumlu matris görünümü

Orta Miyosen yaşlı Gebeceler formasyonunu ve Karakaya volkanitlerini uyumsuz olarak örten Erdemir formasyonu üstüne Pliyo-Kuvaterner yaşlı Toklargölü

formasyonu uyumsuzlukla gelmektedir. Birimin kalınlığı 2-50 m. arasında değişmektedir (Şahin ve Ünlügenç 2014).

4.1.1.7. Toklargoülü Formasyonu (PIQt)

Birim ilk kez Ercan ve ark. (1978) tarafından “Asartepe formasyonu” olarak adlandırılmıştır. Akdeniz ve Konak (1979) ise birimi “Toklargoülü formasyonu” adı altında incelemiştir.

Birim, inceleme alanının kuzey doğusunda yer alan İhsaniye ilçesi ve çevresinde yayılım göstermektedir (Şekil 4.1).

Birim genel olarak yer yer pekişmiş yer yer pekişmemiş kum, çakıl ve kil boyutlu malzemeden oluşmaktadır. Birim içerisinde gözlenen çakıltaşları kahverengi, gri, koyu gri, bej, kızılımsı renklerde olup çoğunlukla kötü boylanmalı, polijenik kökenli ve yer yer derecelenme göstermektedir. İyi yuvarlaklanmış çakıllar genellikle kuvars, kuvarsit, şist, kireçtaşı, gnays ve tüfden oluşmaktadır. Bej, krem renkli gevşek bağlayıcı kumtaşları genellikle kızılımsı kahve renkli çamurtaşları ile geçişlidir. Gevşek yapıda tutturulmuş çakıltaşı ve kumtaşlarının bağlayıcısı kil, silt boyutlu malzemeden oluşmaktadır (Şekil 4.10 a, b,c).

Alt dokanağında kendisinden yaşlı birimleri uyumsuzluk ile örten birim, üst dokanağında alüvyonlar tarafından yine uyumsuzluk ile örtülmektedir. Birimin kalınlığı birkaç metreden 200 metreye kadar değişebilmektedir (Kaplan 2014, Erişen ve ark., 1989). Alan ve ark. (2018a) tarafından inceleme alanı ve çevresinde yapılan çalışmada birimin kalınlığı 30 metre olarak belirtilmiştir.

Ercan ve ark. (1978) tarafından birimin yaşı Kuvaterner olarak belirtmiş olup Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Pliyo-Kuvaterner olduğu belirlenmiştir. Stratigrafik konuma göre birimin yaşı Pliyo-Kuvaterner olarak kabul edilmiştir (Alan ve ark., 2018a).

4.1.1.8. Traverten (Qtr)

Birim, inceleme alanında Gazlıgöl beldesinin merkezinde dar bir alanda gözlenmektedir (Şekil 4.11).

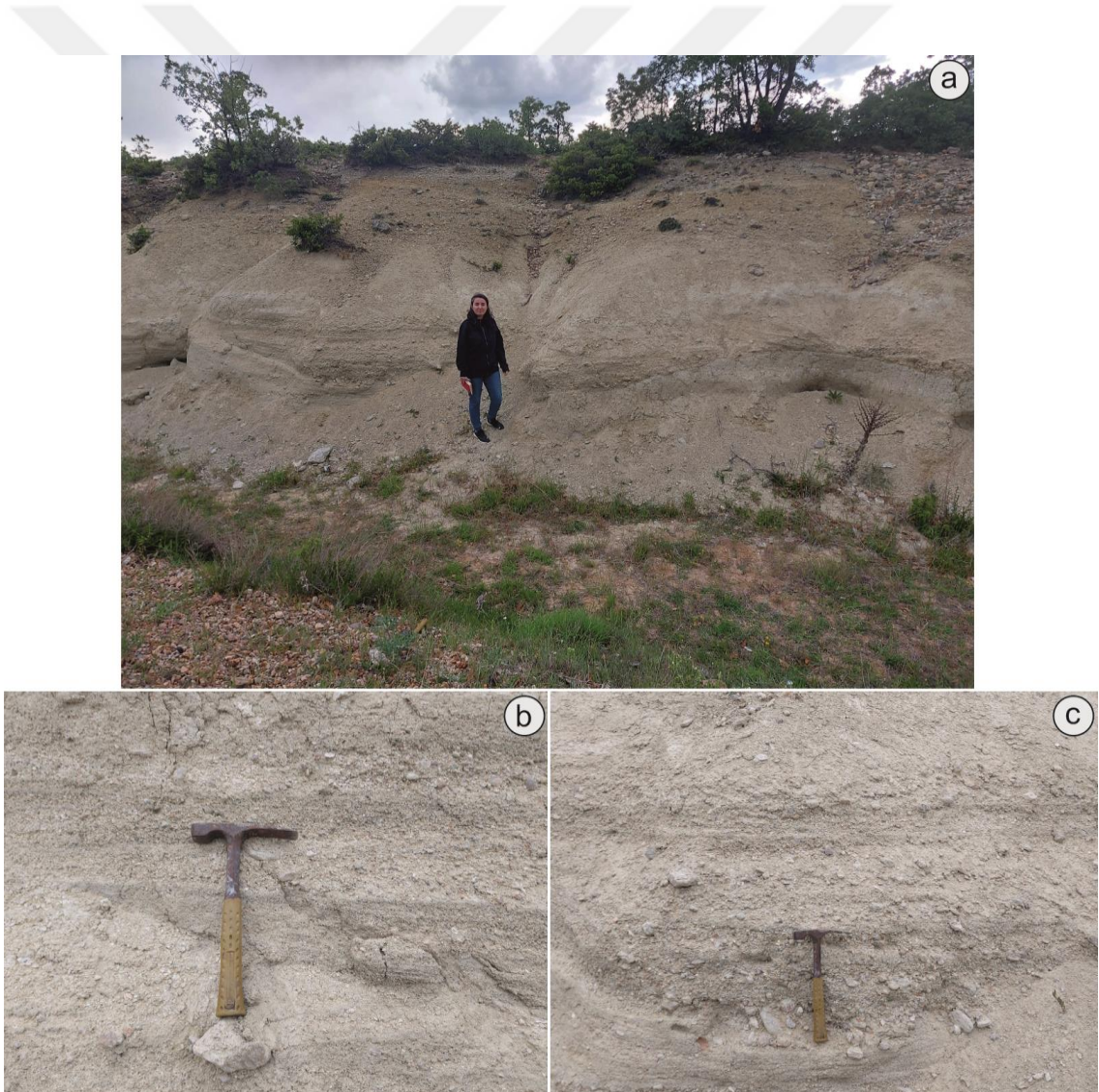
Gazlıgöl Fayı boyunca gözlenen travertenler, bölgede çok sayıda derin sıcak su kuyuları açılmadan önce fay boyunca çıkan sıcak su kaynaklarından boşalan sıcak

sulardan çökelmiştir. Bölgede geçmişten günümüze çok sayıda derin sıcak su kuyularının açılması ve yoğun bir şekilde kullanılması sonucu zamanla bu kaynakların çoğu kurumuş olup traverten oluşumu azalmıştır. İnceleme döneminde ise traverten oluşumunun artık devam etmediği gözlenmiştir.

Genellikle krem ve beyaz renklere gözlenen travertenler, yer yer kırıklı, çatlaklı ve boşluklu olup boşluklarda ikincil olarak kalsit, kuvars ve demir minerali bulunmaktadır.

Travertenler genellikle yataya yakın veya KB'ya eğimli, orta ve kalın katmanlı yapı sunmaktadır.

Travertenin görünür kalınlığı 1-10 m arasında değişmektedir. Kuvaterner yaşlı travertenler kendinden önceki tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir.



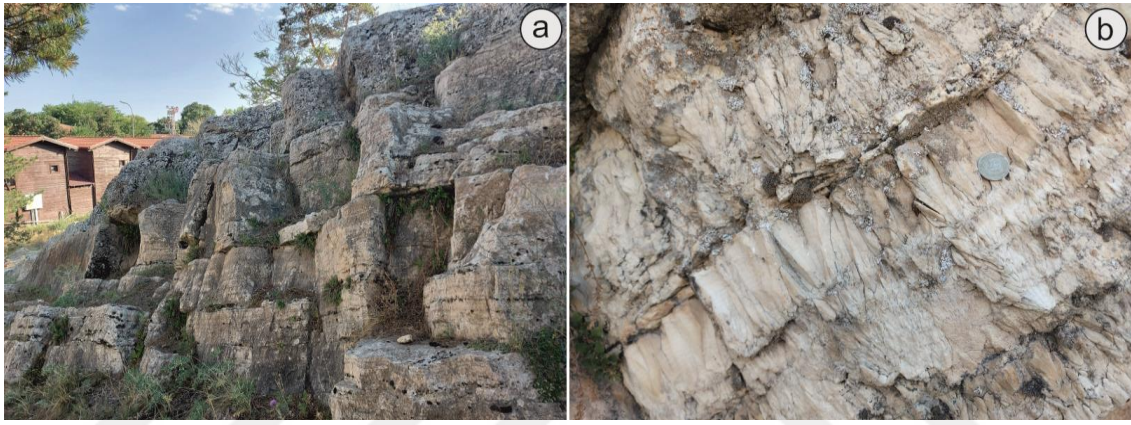
Şekil 4.10. a) Toklargölü formasyonuna ait genel görünüm (İhsaniye-Beyköy yolu üzeri), b) Toklargölü formasyonuna ait kumtaşları içinde görülen çapraz tabakalanma, c) Toklargölü formasyonuna ait az tutturulmuş çakıltaşlarının görünümü

4.1.1.9. Alüvyon (Qal)

Birim, Gazlıgöl'ün güneyi ve kuzeyi boyunca dere ve akarsuların kanal ve taşkın yataklarında gözlenmektedir (Şekil 4.1).

Gri, krem, kahve, kırmızı renklere gözlenen birim çakıl, kum, kil, silt ve kil boyutlu malzemeden oluşmaktadır. Birim inceleme alanında özellikle akarsuların oluşturduğu düzlüklerde gözlenmektedir (Şekil 4.12).

Kuvaterner-Güncel yaşlı birim kendinden yaşlı tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir.



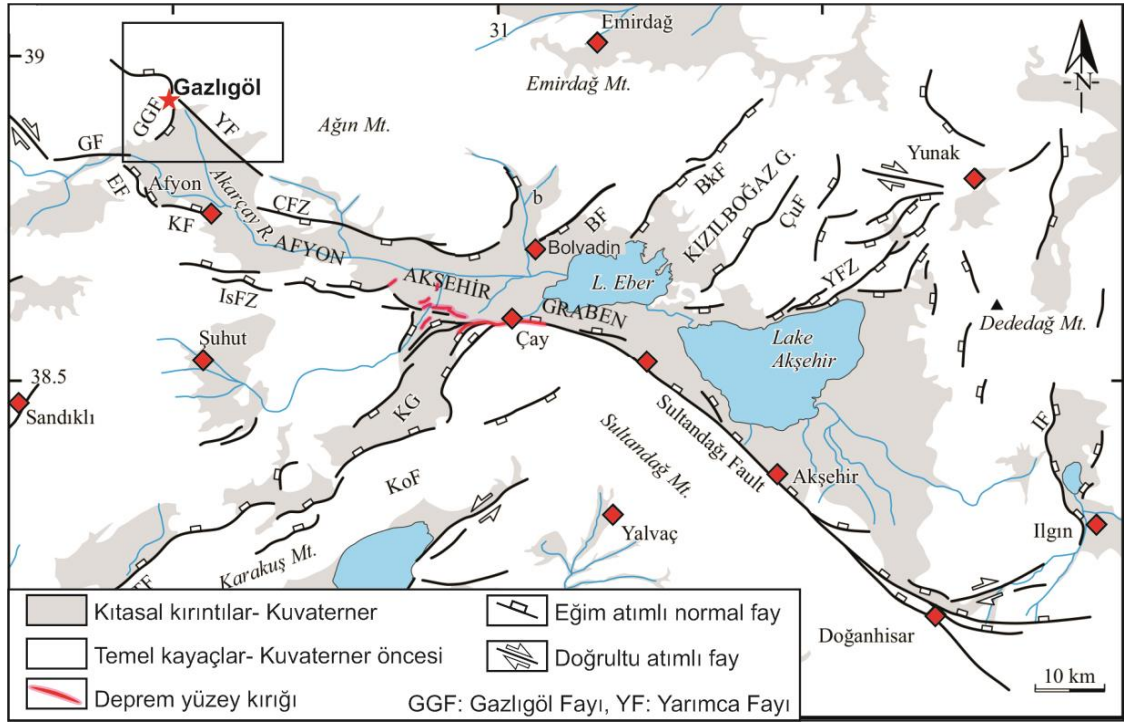
Şekil 4.11. a) Travertenlere ait genel görünüm (Gazlıgöl Belde Merkezi), b) Travertenlerin dokusuna ait yakın görünüm



Şekil 4.12. Traverten ve Alüvyon arasındaki faylı dokanağa ait görünüm (Gazlıgöl Belde Merkezi)

4.1.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı, Akşehir-Afyon graben hattının kuzey ucunda yer almakta olup, Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultulu normal faylar ile şekillenmektedir (Şekil 4.13). Bölgedeki en önemli faylar, Gazlıgöl Fayı, Yarımca Fayı ve Aydoğmuş Fayıdır. Ayrıca bu faylara paralel veya dik olarak gelişmiş birçok küçük faylar bulunmaktadır.



Şekil 4.13. İnceleme alanı ve çevresine ait diri fay haritası (Emre ve ark., 2011 ve Özkaymak ve ark., 2019' dan değiştirilerek alınmıştır.)

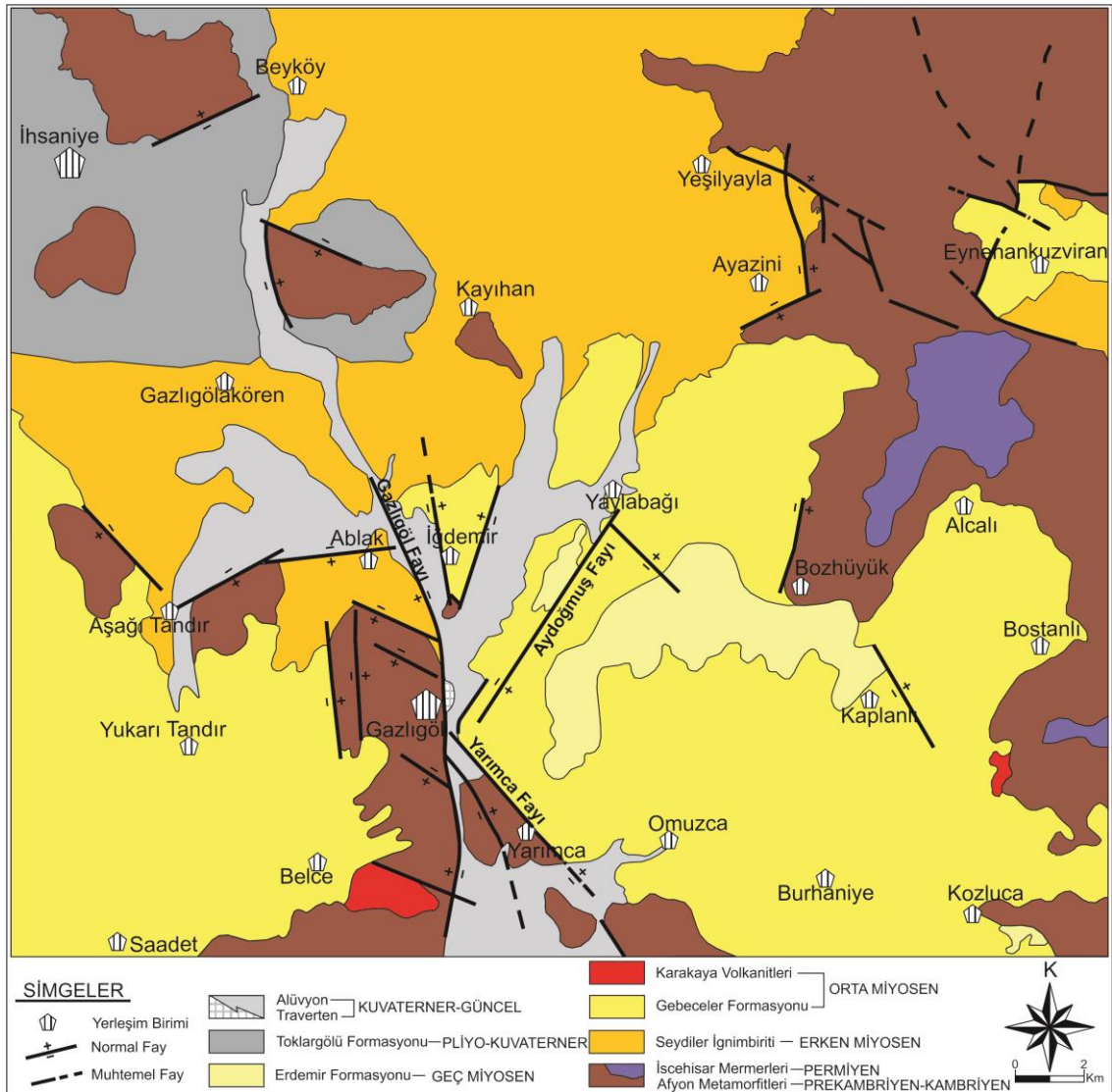
4.1.2.1. Gazlıgöl Fayı

Gazlıgöl beldesinin merkezinde KKB-G doğrultu boyunca izlenen Gazlıgöl Fayı, eğim atımlı normal bir faydır (Şekil 4.13). Özkaymak ve Sözbilir (2020) tarafından bölgede yapılan yapısal jeoloji çalışmasında, Gazlıgöl fayının doğrultusu yaklaşık K-G yönünde ve 70° - 75° arasında değişen eğimli ve 56° - 67° arasında değişen dalımlara sahip olduğu belirtilmiştir. Gazlıgöl fayı inceleme alanının güneyinden başlamakta olup Ablak köyünün doğusundan kuzeye doğru uzanmaktadır (Şekil 4.14).

4.1.2.2.Yarımca Fayı

Yarımca Fayı, inceleme alanının güneyinde bulunan Yarımca köyünün doğusunda mostra veren Gebeceler formasyonunu ile batısında yüzeyleyen Afyon metamorfiteğini sınırlandırmaktadır (Şekil 4.13) Yarımca Fayı K50°B doğrultulu ve 50° eğimli normal fay olup Gazlıgöl beldesinin doğusunda hem normal hem de sağ yan atıma sahip oblik bir faydır (Özkaymak ve Sözbilir, 2020) (Şekil 4.14).

İnceleme alanındaki Gazlıgöl ve Yarımca fayları Gazlıgöl'ün merkezinin doğu ve batısında K-G yönlü yükselteler boyunca doğrusallık oluşturmaktadır (Özkaymak ve Sözbilir, 2020).



Şekil 4.14. İnceleme alanının tektonik haritası (Faylar; Alan ve ark., 2018b; Öcal ve ark., 2011; Koçyiğit ve Deveci, 2007; Özkaymak ve Sözbilir, 2020; www.yerbilimleri.com; Metin ve ark., 1987 çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır)

4.1.2.3. Aydoğmuş Fayı

Aydoğmuş Fayı, Gazlıgöl beldesinin doğusunda bulunan Aydoğmuş Tepe'nin batısından geçerek Yaylabağ beldesine kadar uzanmaktadır. Aydoğmuş Fayı, KD-GB doğrultulu olup eğim atımlı normal faydır (Özkaymak ve Sözbilir, 2020). Gebeceler formasyonu içerisinde bulunan bu fayın eğim yönü kuzeye doğrudur (Şekil 4.14).

4.1.2.4. Diğer Faylar

Gazlıgöl Fayı'nın batısında Afyon metamorfikleri ve Gebeceler formasyonu arasında Gazlıgöl Fayı'na paralel K-G doğrultulu eğim atımlı normal faylar bulunmaktadır (Özkaymak ve Sözbilir, 2020). Ayrıca Ablak'tan batıya doğru yaklaşık D-B doğrultulu normal faylar ve Gazlıgöl fayının batısında B,KB-D,GD doğrultulu birçok eğim atımlı normal fay bulunmaktadır. İnceleme alanının KB kesiminde İhsaniye ve çevresinde Afyon metamorfikleri ile Toklargölü formasyonu sınırında da normal faylar bulunmaktadır. İnceleme alanının kuzeydoğusunda Afyon metamorfikleri içerisinde birçok kırık, çatlak ve normal faylar bulunmaktadır. Yine bu metamorfikler ile Seydiler ignimbiritleri arasında K-G doğrultulu ve KD-GB gidişli normal faylar bulunmaktadır.

İnceleme alanının GD kesiminde, Kaplanlı köyünün kuzeydoğusunda KB-GD yönlü normal bir fay bulunmaktadır (Şekil 4.14).

4.1.3. Jeolojik Evrim

İnceleme alanı, Anatolitlerin temel tektonik zonunu oluşturan ve ilk kez Okay (1984) tarafından Afyon Zonu olarak tanımlanan tektonik birliğinin kuzeybatı ucunda yer almakta olup, Prekambriyen'den günümüze kadar çökelmiş birimler bulunmaktadır.

Afyon Zonu, Menderes Masifi ile batıdan sınırlandırılmış olup, Denizli ilinin kuzeyinden, Uşak - Sandıklı hattı boyunca Afyonkarahisar'a kadar ulaşan ve genel itibariyle düşük dereceli metamorfik birimlerin yer aldığı bir tektonik kuşaktır. Bu kuşak, Sultan Dağlarını takip ederek Orta Anadolu (Kırşehir) masifine kadar uzanmaktadır (Tolluoğlu ve ark., 1997).

Prekamriyen-Kambriyen'de inceleme alanı denizlerle kaplı olup bu dönemde gelişen regresyon sonucu sığ denizel ortama geçiş göstermiştir. Afyon metamorfikleri

içerisinde gözlenen killi, killi-kumlu ve kumlu kayaçların varlığı derin deniz çökeltme ortamından sığ denizel ortama doğru geçildiğini göstermektedir. Birim içerisindeki şistler regresif istif özelliği göstermekte olup kuvarsitler ise iyi yıkanmış bir ortam olan plaj ortamında oluşmuşlardır (Tolluoğlu ve ark., 1997). Geç Permiyende inceleme alanındaki şelf ortamında kireçtaşları çökelmiştir (Alan ve ark., 2018 a,b). Kambriyen sonunda karasal ortam haline gelen inceleme alanı Mesozoyik öncesi dönemde birden fazla bölgesel metamorfizma ve deformasyon geçirmiştir (Tolluoğlu ve ark., 1997) ve bugün inceleme alanının temel birimlerini oluşturan Afyon metamorfikleri ve İsehisar mermer üyesi oluşmuştur. Mesozoyik dönemde inceleme alanında aşınma şartları hakim olup çökel tespit edilememiştir.

Geç Tersiyerde Arap-Afrika levhasının birbirleriyle çarpışması ve Arap-Afrika levhasının Anadolu levhasının altına dalması sonucu gelişen Akdeniz kıvrım kuşağını takip eden Neojen yaşlı volkanizmanın ürünleri gelişmiştir (Keller, 1972). Köroğlu kalderası olarak isimlendirilen ve büyük ölçekli rejonel tektonik fay sistemi içinde yükselen magma aktivitesi sonucu ignimbirit yayılımları gerçekleşmiştir (Aydar ve ark., 1998). Bu volkanizma, inceleme alanını içine alan çok geniş alanlarda farklı volkanik ürünler oluşturmuş olup, trakit, andezit, riyolit, trakiandezit, ignimbirit vb. volkanizmanın değişik evrelerinde Erken-Geç Miyosen döneminde çökelmişlerdir (Kibici ve ark., 2012). Erken Miyosen döneminde inceleme alanındaki Seydiler ignimbiritleri çökelerken Orta Miyosen döneminde yine Miyosen volkanizmasının ürünlerinden oluşan Karakaya volkanitleri oluşmuştur. Aynı dönemde bölgede nemli iklim koşullarında alüvyal ve gölsel ortamı yansıtan (Öcal ve ark., 2011) Gebeceler formasyonuna ait çakıltaşı, kumtaşı, yatay tabakalı gölsel kireçtaşları ve yer yer çamurtaşlarından oluşan birimler çökelmiştir. Geç Miyosen-Pliyosen döneminde ise çökeltim devam etmiş olup bu dönemde Erdemir formasyonuna ait birimler çökelmiştir. Pliyo-Kuvaterner döneminde inceleme alanındaki kayaçların aşınmasına bağlı olarak gelişen ve kırıntılardan oluşan Toklargoğlu formasyonuna ait birimler çökelmiştir (Alan ve ark., 2018a).

İnceleme alanını kontrol eden Gazlıgöl Fayı temeldeki metamorfik kayaçları keserek havzayı şekillendirmektedir. Gazlıgöl Fayı boyunca, temeldeki hidrotermal eriyiklerin yükselmesi sonucu Gazlıgöl merkezde travereten oluşumları gerçekleşmiştir (Öcal ve ark., 2011).

