



# Heybeli Jeotermal Sahasının (Afyonkarahisar) Kavramsal Hidrojeokimyasal Modellenmesi

**Program Kodu: 1002**

**Proje No: 113Y031**

Proje Yürütücüsü:  
**Yrd. Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ**

Araştırmacı(lar):

Arş. Grv. Can BAŞARAN

Mart 2015

Denizli



## ÖNSÖZ

Jeotermal enerji kaynakları bulunduğu bölgenin sosyoekonomik kalkınmasında etkili olan önemli güçlerden birisidir. Ülkemizde günümüzde; jeotermal sahalarda enerji üretimi, sera ve konut ısıtılması, termal turizm gibi alanlarda ekonomik faaliyetler sürdürülmektedir.

Bu çalışma; Afyonkarahisar İli'nde yer alan Heybeli Termal Kaplıcası ve yakın çevresinin jeotermal potansiyelini ayrıntılı bir şekilde ortaya koymak için yapılmıştır. Bu amaçla jeotermal sahada arazi ve laboratuvar çalışmaları yapılarak, laboratuvar analizlerinin bir kısmı yurtdışında yaptırılmıştır

Çalışmada Pamukkale Üniversitesi'nden 1 öğretim üyesi ve Afyon Kocatepe Üniversitesinden 1 öğretim üyesi yer almıştır.

Proje ekibi, proje çalışmalarında çeşitli konularda yardımlarını esirgemeyen; AKU Jeoloji Müh. Bölümü'nden Yrd. Doç. Dr. Metin BAĞCI'ya, Doç. Dr. Ahmet YILDIZ'a, PAU Jeoloji Müh. Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Ali BÜLBÜL'e teşekkür eder.

Bu çalışma 113Y031 nolu proje çerçevesinde TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.



## İçindekiler

ÖNSÖZ .....	1
İçindekiler .....	2
Şekiller Listesi .....	3
Tablolar Listesi .....	6
Kısaltma ve Simgeler Listesi .....	7
Özet .....	8
Abstract .....	9
1. Giriş .....	10
1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri .....	10
1.2 Çalışmanın Amacı .....	10
2. Önceki Çalışmalar .....	12
3. Gereç ve Yöntem .....	17
3.1 Literatür Çalışması .....	17
3.2 Saha çalışmaları .....	17
3.2.1 Jeolojik-Petrografik çalışmalar .....	17
3.2.2 Örnekleme ve Yerinde Ölçüm ve Analiz Çalışmaları .....	17
3.3 Laboratuvar Çalışmaları .....	18
3.3.1 Örnek Hazırlama .....	18
3.3.2 Analiz .....	18
4. Bulgular ve Tartışma .....	21
4.1 Jeoloji .....	21
4.1.1 Bölgesel Jeoloji .....	21
4.1.2 İnceleme Alanı Jeolojisi .....	22
4.2 Tektonizma .....	32
4.2.1 Cumhuriyet ve Maltepe Fayları .....	32
4.2.2 Duru Fay Zonu .....	33
4.2.3 Kurucaova Fay Zonu .....	34
4.3 Hidrojeoloji .....	36
4.3.2 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri .....	36
Soğuk Su Sondajları .....	42
4.4.1 Su Örnekleme Noktaları .....	46
4.4.2.4 Suların Kimyasal Özellikleri .....	50
4.4.2.5 Suların Sınıflaması .....	55
4.4.3 Suların İzotopik Özellikleri .....	61
4.4.4 Su Kaynaklarının Radyoaktivite Özellikleri .....	70
4.4.5 Suların Doymunluk İndekslerinin Belirlenmesi .....	71
4.4.6 Jeotermometre Hesaplamaları .....	74
4.4.7 Suların Kullanılabilirlik Özellikleri .....	81
5. SONUÇLAR .....	88
6. Kaynaklar .....	91

## Şekiller Listesi

	Sayfa No
Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.	2
Şekil 2. ICP-OES cihazı.	10
Şekil 3. Spektrofotometre cihazı.	10
Şekil 4. Titrasyon yöntemiyle alkalinite analizi.	10
Şekil 5. Leica DM2500P model polarizan mikroskop.	11
Şekil 6. XRD cihazı.	11
Şekil 7. XRF cihazı.	11
Şekil 8. Batı Anadolu'nun paleotektonik haritası	12
Şekil 9. Paleozoyik Grubu'nun arazideki genel görünümü.	13
Şekil 10. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	14
Şekil 11. Sultandede Yeşilşist Formasyonu'nun arazideki genel görünümü.	15
Şekil 12. Sultandede formasyonuna ait fillit örneklerinin polarizan mikroskop görüntüleri.	16
Şekil 13. Sultandede formasyonuna ait fillit örneklerinin XRD grafiği.	16
Şekil 14. Karahasan kalkerlerinin arazideki görünümü.	17
Şekil 15. Karahasan Kalkerlerinin polarizan mikroskop görüntüleri.	17
Şekil 16. Karahasan kalkerlerine ait XRD grafiği.	18
Şekil 17. Senozoyik ve Paleozoyik serilerin arazideki konumu.	18
Şekil 18. Gebeceler formasyonunun arazideki görünümü.	19
Şekil 19. Marn örneği içerisindeki makro (a) ve mikro (b) fosiller.	19
Şekil 20. Sarıova üyesinin arazideki görünümü.	20
Şekil 21. Sarıkayalar konglomera üyesinin arazideki görünümü.	21
Şekil 22. Konarı trakiandezitlerinin arazideki görünümü.	21
Şekil 23. Traverten oluşumunun arazideki genel görünümü.	22
Şekil 24. Traverten örneğinin XRD grafiği.	23
Şekil 25. İnceleme alanının neotektonik haritası.	24
Şekil 26. Cumhuriyet fayı ve Sultandağı horstunun arazideki genel görünümü.	25
Şekil 27. Cumhuriyet ve Duru faylarının genel görünümü.	25
Şekil 28. Kurucaova Fayının arazideki görünümü.	26
Şekil 29. Gözsüzlü Köy yolu üzerinde neojenleri kesen tali faylar.	26