4.2. HİDROJEOLOJİ

4.2.1. İklim ve Özellikleri

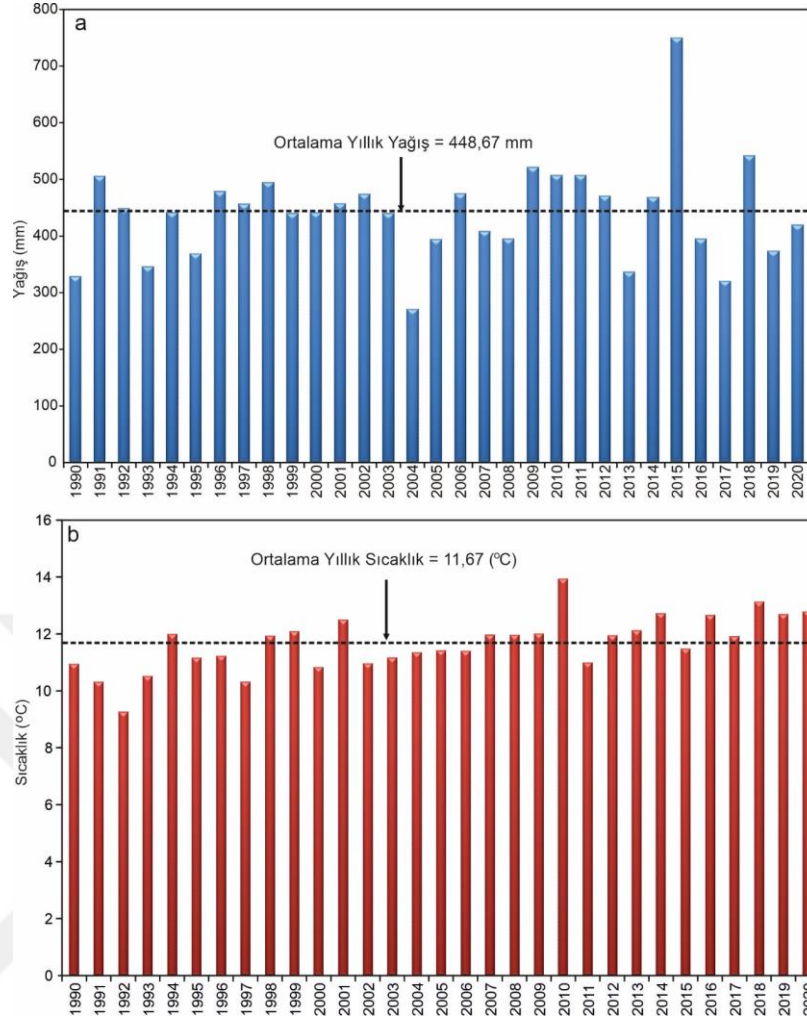
İnceleme alanının iklim koşullarını ve hidrolojik özelliklerini değerlendirebilmek için bölgeye en yakın olan ve en kapsamlı veri elde edebileceğimiz Afyonkarahisar il merkez istasyonuna ait sıcaklık ve yağış verileri T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji 5. Bölge Müdürlüğü (Afyonkarahisar)'nden alınmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak su bütçesi hesaplanmıştır.

4.2.1.1. Yağış ve Sıcaklık

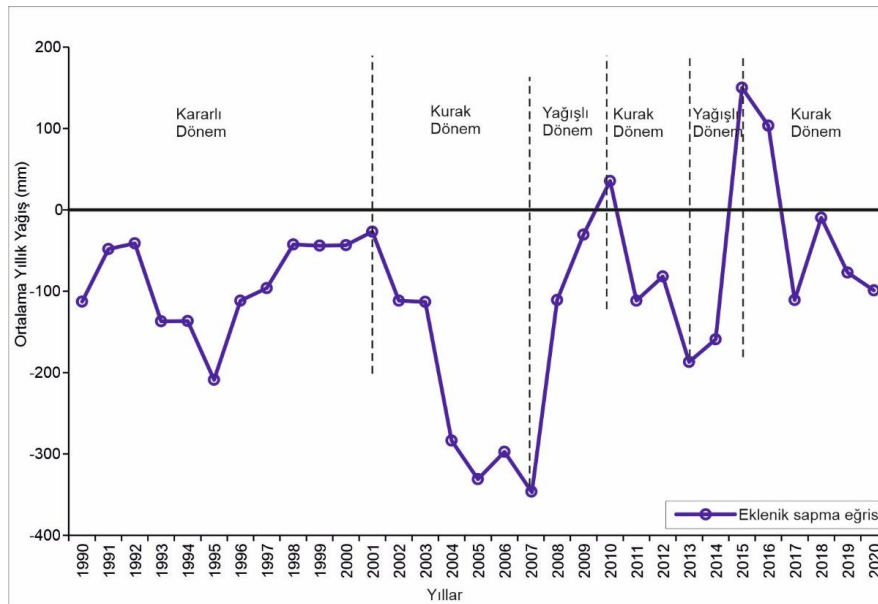
İnceleme alanı İç Anadolu ve Ege Bölgesi arasında geçiş konumunda olup Akdeniz ikliminde etkilerinin görüldüğü fakat çoğunlukla karasal iklimin (yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı) hüküm sürdüğü bir bölgedir. 1990-2020 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık verilerine göre inceleme alanında 30 yıllık ortalama sıcaklık 11,67 °C ve yıllık ortalama yağış ise 448,67 mm'dir (Şekil 4.15 a ve b). Bölgede en sıcak aylar Temmuz ve Ağustos ayları olup ortalama sıcaklık değeri 26,6 °C'ye yükselirken, en soğuk ay ortalama sıcaklık değeri -4,7 °C'ye kadar düşen Ocak ayıdır. Uzun yıllar aylık yağış ortalaması verilerine göre en yağışlı aylar ise Mayıs (49,87 mm) ve Aralık (48,33 mm) aylarıdır.

İnceleme alanındaki yıllık yağışların zamansal dağılımlarını belirlemek için 1990-2020 yılları arasındaki ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma analizleri yapılmıştır (Şekil 4.16). İnceleme alanında 1990-2001 yılları arası kararlı dönem, 2001-2007, 2010-2013 ve 2015-2020 yılları arası kurak dönem ve 2007-2010, 2013-2015 yılları arası yağışlı dönemi temsil etmektedir.

İnceleme alanına en yakın olan ve uzun yıllar veri elde edebileceğimiz Afyonkarahisar ili merkez istasyonundan elde edilen 30 yıllık (1990-2020) ortalama yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak Thornthwaite (1948) yöntemi ile potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) ve gerçek buharlaşma-terleme (Etr) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.1).



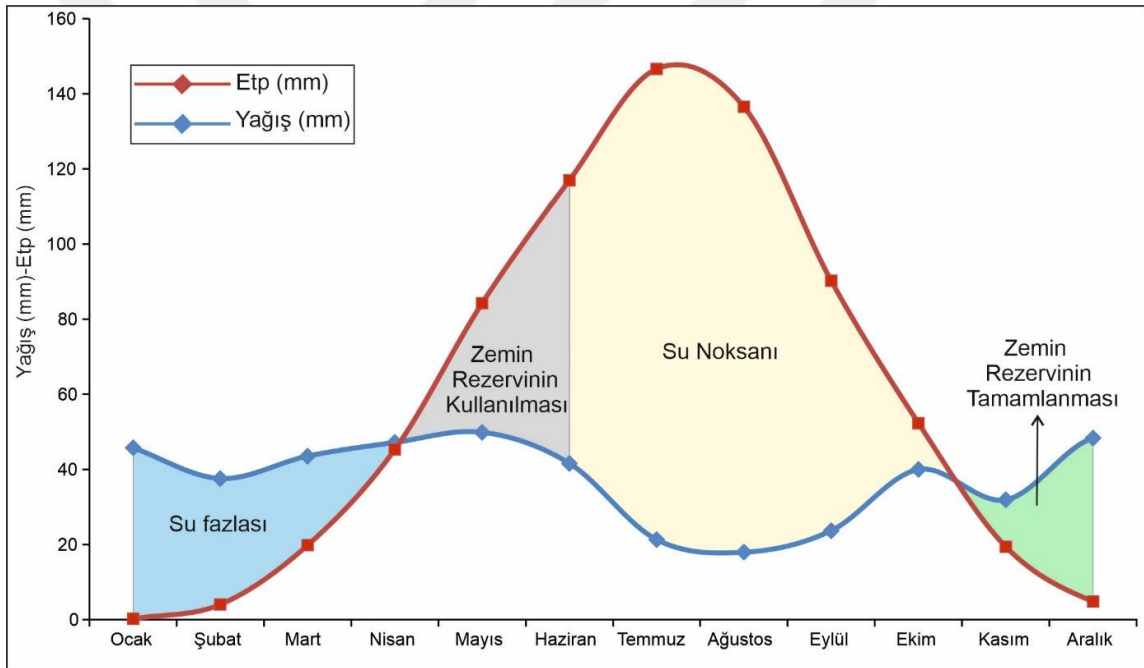
Şekil 4.15. İnceleme alanına ait uzun yıllar (1990-2020) a) yağış, b) sıcaklık dağılış grafikleri



Şekil 4.16. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (1990-2020)

4.2.1.2. Buharlaşma-Terleme

Thornthwaite yöntemi ile inceleme alanına ait deneştirmeli su bilançosunda; ortalama yıllık yağış miktarı 448,67 mm, düzeltilmiş buharlaşma-terlemenin (Etpc) yıllık miktarı 721 mm, gerçek buharlaşma-terleme miktarı (Etr) 388 mm olarak hesaplanmıştır. Gerçek buharlaşma-terleme miktarı toplam yağışın % 86,48'ine eşittir. Su fazlası 104,61 mm olup bu miktar tüm yağışın % 23,32'sine karşılık gelir. Ayrıca, bu verilerden faydalanılarak yağış ve potansiyel buharlaşma-terleme grafiği çizilmiştir (Şekil 4.17). Yağış-potansiyel buharlaşma terleme grafiğine göre inceleme alanında Kasım ayından Nisan ayının sonuna kadar yağış (P), potansiyel buharlaşma-terlemeden (Etp) fazlayken Haziran ayından Ekim ayının sonuna kadar su noksanı gözlenmektedir.



Şekil 4.17. Yağış ve Buharlaşma-Terlemenin değişim grafiği (30 yıllık ortalama: 1990-2020) (Thornthwaite 1948'e göre)

Çizelge 4.1. Yağış ve Buharlaşma-Terlemenin denestirmeli nem bilançosu (30 yıllık ortalama: 1990-2020) (Thornthwaite 1948'e göre)

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık sıcaklık ortalaması (°C)	0,26	2,21	6,18	10,84	15,7767	20,04	23,59	23,48	19,05	13,46	7,21	2,60	
Sıcaklık indisi	0	0,29	1,38	3,23	5,70	8,18	10,47	10,40	7,58	4,48	1,74	0,37	53,83
Potansiyel Buh-Ter (Etp-mm)	0	4,87	19,25	40,82	67,41	92,84	115,44	114,72	86,74	54,49	23,67	6,04	
Enlem düzeltme katsayısı	0,83	0,83	1,03	1,11	1,25	1,26	1,27	1,19	1,04	0,96	0,82	0,8	
Düzeltilmiş Etp-mm	0	4,05	19,82	45,31	84,26	116,98	146,61	136,52	90,21	52,31	19,41	4,83	721
Yağış-mm	45,75	37,58	43,54	47,16	49,871	41,59	21,31	17,96	23,69	39,97	31,93	48,33	448,67
Faydalı su yedeği-mm	100	100	100	100	65,6136	0	0	0	0	0	12,52	46,8	
Gerçek Buh-Ter (Etr-mm)	0	4,05	19,82	45,31	84,26	107,20	21,31	17,96	23,69	39,97	19,41	4,83	388
Su fazlası-mm	45,51	33,54	23,71	1,85	0	0	0	0	0	0	0	0,00	104,61
Su noksanı-mm	0	0	0	0	0	9,77	125,30	118,56	66,52	12,339	0	0	332,49

4.2.2. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanında bulunan litolojik birimlerin su bulundurabilme özelliklerine göre değerlendirildiğinde bölgedeki birimler; geçirimli, yarı geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz olarak sınıflandırılmıştır.

4.2.2.1. Geçirimli Birimler

İscehisar Mermerleri (Pzmr): İsimlendirildiği İscehisar ilçesi ve çevresinde görülen mermerlerden farklı olarak, inceleme alanında bol kırıklı ve çatlaklı yapıda olup çatlak açıklıkları yer yer 3 cm'ye kadar ulaşmaktadır. Kırıklı, çatlaklı olmasının yanında karstik boşluklar içeren birim "geçirimli birim" olarak kabul edilmiştir.

Gebeceler Formasyonu (Tmg): Çakıltası, kumtaşı, marn, silttaşı ve yatay tabakalı gölsel kireçtaşlarından oluşan Gebeceler formasyonundaki çakıltaları, iri taneli kumtaşları ve kireçtaşları geçirimli özellik sunmaktadır. İnceleme alanında birim içerisinde açılmış çok sayıda özel ve kurumlara ait soğuk su kuyuları bulunmakta olup bu kuyulardan çekilen yeraltı suları tarımsal sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Tüm bu verilere göre birim "geçirimli birim" olarak değerlendirilmiştir.

Toklargölü Formasyonu (PIQt): İnceleme alanında özellikle İhsaniye ilçesi ve çevresinde geniş bir yayılım sunan bu formasyona ait gevşek yapıda tutturulmamış olan çakıl ve kum boyutundaki malzemeler geçirimli özellik sunmaktadır. İhsaniye ve çevresinde sulama amacıyla açılmış olan sondaj kuyularının da akiferini bu birim oluşturmaktadır.

Traverten (Qtr): Gazlıgöl Fayı boyunca Gazlıgöl beldesinde dar bir alanda gözlenen ve oluşumu halen devam eden travertenler boşluklu, kırıklı ve çatlaklı yapısından dolayı geçirimli birim olarak değerlendirilmiştir.

Alüvyon (Qal): Kendinden yaşlı birimlerin litolojilerinden oluşan kil, silt, kum ve çakıl boyutundaki tutturulmamış malzemeler geçirimli birim olarak değerlendirilmiştir. Ancak inceleme alanındaki kalınlığına göre bu birimin verimi sınırlıdır. Gazlıgöl ve Yaylabağı çevresinde keson kuyularda su seviyesi ortalama 4 metre olup akiferini alüvyon oluşturmaktadır.

4.2.2.2. Yarı Geçirimli Birimler

Afyon Metamorfitleri (Pza): Afyon metamorfitleri içerisinde bulunan kuvarsit, kuvarsist ve kalkıştler bol kırıklı, çatlaklı ve erime boşluklarına sahip olmalarından dolayı geçirimli birimlerdir. Ayrıca Afyon metamorfitleri içerisindeki bu birimler bölgedeki sıcak suların akiferini oluşturmaktadırlar. Ancak birim içerisinde bulunan şistler (özellikle mikaşistler) döküntü şeklinde olup geçirimliliği düşürmektedir ve bu seviyeler geçirimsizdir. Bu nedenle Afyon metamorfitleri “yarı geçirimli birim” olarak değerlendirilmiştir.

Karakaya Volkanitleri (Tmaka): İnceleme alanında çoğunlukla bazaltlardan oluşan birim akma yapısı göstermekte olup, üst seviyelere doğru yoğun gaz boşlukları içermekte ve soğuma çatlakları izlenmektedir. Birim içerisindeki özellikle üst seviyelerdeki bağlantılı gaz boşlukları ve soğuma çatlakları birime ikincil gözeneklilik özelliği kazandırmıştır. Soğuma çatlakları yağışın yeraltına akışını kolaylaştırmaktadır. Birimin alt kısımlarında gaz boşluğu olmaması soğuma çatlaklarının bölgedeki kırıntılı malzeme ile dolması geçirimliliği olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca birim inceleme alanında yer yer tuf ve aglomera ile geçişli olup bu özelliğinden dolayı yarı geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

Erdemir Formasyonu (Tme): İnceleme alanında dar bir alanda yüzlek veren birim çamurtaşı, çakıltası ve kumtaşından oluşmaktadır. Bu birimler çoğunlukla killi ve siltli bağlayıcı malzeme ile tutturulduğu ve alterasyon göstermesi birimin gözenekliliğini olumsuz yönde etkilemekte olup birim yarı geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

4.2.2.3. Az Geçirimli Birimler

Seydiler İgnimbiriti (Tmsi): Seydiler ignimbiriti inceleme alanında çok geniş bir yayılım sunmaktadır. Birim istiflenme bakımından özellikle alt seviyelerde daha masif ve kaynaklanma derecesi yüksek olup, üst seviyelere doğru gaz boşlukları görülmektedir. Bağlayıcı matriksin volkan camı ve metamorfik kaya parçalarından oluşması ve taban seviyelerde kaynaklanma derecesinin yüksek olması geçirimliliğini düşürmüştür. Üst seviyelerde gaz boşluklarının olması ve soğuma çatlaklarının varlığı gözenekliliği arttırmış fakat bu birimden sınırlı su alınabilmektedir. Bu nedenle birim “az geçirimli birim” olarak değerlendirilmiştir.

4.2.2.4. Geçirimsiz Birimler

Erdemir, Gebeceler ve Toklargözü formasyonları içerisindeki kil, silt ve çamurtaşı seviyeleri geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır. Ayrıca Afyon metamorfileri içerisindeki görülen şistler de sıcak suların geçirimsiz seviyelerini oluşturmaktadırlar.

4.2.3. Su Noktaları

4.2.3.1. Yüzeysel Suları

İnceleme alanında yüzeysel suyu olarak sadece Alçın Çayı bulunmakta olup geçmiş yıllarda akışa sahip olan bu çay, günümüzde tamamen kurumuştur. Fakat Gazlıgöl merkezinde yer alan günöbirlik termal apartlar, deşarj yeri olarak bazı noktalarda bu dere yatağını kullanmaktadır.

4.2.3.2. Soğuk Su Kuyuları

İnceleme alanı ve çevresinde Devlet Su İşleri (DSİ), Belediyeler ve şahıslara ait sulama ve içme-kullanma amacıyla açılmış birçok soğuk su kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyularda 6 tanesinde örnekleme yapılmış ve HC1, HC11 ve HC12 nolu örnekler derin kuyular olup derinlikleri 150-160 m arasında, debileri ise 4-68 l/sn arasında değişmektedir. HC3, HC6 ve HC10 nolu örnekler ise sığ kuyular olup derinlikleri 7-15 m arasında ve debileri ise 4-7 l/sn arasında değişmektedir (Şekil 4.18).

Soğuk su sondajlarının akiferini, inceleme alanının büyük çoğunluğunda yayılım sunan Gebeceler formasyonuna ait kireçtaşı, çakıltası, kumtaşı, Seydiler İgnimbiritlerine ait tüfler ve Toklargözü formasyonuna ait çakıl ve kum boyutundaki birimler oluşturmaktadır.

4.2.3.3. Soğuk Su Kaynakları

İnceleme alanında 5 adet soğuk su kaynağı (HC2, HC5, HC7, HC8, HC9) ve 1 adet çeşme bulunmaktadır. Bu kaynaklardan 2 tanesi (HC7, HC9) Afyon Metamorfileri içerisinde boşalmaktadır. HC5 ve HC8 numaralı kaynak Seydiler İgnimbiritleri ile Afyon metamorfileri dokanağında görülürken, HC2 numaralı kaynak Toklargözü

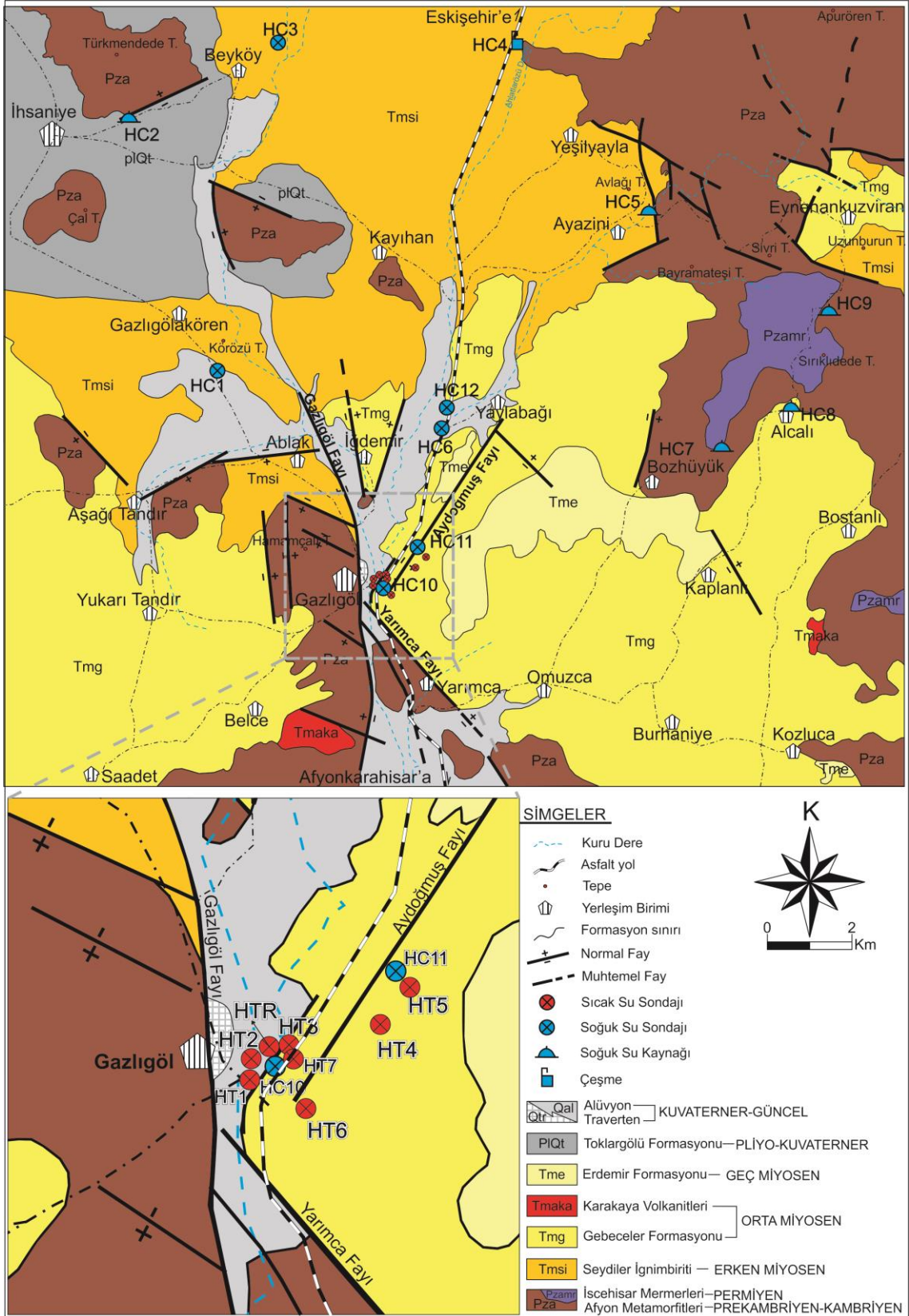
formasyonu ile Afyon metamorfikleri dokanağından çıkmaktadır. Bölgedeki kaynaklar fay ve kırık çatlak kaynağı olup debileri 0,5-4 lt/sn arasında değişmektedir. Ayrıca inceleme alanındaki HC4 numaralı çeşmenin debisi yaklaşık 24 lt/sn'dir.

4.2.3.4. Sıcak Su Kuyuları

İnceleme alanında Gazlıgöl ve çevresinde Afyon Gazlıgöl Yaylabağı Havzası Jeotermal Isı Dağıtım Turz. San. ve Tic. A.Ş. (AFGAZJET) tarafından açılmış 7 adet sıcak su kuyusu ve 1 adet Reenjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. Ayrıca bölgede İl Özel İdaresince ruhsatlandırılmış şahıs ve özel şirketlere ait birçok Jeotermal derin sıcak su kuyuları bulunmaktadır. İnceleme alanındaki jeotermal kuyulardan alanın genelini yansıtacak ve birbirine çok yakın olmayan toplam 7 adet derin sıcak su kuyusundan örnekleme yapılmıştır. Örnekleme yapılan bu kuyuların derinliği 270-650 m. arasında, debileri 11-40 lt/sn arasında değişmektedir.

4.2.3.5. Sıcak Su Kaynakları

Gazlıgöl Fayı boyunca geçmiş dönemlerde kendiliğinden yüzeye çıkan sıcak su kaynakları bulunmaktaydı fakat günümüzde Gazlıgöl-Yaylabağı havzası genelinde açılan çok sayıda derin jeotermal kuyular, rezervuar basıncını düşürdükleri için bu kaynakları kurutmuşlardır.



4.3. HİDROJEOKİMYA

4.3.1. Suların Fiziksel Özellikleri

İnceleme alanından alınan soğuk ve sıcak su örneklerinin kurak (Ekim 2020) ve yağışlı (Mayıs 2021) dönemdeki fizikokimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.2 ve 4.3' de verilmiştir.

İnceleme alanından alınan soğuk su örneklerinin kurak dönemdeki sıcaklıkları 14 -24,5 °C arasında değişmekte olup ortalama 18,1 °C iken sıcak su örnekleri ise 60-73,5 °C arasında değişmekte olup ortalama 68,5 °C'dir. Yağışlı dönemde (Mayıs 2021) soğuk su örneklerinin sıcaklık değerleri 14,3-21,8 °C arasında olup ortalama 17,98 °C iken sıcak sular 58,5-74 °C arasında değişmekte olup ortalama 69 °C'dir. Ayrıca inceleme alanında bir adet reenjeksiyon kuyusundan alınmış olan sıcak su örneğinin kurak ve yağışlı dönemdeki sıcaklığı ise sırasıyla 55,8 ve 52,3 °C olup bu sıcaklık değerleri ısıtma sisteminden dolaşıp dönen su sıcaklığıdır. İnceleme alanından alınan HC11 nolu su örneğinin sıcaklığı her iki dönemde de 20 °C'nin üzerinde olup kurak dönemde 24,5 °C ve yağışlı dönemde 21,8 °C'dir. HC11 nolu örneğin derinliği 160 metre olup belirlenen sıcaklık değerleri bölgedeki sıcak suların karışımını yansıtmaktadır.

Soğuk su örneklerinin kurak ve yağışlı dönemlerde ölçülen pH değerleri sırasıyla 7,08-8,14 arasında değişmekte olup ortalama 7,63 ve 7,21-8,25 arasında değişmekte olup ortalama 7,68'dir. İncelenen sıcak su örneklerinin ise kurak ve yağışlı dönemde pH değerleri sırasıyla 7,05-7,46 arasında olup ortalama 7,22 ve 7,26-7,54 arasında olup ortalama 7,39'dur. Reenjeksiyon su örneğinin (HTR) pH değeri ise kurak ve yağışlı dönemde 7,58 ve 7,60'dir. Her iki dönemde de hem soğuk sular hem de sıcak suların pH değerleri 7'nin üstünde olup hafif alkali bir karakterdedir.

Soğuk suların elektriksel iletkenlik değerleri kurak dönemde 136-1927 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmekte olup ortalama 635 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sıcak suların EC değerleri ise 3920-4050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmekte olup ortalama 3866 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Yağışlı dönemde ise soğuk suların ortalama EC değerleri 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iken sıcak suların EC değerleri ortalama 3845 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Ayrıca Reenjeksiyon su örneğinin (HTR) kurak ve yağışlı dönemde EC değerleri sırasıyla 3910 ile 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Her iki dönemde de sıcak suların EC değerleri soğuk suların EC değerlerinden oldukça yüksek olup akiferdeki çözünme işlemlerinin daha yüksek olduğunu yansıtmaktadır. Soğuk suların EC değerleri genel

olarak yağışlı dönemde düşmüş olup bu durum yağışlarla seyrelmeye işaret edebilir. Sıcak suların yağışlı dönemde EC değeri azalmasına rağmen çok büyük fark yaratmamıştır.

4.3.2. Suların Kimyasal Özellikleri

Suların kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla Piper (1944) ve yarı logaritmik Schoeller diyagramları yaygın olarak kullanılmaktadır. İnceleme alanından kurak ve yağışlı dönemde alınan soğuk ve sıcak suların ana kimyasal bileşimleri Piper ve Schoeller diyagramları kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca suların Schoeller sınıflaması ve Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflamasına göre değerlendirilmesi yapılmıştır.

4.3.2.1. Piper Diyagramı

Kurak (Ekim 2020) dönemde alınan soğuk su örneklerinden HC10 ve HC11 nolu örnekler hariç diğer tüm örnekler Piper diyagramında 1 ve 3 nolu bölgelere düşmüştür. Buna göre $Ca+Mg > Na+K$ olup bu tip sular karbonatlı ve sülfatlı sulardır ve $HCO_3+CO_3 > Cl+SO_4$ olup zayıf asit kökleri güçlü asit köklerden daha çoktur. HC10 ve HC11 nolu örnekler ise 2 ve 3. bölgelere düşmüş olup tuzlu ve sodalı sulardır ve $Na+K > Ca+Mg$ ve $HCO_3+CO_3 > Cl+SO_4$ olup bu tip sular da zayıf asit kökleri güçlü asit köklerden daha çoktur (Şekil 4.19). Ayrıca diyagramda HC10 ve HC11 nolu örnekler 9. bölgeye düşmüş olup bu örneklerde iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sular sınıfındadır. Diğer tüm soğuk sular 5. bölgede olup karbonat sertliği $>$ karbonat olmayan sertlik ve karbonat sertliği %50'den fazla olan sular olup bu tip sular $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ 'lü sulardır.

Çizelge 4.2. İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örneklerine ait fizikokimyasal analiz sonuçları (mg/l) (Ekim 2020)

Örnek No	Sıcaklık (°C)	pH	EC	TDS	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	SiO ₂	F
Soğuk sular														
HC1	20	7,10	440	368	25,61	11,83	58,67	9,26	225,6	14,14	20,35	4,71	36,4	0,52
HC2	19,5	7,47	396	303	11,52	0,58	42,68	18,23	212	8,97	7,1	2,89	-	0,10
HC3	14,8	7,87	136	115	10,45	2,61	21,23	2,464	78,36	4,36	6,78	3,79	-	0,08
HC4	18,5	7,95	516	412	16,32	5,12	67,36	22,31	281,6	10,35	18,67	5,63	-	0,27
HC5	21	7,64	392	332	8,191	4,84	57,34	20,48	234,2	8,81	18,68	0,56	-	0,31
HC6	14	7,45	1091	694	45,12	18,14	119,4	26,87	287,4	63,57	119	28,36	19,6	0,19
HC7	14,6	8,00	217	175	10,36	0,36	25,58	9,16	105,5	7,73	11,83	5,03	15,7	0,22
HC8	20,1	8,14	289	246	11,24	0,44	31,25	15,74	161,7	6,33	9,09	2,83	-	0,27
HC9	16,1	7,85	244	210	7,164	0,38	34,38	11,69	143,1	4,61	5,66	5,89	14,8	0,18
HC10	18,8	7,70	1927	1703	329,1	59,06	103,2	37,96	889,3	84,07	212,4	1,74	25,8	1,65
HC11	24,5	7,08	1170	1021	176,2	27,60	101,4	13,71	672,6	34,51	49,13	8,86	41,3	0,56
HC12	16,1	7,33	808	652	22,34	7,69	120,3	26,84	367	48,26	58,94	4,38	31,4	0,23
Sıcak sular														
HT1	72	7,13	3940	3800	939,0	81,97	179,84	29,47	2696	138	3,87	3,50	51,1	3,46
HT2	70	7,05	3930	3818	955,7	83,69	128,6	31,56	2597	147,6	6,92	3,50	56,0	3,47
HT3	68,5	7,10	3960	3867	928,4	81,23	154,5	31,68	2612	138,7	4,68	3,5	49,3	3,47
HT4	68	7,46	3920	3856	934,7	82,39	168,95	34,69	2694	137	3,89	3,49	54,0	2,97
HT5	68	7,38	3950	3860	936,6	83,29	173,12	32,18	2701	135	3,8	3,49	58,5	3,42
HT6	60	7,10	4050	3975	958,6	79,75	157,04	29,38	2700	128,8	1,65	3,49	52,7	3,24
HT7	73,5	7,34	3950	3889	932,9	82,03	165,55	32,62	2679	144,7	3,59	3,48	57,9	3,38
HTR	55,8	7,58	3910	3780	937,6	78,36	57,68	30,12	2483	132,6	6,38	3,48	43,4	3,24

Çizelge 4.3. İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örneklerine ait fizikokimyasal analiz sonuçları (mg/l) (Mayıs 2021)

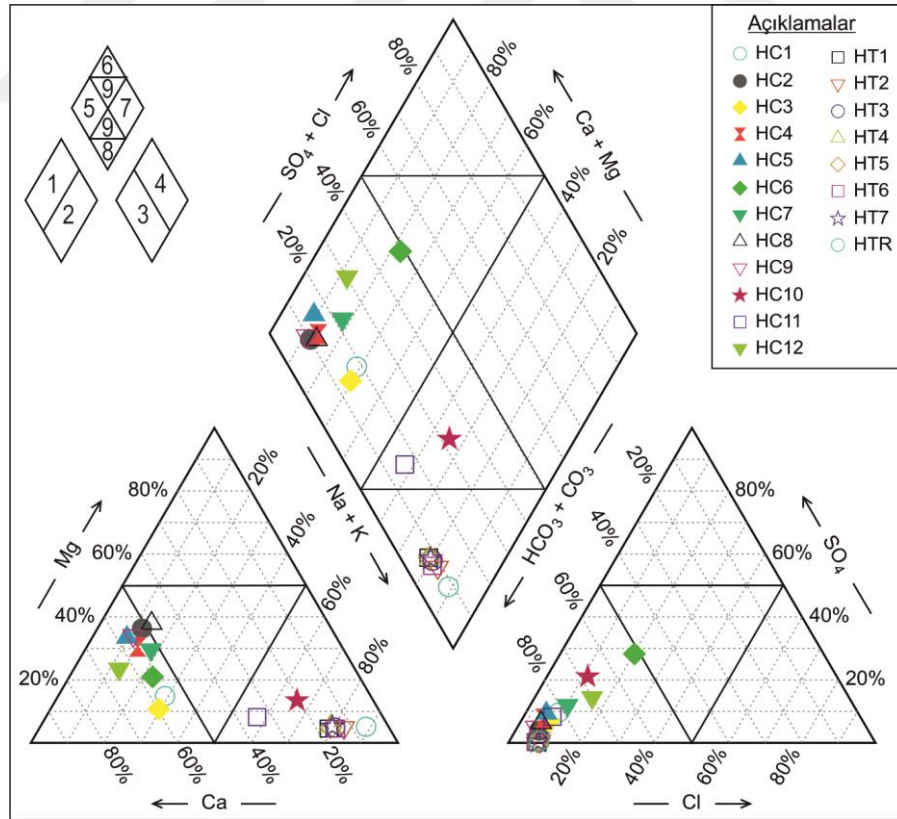
Örnek No	Sıcaklık (°C)	pH	EC	TDS	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	NO ₃	F
Soğuk sular													
HC1	19,8	7,6	437	366	29,17	20,81	48,63	7,64	217,2	19,88	18,21	4,05	0,47
HC2	19,1	7,46	411	307	12,82	0,76	45,39	19,09	225,7	10,28	7,52	2,42	0,32
HC3	14,3	7,5	136	129	9,67	1,98	24,38	2,24	84,68	4,82	4,96	2,95	0,11
HC4	18,4	7,9	528	400	14,97	4,23	66,32	21,47	285,3	9,28	20,34	4,86	0,23
HC5	19,7	7,72	387	358	7,58	4,07	59,67	21,34	247,6	8,67	17,69	0,64	0,31
HC6	17,6	7,26	1055	712	45,23	19,40	26,61	31,01	304	65,74	124,3	35,03	0,20
HC7	15,2	7,68	210	152	11,34	0,41	20,24	8,46	91,04	7,78	12,19	5,16	0,21
HC8	19,8	8,25	284	237	11,39	0,37	32,29	16,27	163,4	6,84	9,85	3,29	0,27
HC9	16	8	230	219	7,18	0,184	37,95	11,09	147,8	5,04	6,61	4,26	0,18
HC10	16,2	8,05	1007	816	194,14	33,68	20,50	9,58	421	40,86	91,98	2,46	1,55
HC11	21,8	7,21	1120	1042	178,7	27,94	100,23	12,67	659,3	38,09	48,69	5,497	0,56
HC12	15,8	7,53	795	628	26,82	10,47	111,84	25,35	344,8	37,11	67,75	3,36	0,18
Sıcak sular													
HT1	74	7,26	3975	3815	956,09	82,13	83,50	15,66	2538,43	135,96	2,92	3,18	3,37
HT2	72	7,34	3940	3835	978,45	87,38	109,65	12,87	2528,06	143,15	6,14	3,18	3,47
HT3	72,5	7,42	3910	3812	961,57	83,24	98,37	14,57	2509,8	140,34	4,11	3,14	3,34
HT4	67	7,54	3914	3842	956,25	84,66	128,37	17,36	2564,01	133,72	3,17	3,09	2,71
HT5	66,7	7,39	4009	3853	939,00	85,29	85,64	16,38	2587,6	136,54	3,06	3,11	3,38
HT6	58,5	7,32	4010	3972	994,09	80,87	64,13	18,91	2681,83	131,54	1,63	3,18	3,08
HT7	72,8	7,48	3945	3788	951,38	84,23	98,76	17,79	2499,67	133,83	2,87	3,14	3,26
HTR	52,3	7,60	4000	3846	944,73	80,99	78,40	15,41	2584,2	135,00	7,46	3,18	3,38

Çizelge 4.4. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulara ait iz element konsantrasyonları (mg/l)

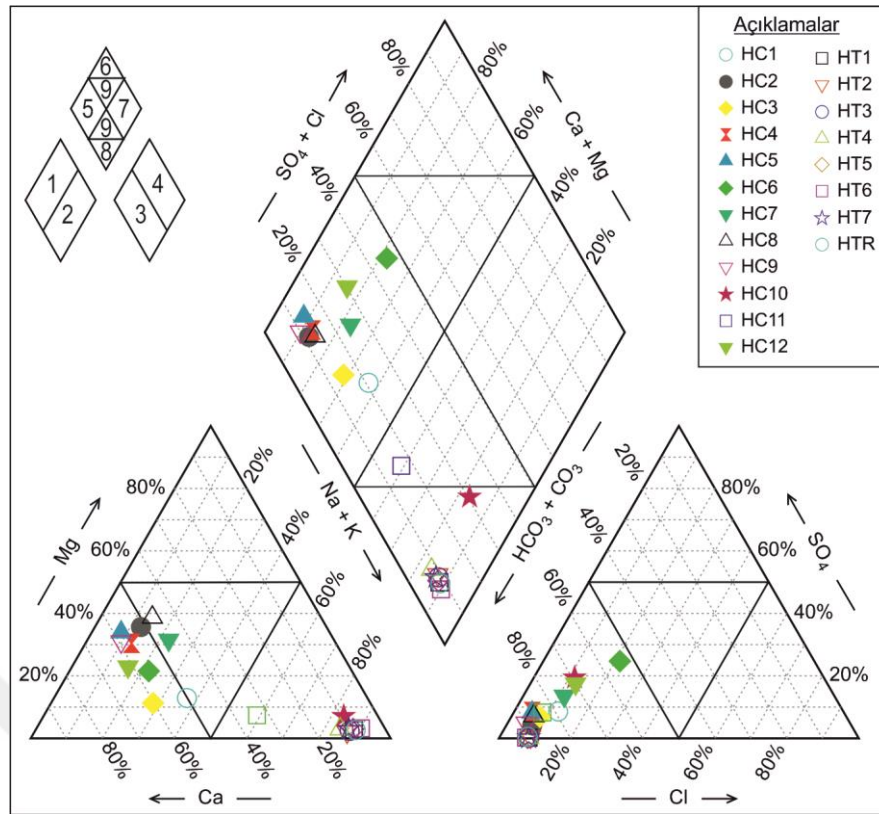
	Al	As	B	Ba	Br	Cd	Co	Cu	Fe	Li	Mn	Mo	Pb	Sr	Zn
Soğuk sular															
HC1	<0,01	0,057	0,19	0,11	0,165	<0,01	<0,01	<0,01	0,360	0,042	0,210	<0,05	<0,01	0,371	<0,01
HC6	<0,01	0,760	0,39	<0,05	0,467	<0,01	<0,01	<0,01	0,097	0,093	<0,05	<0,05	<0,01	0,247	<0,01
HC7	<0,01	0,002	0,013	<0,05	0,014	<0,01	<0,01	<0,01	0,068	0,021	<0,05	<0,05	<0,01	0,647	<0,01
HC10	<0,01	0,119	2,00	<0,05	0,711	<0,01	<0,01	<0,01	0,150	0,910	<0,05	<0,05	<0,01	0,286	<0,01
HC11	<0,01	0,086	2,69	0,19	0,458	<0,01	<0,01	<0,01	0,244	1,127	<0,05	<0,05	<0,01	0,764	<0,01
HC12	<0,01	0,018	0,60	<0,05	0,265	<0,01	<0,01	<0,01	0,169	1,159	<0,05	<0,05	<0,01	0,581	<0,01
Sıcak sular															
HT1	<0,01	0,045	9,00	0,34	1,164	<0,01	<0,01	<0,04	0,684	2,857	0,070	<0,05	<0,01	1,180	<0,01
HT2	<0,01	0,031	9,14	0,48	1,168	<0,01	<0,01	0,16	0,399	2,467	0,060	<0,05	<0,01	1,510	2,750
HT3	<0,01	0,057	9,32	0,34	1,038	<0,01	<0,01	0,09	0,417	2,987	0,040	<0,05	<0,01	0,982	<0,01
HT4	<0,01	0,009	9,12	0,35	1,162	<0,01	<0,01	<0,01	0,376	2,737	0,100	<0,05	<0,01	1,281	<0,01
HT5	<0,01	0,073	9,21	0,40	1,165	<0,01	<0,01	0,12	0,721	2,841	0,030	<0,05	<0,01	1,697	0,87
HT6	<0,01	0,051	9,10	0,37	1,157	<0,01	<0,01	<0,01	0,465	2,134	0,040	<0,05	<0,01	1,468	<0,01
HT7	<0,01	0,012	9,12	0,36	1,164	<0,01	<0,01	0,27	0,379	2,398	0,080	<0,05	<0,01	1,281	0,370

Yağışlı (Mayıs 2021) dönemde ise HC10 ve HC11 nolu soğuk su örnekleri hariç tüm örnekler 1 ve 3 nolu bölgede olup, HC10 ve HC11 nolu örnekler ise 2 ve 3 nolu bölgeye düşmüştür. Sadece HC10 nolu soğuk su örneği kurak dönemde 9. bölgedeyken yağışlı dönemde 8. bölgeye düşmüş olup bu tip sular karbonat alkaliliği > karbonat olmayan alkalilik ve NaHCO_3 tip sulardır. HC11 nolu örnek yağışlı dönemde de 9 nolu bölgeye düşmüş olup iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sular sınıfındadır. Diğer tüm soğuk su örnekleri yağışlı dönemde de 5 nolu bölgeye düşmüş olup karbonat sertliği %50'den fazla olan sulardır ve bu tip sular CaCO_3 ve MgCO_3 'lü sular sınıfındadır (Şekil 4.20).

İnceleme alanından alınan sıcak sular hem kurak dönemde hem de yağışlı dönemde, Piper diyagramında 2, 3 ve 8. bölgelere düşmüş olup alkali elementler (Na+K) alkali toprak elementlerinden (Ca+Mg) fazla olduğu ve zayıf asit köklerinin toplamının ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$) güçlü asit köklerinin ($\text{Cl} + \text{SO}_4$) toplamından oldukça fazla olduğu görülmektedir. Bu tip sular karbonat alkaliliği karbonat olmayan alkalilikten çok olan su tipindedir.



Şekil 4.19. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulardan alınan su örneklerinin Piper diyagramındaki konumu (Ekim-2020)



Şekil 4.20. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulardan alınan su örneklerinin Piper diyagramındaki konumu (Mayıs-2021)

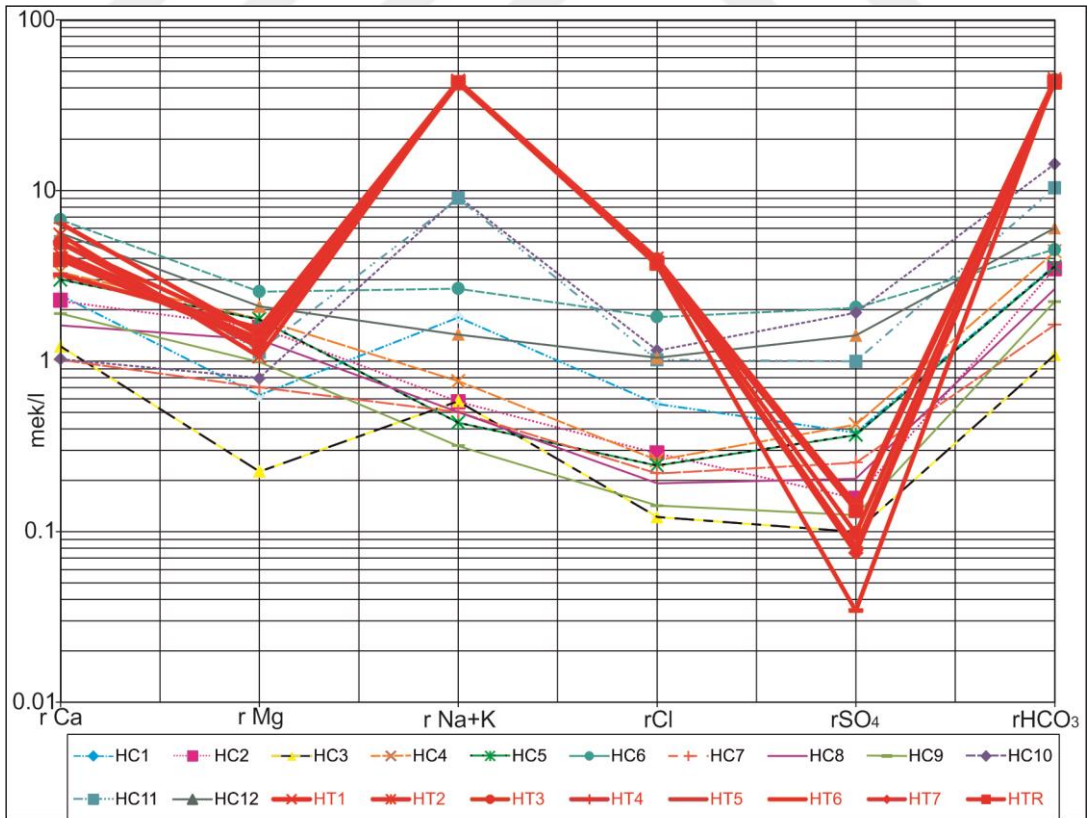
4.3.2.2. Schoeller Diyagramı

İnceleme alanından kurak ve yağışlı dönemlerde alınan sıcak ve soğuk su örnekleri yarı logaritmik Schoeller diyagramı üzerinde incelenmiştir (Şekil 4.21, 4.22).

Schoeller diyagramında her iki dönemde de sıcak su örneklerine ait iyonları birleştiren doğruların paralel olduğu gözlenmiş olup aynı akiferden geldiğini göstermektedir. Sıcak sularda hakim katyon Na+K iken hakim anyon HCO_3 olup Na- HCO_3 tip sulardır. İnceleme alanındaki soğuk su örneklerinde HC10 ve HC11 nolu örnekler sıcak suların iyon içeriklerine paralel bir iyon değişimine sahiptir. Bu durum suların sıcak sulara benzer bir litolojik özelliğe sahip akiferden gelmiş olduğunu veya sıcak sularla karışım olabileceğini göstermektedir. Fakat bu sularda SO_4 iyonu sıcak sulara göre daha yüksek değerlerde iken diğer ana iyonlar daha düşük konsantrasyonlardadır. Diğer tüm soğuk sularda Ca ve HCO_3 yüksek konsantrasyonlara sahip olup iyonları birleştiren doğrular paralellik sunmaktadır. Bu durum bölgedeki soğuk suların benzer litolojik özelliğe sahip akiferlerden geldiğini göstermektedir.



Şekil 4.21. İnceleme alanından alınan su örneklerine ait Schoeller diyagramı (Ekim 2020)



Şekil 4.22. İnceleme alanından alınan su örneklerine ait Schoeller diyagramı (Mayıs 2021)

4.3.2.3. Schoeller Sınıflaması

Schoeller (1955), suları klorür, sülfat ve bikarbonat miktarına göre sınıflamış olup Schoeller sınıflaması Çizelge 4.5’de verilmektedir.

Çizelge 4.5. Schoeller (1955)’e göre su sınıflaması

Su Sınıflaması	Su Sınıfı	Cl miktarı (meq/l)
KLORÜR SINIFLAMASI	Olağan klorürlü su	< 15
	Oligoklorürlü su	15-40
	Orta klorürlü su	40-140
	Klorürce zengin su	140-420
	Klorotalastik su	420-700
	Hiperklorürlü su	700 <
	Su Sınıfı	SO ₄ miktarı (meq/l)
SÜLFAT SINIFLAMASI	Olağan sülfatlı su	< 6
	Oligosülfatlı su	6-24
	Sülfatlı su	24-58
	Hiposülfatlı su	58<
	HCO ₃ -CO ₃ miktarı (meq/l)	HCO ₃ -CO ₃ miktarı (meq/l)
KARBONAT- BİKARBONAT SINIFLAMASI	Hipokarbonatlı su	< 2
	Olağan karbonatlı su	2-7
	Hiperkarbonatlı su	7 <

Schoeller (1955) su sınıflamasına göre her iki dönemde de HT2 ve HTR örnekleri hariç diğer tüm sıcak sular “Olağan klorürlü-olağan sülfatlı-hiperkarbonatlı sular” sınıfındadır. HT2 ve HTR örnekleri ise “Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı sular” sınıfındadır. Schoeller su sınıflamasına göre kurak dönemde soğuk sulardan HC3 ve HC7 numaralı örnekler “Olağan klorürlü-olağan sülfatlı-hipokarbonatlı sular” sınıfında, HC1, HC2, HC4, HC5, HC6, HC8, HC9 ve HC12 nolu örnekler “Olağan klorürlü-olağan sülfatlı-olağan karbonatlı sular” sınıfında ve HC10 ile HC11 nolu örnekler “Olağan klorürlü-olağan sülfatlı-hiperkarbonatlı sular” sınıfında bulunmuştur. Yağışlı dönemde ise sadece HC10 numaralı soğuk su örneği “Olağan klorürlü-olağan sülfatlı-hiperkarbonatlı sular” sınıfından “Olağan klorürlü-olağan sülfatlı-olağan karbonatlı sular” sınıfına geçmiştir.

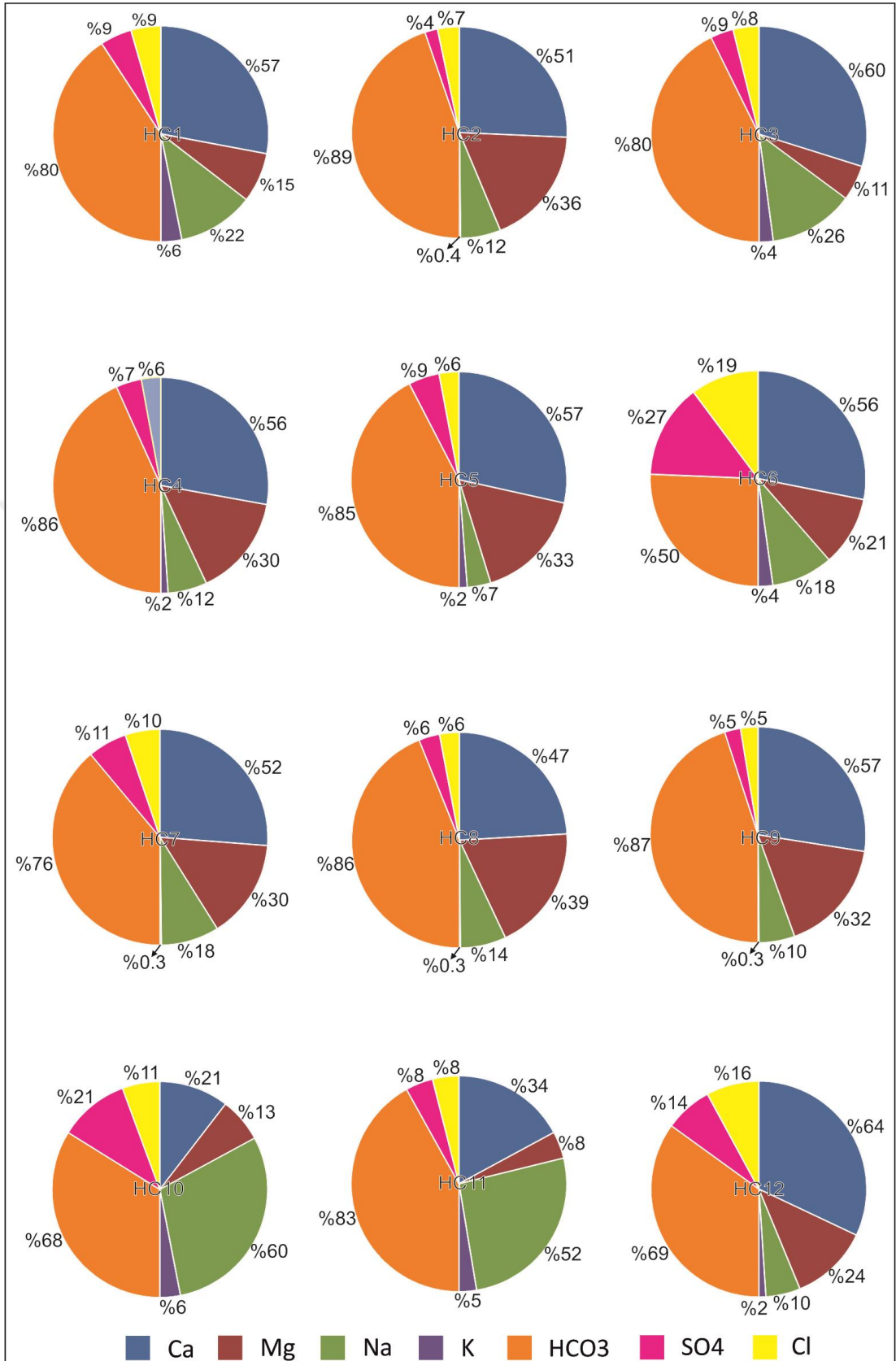
4.3.2.4. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) Sınıflaması

Suların kimyasal özelliklerini karşılaştırabilmek, suları kimyasal özelliklerine göre ayırt edebilmek, su kayaç etkileşimi ve kökenleri ile ilgili değerlendirme yapabilmek ve su tiplerini belirleyebilmek için yapılan çeşitli sınıflama yöntemlerinden biri de IAH sınıflamasıdır. Bu sınıflamada sudaki iyonların % miliekivalen değerleri kullanılmaktadır.