Şekil 30. Çalışma alanının yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin 1968-2012 yılları arasındaki dağılımı.	28
Şekil 31. Çalışma alanının 1968-2012 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı.	28
Şekil 30. Çalışma alanının yağış ve buharlaşma-terleme grafiği.	29
Şekil 33. DSİ kuyuların ait kuyu kesitleri.	33
Şekil 34. DSİ kuyularına ait zaman düşüm grafikleri.	34
Şekil 35. MTA tarafından açılan bazı jeotermal kuyularda kesilen birimler	36
Şekil 36. Su örnekleme noktaları.	37
Şekil 37. Bazı örnekleme noktalarından görünümler.	38
Şekil 38. İnceleme alanı sularının yarı logaritmik diyagramı (Temmuz-2013).	47
Şekil 39. İnceleme alanı sularının yarı logaritmik diyagramı (Kasım-2013).	47
Şekil 40. İnceleme alanı sularının Piper diyagramı (Temmuz-2013).	48
Şekil 41. İnceleme alanı sularının Piper diyagramı (Kasım-2013).	49
Şekil 42. İnceleme alanı sularındaki klorürün diğer iyon ve elementlerle ilişkisi.	50
Şekil 43. İnceleme alanı sularının Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> diyagramı (Temmuz-2013).	51
Şekil 44. İnceleme alanı sularının Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> diyagramı (Kasım-2013).	51
Şekil 45. Temmuz-2013 döneminde analizi yapılan örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$ diyagramındaki konumu.	54
Şekil 46. Kasım-2013 döneminde analizi yapılan örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$ diyagramındaki konumu.	54
Şekil 47. Suların trityum-Cl grafiği.	57
Şekil 48. Suların trityum- $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisi.	58
Şekil 49. İnceleme alanı sularındaki kükürtün olası kaynaklarını gösteren diyagram	59
Şekil 50. Doğal karbon bileşiklerinin kökenlerine bağlı sulardaki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin Clark ve Fritz (1997)'e göre konumu.	60
Şekil 51. Temmuz-2013 döneminde analizi yapılan örneklerin Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumu.	68
Şekil 52. Kasım-2013 döneminde analizi yapılan örneklerin Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumu.	68
Şekil 53. Temmuz-2013 dönemi su örneklerinin sıcaklık-mineral denge diyagramları.	70
Şekil 54. Kasım-2013 dönemi su örneklerinin sıcaklık-mineral denge diyagramları	71
Şekil 55. Analizi yapılan örneklerin EC değerlerinin standartlar ile karşılaştırması.	72
Şekil 56. Temmuz-2013 dönemi Schoeller içilebilirlik diyagramı.	73

Şekil 57. Temmuz-2013 dönemi Schoeller içilebilirlik diyagramı.	73
Şekil 58. Analizi yapılan örneklerin pH değerlerinin standartlar ile karşılaştırması.	74
Şekil 59. Analizi yapılan örneklerin NO <sub>3</sub> -Fe-Al-F değerlerinin standartlar ile karşılaştırması.	74
Şekil 60. Analizi yapılan örneklerin As-B değerlerinin standartlar ile karşılaştırması.	75
Şekil 61. Temmuz-Kasım 2013 dönemlerinde analizi yapılan örneklerin ABD Tuzluluk Laboratuvar diyagramındaki konumu	77
Şekil 62. Temmuz-Kasım 2013 dönemlerinde analizi yapılan örneklerin Wilcox diyagramındaki konumu.	77



## Tablolar Listesi

	Sayfa
	No
Tablo 1. Fillit örneğinin XRF analiz sonucu.	15
Tablo 2. Traverten örneklerinin XRF analiz sonuçları	22
Tablo 3. Bolvadin Meteoroloji istasyonu verilerine (1968-2012) göre hazırlanan su bütçesi tablosu.	30
Tablo 4. DSİ kuyularının zaman-düşüm değerlerine göre hesaplanan parametreler.	35
Tablo 5. Örnekleme noktaları ve in-situ ölçüm sonuçları.	40
Tablo 6. İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları.	42
Tablo 7. Analizi yapılan örneklerin su sınıfları.	49
Tablo 8. Su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta\text{D}$ analiz sonuçları.	53
Tablo 9. Heybeli jeotermal sahası için hesaplanan ortalama beslenme yükseklikleri.	55
Tablo 10. Analizi yapılan örneklerin trityum (3H) değerleri (TU).	56
Tablo 11. Analizi yapılan örneklerin $\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$ - $\delta^{34}\text{S}(\text{SO}_4)$ değerleri.	58
Tablo 12. Analizi yapılan örneklerin $^{13}\text{C}$ değerleri ve $^{14}\text{C}$ yaşları.	60
Tablo 13. Analizi yapılan örneklerin $\alpha$ ve $\beta$ aktivite sonuçları.	61
Tablo 14. Çalışma alanındaki sıcak ve ılık suların mineral doygunluk indeksleri.	63
Tablo 15. Kimyasal jeotermometre eşitlikleri.	66
Tablo 16. Sıcak su örneklerinin Temmuz-2013 ve Kasım-2013 dönemlerine ait jeotermometre hesaplamaları.	67
Tablo 17. Analizi yapılan örneklerin $\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$ - $\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$ değerleri ve jeotermometre hesaplamaları.	69
Tablo 18. Bor içeriklerine göre sulama sularının sınıflaması.	78
Tablo 19. Suların EC, %Na, rCl ve rSO <sub>4</sub> değerlerine göre sınıfları.	78

## Kısaltma ve Simgeler Listesi

Bq/L	Bekerel/Litre
$\alpha$ ve $\beta$	Alfa ve Beta
A.K.Ü	Afyon Kocatepe Üniversitesi
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFZ	Akşehir Fay Zonu
AMS	Hızlandırıcı Kütle Spektrometre
ASFS	Akşehir-Simav Fay Sistemi
b	Sondaj Filtre Uzunluğu
ÇN	Çift Nikol
$\delta$	Delta
EC	Elektriksel İletkenlik
EPA	Çevre Koruma Birliği
F	Köpürme
GMWL	Küresel Meteorik Su Çizgisi
ICP-OES	İndüktif Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektrometre
İTASHY	İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik
$\mu$	Mikro
MI	Olgunlaşma İndeksi
$\mu$ S	Mikrosiemens
<i>r (mek/l)</i>	Miliekivalan/litre değeri
SAR	Sodyum Absorbsiyon Oranı
SI	Doygunluk İndeksi
SMOW	Ortalama Okyanus Suyu Standardı
<i>T</i>	Transmisibilite
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde
TN	Tek Nikol
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TU	Trityum Birimi
Q	Debi
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
XRD	X-Işınları Difraktometresi
XRF	X-Işınları Floresans Spektrometresi
$\gamma$	Gama
$\lambda$	Lamda
$\Delta S$	Zaman-Düşüm grafiğinin eğimi.





## Özet

### **Proje Başlığı: Heybeli Jeotermal Sahasının (Afyonkarahisar) Kavramsal Hidrojeokimyasal Modellenmesi**

Önerilen projenin amacı, Heybeli jeotermal sahasının (Afyonkarahisar) hazne ve örtü kayalarını, beslenmesini (alanı) ve ısı kaynağını belirlemek, jeotermal suların kimyasal kompozisyonunu, kökenini, yeraltındaki sirkülasyon süresini, rezervuar sıcaklığını, su-kaya etkileşimini, mineral doymunluklarını ve sıcak-soğuk su karışımlarını saptamaktır. Erişilmek istenen sonuç jeotermal sahanın kavramsal hidrojeokimyasal modelini kurmak ve bu yolla jeotermal akışkandan yararlanma türleri ve sahanın geliştirilme çalışmalarında yol gösterici olmaktır.

Bu araştırma sonunda, proje konu ve kapsamında bugüne kadar ayrıntılı olarak araştırılmamış olan Heybeli sahasında yapılacak jeolojik, yapısal, hidrojeolojik ve jeokimyasal çalışmalarla jeotermal sistemin oluşum mekanizması ve kavramsal hidrojeokimyasal modellemesi yapılacağından bilimsel birikime katkı sağlanacaktır.

Heybeli sahası ve yakın civarında yapılacak jeolojik, yapısal ve hidrojeolojik çalışmalar jeotermal suların oluşum mekanizmaları hakkında temel bilgileri sağlayacaktır. Sulardan ve kayalardan yapılacak kimyasal ve izotopik analizler suların tipinin, kökeninin, yaşının, geçmişten günümüze kimyasal bileşimindeki değişimin, doyma indislerinin, hazne kaya ile dengeye erişip erişmediklerinin, rezervuardaki akışkan kimyasının, su-kaya arasındaki kimyasal reaksiyonların ve rezervuar sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılacaktır.