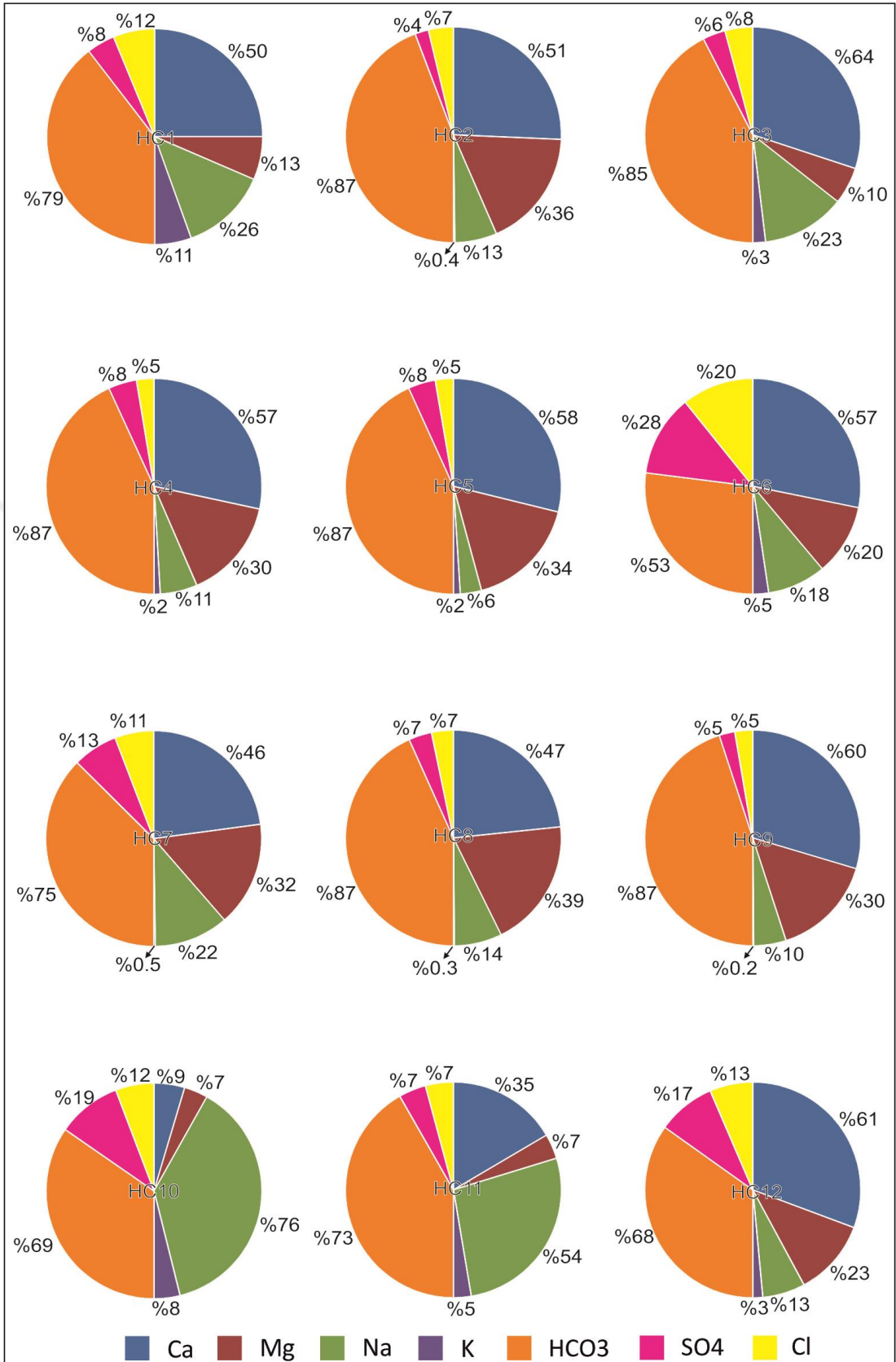
İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların kurak ve yağışlı dönemlere ait IAH sınıflama sonuçları Çizelge 4.6’ da verilmektedir. Ayrıca sıcak ve soğuk su örneklerinin her iki döneme ait ana iyon dağılım yüzdelelerini gösteren Pie diyagramları Şekil 4.23, 4.24 ve 4.25’de verilmektedir.

Çizelge 4.6. İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örneklerinin IAH (1979) sınıflaması

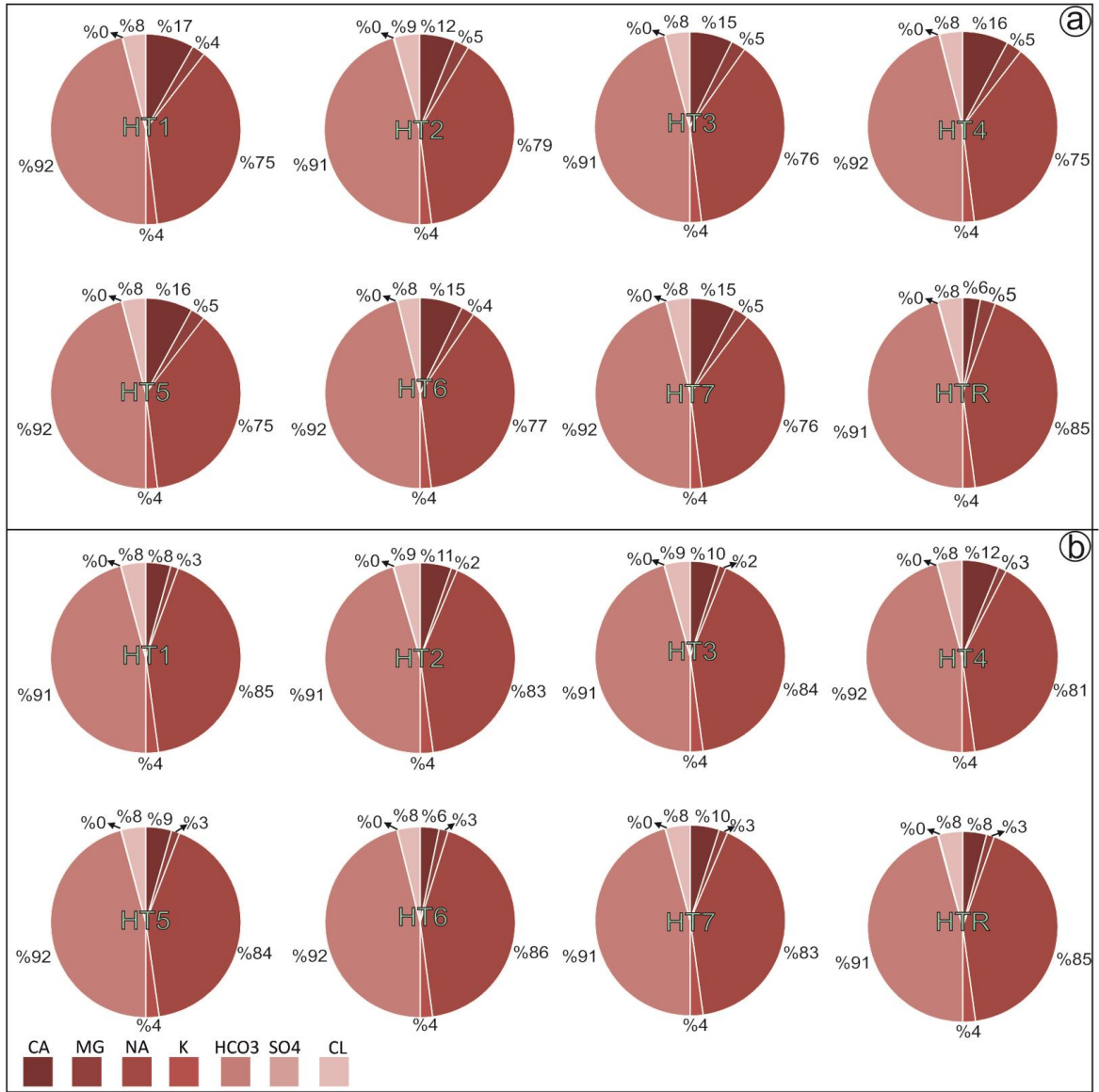
Örnek Adı	Ekim 2020	Mayıs 2021	Örnek Adı	Ekim 2020	Mayıs 2021
Soğuk Sular			Sıcak Sular		
HC1	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	HT1	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃
HC2	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	HT2	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃
HC3	Ca-Na-HCO ₃	Ca-Na-HCO ₃	HT3	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃
HC4	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	HT4	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃
HC5	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	HT5	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃
HC6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	HT6	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃
HC7	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-Na-HCO ₃	HT7	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃
HC8	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃	HTR	Na-HCO ₃	Na-HCO ₃
HC9	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃			
HC10	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄	Na-HCO ₃			
HC11	Na-Ca-HCO ₃	Na-Ca-HCO ₃			
HC12	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃			



Şekil 4.23. İnceleme alanındaki soğuk su örneklerinin Pie diyagramları (Ekim-2020)



Şekil 4.24. İnceleme alanındaki soğuk su örneklerinin Pie diyagramları (Mayıs-2021)



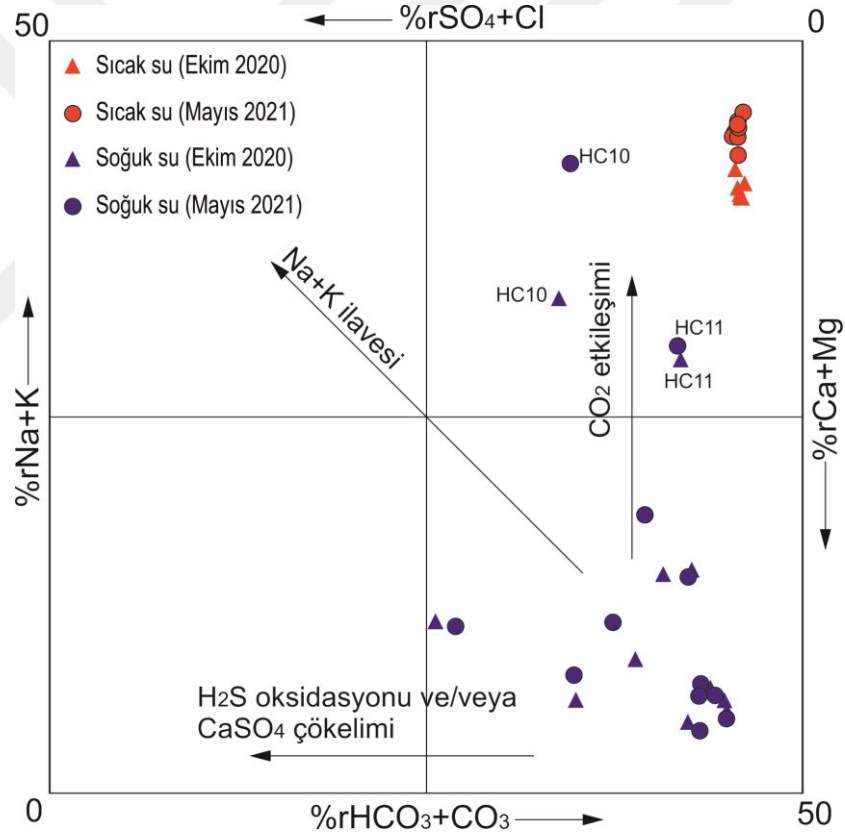
Şekil 4.25. İnceleme alanındaki sıcak sularından alınan su örneklerinin Pie diyagramları (Ekim 2020 ve Mayıs-2021)

4.3.2.5. Suların majör iyon kimyasının değerlendirilmesi

İnceleme alanındaki sıcak sulara hakim katyon Na olup kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla ortalama 941 ile 960 mg/l'dir. Minor katyonlar ise Ca (kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla ortalama 161,09-93,35 mg/l), K (kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla ortalama 82,05-83,60 mg/l) ve Mg (kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla ortalama 31,66 ile 16,12 mg/l) dur. Hakim anyon ise HCO₃ olup kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla 2668 ile 2562 mg/l arasında değişmektedir. Cl (kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla ortalama 139 ile 136 mg/l) ve SO₄ (kurak ve yağışlı dönemde

sırasıyla ortalama 4,1 ile 3,9 mg/l) ise minor anyonları oluşturmaktadır. Genel olarak sıcak sular soğuk sulara göre çok daha yüksek iyon konsantrasyonlarına sahiptir.

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sular Langelier-Ludwing (1942) diyagramında Na ve HCO₃ iyonlarınca zengin bölgeye düşmüş olup bu tip sular Na-HCO₃ tip sulardır (Şekil 4.26). Gazlıgöl sıcak sularının ana rezervuar kayaçlarını Afyon metamorfikleri içerisinde bol kırıklı, çatlaklı ve erime boşluklarına sahip kuvarsit, kuvarşist ve kalkşistler oluşturmaktadır. Bu kayaçlarla birlikte bulunan mikaşistler ve gnayslardaki alkali feldispatların kimyasal ayrışması sonucu yüksek Na konsantrasyonlarına neden olmuştur. Ayrıca killi seviyelerde Na ile Ca veya Mg iyonları arasında gerçekleşen iyon değişim reaksiyonları sıcak sulardaki Na iyonunun daha da artmasına neden olmuş olabilir.



Şekil 4.26. İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak sulara ait Langelier-Ludwing diyagramı (Langelier ve Ludwing, 1942)

Baz (iyon) değişim indeksleri (BEI) iyon değişimi sonucu artan iyonların iyon değişim öncesi benzer iyonların oranına denir. Reaksiyon başlangıcında Cl iyonu kadar Na+K iyonları olduğu varsayılır ve aşağıdaki formüllere göre baz değişim indeksleri

hesaplanır (Şahinci, 1991a). Formülde verilen iyon konsantrasyonları meq/l olarak alınır.

BEI-I: $Cl-Na+K/Cl$ (Schoeller, 1934)

BEI-II: $Cl-Na+K/(HCO_3+SO_4+NO_3)$ (Şahinci, 1991a)

Çizelge 4.7. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulara (Ekim 2020) ait iyonik oranları ve Baz Değişim İndeksleri (meq/l)

Örnek No	Ca/Mg	Ca/Na	Na/Cl	K/Cl	Mg/Cl	Ca/Cl	SO ₄ /Cl	HCO ₃ /Cl	BEI-I	BEI-II
Soğuk Sular										
HC1	3,85	2,63	2,79	0,76	1,91	7,36	1,06	9,28	-2,55	-0,24
HC2	1,42	4,26	1,98	0,06	5,94	8,45	0,59	13,75	-1,04	-0,07
HC3	5,53	2,34	3,70	0,54	1,65	8,64	1,15	10,46	-3,24	-0,27
HC4	1,83	4,75	2,43	0,45	6,29	11,54	1,33	15,82	-1,88	-0,11
HC5	1,70	8,05	1,43	0,50	6,79	11,55	1,57	15,46	-0,93	-0,05
HC6	2,70	3,04	1,10	0,26	1,24	3,33	1,38	2,63	-0,36	-0,08
HC7	1,70	2,84	2,07	0,04	3,46	5,87	1,13	7,94	-1,11	-0,12
HC8	1,21	3,20	2,74	0,06	7,26	8,76	1,06	14,85	-1,80	-0,11
HC9	1,79	5,52	2,40	0,08	7,40	13,23	0,91	18,04	-1,47	-0,07
HC10	1,65	0,36	6,04	0,64	1,32	2,18	1,87	6,15	-5,68	-0,71
HC11	4,49	0,66	7,88	0,73	1,16	5,21	1,12	11,17	-7,61	-0,61
HC12	1,17	6,19	0,71	0,15	1,62	4,42	0,90	4,42	0,14	0,03
Sıcak Sular										
HT1	3,71	0,22	10,50	0,54	0,62	2,31	0,02	11,37	-10,04	-0,88
HT2	2,48	0,15	10,01	0,52	0,62	1,55	0,03	10,24	-9,51	-0,92
HT3	2,96	0,19	10,33	0,53	0,67	1,98	0,02	10,96	-9,87	-0,90
HT4	2,96	0,21	10,53	0,55	0,74	2,19	0,02	11,44	-10,08	-0,88
HT5	3,27	0,21	10,71	0,56	0,70	2,28	0,02	11,64	-10,27	-0,88
HT6	3,25	0,19	11,50	0,56	0,67	2,16	0,01	12,20	-11,05	-0,90
HT7	3,08	0,20	10,00	0,52	0,66	2,03	0,02	10,77	-9,47	-0,88
HTR	1,16	0,07	10,91	0,54	0,66	0,77	0,04	10,89	-10,45	-0,95

İnceleme alanındaki sıcak suların Ca/Mg oranı 2,48 ile 3,71 arasında olup ortalama 3,10'dur, Ca/Na oranı ise 0,16 ile 0,22 arasında değişmekte olup ortalama 0,20'dir (Çizelge 4.7). Sıcak sulara belirlenen düşük Ca/Na ile yüksek Ca/Mg oranı iyon değişim reaksiyonlarının varlığına işaret etmektedir (Afşin ve ark., 2006; Langmuir 1997). Suların Na/Cl oranı 10,0 ile 11,5 arasında değişmekte olup ortalama 10,5'dir. Bu yüksek Na/Cl oranı klorür ile alkaliler arasındaki iyon dengesizliğinden kaynaklanmakta olup iyon değişimine işaret edebilir. Sıcak suların iyon değişim indeksleri incelendiğinde BEI-I (ortalama -10,04) ve BEI-II (ortalama -0,89) değerlerinin negatif olduğu gözlenmektedir (Çizelge 4.7). İyon indeksi değerlerinin negatif olması iyon değişiminin varlığına işaret eder. Fakat klorür ve alkaliler arasındaki

dengelesizlikler her zaman iyon değişimini göstermez. Çünkü silikat minerallerinin bozunumu veya ayrışması sonucu ortaya çıkan alkali iyonların suya karışımı nedeniyle mağmatik ve metamorfik kayalardaki suların baz iyon indeksi değerlerinin negatif çıkmasına neden olur (Şahinci, 1991a). Bu nedenle incelenen sıcak sulardaki alkali iyonların yüksek olmasının sebebi tamamen iyon değişimine bağlı olmayıp sıcak suların akiferini oluşturan Afyon metamorfileri içerisindeki özellikle alkali feldispatın ayrışması ve/veya çözünümü sulardaki alkali iyonların artmasına neden olan ana etkidir.

Na/Cl oranı soğuk sularda ortalama 2,94, sıcak sularda 10,50'dir ve K/Cl oranı ise soğuk sularda ortalama 0,36 iken sıcak sularda ortalama 0,55'dir (Çizelge 4.7). Sıcak suların soğuk sulara göre yüksek Na/Cl ve K/Cl oranları bu suların daha uzun ve derin akış yollarının varlığını göstermektedir (Alççek ve ark., 2016). Ayrıca sıcak sulardaki yüksek Na/Cl ve K/Cl oranları su-kaya etkileşimleri ve rezervuar metamorfik kayalardaki (şistler ve mikalar) Na-feldspat ve K-feldspat'ın spesifik çözünmesi ile kontrol edilebilir. Sıcak sulardaki Ca/Cl (ortalama 2,07) ve Mg/Cl (ortalama 0,67) oranları soğuk sulara göre düşüktür (Çizelge 4.7). Sıcak sulardaki düşük Ca/Cl oranları, akış yolu boyunca kalsit çökmesini ifade eder (Han ve ark., 2010) ve/veya inceleme alanında su çıkış bölgelerinde traverten oluşumu için tüketilmiş olmalıdır. Soğuk sulardaki yüksek Ca/Cl oranları ise, metamorfik kayalarda plajiyoklaz gibi Ca silikat minerallerinin ayrışması ve kireçtaşı veya dolomit çözünmesine işaret etmektedir (Han ve ark., 2010). Sıcak suların, soğuk sulardan daha yüksek Ca/Mg oranlarına sahip olması ve aynı zamanda düşük Mg/Cl oranları Mg tükenmesine işaret eder (Müller, 1967) ve rezervuardaki kil minerallerinin (klorit ve mikalar) oluşumuna yol açar.

İnceleme alanındaki sıcak suların HCO₃/Cl oranları 1'den yüksek olup soğuk yeraltı suları ile yükselen sıcak sular arasındaki karışımı ifade eder (Giggenbach, 1988). İnceleme alanında MTA tarafından yapılan kaynak koruma alanları çalışmasında bölgede 20 farklı sıcak su kuyusunda CO₂ gaz ölçümleri yapılmış olup sıcak sularda % 41 ile 99,9 oranında CO₂ tespit edilmiştir (Doğdu ve ark., 2013). Bu veriler incelenen sıcak sulardaki yüksek HCO₃ konsantrasyonunun kalsit çözünümünün yanında CO₂'ce zengin soğuk sularla karışımını göstermektedir. Karbondioksit, daha yüksek HCO₃/Cl oranlarına ve daha fazla kaya çözünmesine neden olan pH'da düşüğe yol açan hidrolizi teşvik edici bir ajan olarak hizmet eder. Bu nedenle, HCO₃/Cl oranları ne kadar yüksek olursa, çözümlenmiş kayanın suya katkısı o kadar yüksek olur ve daha yüksek TDS değeri verir (Pasvanoğlu ve Çelik, 2018). Bu nedenlerden dolayı inceleme

alanındaki sıcak suların TDS (kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla, 3866 ve 3845 mg/l) değerleri de yüksektir. İnceleme alanındaki soğuk sularda genel olarak hakim iyonlar kalsiyum, magnezyum ve bikarbonattır. Sıcak sulardaki Ca ve Mg'un tükenmesi ve Na ve K'nın zenginleşmesi CO₂'nin su ve kaya ile etkileşiminin bir sonucu olabilir (Fara ve ark., 1999). Jeotermal sistemin rezervuarındaki ana kayaçların çözünmesi ve iyon değişimi reaksiyonları, Ca, Mg ve HCO₃ tipi soğuk yeraltısularını Na, HCO₃ ve SO₄ tipi sıcak sulara kaydırmaktadır. Çözünmüş CO₂'nin ayrışmasından kaynaklanan asitlik, kaya değişimine yol açar ve özellikle feldispatlar, tipik olarak Na ve HCO₃ bakımından zengin olan nötr ve/veya alkali sulu çözeltiler oluşturan killere dönüşür (Mahon ve ark., 1980).