Sonuçta jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar desteğinde, Heybeli sahası için jeotermal suların beslenmesi, hazne ve örtü kayaları, ısı kaynağı, yeraltında izlediği yollar, geçirdiği kimyasal değişimler ve olası yeraltı sıcaklıkları ve koruma alanlarını ortaya koyan kavramsal bir jeokimyasal modellemeye gidilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Afyonkarahisar, Heybeli, jeotermal saha, jeotermal akışkan, kavramsal hidrojeokimyasal modelleme



## Abstract

**Project Title: Conceptual Hydrogeochemical Modeling of the Heybeli Geothermal Field (Afyonkarahisar)**

The aim of the proposed project is to determine the reservoir and cap rocks, recharge basin, heat source, geo chemical composition of thermal waters, its origin, the length of underground circulation, the reservoir temperature, water-rock interaction, mineral equilibrium and hot-cold water mixture of Heybeli Geothermal area (Afyonkarahisar).The desired result is to establish conceptual hydrogeochemical model of geothermal field and to be the guide for utilizing ways from geothermal fluid and field development studies.

After this research, with geological structural hydrogeologic and geochemical studies Heybeli Field in which there has not been a study in details so far, it will contribute the scientific knowledge since formation mechanism of geothermal system and conceptual hydrogeochemical modeling will be made.

The geologic, tectonic and hydrogeologic researchs in the Heybeli geothermal field and surroundings provide basic knowledge about formation mechanisms of thermal waters. Chemical and isotopic analyses from water and rocks will be done to determine water types, origins, ages, differences in chemical composition of the geothermal fluid to the future from the past, saturation index, equilibrium with reservoir rock, fluid chemistry in reservoir, chemical reactions between water-rock and reservoir temperature.

As a conclusion, a conceptual hydrogeochemical model will be made which brings up, recharge, reservoir and cap rocks, heat source, underground flow paths, chemical evolutions, possible ground temperature of the geothermal fluid in the Heybeli geothermal field by the help of the geological and hydrogeological studies.

**Keywords:** Afyonkarahisar, Heybeli, geothermal field, geothermal fluid, conceptual hydrogeochemical modeling

## 1. Giriş

Bu bölümde, çalışma alanının yeri ve genel özellikleri, amacı, önceki çalışmalar, gereç ve yöntem ile ilgili bilgiler verilmiştir.

### 1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri

İnceleme alanı Afyonkarahisar ilinin 25 km doğusunda, Afyonkarahisar-Konya karayolu üzerinde bulunmakta olup, 1/25.000 ölçekli Afyonkarahisar K25-c1, c2, c3 ve c4 paftalarında yer almaktadır (Şekil 1).

Bölgede, Afyon-Akşehir Graben sistemine bağlı olarak gelişen önemli yükseltiler Sultandede Tepe (2310 m), Gümüslük Tepe (2160 m), Mermerlik Tepe (1526 m), Deliklikaya Tepe (1541 m)'dir. İnceleme alanında yer alan çöküntü ovası rakımı yaklaşık olarak 980 m'dir.

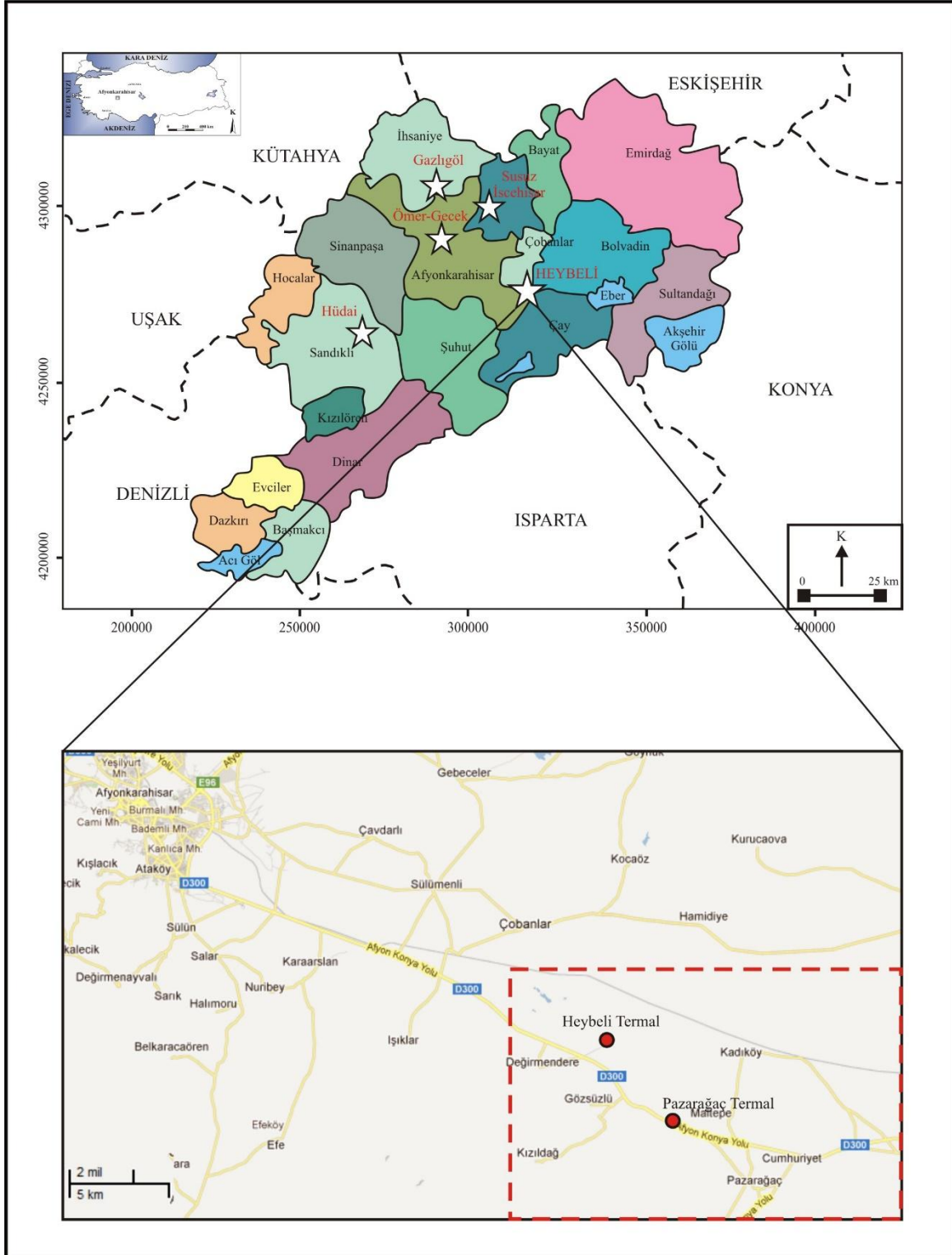
İnceleme alanında devamlı su taşıyan akarsular Afyon Akarı, Kali Çayı ve Değirmendere'dir. Afyon Akarı çalışma alanının dışında Sincanlı-İhsaniye ilçelerinden doğuya doğru akarak Eber gölüne ulaşır. Kali Çayı ise inceleme alanı doğusunda yer alan İnli Mevkii'nden kuzeye akarak Afyon Akarına ulaşır. Afyon-Akşehir çöküntü ovası üzerinde yağışlı dönemde genişleyip kurak dönemde daralan irili ufaklı birçok gölet bulunur.