İncelenen sıcak suların SO₄ konsantrasyonları (kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla ortalama 4,06 ve 3,92 mg/l) ve SO₄/Cl oranları (0,02) oldukça düşük olup (Çizelge 4.7), sülfürlerin (pirit), sülfatların (anhidrit) veya elementel kükürtün çökmesi yoluyla S kaybı olduğunu gösterir (Shakeri ve ark., 2008). Ayrıca sıcak sulardaki SO₄ konsantrasyonlarının çok düşük olması bakteriyolojik sülfat indirgenmesinden de kaynaklanmış olabilir (Mutlu, 1997). Çünkü sülfat indirgenmesi doğal sulardaki SO₄ konsantrasyonunun anormal derecede düşmesine neden olabilmektedir (Mutlu, 1997). Sülfat indirgenme reaksiyonu sedimentteki organik-karbon sınırlıysa, aynı oranlarda organik karbon oksidasyonu uygulanarak kontrol edilebilir (Westrich ve Berner, 1984). Böylece sülfat indirgenmesi için, organik karbonun CH₂O olarak genelleştirilebileceği varsayılarak sülfat indirgenme reaksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir (Berner, 1971; Langmuir, 1997):

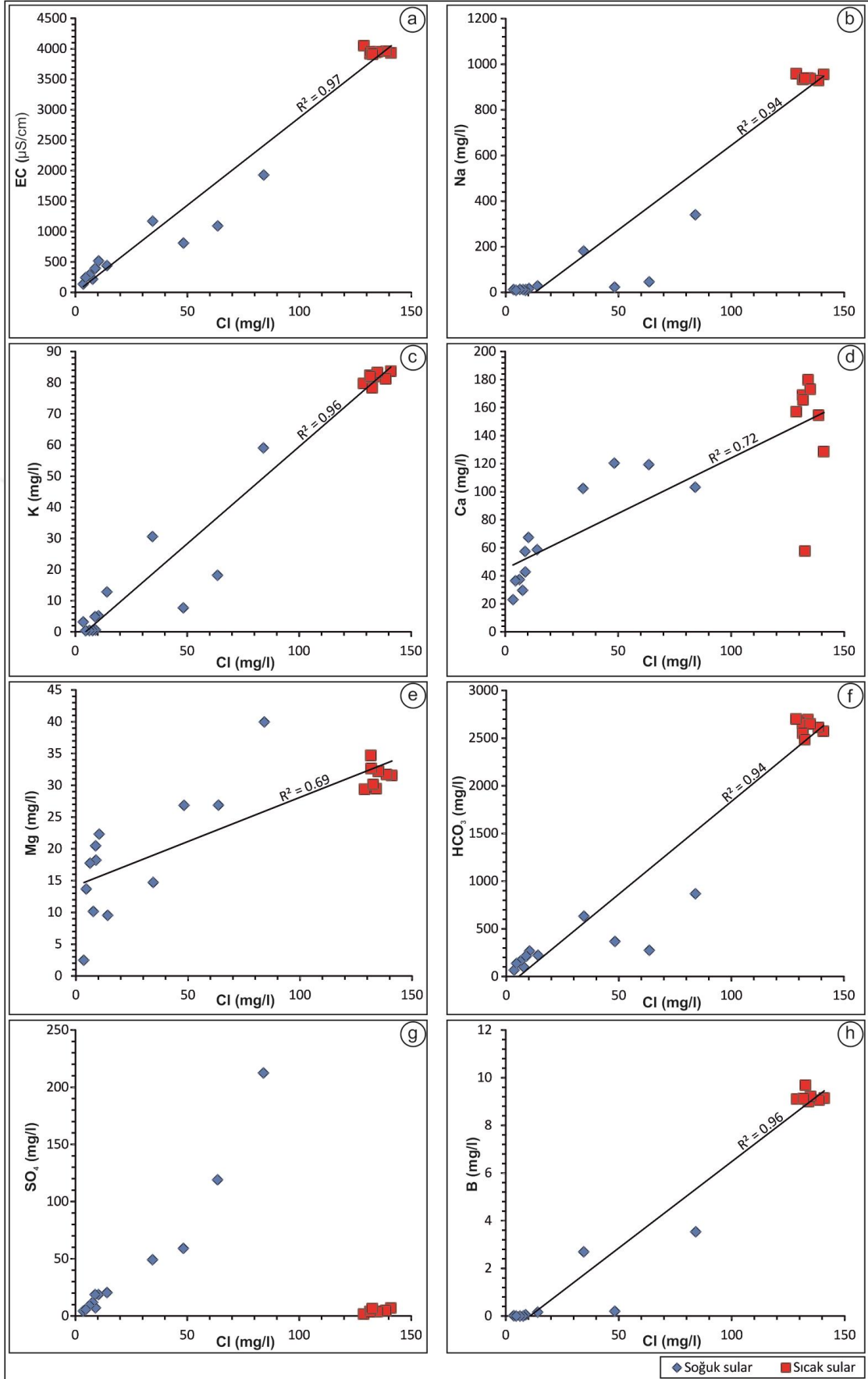


Mutlu (1997) ve Doğdu ve ark. (2013) Gazlıgöl'deki sıcak sularda yaptıkları gaz ölçümlerinde H₂S gazına rastlanmadığını belirtmişlerdir. Böylece bakteriyal sülfat indirgenmesi sıcak sularda CO₂ aracılığıyla HCO₃ iyonunun artmasına ve SO₄'ün tükenmesine neden olmuştur. Ayrıca Mutlu (1997) bölgede yaptığı çalışmada sıcak suların sülfat indirgenme reaksiyonlarıyla artmaya devam eden HCO₃ konsantrasyonlarından kaynaklanan anyon fazlalığını dengelemek üzere rezervardaki kayaçları çözerek Na ve K gibi katyonları bünyelerine aldıklarını ve olası karışımdan önce pH değerlerinin daha asidik olabileceğini belirtmiştir.

Klorür iyonu koruyucu bir davranış sergilemesinden dolayı jeotermal sistemlerdeki kimyasal elementlerin iyi bir izleyicisi olarak düşünülmektedir (Michard, 1990, Motyka ve ark., 1993; Güleç, 1994). İnceleme alanındaki akiferlerde (toprak tuzu hariç) genel olarak Cl içeren minerallerin eksikliği göz önüne alındığında, koruyucu olarak kabul edilen klorüre karşı çeşitli ana iyonlar arasındaki ilişkiler Şekil 4.27'de gösterilmektedir. EC-Cl ($r^2:0,97$), Na-Cl ($r^2:0,94$) ve K-Cl ($r^2:0,96$) arasında yüksek pozitif korelasyonlar sıcak ve soğuk suların karışımını desteklemektedir (Alçıçek ve ark., 2016, 2018) (Şekil 4.27 a, b, c). Ayrıca Na-Cl ve K-Cl arasındaki güçlü pozitif korelasyonlar sıcak suların rezervuardaki feldispatlar ve/veya kil mineralleriyle etkileşimini gösterir. Sıcak sular, soğuk yeraltısularına göre çok daha uzun, daha derin, bölgesel bir akış yolunda yer alır ve bu nedenle soğuk sulara göre çok daha yüksek Na/Cl oranlarına (ortalama 10,50) sahiptir (Han ve ark., 2010). Ca-Cl ($r^2:0,72$) ve Mg-Cl ($r^2:0,69$) arasındaki iyi pozitif korelasyon ile $\text{HCO}_3\text{-Cl}$ ($r^2:0,94$) yüksek pozitif korelasyon (Şekil 4.27 d, e, f) sıcak suların sığ (daha soğuk) meteorik sularla karışımını (seyrelme) ve/veya daha düşük sıcaklıkta daha az derecedeki su-kayaç etkileşimini yansıtmaktadır (Vengosh ve ark., 2002; Shakeri ve ark., 2008; Han ve ark., 2010). SO_4 ile Cl arasında korelasyon (Şekil 4.27 g) gözlenmemesi sıcak sulardaki SO_4 konsantrasyonlarının sülfat indirgenme reaksiyonu sonucu tüketildiğini doğrulamaktadır.

4.3.2.6. Minör ve iz elementler

İnceleme alanındaki sıcak suların minör element konsantrasyonları soğuk sularinkinden yüksek değerlerde bulunmuştur (Çizelge 4.4). Soğuk sulara kıyasla sıcak sulardaki minör elementlerin daha yüksek konsantrasyonlara sahip olması, sıcak suların daha yüksek reaktiviteye sahip olduğunu ve (derin) sirkülasyon sırasında minör elementlerin ana kayadan daha fazla çözünmesine yol açtığını gösterir (Tarcan ve Gemici, 2003; Ma ve ark., 2011). Ayrıca soğuk ve sıcak suların iz element içeriklerindeki farklılık soğuk suların meteorik sularla veya yüzey sularıyla sürekli seyrelmesinden veya soğuk suların akiferde daha kısa kalma süresinden kaynaklanabilir (Ma ve ark., 2011).

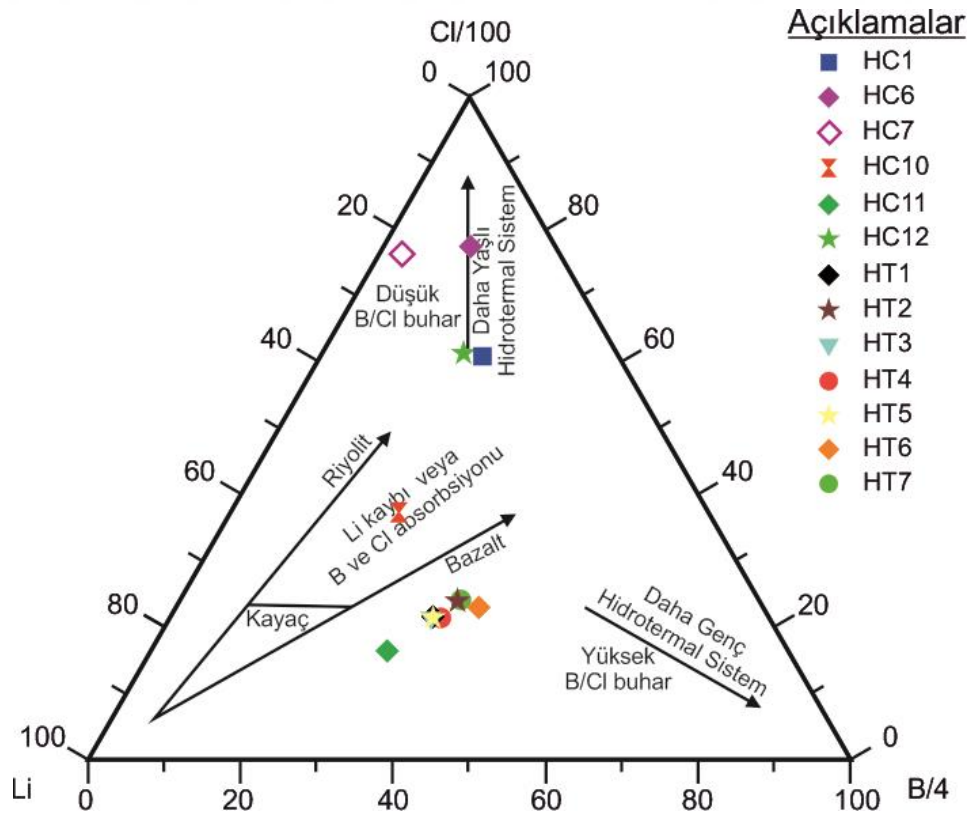


Şekil 4.27. İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak suların Cl konsantrasyonları ile çeşitli iyonlar arasındaki ilişki

İnceleme alanındaki sıcak suların Fe konsantrasyonu 0,376-0,721 mg/l arasında değişmektedir. Sıcak sulardaki daha yüksek demir konsantrasyonları, daha yüksek reaktiviteye sahip sıcak suların rezervuardaki su-kayaç etkileşimi sırasında pirit ve biyotit gibi Fe içeren minerallerden çözülmüştür. Arsenik, realgar (AsS), orpiment (As_2S_3) ve arsenopirit (FeAsS) gibi sülfür minerallerinde ana element olarak ve pirit (FeS) ve kalkopirit ($CuFeS_2$) gibi sülfür minerallerinde ikincil olarak bulunur. Ayrıca genellikle volkanik gazlarda ve jeotermal akışkan da yaygın olarak bulunur (Pasvanoğlu ve Çelik, 2018). Sulu demir oksit çok yüksek bir özgül yüzey alanına ve dolayısıyla As kütleli için çok yüksek bir adsorpsiyon kapasitesine sahiptir (Davis ve Kent, 2018; Anawar ve ark., 2003). Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların arsenik konsantrasyonları 0,009-0,073 mg/l arasında değişmektedir. Sıcak sulardaki As ile SO_4 arasındaki negatif korelasyon ($R^2:-0,022$), (Çizelge 4.4) As'in realgar, orpiment, arsenopirit gibi sülfür minerallerinden doğrudan mobilize edilmediğini gösterir (Halim ve ark., 2009; Bundschuh ve Maity, 2015). As ve Fe konsantrasyonları pozitif bir ilişki ($R^2:0,49$) (Çizelge 4.4) göstermekte olup bu ilişki sıcak sulardaki yüksek konsantrasyonlarda bulunan As iyonu sağlayan Fe-oksihidroksitin indirgeyici çözünmesiyle ilgili mobilizasyonunu gösterir (Yan ve ark., 2000; Halim ve ark., 2009). Soğuk sularda gözlenen yüksek arsenik ise Neojen ve alüvyon birimlerindeki kil mineralleriyle ilişkilendirilebilir. Çünkü killerin mineralojik özellikleri, yüzey alanları ve yüzey yükleri sayesinde yüzeylerinde yüksek miktarda arsenik absorbe kinetiğine sahiptir ve As'ın hareketliliğini yönetebilir (Lin ve Puls, 2000; Okan ve ark., 2018). Ayrıca bölgede yoğun olarak sürdürülen termal aktivitelerde kullanılan sıcak suların yeraltısularına geri dönüşü ve tarımsal aktivitelerde kullanılan fosfat türü gübreler soğuk sulardaki yüksek arsenik için potansiyel kaynaklar olarak düşünülmektedir.

Bor ve klorür sıcak suların koruyucu bileşenleri olup alterasyon minerallerine katılım gibi ikincil işlemlerden en az etkilenir ve bu nedenle derin kayaçların ilk çözünme süreçlerinin göstergeleri olarak kullanılabilir (Nicholson, 1993; Tassi ve ark., 2010). Aynı zamanda Li, ikincil absorpsiyon işlemlerinden en az etkilenen alkali elementtir ve ayrıca su-kaya etkileşimleri sırasında salınarak büyük ölçüde çözelti içinde kalır (Giggenbach ve Soto, 1992; Tassi ve ark., 2010). Sıcak suların B içeriği, bir jeotermal sistemin olgunluk derecesini yansıtır. Bor uçuculuğu nedeniyle ısıtmanın erken aşamalarında uzaklaştırılır. Bu nedenle, eski hidrotermal sistemlerden gelen sıvılar daha az B içeriğine sahiptir, ancak daha genç hidrotermal sistemlerde daha yüksek içerik oluşur (Mainza, 2006; Tassi ve ark., 2010; Phuong ve ark., 2012).

Göreceli olarak ikincil işlemlerde yer almayan Li ile birleştiğinde, Li-B-Cl nispi bileşimi, başlangıçtaki derin kayaç çözünme sürecinin göstergesi olabilir (Giggenbach, 1989). İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sular Cl-Li-B diyagramında (Giggenbach, 1991) incelendiğinde sıcak su örnekleri ana kayaya yakın düşmüş olup bu da rezervuar kayaların çözünümü ile açıklanabilir (Şekil 4.28). HC10 ve HC11 numaralı soğuk su örneklerinin 2-2,69 mg/l arasında değişen nispeten yüksek bor değerleri ve diyagramda sıcak sulara yakın düşmüş olmaları sıcak sularla karışımı yansıtmaktadır. Diğer soğuk su örneklerinin klorür içeriği sıcak sulara göre Li ve B içeriklerinden daha yüksektir bu durum soğuk sulardaki Cl ve B konsantrasyonlarının kaynağının sıcak sularinkine benzer olmadığını düşündürmektedir. Soğuk sulardaki Cl konsantrasyonu, Neojen kayaçlardaki Cl içeren minerallerin çözünmesinden ve yağmur sularından kaynaklanmaktadır. Ayrıca sıcak suların Cl/B oranı 14,15 ile 15,42 arasında değişmekte olup bu yüksek oran su kayaç etkileşimini yansıtmaktadır. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların B ve Cl ($r^2:0,96$) konsantrasyonları arasında yüksek pozitif korelasyon belirlenmiştir (Bkz. Şekil 4.27 h). Bu yüksek korelasyon sıcak suların ana kayalarla etkileşime sahip olduğunu doğrular ve ayrıca sıcak ve soğuk sular arasında karışım olduğunu gösterir (Motyka ve ark., 1993).



Şekil 4.28. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulara ait Cl-Li-B üçgen diyagramı (Giggenbach, 1991)

4.3.3. İnceleme alanındaki Suların İzotopik Özellikleri

Suyu etkileyen fiziksel süreçlerin doğal bir izleyicisi olarak çevresel izotoplar, yüzey ve yeraltı suyunun kökeni, su kalitesi, yeraltı suyu dolaşım süreçleri, yeraltı suyunun akiferde kalma süresi, buharlaşma süreçleri, jeokimyası, suyun yenilenebilirliği, beslenme kaynakları ve hidrolik bağlantılar hakkında bilgi sağlamaktadır (Clark ve Fritz, 1997; Edmunds, 2005). İnceleme alanındaki sıcak suların kökenini ve beslenme yüksekliğini belirlemek için Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum (δD) izotopları kullanılmıştır. ^3H (Tritiyum-TU) ise radyoaktif bir izotop olup suların yaş ve akiferde dolaşım sürelerinin saptanmasında kullanılmıştır.

4.3.3.1. $\delta^{18}\text{O}$ - δD İlişkisi

$\delta^{18}\text{O}$ ve δD izotopları hidrolojik şartların belirlenip akışkanı etkileyen işlevlerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Oksijen yer kabuğunda en fazla bulunan elementlerden biri olup genellikle kayalarda da yüksek oranlarda bulunmaktadır. Oksijen-18'in tersine, Döteryum genelde mineral ve kayalardan çok sulara bulunmaktadır. Oksijen-18 ve döteryumun belirtilen yapısal özellikleri, jeotermal akışkanın izotopik özelliklerinin değerlendirmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Tonkul ve ark., 2019).

Suların izotopik bileşimi, uluslararası standart olarak kabul edilen Standart Ortalama Okyanus Suyu (SMOW) referans alınarak değerlendirilmektedir (Craig, 1961; Deines ve ark., 1980) ve δ (delta) değerleri olarak ifade edilir. Oksijen-18 ve döteryum izotopları için aşağıda verilen eşitlikler kullanılır;

$$\delta\text{D} (\text{‰}) = \frac{(D/H)_{\text{örnek}} - (D/H)_{\text{standart}}}{(D/H)_{\text{standart}}} \times 1000$$

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{örnek}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standart}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standart}}} \times 1000$$

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların $\delta^{18}\text{O}$, δD ve ^3H (TU) analiz sonuçları Çizelge 4.8'de verilmektedir. Soğuk su örneklerinin kurak dönemde Oksijen-18 ve döteryum izotop içerikleri sırasıyla -10,73 ile -6,09 ‰ arasında değişmekte olup

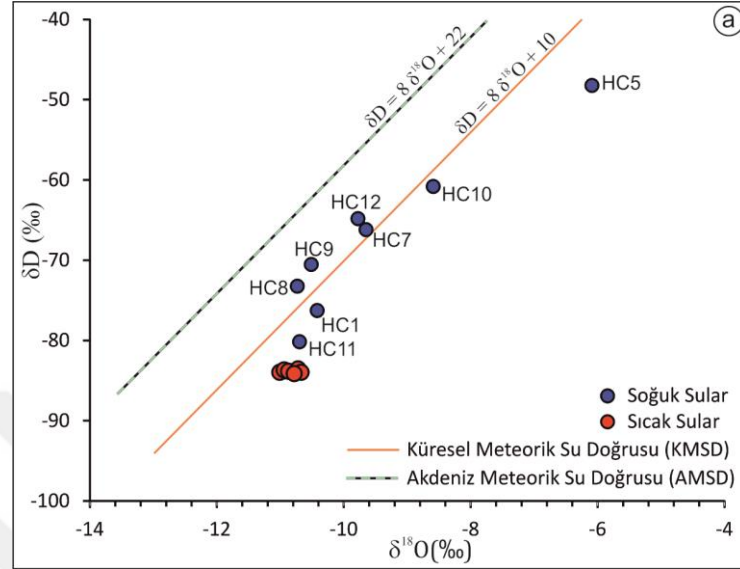
ortalama -9,56 ‰ ve -80,17 ile -48,23 ‰ arasında değişmekte olup ortalama -65,55 ‰'dir. Yağışlı dönemde ise Oksijen-18 ve döteryum izotop içerikleri sırasıyla -11,03 ile -6,97 ‰ arasında değişmekte olup ortalama -9,52 ‰ ve -79,37 ile 48,56 ‰ arasında değişmekte olup ortalama -65,55 ‰'dir (Çizelge 4.8). Sıcak suların Oksijen-18 izotop içerikleri ise kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla -11,01 ile -10,67 ‰ arasında değişmekte olup ortalama -10,83 ‰ ve -11,08 ile -10,78 ‰ arasında olup ortalama -10,95 ‰'dir. Döteryum izotop içerikleri ise kurak ve yağışlı dönemde sırasıyla -84,14 ile -83,54 ‰ arasında olup ortalama -83,85 ‰ ve -83,89 ile -83,38 ‰ arasında değişmekte olup ortalama -83,56 ‰'dir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların izotop $\delta^{18}\text{O}$, δD ve ^3H (TU) analiz sonuçları

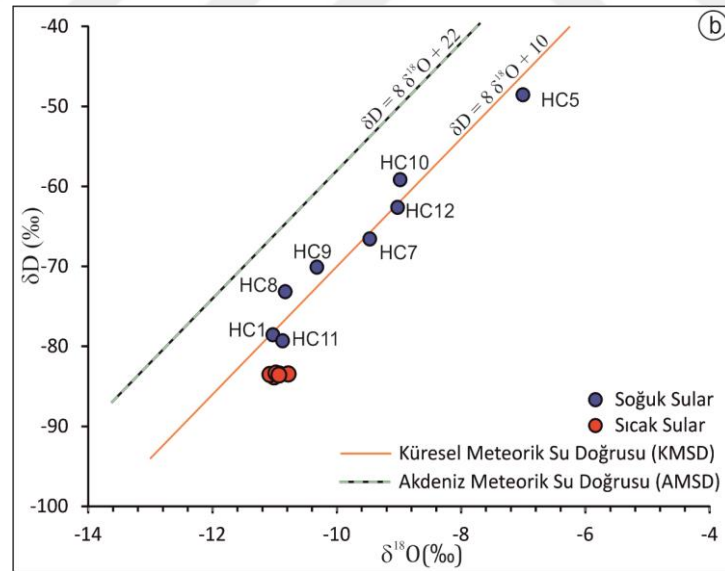
Örnek Adı	δD	$\delta^{18}\text{O}$	^3H (TU)	δD	$\delta^{18}\text{O}$
	(‰ VSMOW)	(‰ VSMOW)		(‰ VSMOW)	(‰ VSMOW)
	Ekim 2020			Mayıs 2021	
HC1	-76,29	-10,42	-	-78,58	-11,03
HC5	-48,23	-6,09	-	-48,56	-6,97
HC6	-	-	-	-	-
HC7	-66,21	-9,65	6,40	-66,57	-9,47
HC8	-73,26	-10,73	6,00	-73,18	-10,83
HC9	-70,54	-10,51	3,85	-70,12	-10,32
HC10	-60,84	-8,59	5,13	-59,18	-8,98
HC11	-80,17	-10,69	-	-79,37	-10,87
HC12	64,82	9,77	-	-62,64	-9,02
HT1	-83,97	-11,01	0,00	-83,53	-11,08
HT2	-83,67	-10,94	0,00	-83,46	-10,78
HT3	-83,84	-10,87	0,00	-83,51	-10,92
HT4	-83,54	-10,72	1,46	-83,38	-10,98
HT5	-83,96	-10,67	0,07	-83,61	-10,93
HT7	-84,14	-10,78	-	-83,89	-11,01

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sulara ait Oksijen-18 ve döteryum izotopları arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramda; Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD: $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ (SMOW); Carig 1961) ve Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (AMSD: $\delta\text{D} = 8\delta^{18}\text{O} + 22$ (SMOW); Gat and Carmi, 1970) referans doğrular olarak gösterilmektedir (Şekil 4.29 ve 4.30). $\delta^{18}\text{O}$ - δD grafiğinde tüm sular KMSD boyunca ve KMSD ile AMSD arasına düşmüş olup meteorik kökene işaret etmektedir. HC5 nolu soğuk su örneği kurak dönemde KMSD doğrusunun sağına düşmüş olup kurak dönemde buharlaşma etkisi altında olduğu gözlenirken yağışlı dönemde belirgin bir buharlaşma etkisi bulunmamaktadır. Sıcak su örneklerinin Oksijen-18 ve döteryum içerikleri soğuk sulara göre daha düşük olup daha yüksek kotlardaki kıtasal yağışlarla beslendiklerini

göstermektedir. Ayrıca sıcak sularda Oksijen-18 zenginleşmesi gözlenmiş olup bu durum kısmen yüksek sıcaklıklarda su ve kayalar arasındaki Oksijen izotopu değişiminden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.29. İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak suların Oksijen-18 ve döteryum arasındaki ilişkisi (Ekim 2020)



Şekil 4.30. İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak suların Oksijen-18 ve döteryum arasındaki ilişkisi (Mayıs 2021)

Yağışların kararlı izotop (^{18}O ve Döteryum) içeriği sıcaklık, yükseklik, mevsim, enlem, mevsim ve karasal etkiye bağlı olarak değişmektedir (Clark ve Fritz, 1997). Enlem ve yükseklik arttıkça $\delta^{18}\text{O}$ ve δD izotop değerleri düşer (Gat, 1980). Yüksek kotlara göre daha düşük kotlara düşen yağışlar daha uzun mesafe kat ederken daha fazla

buharlaşmaya maruz kalırlar. Daha fazla buharlaşmaya maruz kalan yağış ağır izotoplarca zenginleşir (Demircan ve Yiğitbaşoğlu, 2014).

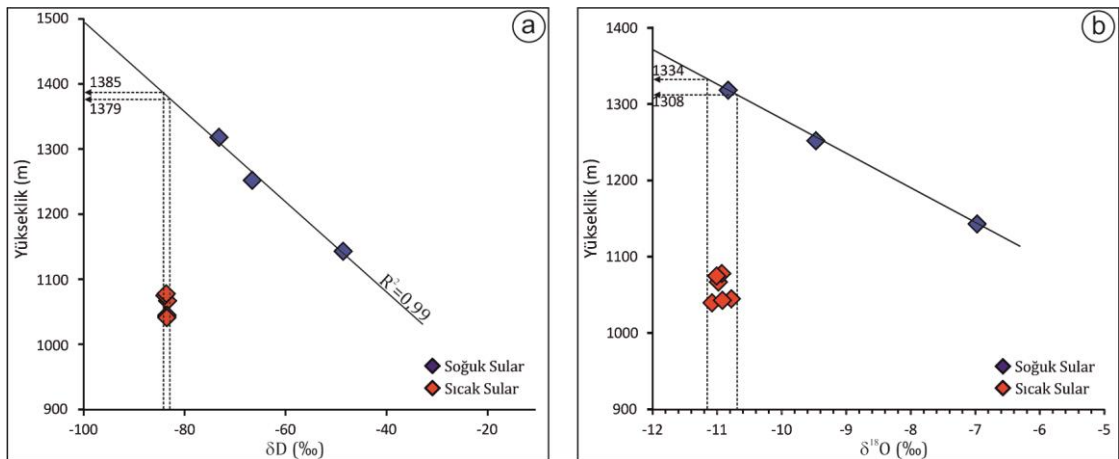
$\delta^{18}\text{O}$ izotopunun yükseklikle değişimi bir doğrunun denklemi olup $\delta^{18}\text{O} = a * \text{kot} + b$ olarak ifade edilir. Denklemdaki “a” deniz seviyesinden her bir birim yükselmeye karşılık gelen Oksijen-18 izotopundaki fakirleşmeyi ifade eder. Böylece herhangi bir bölgedeki suların beslenme kotları belirlenebilir (Gat, 1980; Ekmekçi ve Gültekin, 2015).

İnceleme alanındaki sıcak suların beslenme yüksekliğini belirlemek için Gazlıgöl jeotermal alanı çevresindeki farklı yüksekliklerden buharlaşmanın etkisinin görülmediği yağışlı dönemde seçilen soğuk su kaynak sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve δD izotop değerleri kullanılmıştır. Bölgedeki kaynak suları ve sıcak sulara ait $\delta^{18}\text{O}$ -yükseklik ve δD -yükseklik grafikleri Şekil 4.31’ de verilmiştir. Her yüz metrelik yükseklik artışına karşı Oksijen-18 miktarındaki azalma için $-0,23 \%$, ve döteryum miktarındaki azalma ise $-0,15 \%$ olarak belirlenmiştir. $\delta^{18}\text{O}$ -yükseklik ve δD -yükseklik ilişkisini veren denklemler aşağıda verilmektedir;

$$\text{Yükseklik (m)} = -43,66 * \delta^{18}\text{O} + 842,62$$

$$\text{Yükseklik (m)} = -6,89 * \delta\text{D} + 805,56$$

Elde edilen denklemlerden Gazlıgöl sıcak sularının beslenme yüksekliklerinin 1308 ile 1385 metreler arasında olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu kotlar inceleme alanının kuzey kuzeydoğusunda bulunan yükseklikleri 1270 ve 1550 metreler arasında olan dağlık bölgeleri işaret etmektedir.

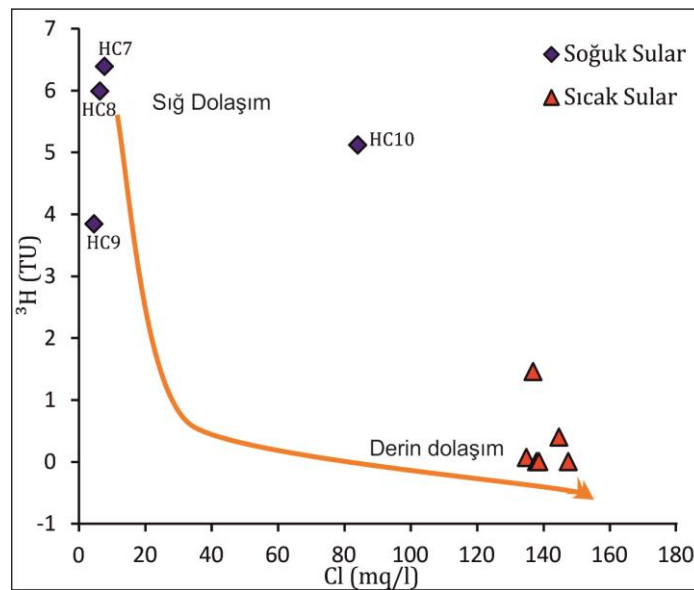


Şekil 4.31. İnceleme alanındaki sıcak sularının a) $\delta^{18}\text{O}$ -Yükseklik b) δD -Yükseklik diyagramları

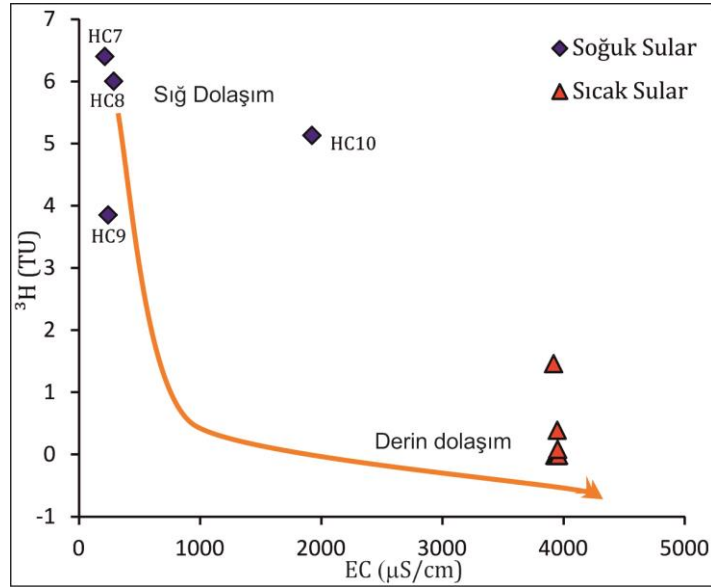
4.3.3.2. ^3H (Trityum) İçeriği

Trityum radyoaktif ağır hidrojenin izotopudur. Yarılanma ömrü 12,3 yıl olan ve β -bozunması veren trityum, atmosferin üst tabakalarında bulunan azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluşur. Ayrıca termonükleer denemeler neticesinde de oluşmaktadır (Mazor, 2004). Radyoaktif olmasından dolayı yeraltısularının bağıl yaşının ve akiferde dolaşım sürelerinin belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır (Mazor, 2004).

İnceleme alanındaki soğuk suların kurak dönemde trityum değerleri 3,85 ile 6,40 TU arasında değişmekte olup ortalama 5,35 TU'dur. Sıcak suların trityum değerleri ise 0,00 ile 1,46 TU arasında değişmekte olup ortalama 0,31 TU olarak belirlenmiştir. Trityum (TU)-Klorür ilişkisi sığ ve derin dolaşım suları ayırmak için kullanılırken trityum (TU)- EC ilişkisi ise farklı kökenli suların varlığını yansıtır (Çelmen ve Çelik, 2009; Ravikumar ve Somashekar, 2011). İnceleme alanındaki sıcak suların düşük trityum, yüksek klorür ve EC değerlerine sahip olmaları bu suların soğuk sulara göre daha derin dolaşım olduğunu soğuk suların ise yüksek trityum düşük klorür ve EC değerleri sığ dolaşım olduklarını göstermektedir (Şekil 4.32 ve 4.33). Ayrıca soğuk suların yüksek trityum değerleri güncel yağışların etkisini yansıtırken sıcak suların trityum içermemeleri veya çok düşük değerleri bu suların soğuk sulara göre akiferde kalış süresinin daha uzun olduğunu ve güncel yağışlardan daha az etkilendiğini yansıtmaktadır.



Şekil 4.32. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların trityum(TU)-Cl ilişkisi (Ekim 2020)



Şekil 4.33. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların trityum(TU)-EC ilişkisi (Mayıs 2021)

4.3.4. Jeotermometreler

Jeotermometreler yeraltındaki akışkanın sıcaklığının (hazne sıcaklığının) tahmin edilmesinde kullanılırlar. Derinlerdeki rezervuar kayaç içerisinde bulunan sıcak sular yüzeye erişinceye kadar önemli ölçüde soğur ve/veya soğuk yeraltı sularıyla karışırlar. Bu nedenle derinlerdeki rezervuar kayaçlar içerisinde bulunan akışkanın sıcaklığı yüzey sıcaklığından çok daha yüksektir. Fakat derin sondajların maliyeti yüksek ve zamana gereksinim olduğu için suların sıcaklıklarına göre kullanım alanlarının belirlenebilmesi için derin sondajlardan önce çeşitli jeotermometre yöntemleri uygulanarak akışkanın rezervuar sıcaklıkları tahmin edilebilir (Tarcan, 2003; Şahinci 1991b).

Sıcak suların rezervuar sıcaklıklarını tahmin etmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir (Nicholson 1983, Fournier 1977). İnceleme alanındaki sıcak suların rezervuar sıcaklığının belirlenmesinde kimyasal (silis ve katyon jeotermometreleri), karışım (silis-entalpi ve klorür entalpi) ve mineral-sıcaklık denge jeotermometre yöntemleri kullanılmıştır. İnceleme alanındaki sıcak suların rezervuar sıcaklığını hesaplamak için kullanılan kimyasal jeotermometre bağıntıları Çizelge 4.9’ da verilmektedir. Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak sular için jeotermometre bağıntılarından elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.10’da verilmektedir.

Çizelge 4.9. Kimyasal jeotermometreler ve eşitlikleri (Konsantrasyonlar mg/l)

Jeotermometre	Eşitlik	Referans
SiO ₂ (Kuars-Buhar kaybı yok)	$t = 1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t = 1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t = 1498 / (5.7 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve ark., 1983
SiO ₂ (Kalsedon-Buhar kaybı yok)	$t = 1032 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
SiO ₂ (Kalsedon, iletim ile soğuma)	$t = 1112 / (4.91 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve ark., 1983
Na/K	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson ve ark., 1983
Na/K	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979
Na/K	$t = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Giggenbach ve ark., 1983
Na-K-Ca	$t = 1647 / (\log \text{Na/K} + \beta \log \text{Ca}^{1/2} / \text{Na} + 2.24) - 273.15$	Fournier ve Truesdell, 1973
K/Mg	$t = 4410 / (14 - \log \text{K/Mg}^{1/2}) - 273.15$	Giggenbach ve ark., 1983
Na/Li	$t = 1590 / (0.779 - \log \text{Na/Li}) - 273.15$	Kharaka ve ark., 1982
Li/Mg	$t = 2200 / (5.470 - \log (\text{Li/Mg}^{1/2})) - 273.15$	Kharaka ve Mariner, 1989

Çizelge 4.10. Gazlıgöl sıcak suların kimyasal jeotermometre hesaplamalarından elde edilen rezervuar sıcaklıkları (°C)

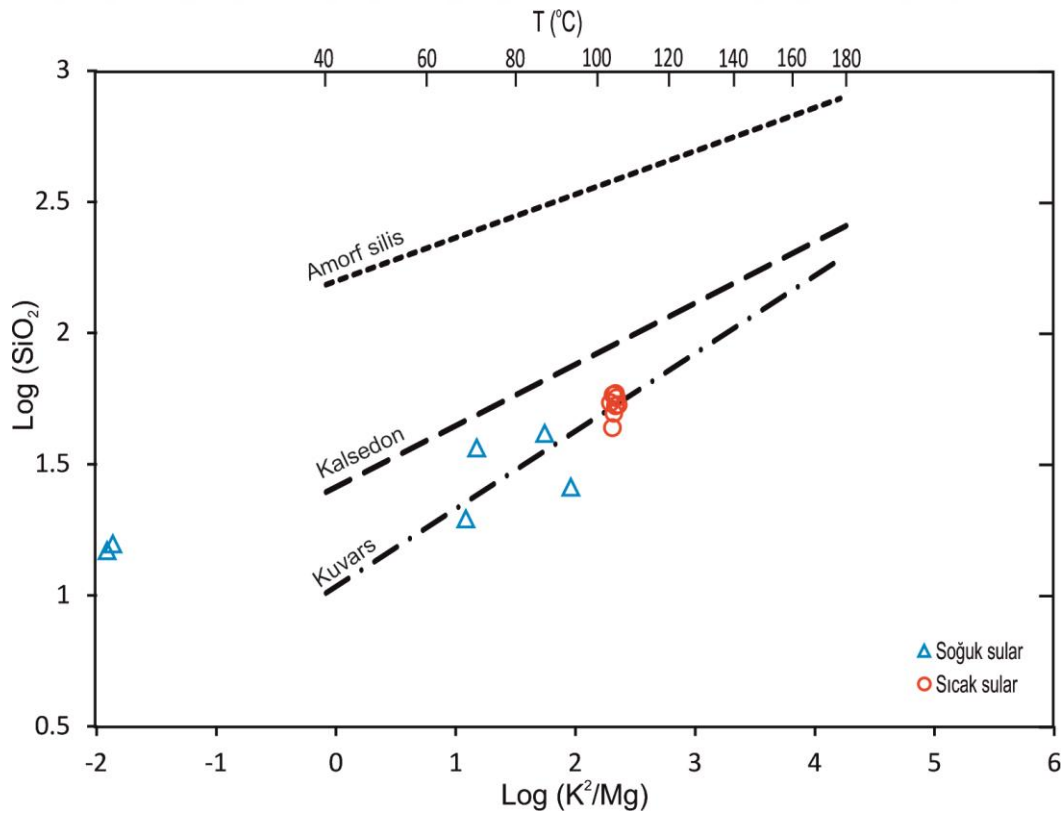
Jeotermometreler	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7
Ölçülen sıcaklık (°C)	72	70	68,5	68	68	60	73,5
Kuars (Buhar kaybı yok)	105	107	101	105	109	104	109
Kuars (Buhar kaybı)	105	107	102	106	109	105	109
Kuars (Buhar kaybı)	104	106	101	104	108	103	107
Kalsedon	75	78	71	76	80	75	79
Kalsedon (iletim ile soğuma)	76	79	73	77	81	76	80
Na/K	195	196	195	196	197	190	196
Na/K	206	206	206	206	207	202	206
Na/K	222	222	222	222	223	218	222
Na-K-Ca	158	171	163	161	160	162	161
K/Mg	71	71	70	70	70	71	70
Na/Li	209	199	213	207	209	190	199
Li/Mg	191	184	191	186	189	181	183

4.3.4.1. Silis Jeotermometreleri

Kuars çözünürlüğüne dayalı jeotermometreler, rezervuar sıcaklığının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuvars jeotermometreleri rezervuar sıcaklığını 225 °C'den az ise iyi sonuç vermektedir. Çünkü daha yüksek sıcaklıklarda rezervuardan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökeli izlenir. Silis jeotermometre bağıntıları, kimyasal tepkimeyi etkileyen rezervuar sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına bağlı olarak geliştirilmişlerdir (Şahinci, 1991b; Arnorsson, 2000).

İnceleme alanındaki sıcak sularının kalsedon jeotermometre hesaplamalarından elde edilen rezervuar sıcaklığı yüzeyden ölçülen sıcaklıklara benzer ve çok yakın değerler vermekte olup 71 °C ile 81 °C arasında değişmektedir. Kuvars jeotermometrelerinden elde edilen rezervuar sıcaklıkları ise 101 °C ile 109 °C arasında değişmekte olup kalsedon jeotermometreleriyle hesaplanan sıcaklıklardan daha yüksektir.

Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların SiO_2 , K ve Mg değerleri ile hesaplanan amorf silis, kalsedon ve kuvars için çözünürlük eğrilerinin birlikte kullanıldığı $\log(\text{SiO}_2) - \log(\text{K}^2/\text{Mg})$ grafiği (Şekil 4.34) jeotermal akışkandaki uygun SiO_2 fazını değerlendirmek ve rezervuar sıcaklığını tahmin etmek için kullanılan bir diyagramdır (Giggenbach ve ark., 1994; Giggenbach ve Glover 1992; Henley ve Ellis, 1983). Diyagramda tüm sıcak sular kuvars eğrisinin üzerine düşmekte olup Gazlıgöl sıcak suları kuvars ile dengeyi göstermektedir. Bu nedenle Gazlıgöl jeotermal sistemdeki uygun silis türünün kuvars olduğu söylenebilir. Ayrıca diyagramdan belirlenen Gazlıgöl jeotermal alanının rezervuar sıcaklığı 100 ile 120 °C arasında olup yaklaşık 105 °C'ı göstermektedir. Bu veriler kuvars jeotermometresinden elde edilen sonuçlarla örtüşmekte olup Gazlıgöl jeotermal alanı için kuvars jeotermometreleri, kalsedon jeotermometrelerinden daha güvenilir sonuçlar verebilir.



Şekil 4. 34. İnceleme alanındaki sıcak suların $\log \text{K}^2/\text{Mg}-\log \text{SiO}_2$ diyagramı (Giggenbach ve ark., 1994)

4.3.4.2. Katyon Jeotermometreleri

Katyon jeotermometreleri iyon değişimine bağlı olup sıcak sulardaki çözünen maddelerin oranı sıcaklıkla ilişkilidir (Şahinci 1991b).

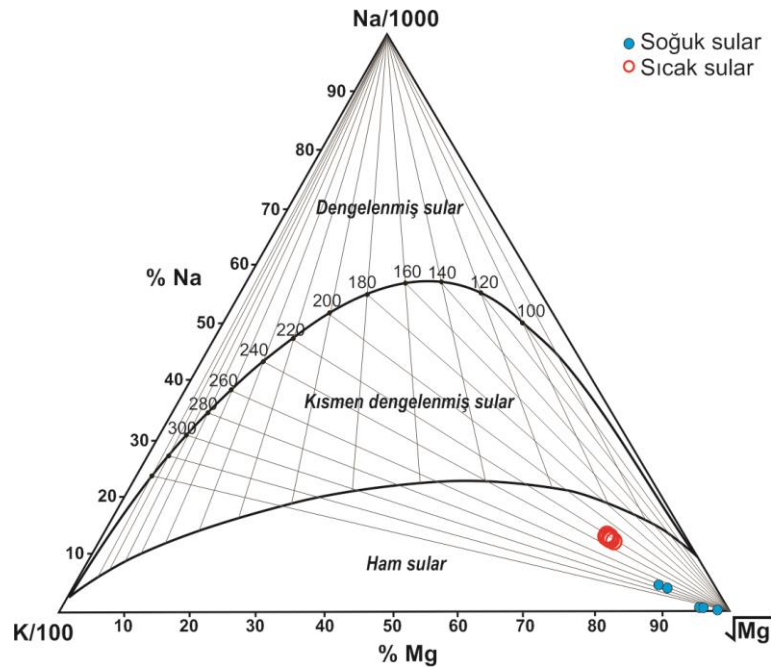
Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların Na-K jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı 190 ile 223 °C arasında değişmektedir. Na-K jeotermometre hesaplamalarından elde edilen rezervuar sıcaklığı silis jeotermometre uygulamalarından elde edilen sıcaklıkların çok üstündedir. Na-K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH'ı nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması $\log(\sqrt{Ca}/Na)$ değerinin 0,5'den küçük olması koşulları aranmaktadır. Ayrıca Na-K jeotermometreleri, 180 °C-350 °C sıcaklığa sahip rezervuardan gelen sularda iyi sonuçlar vermekte olup 120 °C'den düşük ve traverten oluşturan sularda Na-K jeotermometreleri geçerliliğini kaybeder. Çünkü düşük sıcaklıklarda kimyasal dengeye ulaşmaz (Şahinci 1991b). Na-K jeotermometrelerinden elde edilen yüksek sıcaklıklar nedeniyle Na-K jeotermometre hesaplamalarındaki kalsiyumun etkisini yok etmek için Na-K-Ca jeotermometresi kullanılmıştır. Bu jeotermometreye göre Gazlıgöl jeotermal alanının tahmin edilen rezervuar sıcaklığı 158-171 °C arasındadır. Elde edilen sıcaklıklar Na-K jeotermometrelerinden elde edilen sıcaklıklardan düşük fakat silis jeotermometrelerinden elde edilen rezervuar sıcaklıklarından daha yüksektir. Gemici ve Filiz (2001) Na-K-Ca jeotermometreleri Na ve Ca yeteri kadar hızlı dengeye ulaştığı zaman anlamlı sonuçlar ürettiğini belirtmişlerdir. Bu nedenle elde edilen yüksek sıcaklıklar Gazlıgöl sıcak sularındaki çözünmüş Na ve Ca'un yeteri kadar hızlı dengeye ulaşmadığını göstermektedir. Gazlıgöl sıcak sularının Li-Mg ve Na-Li jeotermometre hesaplamalarından elde edilen rezervuar sıcaklıkları sırasıyla 181-191 °C ve 190-213 °C arasında değişmektedir. K-Mg jeotermometresinden Gazlıgöl sıcak sularının rezervuar sıcaklıkları 70-71 °C olarak hesaplanmış olup elde edilen bu değerler ölçülen değerlere çok yakın veya daha düşüktür. Bu nedenle Gazlıgöl jeotermal alanının rezervuar sıcaklığını belirlemede kullanılamaz (Çizelge 4.10).

Giggenbach (1988)'ın Na-K-Mg bileşik üçgen diyagramı; rezervuar kayaçları ile dengeye ulaşan olgun sular (dengelenmiş sular), su-kayaç etkileşiminin kısmen dengelendiği sular ve su-kayaç etkileşiminin dengede olmadığı ham sular olarak üç bölümden oluşmaktadır. Diyagram aynı zamanda katyon jeotermometrelerinden elde edilen rezervuar sıcaklıklarının doğruluğunu kontrol etmek için de kullanılmaktadır.

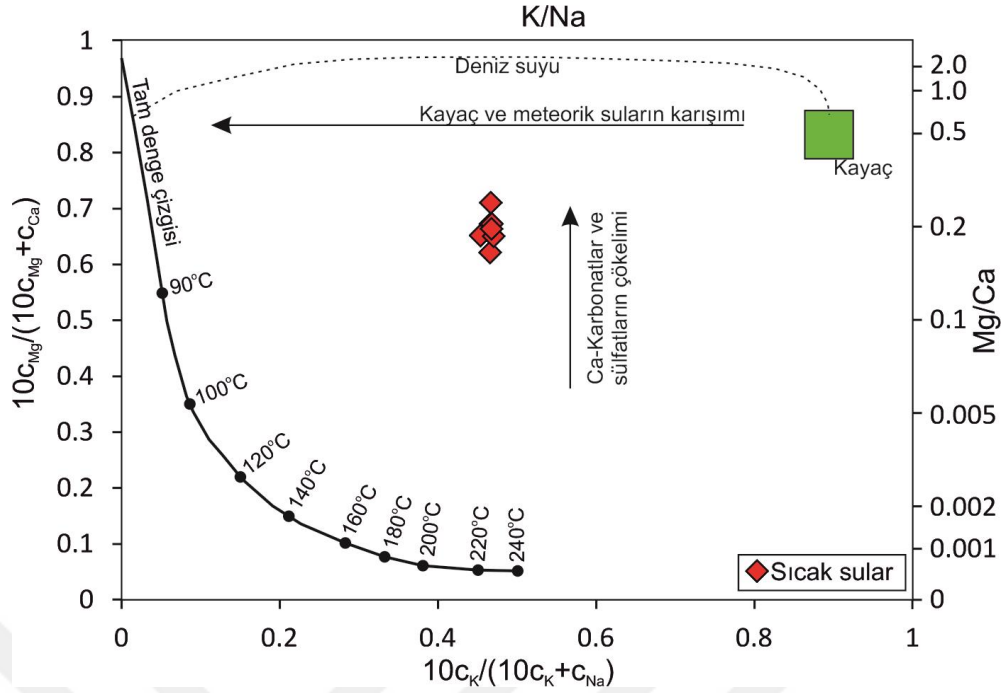
Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak sular Giggenbach bileşik üçgen diyagramında tam denge çizgisinden uzakta olgun olmayan sular bölgesine düşmüş olup sıcak akışkanın yukarı doğru çıkarken soğuk sularla karışımını ve/veya kondüktif (iletim ile) soğumasını yansıtmaktadır (Şekil 4.35). Bu nedenle inceleme alanındaki sıcak sular için katyon jeotermometrelerinin kullanılması yanlış sonuçlar verebilir ve kuvars jeotermometrelerinin kullanımı daha uygundur.

Giggenbach (1988) ayrıca su-kayaç dengesini ve rezervuar sıcaklığını değerlendirmek için Na, K, Ca ve Mg katyonlarına bağlı bir diyagram geliştirmiştir. Gözlıgöl jeotermal alanındaki suların denge durumu Na-K-Ca-Mg diyagramında incelenmiştir (Şekil 4.36). Sıcak sular tam denge çizgisinden uzakta çıkmış olup tam denge çizgisinden kayma; kayaç ve akışkan arasındaki daha kısa etkileşim süresinden, daha düşük kayaç/su oranlarından ve/veya güncel soğuk meteorik su girişinden kaynaklanabilir (Reyes ve ark., 2010). Diyagramda K/Na oranının incelenen sıcak sulara neredeyse aynı olduğu gözlenmektedir. Bu durum sıcak suların K/Na oranının çökeltme ve çözünme süreçleriyle çok fazla etkilenmediğini göstermektedir (Mutlu, 1996).

Kimyasal jeotermometrelerden elde edilen sonuçlara göre kuvars jeotermometreleri denge dışı koşullar nedeniyle katyon jeotermometrelerinden daha güvenilir sonuçlar sağlamaktadır.