İnceleme alanındaki yerleşim birimleri Değirmendere, Maltepe, Kadıköy ve Gözsüzlü köyleri, Kocaöz Kasabası ve Çobanlar İlçesi'dir. Ulaşım problemi yoktur.

Bolvadin Belediyesi tarafından işletilen Heybeli Termal Tesisleri, Pazarağaç Belediyesi tarafından işletilen Pazarağaç Kaplıcası ve Çay Belediyesi balık çiftliği bölgedeki önemli termal tesislerdir. Bölgede ayrıca Kurt İnşaat A.Ş. tarafından işletilen ve jeotermal su ile ısıtılan bir sera bulunmaktadır.

### 1.2 Çalışmanın Amacı

Projenin amacı, Heybeli jeotermal sahasının (Afyonkarahisar) hazne ve örtü kayalarını, beslenmesini (alanı) ve ısı kaynağını belirlemek, jeotermal suların kimyasal kompozisyonunu, kökenini, yeraltındaki sirkülasyon süresini, rezervuar sıcaklığını, su-kaya etkileşimini, mineral doygunluklarını ve sıcak-soğuk su karışımlarını saptamaktır. Erişilmek istenen sonuç jeotermal sahanın kavramsal hidrojeokimyasal modelini kurmak ve bu yolla jeotermal akışkandan yararlanma türleri ve sahanın geliştirilme çalışmalarında yol gösterici olmaktır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

## 2. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yapılan jeolojik, jeofizik ve hidrojeolojik çalışmaların sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Besang vd. (1977), Afyon Volkanitleri'nin yaşını 8-14 my olarak belirlemişler ve Toros kuşağındaki maksimum sıkışma ile meydana gelen hareket periyodunun Batı Anadolu'daki andezitik genel periyodu ile aynı yaşta olduğunu ve Afyon volkanizmasının bu zaman dilimi içinde oluştuğunu savunmuşlardır.

Başarır ve Kun (1982), Afyonkarahisar il merkezi ve çevresindeki volkanik kayaların alkali bileşiklerce zengin olmalarına karşın, alkalice zengin olması gerekenden farklı bir bileşime sahip olduklarını, örneğin daha az silis, daha fazla MgO içerdiklerini belirlemişlerdir. Ayrıca Afyon kalesinin üzerinde yer aldığı lavları, trakiandezit olarak isimlendirmişlerdir

Keller (1983), Afyon volkanizmasının kıta içi bir volkanizma olduğunu ve Geç Tersiyer'de Arap ve Anadolu levhalarının birbirleriyle çarpışması ve Arap-Afrika levhalarının Anadolu levhası altına dalması sonucu gelişen Akdeniz kıvrım kuşağının takip eden Neojen yaşlı volkanizmanın ürünleri olduğunu vurgulamışlardır.

Koçyiğit (1984), genişlemeli neotektonik rejimin ve ilgili graben-horst yapılarının doğuya doğru Tuz Gölü'ne kadar etkili olduğunu; özellikle Isparta Büklümü ve Konya çöküntüsünün de aktif genişlemeli rejimin denetiminde geliştiğini ilk kez ortaya koymuş ve belgelemiştir. Yazar ayrıca, genişlemeli neotektonik rejimin büyük boyutlu yapılarından birinin de sismojenik bir kuşak özelliğindeki yaklaşık KB gidişli Akşehir-Simav çöküntüsü olduğunu, bu kuşağı temsil eden ana yapılardan birinin Akşehir grabeni ve onun güney kenarını denetleyen fay olduğunu ve bu fayın normal bir fay (Akşehir fayı) niteliği taşıdığını ilk kez belgelemiştir.

Okay (1984), Batı Anadolu'da, Anatolid-Torid Tektonik Birliği içinde Anatolidler'e karşılık gelen "Kütahya-Bolkardağı Kuşağı'nı", kuzeyden güneye doğru azalan metamorfizma koşulları ve tektonik ilişkiyi gözetererek; mavişist fasiyesi koşullarında metamorfizma geçirmiş "Tavşanlı zonu" ve yeşil şist fasiyesi koşullarında metamorfizma geçirmiş "Afyon Zonu" olmak üzere iki alt zona ayırmıştır.

Tolluoğlu vd. (1997), Afyon zonunda baskın olarak sedimanter kökenli litolojilerin oluşturduğu bölgesel metamorfitle Afyon metamorfitle olduğunu, bu metamorfitle alt ve üst metamorfitle olarak iki gruba ayrılabilceğini ifade etmişlerdir. Yazarlar Afyon metamorfikleriyle Anadolu karbonat platformunun oluşturduğu istifi Afyon Metasedimanter Grubu olarak

isimlendirmişler ve bu istifin Mesozoyik öncesi dönemde evrimini tamamladığını bildirmişlerdir.

Yağmurlu vd. (1997), Isparta büklümünü aktif tektonik ve alkalın volkanizma açısından inceleyerek kuzeyde Afyon'dan güneye doğru gençleşen bir volkanizmanın olduğunu vurgulamışlardır. Volkanizmanın alkalın ve hiperalkalin olarak ayrıldığını ve latitik, trakitik, lösitik ve lamproitik karakterli kayaçların bölgede yüzeylediklerini belirlemişlerdir. Üst Miyosen-Alt Pliyosen'de K-G yönündeki horst-graben yapılarına paralel volkanizmanın geliştiğini, Afyon bölgesindeki volkanizmanın dalma-batma süreci ile ilişkin kompresyonel rejimle geliştiğini, Isparta'da ise daha genç volkanizmanın, grabenlerin K-G doğrultulu faylarla ilişkili olduğunu kanıtlamışlardır.

Bozkurt (2001), Ege-Anadolu bloğunun bir bütün halinde batıya doğru kaydığını, bunun sonucunda Anadolu levhasının, Karadeniz levhasına göre batıya hareket ettiğini, Batı Anadolu'nun D-B doğrultusunda sıkıştığını, K-G yönünde ise genişlediğini ifade eder.

Koçyiğit ve Deveci (2007), Çobanlar-Çukurören sismik boşluğu içinde yer alan deprem kaynaklarını (faylar) araştırmıştır. Proje sahasında değişik boyutta 11 graben, 6 horst ve 2 adet alt horst belirleyen, adlayan ve bunların genel özelliklerini açıklayan araştırmacılar, Çobanlar-Çukurören sismik boşluğunun deprem tehlikesi haritasının hazırlanmasında baz olarak kullanılacak olan deprem kaynaklarını (faylar) ve bu faylardan kaynaklanacak en büyük deprem büyüklüklerini saptamışlardır.

Gülay (1972), bölgenin jeotermal potansiyelini araştırmak amacıyla jeofizik rezistivite (D) yöntemleri kullanarak geniş kapsamlı çalışmalar yapmıştır.

Müller (1955), Heybeli kaplıcasının faylarla parçalanmış bir saha üzerinde yer aldığını, sıcak su çıkışlarının Değirmendere fayı boyunca gerçekleştiğini, ancak Heybeli kaplıcasındaki jeotermal suyun kaynağının asıl merkezinin kaplıcanın 40-50 km batısındaki Ömer- Gecek ve Gazlıgöl bölgelerindeki jeotermal sularla ilişkili olabileceğini öne sürmüştür.

Erişen (1972), Akşehir-Afyon grabeni içinde yer alan çok sayıda sıcak su kaynağının jeokimyasal özelliklerini araştırmış, bölgedeki jeotermal kaynaklara ait jeokimyasal değerlendirmeler sonucunda, Cl içeriğine (>50 mg/l) bağlı olarak bölgeyi sıcak su egemen sistem olarak sınıflandırarak, rezervuar sıcaklığının 135-170°C arasında değiştiğini ifade etmiştir. Bu nedenle bölgede yapılacak daha detaylı jeolojik ve jeofizik çalışmalarla yüksek sıcaklıkta ve debide jeotermal sulara ulaşılabileceğini belirtmiştir.

Çuhadar (1977), Akşehir-Simav fay sistemini karakterize eden Akşehir-Afyon ve Sinanpaşa (Sincanlı) gibi iki büyük graben yapısının tümünün genel jeolojik özellikleri yanı sıra, ağırlıklı olarak akifer türleri, yeraltı suyu dolaşımı ve kalitesini incelemiştir. Her iki grabenin

kenarlarında yüzeyler durumda ve graben dolgusu altında gömülü konumda önemli fayların bulunduğunu, bu faylar boyunca yükselen kükürt ve sülfatça zengin sıcak suların yeraltı sularına karıştığı ve onların kirlenmesine yol açtığını da vurgulamıştır.

Hakyemez (1982), bölgenin coğrafik, jeomorfolojik, iklimsel, jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerini araştırarak toprak ve arazi sınıflaması yapmıştır. Çalışma sonucunda, jeotermal akışkanın sıcaklığının düşük olması, iklim koşulları, yörenin hayvancılık potansiyelinin yüksek olması gibi nedenlerden dolayı bölgedeki sıcak suların ahır ve kümes ısıtmacılığı için uygun özelliklere sahip olduğunu, sera ısıtmacılığının ise ikinci planda düşünülmesi gerektiği ifade etmiştir.

Şimşek vd. (1993), Ömer-Gecek jeotermal sahasında izotop verilerini değerlendirmiş, suların meteorik doğruya yakınlığını göz önüne alarak, jeotermal suların meteorik kökenli ve derin dolaşıma sahip olduklarını ifade etmiştir.

Mutlu (1997), sıcaklıkları 18,5 ile 64°C arasında değişen Gazlıgöl jeotermal ve maden sularının Na ve HCO<sub>3</sub>'ca zengin olduğunu ve silis ve katyon jeotermometreleri ile Gazlıgöl jeotermal sahası için elde edilen rezervuar sıcaklığının maksimum 120°C olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı, sularda tespit edilen düşük sülfat derişimlerinin büyük olasılıkla bakteriyel sülfat indirgenmesinden kaynaklandığını ifade etmiştir.

Öktü vd. (1997), Ömer-Gecek bölgesinde metamorfik serinin batıdan doğruya doğru derinleştğini, ancak kuzey ve güneye doğru daha yüksekte kalan basamaklı bir kesit görünümü verdiğini ve buna bağlı olarak sıcak su akiferinin derinliğinin önemli değişimler gösterdiğini belirtmişlerdir.

Mutlu (1998), Ömer-Gecek alanında jeotermal suların sıcaklığının 32-98°C arasında değiştiğini ve bu suların genellikle Na, Cl ve HCO<sub>3</sub>'ca zenginleştğini belirtmiştir. Sahadaki rezervuar sıcaklıklarını, uyguladığı silis ve katyon jeotermometrelerine göre 75-155°C, entalpi-klorür karışım modeline göre 125°C olarak belirleyen araştırmacı Ömer-Gecek sularının mineral dengesinin büyük ölçüde CO<sub>2</sub> konsantrasyonları ile kontrol edildiğini vurgulamıştır.

Mutlu ve Güleç (1998), Kuzey-Orta-Batı ve Doğu Anadolu bölgelerinde yaptıkları çalışmada, suların genel olarak Na-Ca-HCO<sub>3</sub> bileşiminde olduğunu belirleyerek, Batı Anadolu'da yüzeyleyen jeotermal suların rezervuar sıcaklıklarını 251°C olarak hesaplamışlardır.

Akan (2002), Ömer-Gecek sahasındaki jeotermal suların <sup>18</sup>O - <sup>2</sup>H grafiğinde suların meteorik doğrudan az bir sapma gösterdiği ve belirli bir yönelime sahip olduğunu, bu durumun genellikle yüksek sıcaklıklarda meydana gelen kayaç-su etkileşimi sonucunda termal suların

<sup>18</sup>O'ce zenginleşmesine bağlı olabileceğini belirtmiş; sahadaki jeotermal suların kökeninin meteorik olduğunu belirlemiştir.

Doğdu ve Bayarı (2002), Afyon-Akarçay Havzası'nda Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanları civarındaki soğuk yeraltısularını jeotermal kökenli kirlenme açısından incelemiştir. Termal suların Na-Cl, soğuk suların ise Ca-HCO<sub>3</sub> karakterli olduğunu belirten yazarlar termal su karışımının göstergesi olarak kullanılan Na+K, Cl, Li, B, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik parametrelerinin alansal dağılımının soğuk yeraltı suyundaki kirlenmenin jeotermal alanlara yakınlık ile ilişkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Gemici ve Tarcan (2002), Batı Anadolu'da yer alan termal sulardaki bor içeriğini ve çevresel etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar Menderes masifi içerisinde yer alan serisit, illit ve turmalin gibi minerallerin termal sulardaki bor için önemli bir kaynak olduğunu, bölgedeki enerji santralleri ve merkezi ısıtma sistemlerinden reenjeksiyon yapılan suların bölgedeki bor konsantrasyonunu arttırdığını belirlemiştir.

Tezcan vd. (2002), Akarçay Havzası'nda yeraltı ve yüzey suları akım modeli oluşturmuşlar, havza içerisindeki su dolaşımını bir bütün olarak ele alan matematiksel modeller çerçevesinde değerlendirmeler yapmışlardır.

Vengosh vd. (2002), Batı Anadolu'daki jeotermal suların jeotermal özellikleri ile ilgili yaptıkları çalışmada; denizel olmayan sıcak sularda farklı kökenli kayaçları ve derin dolaşımını yansıtan üç tip kimyasal bileşimli jeotermal su ayırt etmişlerdir. Bunlardan Na-HCO<sub>3</sub> ve Na-SO<sub>4</sub> tipli suların metamorfik kayaçlarla ve gnaylarla ilişkili olduğu, Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> bileşimli suların ise karbonatlı kayaçlardaki yüzeysel dolaşımı ve soğuk yüzeysel sularla karışımı gösterdiğini belirtmişlerdir.

Demirel vd. (2003), Heybeli jeotermal sahasında sıcak sular için iki adet rezervuar bulunduğunu, birinci rezervuarın Karahasan kalkerleri, ikinci rezervuarın ise Yeniçiftlik zonu mermerleri olduğunu ve üst seviye için alınacak sıcaklığın yaklaşık 60°C olduğunu belirtmişlerdir.