Şekil 4.35. Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki dağılımı (Giggenbach, 1988)

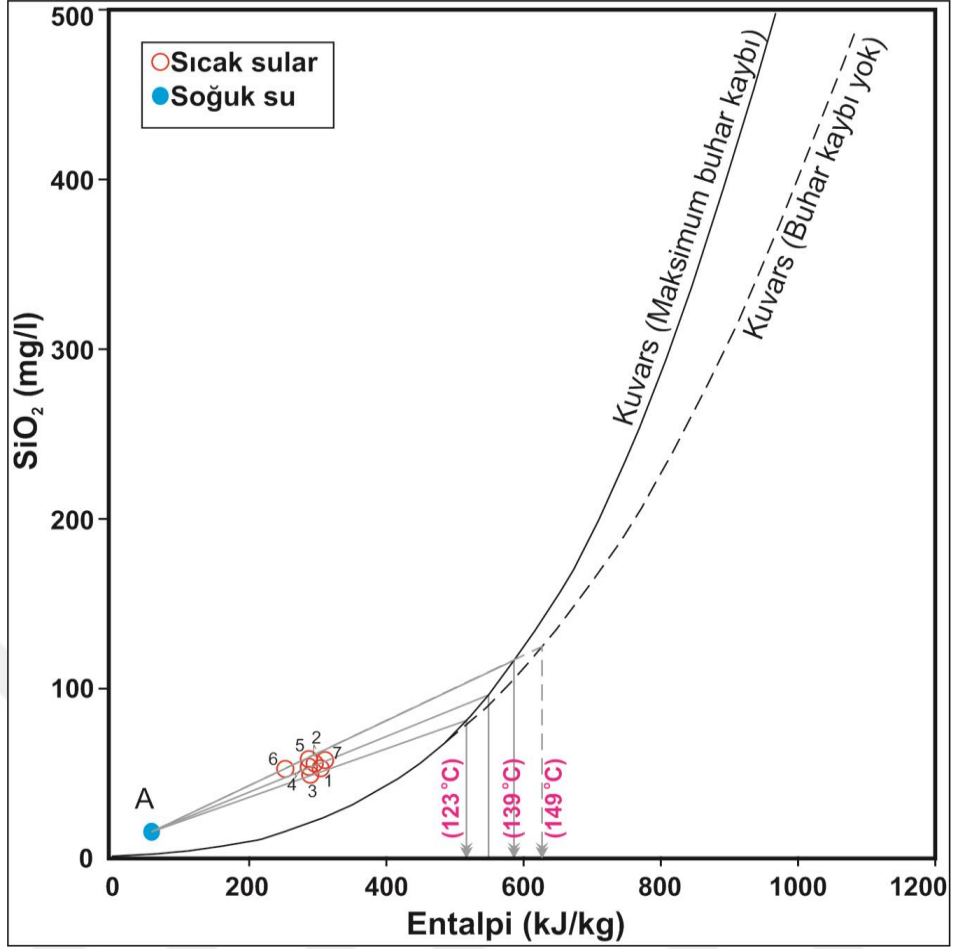


Şekil 4.36. Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların Na/K-Mg/Ca diyagramındaki dağılımı (Giggenbach, 1988)

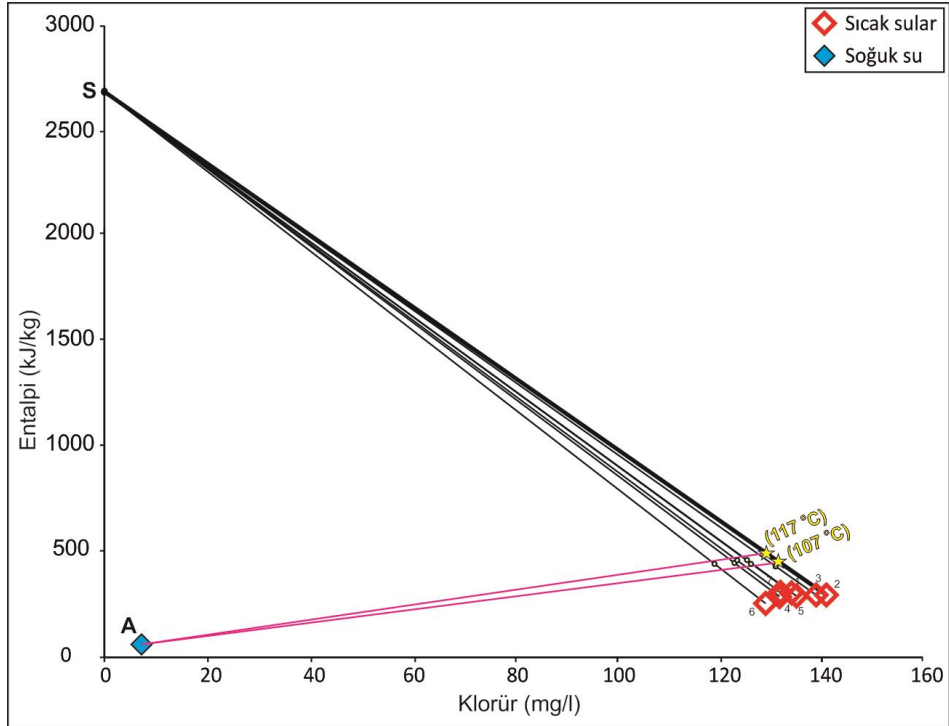
4.3.4.3. Silis-Entalpi ve Klorür-Entalpi Karışım Modelleri

Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların rezervuar sıcaklıklarını belirlemek için inceleme alanındaki soğuk suları temsil eden bir örnek (HC7) ile tüm sıcak su örnekleri SiO_2 -entalpi karışım grafiğinde (Truesdell ve Fournier, 1977) incelenmiştir (Şekil 4.37). Silis-entalpi karışım jeotermometresinden inceleme alanındaki sıcak suların minimum ve maksimum sıcaklık değerleri 123 °C ile 149 °C olarak belirlenmiştir (Şekil 4.37).

İnceleme alanındaki sıcak suların rezervuar sıcaklığını belirlemek için diğer bir karışım modeli olan klorür-entalpi karışım modeli de kullanılmıştır. Klorür-entalpi karışım grafiğinde sıcak suların entalpileri ve klorür değerlerine karşılık gelen noktalar işaretlenmiştir. Bu noktalar suların sıcak sudan ayrılma entalpisi olan 2775 kJ/kg (S) noktası ile birleştirilerek doğrular oluşturulmuştur. Her bir doğru üzerinde o örneğin kuvars buhar kaybı jeotermometresi ile hesaplanan hazne sıcaklıkları işaretlenerek bu noktalar soğuk su noktası ile birleştirilerek karışım çizgileri oluşturulmuştur. Soğuk sudan inceleme alanındaki en yüksek klorür değerine sahip örneğe kadar karışım çizgisi uzatılarak minimum ve maksimum rezervuar sıcaklıkları belirlenmiştir. Böylece Gazlıgöl jeotermal alanı için klorür-entalpi grafiğinden elde edilen rezervuar sıcaklığı 107 °C ile 117 °C arasında değişmektedir (Şekil 4.38).



Şekil 4.37. Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların entalpi-silis diyagramı



Şekil 4.38. Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların entalpi-klorür diyagramı

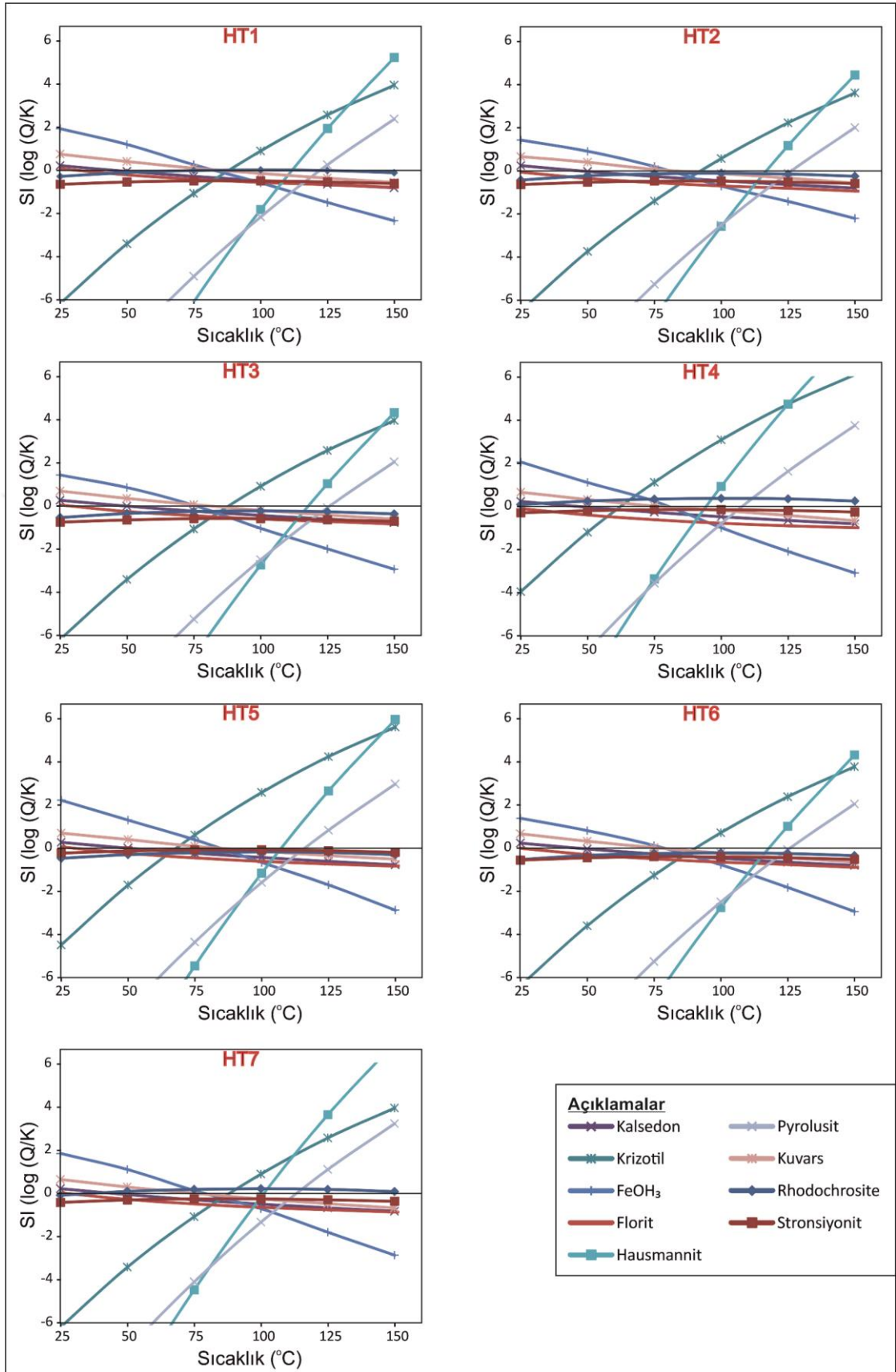
4.3.4.4. Mineral Denge-Sıcaklık Jeotermometresi

Jeotermal alanlarındaki rezervuar sıcaklıklarının belirlenmesinde Reed ve Spycher (1984) tarafından sıcaklıkla mineral doygunluklarının değişmesine dayalı yöntem geliştirilmiştir. Yöntem, her bir sıcak su için sıcaklığın bir fonksiyonu olan birçok hidrotermal mineral ile denge durumları arasındaki ilişkilere göre oluşturulan sıcaklık-mineral denge diyagramlarından oluşmaktadır (Reed ve Spycher, 1984). Bu yöntemde sıcak sulara ait kimyasal verilere göre çökel ürünü olabilecek mineraller ve bu minerallerin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri ($SI = \log Q/K$) hesaplanarak sıcaklık-mineral denge diyagramı çizilir. Diyagramda mineral grupları denge doğrusunu ($SI=0$) belirli bir sıcaklıkta kesiyorsa kesişim noktasına ait sıcaklık değeri rezervuar sıcaklığını verir (Tole ve ark., 1993).

Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların sıcaklık-mineral denge diyagramlarını elde etmek için mineral doygunluk indeksleri Aquachem-PhreeQC (Parkhurst ve Appelo, 1999) bilgisayar programında belirlenmiştir. Diyagramları oluşturmak için her bir sıcak suyun 25 °C ile 150 °C arasında 25°C aralıklarla çökel ürünü olabilecek minerallerin doygunluk indeksi değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.39). İnceleme alanındaki sıcak suların mineral denge-sıcaklık jeotermometresi ile hesaplanan en düşük ve en yüksek rezervuar sıcaklıkları Çizelge 4.11’de verilmektedir.

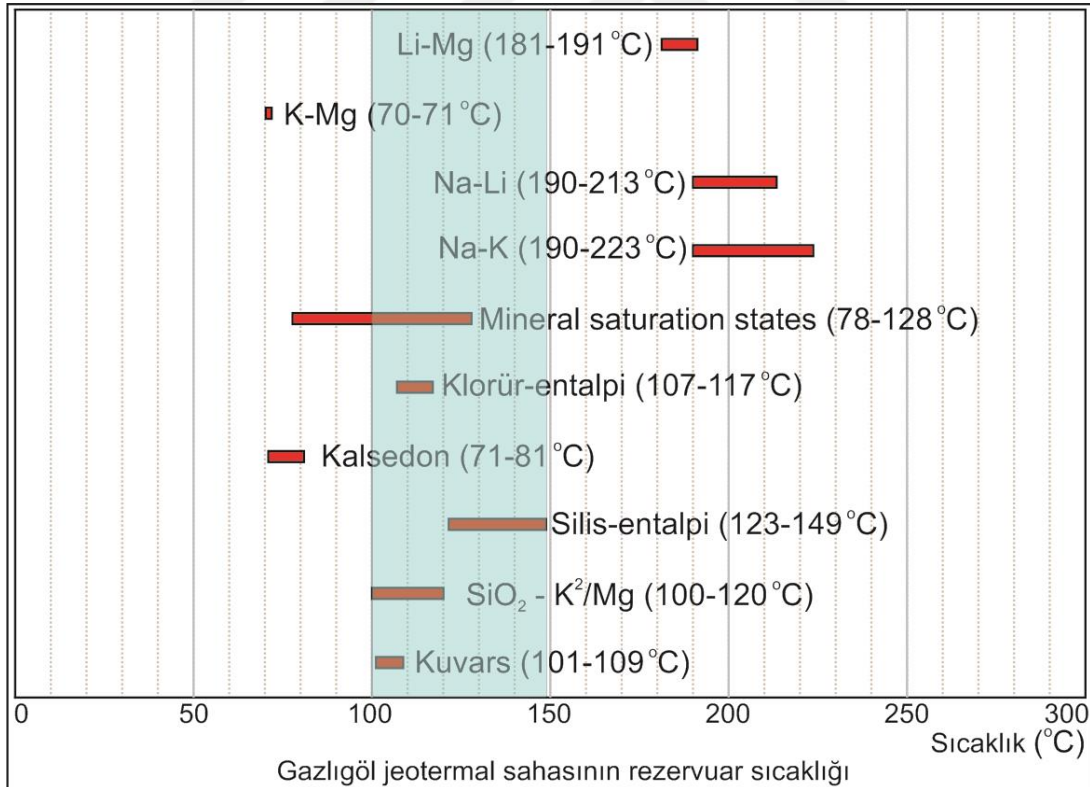
Çizelge 4.11. Gazlıgöl sıcak sularının mineral denge-sıcaklık jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklık değerleri (°C)

Örnek No	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7
Ölçülen sıcaklık (°C)	72	70	68,5	68	68	60	73,5
En Düşük Rezervuar sıcaklığı (°C)	87	88	85	78	90	87	85
En Yüksek Rezervuar sıcaklığı (°C)	123	128	123	108	115	126	115



Şekil 4.39. Gazlıgöl sıcak sularının mineral denge-sıcaklık diyagramları

Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların rezervuar sıcaklığını tahmin etmek için kullanılan farklı jeotermometrelerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.40'da verilmektedir. Katyon jeotermometrelerinden K-Mg jeotermometresi ölçülen sıcaklıklardan daha düşük ve aynı değerler verdiği için Gazlıgöl jeotermal alanı için kullanılması uygun değildir. Na-K, Li-Mg ve Na-Li gibi katyon jeotermometrelerinin kullanımı da denge dışı koşullar nedeniyle inceleme alanındaki sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının tahmin edilmesinde uygun olmayabilir. Ayrıca kalsedon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı birçok örnekte ölçülen sıcaklığa çok yakın olmasından dolayı kullanılması uygun olmayabilir. Ancak, mineral doygunluk durumları, $\text{SiO}_2\text{-K}^2/\text{Mg}$, klorür-entalpi, silis entalpi karışım modelleri ve kuvars jeotermometresinden elde edilen sıcaklık değerlerinin Gazlıgöl jeotermal alanının rezervuar sıcaklığı için anlamlı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu jeotermometrelerden elde edilen en düşük ve en yüksek rezervuar sıcaklık aralığı olan 100-149 °C sıcaklıkların Gazlıgöl jeotermal suları için en güvenilir rezervuar sıcaklık aralıkları olduğu söylenebilir.



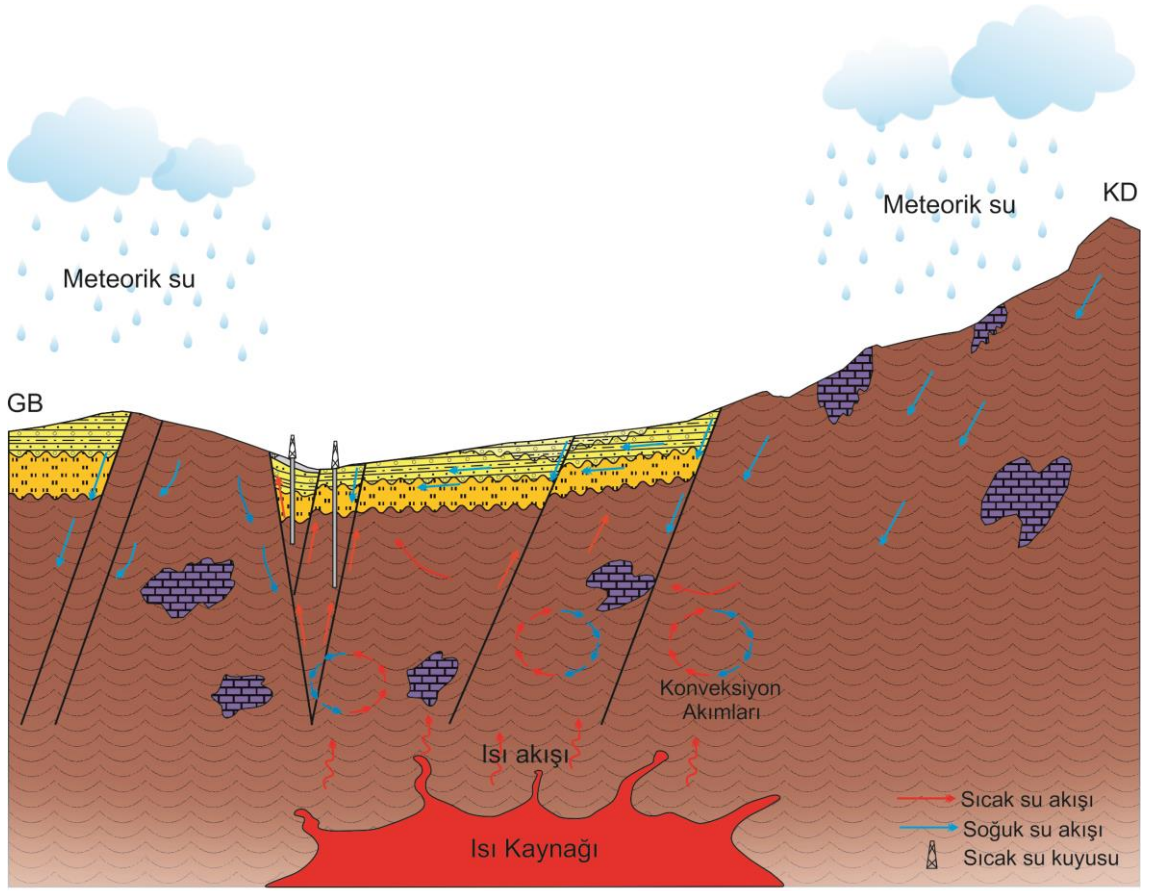
Şekil 4.40. Gazlıgöl jeotermal sahasına ait hesaplanan tüm jeotermometrelerinin karşılaştırılması

4.4. Gazlıgöl Jeotermal Alanının Kavramsal Modeli

Gazlıgöl jeotermal alanının jeolojik özellikleri ile alanda bulunan soğuk ve sıcak suların kimyasal ve izotopik özelliklerine göre bölgenin kavramsal modeli oluşturulmuştur (Şekil 4.41).

Gazlıgöl jeotermal sistemi esas olarak çalışma alanının kuzey, kuzeydoğusunda bulunan dağlık bölgeden (beslenme yüksekliği yaklaşık 1308-1385 metre arasında) ve batıdaki alana yakın yükseltiden meteorik suların süzülmesiyle beslenmektedir. Gazlıgöl jeotermal sisteminde meteorik sular aktif fayların varlığına bağlı olarak derinlerde yüksek jeotermik gradyan sayesinde ısınmaktadır. Bölgedeki sıcak suların rezervuar kayaçlarını Afyon metamorfitlelerine ait bol kırıklı, çatlaklı ve erime boşluklu kuvarsit, kuvarşist ve kalkşistler oluşturmaktadır. Beslenme bölgelerinin de ana litolojisini oluşturan Afyon metamorfitlelerinin geçirimli birimlerinde ve Neojen yaşlı geçirimli birimlerde toplanan yağış suları derinlere süzülerek buradaki yüksek jeotermik gradyana bağlı olarak ısınırlar. Sıcak sular hidrotermal kanal görevi gören faylar, kırıklar ve çatlak sistemleri boyunca dolaşır. Derinlerde ısınan sular faylar ve kırık sistemleri boyunca yükselirken daha sığ derinliklerde bulunan soğuk yeraltısuları ile karışarak yüzeye doğru çıkar. Bölgedeki Gazlıgöl, Yarımca ve Aydoğmuş fayları derinlerdeki ısınan suların yüzeye akışını sağlayan ana kanallardır. Ayrıca bu faylara paralel ve/veya dik olarak gelişmiş çok sayıda fay bulunmakta olup bu faylar ve çatlak sistemleri meteorik suların derinlere süzülmesini sağlayan diğer kanallardır. Jeotermal sistemin örtü kayaçlarını Neojen birimlerin killi, siltli ve marnlı seviyeleri oluşturmaktadır.

Gazlıgöl sıcak suları hem bölgesel hem de yerel akış sistemleri ile temsil edilir. Gazlıgöl jeotermal sistemindeki rezervuar kayaçlarının ayrışması/çözünmesi ve iyon değişim reaksiyonları, Ca, Mg ve HCO₃ tipi soğuk yeraltısularını Na ve HCO₃ tip sıcak sulara kaydırmıştır. Çözünmüş CO₂'nin ayrışmasından kaynaklanan asitlik rezervuardaki özellikle alkali feldispatların daha fazla çözünümüne yol açarak Na ve HCO₃ bakımından zengin nötr ve/veya hafif alkali çözeltilere dönüştürmüştür. Kimyasal, izotopik ve jeotermometre hesaplamalarından elde edilen verilere göre derinlerde ısınan sular dengeye ulaşmadan faylar sayesinde yüzeye yükselirken daha sığ derinlikteki daha soğuk yeraltısularıyla karışarak ve daha soğuk kayaçlarla temasları sırasında kondüktif soğumaya uğramışlardır.



AÇIKLAMALAR

Alüvyon Traverten } KUVATERNER-GÜNCEL

Toklargoğlu Formasyonu — PLIYO-KUVATERNER

Erdemir Formasyonu — GEÇ MİYOSEN

Karakaya Volkanitleri } ORTA MİYOSEN

Gebeceler Formasyonu } ORTA MİYOSEN

Seydiler İgnimbiriti — ERKEN MİYOSEN

İncehisar Mermerleri — PERMİYEN

Afyon Metamorfittleri — PREKAMBRIYEN-KAMBRIYEN

Şekil 4. 41. Gazlıgöl Jeotermal alanındaki yeraltısuyu akış sistemlerinin kavramsal modeli

5. SONUÇLAR

İnceleme alanının temelini şist, mikaşist, kuvarsit, kuvarşist, kalkışist, metaçakıltası ve gnayslardan oluşan Prekambriyen-Kambriyen yaşlı Afyon metamorfileri oluşturmaktadır. Afyon metamorfileri içerisinde üye mertebesinde Permiyen yaşlı İscehisar mermer üyesi bulunmaktadır. Bu temel birimler Erken Miyosen yaşlı Seydiler ignimbiritleri tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Seydiler ignimbiritleri üzerine ise Orta Miyosen yaşlı çakıltası, kumtaşı ve gölsel kireçtaşlarından oluşan Gebeceler formasyonu gelmektedir. Bazaltardan oluşan Orta Miyosen yaşlı Karakaya volkanitleri ise kendinden yaşlı birimleri kesmektedir. Bu birimler üzerine uyumsuzlukla, çamurtaşı, çakıltası, kum ve kil boyutlu malzemedden oluşan Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Erdemir formasyonu gelir. Neojen birimler üzerine polijenik kökenli çakıltaşlarından ve yer yer kumtaşlarından oluşan Pliyo-Kuvaterner yaşlı Toklargölü formasyonu ise uyumsuz olarak gelmektedir. Travertenler ve tutturulmamış gevşek malzemedden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, bütün birimleri uyumsuz olarak örtmektedir.

İnceleme alanına ait uzun yıllar (1990-2020) yağış ve sıcaklık verilerine göre, bölgede 30 yıllık ortalama sıcaklık 11.67 °C ve yıllık ortalama yağış 448,67 mm'dir.

İnceleme alanındaki soğuk suların sıcaklıkları 14 -24,5 °C, pH değerleri 7,08 - 8,25 ve EC değerleri 136-1927 µS/cm arasında değişmektedir. Sıcak sulardan alınan örneklerin sıcaklıkları 60-74°C, pH değerleri 7,05 -7,54 ve EC değerleri 3920-3975 µS/cm arasında değişmektedir.

Schoeller diyagramına göre tüm sıcak su örneklerine ait iyonları birleştiren doğrular birbirine paralel olup aynı akiferden geldiğini göstermektedir. Sıcak sularda hakim katyon Na, hakim anyon ise HCO₃ olup Na-HCO₃ tip sulardır. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) Sınıflamasına göre inceleme alanındaki soğuk sular Ca-Na-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-SO₄, Ca-Mg-Na-HCO₃, Na-Ca-HCO₃-SO₄, Na-HCO₃ ve Na-Ca-HCO₃ tip sular, sıcak sular ise Na-HCO₃ tip sular sınıfındadır.

Schoeller (1955) su sınıflamasına göre her iki dönemde de HT2 ve HTR örnekleri hariç diğer tüm sıcak sular "Olağan klorürlü-olağan sülfatlı-hiperkarbonatlı sular" sınıfındadır. HT2 ve HTR örnekleri ise "Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı sular" sınıfındadır.

Sıcak sulardaki Na konsantrasyonunun yüksek olması sıcak suların rezervuarını oluşturan Afyon metamorfileri içerisindeki özellikle alkali feldispatların ayrışması ve

çözünümünden kaynaklanmaktadır. Ca konsantrasyonlarının düşük olması akış yolu boyunca kalsit çökeliminden, Mg konsantrasyonunun düşük olması ise Mg iyonunun kil minerallerinin oluşumu sırasında tüketilmesinden kaynaklanmış olabilir. Sıcak sulardaki SO_4 konsantrasyonlarının aşırı düşük olması pirit ve elementel kükürtün çökmesi yoluyla S kaybı olmasının yanında bakteriyolojik sülfat indirgenmesinden kaynaklanmıştır. Sülfat indirgenme reaksiyonu sıcak sulara CO_2 aracılığıyla HCO_3 iyonunun artmasına ve SO_4 'ün tükenmesine neden olmuştur. Böylece çözülmüş CO_2 'nin ayrışmasından kaynaklanan asitlik rezervuar kayaçlarının özellikle feldispatların kimyasal ayrışmasıyla Na ve HCO_3 bakımından zengin olan nötr ve/veya alkali sulu çözeltiler oluşturmuştur.