Gemici ve Tarcan (2004), Heybeli jeotermal sahasındaki jeotermal ve soğuk suların kimyasal özelliklerinin benzer olduğunu, suların Na-Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> ve Ca-Na-HCO<sub>3</sub> tipi olmak üzere iki grup altında toplandığını, sulardaki Mg içeriğinin düşük sıcaklığı ve soğuk sular ile karışımı ifade ettiğini ve suların EC, Ca, Mg, Na ve SO<sub>4</sub> değerlerinin Türkiye içme suyu standardından yüksek olduğunu belirlemiştir.

Tamgaç vd. (2004), Ömer-Gecek jeotermal alanındaki sıcak su sondajları ve sıcak su kaynaklarının koruma alanları ve uygun koruma yöntemlerini ortaya koymuşlardır. Çok sayıda sıcak su kaynağının bulunduğu yörede birbirini çevreleyen üç koruma alanı saptayan



araştırmacılar Afyon Ovası ve Heybeli termal tesisleri çevresinde suların Na-Cl içeriğinde artış gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Doğdu ve Bayarı (2005), Akarçay Havzası'nda jeotermal suyun yüzey ve yeraltı suları üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Şehir ısıtmasından ve termal banyolardan dönen termal suyun akarsu üzerinde önemli derecede çevresel etkileri olduğunu belirten yazarlar nehir suyunun %6'sının termal sudan oluştuğunu ve bu kirliliğin Eber Gölü'nün su kalitesini bozduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar tatlı su kuyularına termal yeraltı suyu girişiminin başlıca jeotermal alanlara yakın alanlarda olduğunu tespit etmişler ve termal suyun yüzey ortamından uzaklaştırılmasını çözüm olarak önermişlerdir.

Akkurt (2006), Afyonkarahisar bölgesindeki jeotermal kaynaklarda radon konsantrasyonlarının 0,085 ile 44,57 Bq/L ve radyum değerlerinin ise 0,062 ile 4,94 Bq/L arasında değiştiğini ve bu sulardaki radyumun kaynağını suların içinden geçtiği kütleler içerisindeki radyoaktif maddelerin oluşturduğunu belirterek, Afyonkarahisar ili çevresindeki doğal radyoaktivitenin belirlenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Akkuş vd. (2006), Afyon ilindeki jeotermal suların sodyumlu, sülfatlı, magnezyumlu, bikarbonatlı, klorürlü termal sular olduğunu ifade etmişler, ayrıca, koruma alanlarına ilişkin öneriler sunmuşlar ve jeotermal sistemin geliştirilmesi için ilave çalışmalar yapılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Ulutürk (2009), Afyon Ömer-Gecek jeotermal sularının meteorik kökenli olduğunu, beslenme alanına düşen yağışın K-KD istikametinde basamaklı faylar aracılığı ile yeraltına süzüldüğünü ve magmadan direk veya indirek konvektif akımlar vasıtası ile ısınarak tekrar yeryüzüne ulaştığını belirtmiştir. Yazara göre bölgedeki suların Na+K ve Cl'ca zengin sular olduğunu ve yüksek Cl içeriğinin bölgedeki suların derin dolaşımına işaret ettiğini ifade etmiştir.

Başaran vd. (2012), Heybeli Termal Kaplıcası ve yakınında yer alan suların Na-Ca-HCO<sub>3</sub> tipinde olduğunu ve hazne kaya sıcaklıklarının 100-149°C arasında olabileceğini belirlemişlerdir.

### 3. Gereç ve Yöntem

Proje çalışması, literatür, saha ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür.

#### 3.1 Literatür Çalışması

Bu aşamada çalışma alanı ve yakın çevresinde jeoloji, hidrojeoloji ve jeokimya konularında yapılmış çalışmalara ilişkin makale ve raporlar incelenmiş, Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü, belediyeler ve özel şirketler tarafından açılan bazı kuyu verileri ve Meteoroloji 5. Bölge Müdürlüğü'nden alınan meteorolojik veriler değerlendirilmiştir.

#### 3.2 Saha çalışmaları

Saha çalışmaları, jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar ile su noktalarında yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması şeklinde iki safhadan oluşmuştur.

##### 3.2.1 Jeolojik-Petrografik çalışmalar

Bu çalışma kapsamında inceleme alanı ve çevresinde, önceki çalışmalarda hazırlanan jeolojik haritalar yardımıyla kaya birimleri ve faylar yerinde gözlenmiş, kayaçların detay incelemeleri (Polarizan mikroskop, XRD ve XRF) yapılmıştır.

##### 3.2.2 Örnekleme ve Yerinde Ölçüm ve Analiz Çalışmaları

İnceleme alanında örnekleme için seçilen 35 su noktasında (9 sıcak su sondajı, 1 sıcak su kaynağı, 7 soğuk su kaynağı, 16 soğuk su sondajı, 2 akarsu örneği) sıcaklık, elektriksel iletkenlik, pH ve Eh ölçümleri yapılmıştır. Su sıcaklıkları ile pH, Eh ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri HACH-LANGE portatif HQ40D multi ölçüm cihazı ile iletkenlik ve pH elektrotları kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerden önce, cihaz EC ve pH standart çözeltileriyle kalibre edilmiştir. Jeotermal suların serbest CO<sub>2</sub> içerikleri NaOH titrasyonu, CO<sub>3</sub> ve HCO<sub>3</sub> içerikleri ise H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> titrasyonu ile belirlenmiştir.

Majör anyon analizleri için örnekler 2 adet 250 ml'lik polipropilen şişeye alınmış ve bu örnekler analiz başlangıcına kadar +4°C altındaki sıcaklıklarda korunmuştur. Katyon ve iz element analizleri için örnekler 100 ml'lik polipropilen şişelere filtre edilerek (0,42 µm) alınmış, daha sonra numunelere ultra saf HNO<sub>3</sub> eklenerek pH değerinin 2 ve altına inmesi sağlanmıştır. Tritiyum analizleri için su örnekleri 500 ml'lik polipropilen şişelere doğrudan alınmıştır. <sup>18</sup>O ve <sup>2</sup>H analizleri için örnekleme 50 ml'lik polipropilen şişelere doğrudan yapılmıştır. <sup>13</sup>C izotop analizi için örnekler 100 ml. lik çift tıpalı kahverengi cam şişelere alınarak HgCl<sub>2</sub> ilavesiyle sudaki tüm organik maddenin ortadan kalkması sağlanmıştır. <sup>14</sup>C analizi için örnekler 1000 ml. lik çift tıpalı kahverengi cam şişelere alınmıştır.

Suların  $\alpha$  ve  $\beta$  aktivite analizleri için örnekleme 1000 ml. lik polietilen şişelere yapılmış ve örneklerin korunması için ultra saf  $\text{HNO}_3$  ilavesi ile örnek pH'ları 2 veya altına getirilmiştir.

### 3.3 Laboratuvar Çalışmaları

#### 3.3.1 Örnek Hazırlama

İyon ve element analizleri için buzdolabında bekletilen su numuneleri analiz öncesi buzdolabından çıkarılarak sıcaklıklarının oda sıcaklığına gelmesi sağlanmıştır.

Sudaki çözülmüş sülfatın  $^{34}\text{S}$  ve  $^{18}\text{O}$  izotop değerlerinin belirlenmesi için yapılan örnek hazırlama işleminde öncelikle suların sülfat içeriklerine göre değişen hacimlerde (düşük (10 mg/l) sülfat değerlerine sahip sulardan yüksek (yaklaşık 2000ml), yüksek (>200 mg/l) sülfat değerlerine sahip sulardan ise düşük (yaklaşık 100 ml)) örnek filtre edilerek alınmıştır. Sonra seyreltik ultra saf HCl ilavesiyle pH'ları 4-5'e getirilmiş, suya örnek hacmi ve sülfat derişimine göre değişen miktarlarda (100-150 mg)  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ilave edilmiş ve bir gece bekleme sonucunda sudan  $\text{BaSO}_4$  çökmesi sağlanmıştır.

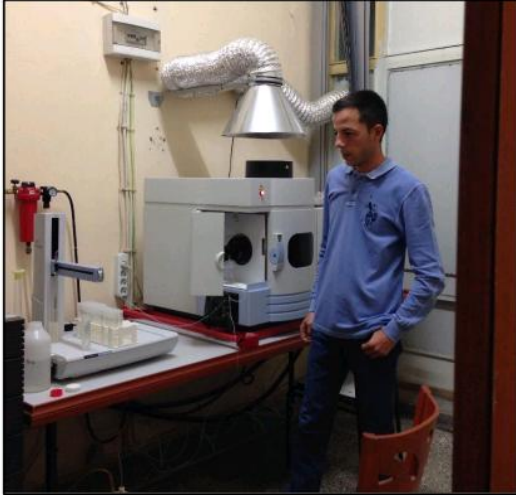
Polarizan mikroskop incelemeleri için araziden alınan kayaç örnekleri önce 1cm kalınlığında ince levhalara ayrılmış, daha sonra A.K.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda VOMMAK ince kesit hazırlama makinası kullanılarak 0,1-0,03 mm inceliğe ulaşılan kadar aşındırıcı disk ile inceltilmiştir.

Tüm kayaç incelemeleri yapılacak kayaç örnekleri XRD incelemeleri için porselen havan kullanılarak öğütülmüş ve  $-250 \mu\text{m}$  tane boyutuna getirilmiştir.

Kayaç örneklerinin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla örnekler  $-250 \mu\text{m}$  tane boyutuna getirilmiş, 6,250 gr örnek pres altında sıkıştırılarak pelletler elde edilmiştir.

#### 3.3.2 Analiz

Suların Na, Ca, Mg, K, Pb, Fe, Zn, Cu, Al, Si, Sr, Li, Ba ve Mn analizleri ICP-OES (Perkin Elmer DV 2100) cihazında,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$  ve  $\text{SiO}_2$  analizleri iyon kromatografi (Dionex ICS 1000) ve spektrofotometre (HACH DR/4000) cihazları ile Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Su ve Çevre Kimyası Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir (Şekil 2 ve 3). Soğuk suların  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$  ve serbest  $\text{CO}_2$ , içerikleri NaOH ve  $\text{H}_2\text{SO}_4$  titrasyonu ile suların örneklendiği gün belirlenmiştir (Şekil 4). Elde edilen değerler Aquachem 3.7 (Calmbach, 1997) ve Phreeqc 3.1.2 (Parkhurst ve Appelo, 1999) gibi bilgisayar programları yardımıyla jeokimyasal değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 2. ICP-OES cihazı.



Şekil 3. Spektrofotometre cihazı.



Şekil 4. Titrasyon yöntemiyle alkalinite analizi.

Hazırlanan su numuneleri, trityum analizleri için Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne,  $\alpha$  ve  $\beta$  aktivite analizleri için DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarı'na,  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  analizleri için Utah Üniversitesi Biyoloji Bölümü'ne (ABD), sudaki çözülmüş sülfattan  $^{34}\text{S}$  ve  $^{18}\text{O}$  analizleri ile  $^{13}\text{C}$  analizleri için Waterloo Üniversitesi, Yer ve Çevre Bilimleri Bölümü'ne (Kanada) ve  $^{14}\text{C}$  analizleri için Arizona Üniversitesi, AMS Laboratuvarı'na (ABD) gönderilmiştir.

Hazırlanan ince kesit örneklerinin incelenmesinde A.K.Ü Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Leica marka polarizan mikroskop ve görüntü analiz sistemi kullanılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Leica DM2500P model polarizan mikroskop.

Kayaç örneklerinin mineral içeriklerinin belirlenmesi için, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi'nde bulunan Bruker D8 Advance model XRD cihazı (Ni filtreli, CuK radyasyonlu) kullanılmıştır. Numuneler  $2^\circ/\text{dak.}$ 'da taranarak  $2-70^\circ$  goniometre kırınım açısı aralığında 2000 cps (intensity) pik yoğunluğunda analiz edilmiştir (Şekil 6). Kimyasal analiz için hazırlanan pellet şeklindeki numuneler, Pamukkale Üniversitesi-Jeoloji Mühendisliği Bölümünde bulunan SPECTRO XEPOS III marka masa üstü XRF spektrometresi ile analiz edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 6. XRD cihazı.



Şekil 7. XRF cihazı.

## 4. Bulgular ve Tartışma

### 4.1 Jeoloji

Bu bölümde çalışma alanı ve içerisinde bulunduğu bölgenin jeolojik özellikleri, kayaçların mineralojik ve petrografik tanımlamaları ile tektonizma hakkında bilgi verilmiştir.

#### 4.1.1 Bölgesel Jeoloji

İnceleme alanı, Ketin (1966)'da belirtilen ve esas itibariyle, Orta ve Batı Anadolu kristalin masiflerini veya metamorfik serilerini ihtiva edip, bunları diskordan olarak örten Tersiyer formasyonlarını içerisine alan "Anatolid" bölgesinde yer almaktadır. Okay (1984, 1986), Anatolidleri, Bolkardağı, Afyon-Tavşanlı zonları ve Menderes-Kırşehir masifleri olarak zonlara ayırmış ve bu zonları Torosların başkalaşıma uğramış eşlenikleri olarak kabul etmiştir. Çalışma sahası; Göncüoğlu vd. (1996) tarafından önerilen tektonik modele göre Afyon Zonu'nun içerisinde yer almakta ve bu zona ait temel kayaçları içermektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Batı Anadolu'nun paleotektonik haritası (Göncüoğlu vd., 1996).

Afyon Zonu, batıda Menderes Masifi'nden başlayıp Denizli kuzeyini izleyerek Uşak ve Denizli üzerinden Afyonkarahisar'a kadar uzanan düşük dereceli metamorfik bir kuşaktır ve yeşilist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş platform tipi çökellerden oluşur (Tolluoğlu vd., 1997). Afyonkarahisar ili ve çevresindeki bölgesel metamorfik kayaçlar, metamorfizma evrimini Mesozoyik öncesi dönemde tamamlamıştır.

Baskın olarak sedimanter kökene sahip olan birimler Mesozoyik öncesi dönemde birden fazla bölgesel metamorfizma ve deformasyon geçirmişlerdir. Çok evreli deformasyondan etkilenen meta-sedimanter istif üzerine Üst Permiyen-Alt Triyas yaşlı polijenik çakıllı konglomeralar çökelmiştir. Bu konglomeraları Triyas-Jura yaşlı karbonatlar üzerlemektedir. Neojen yaşlı genç volkanik ve piroklastik seriler ise tüm birimleri örtmektedir (Tolluoğlu vd., 1997).