Cl-Li-B diyagramı ve sıcak suların yüksek Cl/B oranları sıcak sulardaki Na, Li, B ve Cl iyonlarının su kayaç etkileşiminden kaynaklandığı desteklemekte olup, sıcak sular ile soğuk suların Cl ve B konsantrasyonları arasındaki yüksek pozitif korelasyon ise sıcak ve soğuk sular arasındaki karışıma işaret etmektedir.

İnceleme alanındaki hem sıcak hem soğuk su örneklerinin $\delta^{18}O$ ve δD değerleri, meteorik bir kökene işaret etmektedir. Fakat sıcak suların soğuk sulara kıyasla daha negatif $\delta^{18}O$ ve δD değerleri daha yüksek kotlardaki yağışlarla beslendiklerini göstermektedir. Ayrıca sıcak sulara Oksijen-18 zenginleşmesi kısmen yüksek sıcaklıklarda su ve kayaçlar arasındaki oksijen izotopu değişiminden kaynaklanmaktadır.

$\delta^{18}O$ -yükseklik ve δD -yükseklik ilişkisinden elde edilen denklemlere göre Gazlıgöl sıcak sularının beslenme yükseklikleri 1308 metre ile 1385 metre arasında değişmektedir. Belirlenen bu kotlar inceleme alanının kuzey kuzeydoğusunda bulunan yükseklikleri 1270 ve 1550 metreler arasında olan dağlık bölgeleri işaret etmektedir.

İnceleme alanındaki sıcak suların düşük trityum (ortalama 0,31 TU), yüksek klorür ve EC değerlerine sahip olmaları bu suların soğuk sulara göre daha derin dolaşım ve akiferde kalış süresinin daha uzun olduğunu, soğuk suların ise yüksek trityum (ortalama 5,35 TU) düşük klorür ve EC değerleri sıcak sulara göre çok daha sığ dolaşım ve kalış süresinin kısa olduğunu göstermektedir.

Gazlıgöl jeotermal alanının rezervuar sıcaklığının tahmininde kullanılan mineral doygunluk durumları, SiO_2-K^2/Mg , klorür-entalpi ve silis entalpi karışım modelleri ve kuvars jeotermometresinden elde edilen sıcaklık değerlerinin Gazlıgöl jeotermal alanının rezervuar sıcaklığı için anlamlı sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu jeotermometrelerden elde edilen en yüksek ve en düşük rezervuar sıcaklık aralığı olan

100-149 °C sıcaklıkların Gazlıgöl jeotermal suları için en güvenilir rezervuar sıcaklık aralıkları olduğu söylenebilir.

Gazlıgöl jeotermal alanındaki sıcak suların rezervuar kayaçlarını Afyon metamorfitlerine ait bol kırıklı, çatlaklı ve erime boşluklu kuvarsit, kuvarsşist ve kalkşistler oluşturmaktadır. Beslenme bölgelerinin de ana litolojisini oluşturan Afyon metamorfitlerine ait geçirimli birimlerinde toplanan yağış suları derinlere süzülerek buradaki yüksek jeotermik gradyana bağlı olarak ısınırlar. Derinlerde ısınan sular faylar ve kırık sistemleri boyunca yükselirken daha sığ derinliklerde bulunan soğuk yeraltısuları ile karışarak yüzeye doğru çıkar. Bölgedeki Gazlıgöl, Yarımca ve Aydoğmuş fayları derinlerdeki ısınan suların yüzeye akışını sağlayan ana kanallardır. Gazlıgöl sıcak suları hem bölgesel hem de yerel akış sistemleri ile temsil edilir. Kimyasal bileşimleri sıcak suların yüzeye çıkışları sırasında soğuk yeraltısuları ile karışımın olduğuna işaret eder. Çözünmüş CO₂'nin ayrışmasından kaynaklanan asitlik Gazlıgöl jeotermal rezervuarındaki ana kayaçların çözünme ve çökmesi süreçlerini etkilemiştir. Ayrıca sülfat indirgenmesi sonucu armaya devam eden HCO₃ konsantrasyonlarını dengelemek için rezervuar kayaçlarındaki özellikle alkali feldispatlardan Na iyonunu çözerek Na ve HCO₃ bakımından zengin olan alkali sulu çözeltiler oluşturmuştur.

KAYNAKLAR

- Afşin, M., Kuşcu, İ., Elhatip, H. and Dirik, K., 2006, Hydrogeochemical properties of CO₂-rich thermal–mineral waters in Kayseri (Central Anatolia), Turkey. *Environmental Geology*, 50 (1), 24-36.
- Akdeniz, N. ve Konak, N. 1979, Simav-Emet Tavşanlı-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Rapor No: 6547, Ankara (Yayınlanmamış).
- Akkurt, A., 2006, Afyon jeotermal sularında radon (Rn-222) aktivitesi tayini, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 57s.
- Akkuş, İ., Aydoğdu, Ö., Vekli, M. ve Öziçli, F.M., 2006, Afyon ilindeki jeotermal kaynaklara ilişkin değerlendirme raporu, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara (yayınlanmamış).
- Aksever, F., 2011, Afyon Sandıklı havzası hidrojeoloji incelemesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Isparta, 231s.
- Aksoy, İ., 2019, İncehisar (Afyon) yöresindeki volkanik kayaların petrolojisi ve petrojenezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Kütahya.
- Alan, İ., Elibol, H., Balcı, V., Böke, N., Arman, S., Soyakıl, M. ve Demirbağ, H., 2018a, Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Eskişehir-J24 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Ankara, No: 251.
- Alan, İ., Keskin, H., Elibol, H., Balcı, V., Böke, N. ve Şahin, Ş., 2018b, Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Eskişehir-J25 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Ankara, No: 252.
- Alçıçek, H., Bülbül, A., and Alçıçek, M. C., 2016, Hydrogeochemistry of the thermal waters from the Yenice geothermal field (Denizli Basin, Southwestern Anatolia, Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 309, 118-138.
- Alçıçek, H., Bülbül, A., Brogi, A., Liotta, D., Ruggieri, G., Capezzuoli, E., Meccheri, M., Yavuzer, İ. and Alçıçek, M.C., 2018, Origin, evolution and geothermometry of the thermal waters in the Gölemezli Geothermal Field, Denizli Basin (SW Anatolia, Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 349, 1-30.
- Anawar, H. M., Akai, J., Komaki, K., Terao, H., Yoshioka, T., Ishizuka, T., Safiullah, S. and Kato, K., 2003, Geochemical occurrence of arsenic in groundwater of Bangladesh: sources and mobilization processes. *Journal of Geochemical Exploration*, 77 (2-3), 109-131.

- Anderson, D., 1997, The Relationship Between Magmatism and Borate Mineralisation in Western Turkey; PhD Thesis, University of Leicester, 138p.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. and 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.
- Arnorsson, S., 2000, Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use, IAEA, Austria, 351.
- Aydar E., Bayhan H. and Gourgaud A., 1998, Koroglu caldera, mid-west Anatolia, Turkey: volcanological and magmatological evolution, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85 (1/4), 83-98.
- Başaran, C., 2017, Heybeli jeotermal alanının (Afyonkarahisar) hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Denizli, 126s.
- Başaran, C., Yıldız, A. and Duysak, S., 2020, Hydrochemistry and geological features of a new geothermal field, Bayatcık (Afyonkarahisar/Turkey), *Journal of African Earth Sciences*, Volume 165, May 2020, 103812.
- Berner, R. A., 1971, *Principles of chemical sedimentology*. New York: McGraw-Hill. Vol. 240.
- Besang, C. Eckhart, F. J., Hare, W., Kreuzer, H. and Muller, P., 1977, Radiometrische Altersbestimmungen an Neogenen Eruptivgesteinen der Türkei", *Geol. Jb.*, B 25, 3-36.
- Bundschuh, J., and Maity, J. P., 2015, Geothermal arsenic: occurrence, mobility and environmental implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1214-1222.
- Clark, I.D. ve Fritz, P., 1997, *Environmental isotopes in hydrogeology*, Lewis Publishers, New York, 328.
- Craig, H., 1961, Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133 (3465), 1702-1703.
- Çelmen, O. and Çelik, M., 2009, Hydrochemistry and environmental isotope study of the geothermal water around Beypazarı granitoids, Ankara, Turkey, *Environ. Geol.* 58:8, 1689-1701.
- Çuhadar, G., 1977, Akarçay havzası hidrolojik etüt raporu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (yayınlanmamış).
- Davis, J. A. and Kent, D. B., 2018, Surface complexation modeling in aqueous geochemistry, In *Mineral-water interface geochemistry*, De Gruyter, 177-260.

- Dedeoğlu, D., 2014, İsehisar-Seydiler (Afyon) arasındaki birimlerin jeolojisi, volkanik kayaların petrografik ve jeokimyasal incelemesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Deines, P., Fritz, P. and Fontes, J. C., 1980, Handbook of environmental isotope geochemistry. *The Terrestrial Environment*, 1, 329-406.
- Demir, S. ve Memiş, Ü., 2015, Afyonkarahisar jeotermal sahalarının hidrojeokimyası ve jeotermometre uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (2): 66-77 (2015), Isparta.
- Demircan, M. ve Yiğitbaşıoğlu, H., 2014, Yağışın Parmak İzi ve Paleoklimatoloji'de Kullanımı.
- Doğdu, M.Ş. ve Bayarı, C.S., 2002, Akarçay Havzası'nda (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme: 2. Yeraltısuyu Kirliliği, *Yerbilimleri Dergisi*, 23: 35-49.
- Doğdu, N., Orakcı, A. ve İldeş, L., 2013, Gazlıgöl(Afyonkarahisar) jeotermal alanına ait revize jeotermal kaynak koruma alanları etüt raporu, Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü, Rapor no: 11590.
- Edmunds WM., 2005, *Contribution of isotopic and nuclear tracers to study of groundwaters*. Editors: Aggarwal PK, Gat JR, Froehlich KF. *Isotopes in the Water Cycle*, 171-192, Oxford, United Kingdom, Springer, Dordrecht.
- Ekmekçi, M. ve Gültekin, F., 2015, Doğu Karadeniz bölümü suları çevresel duraylı izotop içeriğinin değerlendirilmesi. *Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu (MÜHJEO 2015)*, 3-5.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Olgun, Ş. ve Elmacı, H., 2011, Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü 1/250000 ölçekli Türkiye diri fay haritası serisi, Afyon (NJ 36-5) Paftası, Seri No: 16. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Ankara.
- Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkcan, A. ve Günay, E., 1978. Uşak Yöresindeki Neojen Havzalarının Jeolojisi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 21, 97- 106.
- Ercan, T., 1986, Orta Anadolu'daki Senozoyik Volkanizması, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Jeoloji Etütleri Dairesi Yayınları, 119-140.
- Erişen, B., 1972, Afyon-Heybeli (Kızılkilise) araştırma sahasının jeolojisi ve jeotermal olanakları. MTA Rapor No. 5490, 74s., (yayınlanmamış), Ankara.
- Erişen, B., Can, A. ve Yıldırım, N., 1989, Simav Eynal Jeotermal Alanı EJ1 ve EJ2 Jeotermal Sondajları Kuyu Bitirme Raporu, MTA Report. Compilation no:8916, (yayınlanmamış), Ankara.
- Fara, M., Chandrasekharam, D. and Minissale, A., 1999, Hydrogeochemistry of Dam thermal springs, Yemen Republic. *Geothermics*, 28 (2), 241-252.

- Fournier, R. O., 1977, A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. In: Proceedings of the Symp. On Geoth. Energy, Cento Scientific Programme, Ankara, 133-143.
- Fournier, R. O., 1979, A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Res. Council Trans*, 3, 221-224.
- Fournier, R. O. and Truesdell, A. H., 1973, An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37(5), 1255-1275.
- Gat, J. R., 1980, The isotopes of hydrogen and oxygen in precipitation. In *Handbook of environmental isotope geochemistry. Vol. 1*.
- Gat, J. R. And Carmi, I., 1970, Evolution in the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area, *Journal of geophysical Research*, 75, 3039-3048.
- Gat, J.R. and Gonfiantini, R., 1981, Stable isotope hydrology: deuterium and oxygen-18 in the water cycle. Technical report series, No 210.
- Gemici, Ü. And Filiz, Ş., 2001, Hydrochemistry of the Çeşme geothermal area in western Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal research*, 110 (1-2), 171-178.
- Giggenbach, W. F., 1988, Geothermal solute equilibria. derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et cosmochimica acta*, 52 (12), 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., 1991, Chemical techniques in geothermal exploration. In: D'Amore, F (Ed.), *Application of geochemistry in geothermal reservoir development*, 119-144.
- Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B. L. and Truesdell, A. H., 1983, Isotopic and chemical composition of Parbati Valley geothermal discharges, NW Himalaya, India. *Geothermics*, 5, 51-62.
- Giggenbach, W. F. and 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 (1-2), 121-140.
- Giggenbach, W.F., 1989, Collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas discharges. NZ DSIR Chemistry Report, 2401, 1-82.
- Giggenbach, W. F. and Soto, R. C., 1992, Isotopic and chemical composition of water and steam discharges from volcanic-magmatic-hydrothermal systems of the Guanacaste Geothermal Province, Costa Rica. *Applied Geochemistry*, 7 (4), 309-332.
- Giggenbach, W.F., Sheppard, D. S., Robinson, B.W., Stewart, M.K. and Lyon, G.L., 1994, Geochemical structure and position of the Waiotapu geothermal field, New Zealand. *Geothermics*, 23 (5-6), 599-644.

- Göçmez, G. and Kara, İ., 2005, Geological and hydrogeological study of Afyon-Gazlıgöl geothermal field, Proceedings, World Geothermal Congress, 24-29 April 2005, 1-5, Antalya, Turkey.
- Güleç, N., 1994, Geochemistry of thermal waters and its relation to tectonism in the Kızılcahamam (Ankara) Area, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59 (4), 295-312.
- Gürsu, S. and Göncüoğlu, M.C., 2008, Petrogenesis and geodynamic evolution of the Late Neoproterozoic post-collisional felsic magmatism in NE Afyon area, western central Turkey, Geological Society, London, Special Publications 2008; v. 297; p. 409-431.
- Halim, M. A., Majumdar, R. K., Nessa, S. A., Hiroshiro, Y., Uddin, M. J., Shimada, J. ve Jinno, K., 2009, Hydrogeochemistry and arsenic contamination of groundwater in the Ganges Delta Plain, Bangladesh. *Journal of hazardous materials*, 164 (2-3), 1335-1345.
- Han, D. M., Liang, X., Jin, M. G., Currell, M. J., Song, X. F. and 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 (1-2), 92-104.
- Henley, R. W. and Ellis, A. J., 1983, Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review. *Earth-science reviews*, 19 (1), 1-50.
- IAH., 1979, Map of Mineral and Thermal Water of Europe, Scale: 1:500.000, IAH International Association of Hydrogeologists), United Kingdom.
- İçlek, G., 2019, Afyonkarahisar Ayazini örenyeri'nin (Metropolis) sürdürülebilir turizm potansiyeli açısından değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Kaplan, M., 2014, Neotectonics and seismicity of eastern simav graben, Kütahya – Turkey [M.S. - Master of Science]. Middle East Technical University.
- Keller, J., and Villari, L., 1972, Rhyolitic ignimbrites in the region of Afyon (Central Anatolia). *Bulletin Volcanologique*, 36 (2), 342-358.
- Keller, J., 1983, Potassic lavas in the orogenic volcanism of the Mediterranean area, *Volcanology and Geothermal Research*, 18: 312-335.
- Kervankıran, İ., 2012, Afyonkarahisar ilinde jeotermal enerji kullanımı ve sorunları, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 25: 108-126.
- Kharaka, Y. K., Lico, M. S. and Law, L. M., 1982, Chemical geothermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California Basins. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 66, 558.

- Kharaka, Y. K. and Mariner, R. H., 1989, Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. In: N. D. Naser and T.H. McCulloh (Eds), *Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories*. Springer Verlag, 99-117.
- Kibici, Y., Yıldız, A. ve Bağcı, M., 2001, Afyon kuzeyinin jeolojisi ve mermer potansiyelinin araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM'2001) Bildiriler Kitabı, Afyonkarahisar, 3-5 Mayıs, 73-84.
- Kibici, Y., Dinç, D. ve Uçar, A., 2012, Afyonkarahisar Yöresi Volkanik Kayaçlarının Mineralojik ve Petrografik Özellikleri. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 29, 53-70.
- Koçyiğit, A. ve Deveci, Ş., 2007, Çukurören-Çobanlar(Afyon) arasındaki deprem kaynaklarının (Aktif fayların) belirlenmesi, Tübitak Proje No: 1006Y209, Ankara.
- Kuşcu, M., Yıldız, A., 2001, Ayazini Tüflerinin Yapıtışı Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem'2001) Bildiriler Kitabı, 85-98s. Afyonkarahisar.
- Langelier, W. F. and Ludwig, H. F., 1942, Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters. *Journal-American Water Works Association*, 34 (3), 335-352.
- Langmuir, D., 1997, *Aqueous environmental. Geochemistry* Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, 600.
- Lin, Z. and Puls, R. W., 2000, Adsorption, desorption and oxidation of arsenic affected by clay minerals and aging process. *Environmental Geology*, 39 (7), 753-759.
- Ma, R., Wang, Y., Sun, Z., Zheng, C., Ma, T. and Prommer, H., 2011, Geochemical evolution of groundwater in carbonate aquifers in Taiyuan, northern China. *Applied Geochemistry*, 26 (5), 884-897.
- Mahon, W. A., Klyen, L. E. and Rhode, M., 1980, Neutral sodium/bicarbonate/sulfate hot waters in geothermal systems. *J. Jpn. Geotherm. Energy Assoc.:(Japan)*, 17(1).
- Mainza, D., 2006, *The chemistry of geothermal waters of SW-Uganda*. United Nations University.
- Mazor, E., 2004, *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*, third edition: New York, Marcel Dekker, Inc., 453 p.
- Metin, S., Genç, I. ve Bulut, V., 1987, Afyon ve dolayının jeolojisi, M.T.A., Rapor No: 8103, Ankara, (yayımlanmamış).
- Metin, S., Genç, Ş., Bulut, V., Ölmez, M., Kılıç, İ., Umut, M., Akıncı, A. ve Kurt, Z., 1988, Bolvadin (Afyon) – Yunak (Konya) dolayının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 8522, Ankara (yayımlanmamış).

- Michard, G., 1990, Behaviour of the major elements and trace elements (Li, Rb, Cs, Sr, Fe, Mn, W, F) in deep hot waters from granitic areas. *Chemical Geology*, 89, 117-134.
- Motyka, R. J., Nye, C. J., Turner, D. L. and Liss, S. A., 1993, The geyser bight geothermal area, Umnak Island, Alaska. *Geothermics*, 22 (4), 301-327.
- Mutlu, H., 1996, Afyon Jeotermal alanındaki termal suların jeokimyasal değerlendirmesi; jeotermometre uygulamaları ve akışkan-mineral dengesi, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 169s. (yayımlanmamış).
- Mutlu, H., 1997, Gazlıgöl (Afyon) termal ve maden sularının jeokimyasal özellikleri ve jeotermometre uygulamaları, MTA, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 50:1-7.
- Müller, G., 1967, Diagenesis in argillaceous sediments. In: Larsen, G., Chilingar, G.V. (Eds.), *Diagenesis in Sediments*. Elsevier, Amsterdam, 8:127-177.
- Nicholson, K., 1993, *Geothermal fluids*. Springer Verlag., Germany, 263p.
- Oğuz, A., 2011, Sandıklı (Afyonkarahisar) jeotermal alanının hidrotermal alterasyon özellikleri, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Niğde.
- Okan, Ö.Ö., Kalender, L. and Çetindağ, B., 2018, Trace-element hydrogeochemistry of thermal waters of Karakoçan (Elazığ) and Mazgirt (Tunceli), Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Geochemical Exploration*, 194, 29-43.
- Okay, A. I., 1984, KB Anadolu' da yer alan metamorfik kuşaklar, Ketin Sempozyumu, Ankara, 83-92.
- Öcal, H. ve Göktaş, F., 2011, Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Afyon-K24 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Ankara, No: 158.
- Öcal, H., Turhan, N. ve Göktaş, F., 2011, Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Afyon-K25 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Ankara, No: 159.
- Özkaymak, Ç. and Sözbilir, H., 2020, Structural Evidence For Extensional Domain-Type Geothermal Play In Western Anatolia: A Case Study From Afyon-Akşehir Graben, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 693-702.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Geçievi, M.O. and Tiryakioğlu, İ., 2019, Late Holocene coseismic rupture and aseismic creep on the Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 28: 787-804.
- Parkhurst, D. L. and Appelo, C.A.J., 1999, User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and

- inverse geochemical calculations. Water-resources investigations report, 99 (4259), 312.
- Pasvanoğlu, S. and elik, M., 2018, A conceptual model for groundwater flow and geochemical evolution of thermal fluids at the Kızılcahamam geothermal area, Galatian volcanic Province. *Geothermics*, 71, 88-107.
- Phuong, N. K., Harijoko, A., Itoi, R. and Unoki, Y., 2012, Water geochemistry and soil gas survey at Ungaran geothermal field, central Java, Indonesia. *Journal of volcanology and geothermal research*, 229, 23-33.
- Piper, A. M., 1944, A Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, Transactions, American Geophysical Union, 25, 914-928.
- Ravikumar, P. and Somashekar, R. K., 2011, Environmental tritium (^3H) and hydrochemical investigations to evaluate groundwater in Varahi and Markandeya river basins, Karnataka, India. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(2), 153-162.
- Reed, M. and Spycher, N., 1984, Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(7), 1479-1492.
- Reyes, A. G., Christenson, B. W. and Faure, K., 2010, Sources of solutes and heat in low-enthalpy mineral waters and their relation to tectonic setting, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 192 (3-4), 117-141
- Schoeller, H., 1934, Les échanges de bases dans les eaux souterraines; trois exemples en Tunisie. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 4, 389-420.
- Schoeller, H., 1955, Gechemie des eaux souterranes. Rev. Inst. Franc. Petrole, Paris, 10. No. 3-4.
- Shakeri, A., Moore, F. and Kompani-Zare, M., 2008, Geochemistry of the thermal springs of Mount Taftan, southeastern Iran. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 178 (4), 829-836.
- Şahin, Ő. ve  nl gen, U.C., 2014, Bayat-Bolvadin (Afyonkarahisar) Arasındaki B lgenin Stratigrafisi. ukurova  niversitesi, *Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29 (1), 173-191.
- Şahinci, A., 1991a, Doğal suların jeokimyası. Reform Matbaası, Beyler/İzmir, 548s.
- Şahinci, A., 1991b, Jeotermal sistemler ve Jeokimyasal  zellikleri, Reform Matbaası, Beyler/İzmir, 249s.
- Şeker, E., 2019, Afyonkarahisar ili jeotermal alanlarının elektrik özdirenç yöntemi ile değerlendirilmesi ve yorumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 114s.

- Tarcan G., 2003, "Jeotermal Su Kimyası. Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar 11-21 Haziran 2002 Yaz Okulu Ders Kitabı" (Eds) Savaşçın, M.Y., Güleç N., Şimşek Ş., Parlaktuna M., Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, No:306, 198.
- Tarcan, G. and Gemici, Ü., 2003, Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, Izmir, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126 (3-4), 225-242.
- Tassi, F., Aguilera, F., Darrah, T., Vaselli, O., Capaccioni, B., Poreda, R. J. and Huertas, A. D., 2010, Fluid geochemistry of hydrothermal systems in the Arica-Parinacota, Tarapacá and Antofagasta regions (northern Chile). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 192 (1-2), 1-15.
- Tatlı, S., 1973, Afyon-Gazlıgöl-Susuz alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. MTA, Rapor No:2588, Ankara.
- Thornthwaite, W. C., 1948, An approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, 38 (1), 55-94.
- Tole, M.P., Armannsson, H., Zhong-He, P. and Arnorsson S., 1993, Fluid/mineral equilibrium calculations for geothermal fluids and chemical geothermometry. *Geothermics* 22 (1):17-37.
- Tolluoğlu, Ü.A., Erkan, Y. ve Yavaş, F., 1997, Afyon metasedimenter grubunun Mesozoyik öncesi metamorfik evrimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 40 (2): 1-17.
- Tonkul, S., Şimşek, C. ve Baba, A., 2019, İzotop özelliklerinin kullanılarak su-kayaç etkileşiminin incelenmesi: Alaşehir alt havzası örneği. *DSİ Teknik Bülteni*.
- Truesdell, A.H. and Fournier, R.O., 1977, Procedure for estimating the temperature of a hot water component in a mixed water by using a plot of dissolved silica versus enthalpy, *Journal of Research of the US Geological Survey*, 58 (1), 49-52.
- Ulutürk, Y., 2009, Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) dolayının jeolojisi ve sularının kökensel yorumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Isparta.
- Vengosh, A., Helvacı, C. and Karamanderesi, I. H., 2002, Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey. *Applied Geochemistry*, 17 (3), 163-183.
- Westrich, J. T. and Berner, R. A., 1984, The role of sedimentary organic matter in bacterial sulfate reduction: The G model tested 1. *Limnology and oceanography*, 29 (2), 236-249.
- Yağmurlu, F., Savaşçın, Y. And Ergün, M., 1997, Relation of alkaline volcanism and active tectonism within the evolution of the Isparta Angle, SW-Turkey, *The Journal of Geology*, 105: 717-728.

- Yalçın, H., 1988, Neojen Yaşlı Kırka (Eskişehir) Volkanosedimanter Görsel Baseninin Stratigrafik ve Tektonik Özellikleri, Çukurova Üniversitesi, *Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Seri A-Yerbilimleri C, 6-7 S. 1,2, s. 1165-181.
- Yan, X. P., Kerrich, R. and Hendry, M. J., 2000, Distribution of arsenic (III), arsenic (V) and total inorganic arsenic in porewaters from a thick till and clay-rich aquitard sequence, Saskatchewan, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64 (15), 2637-2648.
- Yıldız A., Bağcı M., Başaran C., Çonkar F. E. ve Ayday C., 2017, Landsat 8 uydu verilerinin jeotermal saha araştırmalarında kullanılması: Gazlıgöl (Afyonkarahisar) çalışması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 277- 284.