#### 4.1.2 İnceleme Alanı Jeolojisi

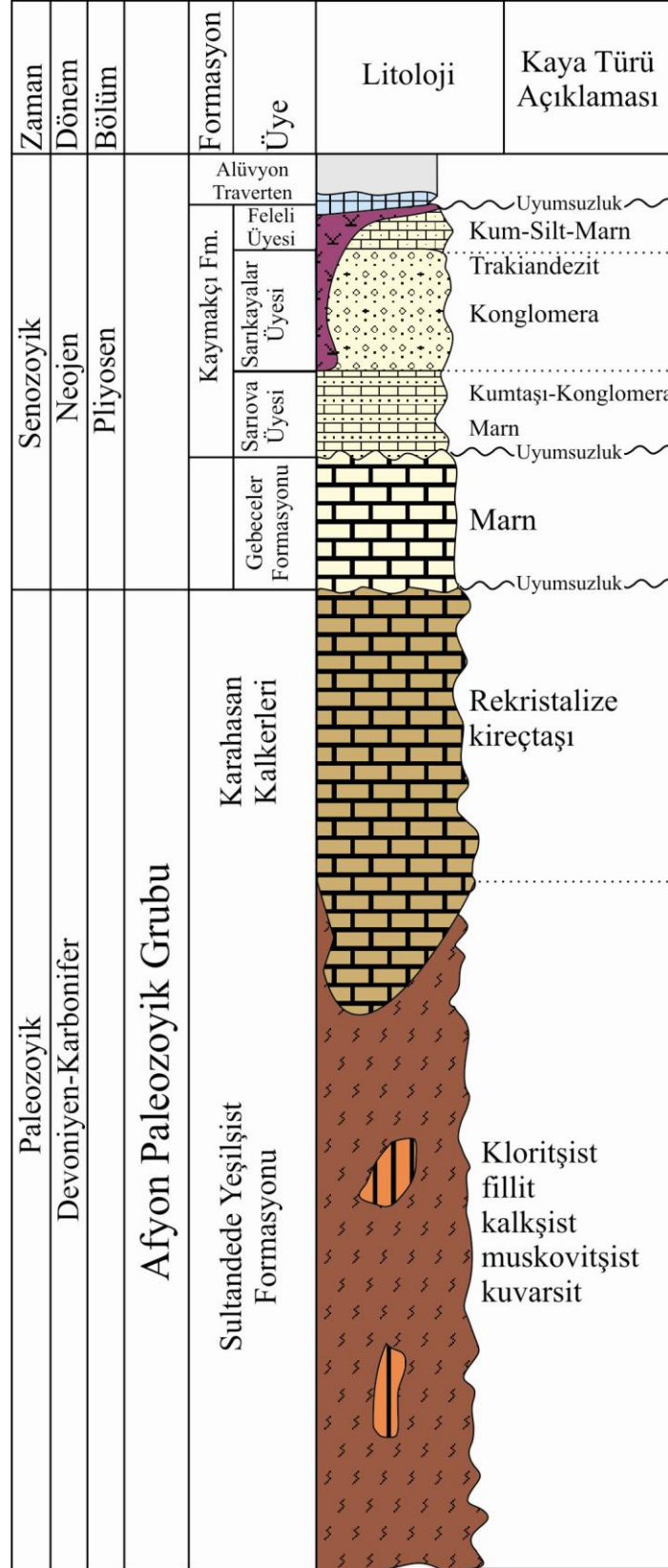
Bölgedeki kayaçların temelini; kuvarsit, mika-klorit-kalkşist-fillit gibi kayaçalardan meydana gelen Sultandede Yeşilşist formasyonu ve kristalize kireçtaşlarından oluşan Karahasan kalkerleri oluşturur. Temel kayaçlar üzerinde uyumsuzlukla marn-kumtaşı-çakıltaşı gibi çökellerden oluşan Senozoyik yaşlı birimler gelmektedir. Konarı trakiandeziti tüm bu birimleri yanal ve düşey olarak kesmektedir (EK.1, Şekil 9). Alüvyon ve taverten, bölgedeki en genç birimdir. Bu birimlerin detayları aşağıda açıklanmıştır.

##### 4.1.2.1 Paleozoyik Grubu

Afyonkarahisar ve çevresindeki Paleozoyik yaşlı kayaçlar Erişen (1972) tarafından Afyon Paleozoyik Grubu olarak adlandırılmıştır. Afyon Paleozoyik Grubu çalışma sahasında Sultandede Yeşilşist Formasyonu ve Karahasan Kalkerleri ile temsil edilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Paleozoyik Grubu'nun arazideki genel görünümü.



Şekil 9. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Erişen, 1972'den değiştirilerek).



### Sultandede Yeşilşist Formasyonu

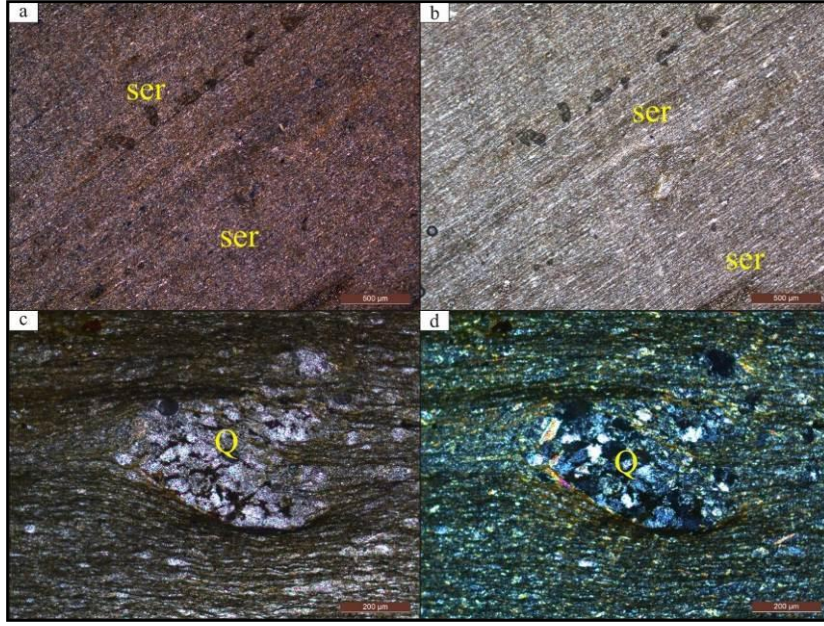
Formasyon tipik olarak Sultandağlarında gözleendiği için bu adı almıştır. Bölgede genellikle bölgesel metamorfizmaya uğramış epizona ilişkin kayaçlar görülmektedir. Formasyon genel olarak düşük dereceli, hafif metamorfizma geçirmiş kloritşist-fillit, kalkşist, muskovit şist ve kuvarsit mercceklerinden oluşmaktadır (Şekil 11). Makroskobik olarak koyu yeşil, gri, kahverengi renklerine sahip ve şistozite düzlemleri oldukça belirgin olan birim mineralojik ve petrografik olarak incelendiğinde ince taneli klorit-serisit-kuvars ve tali oranda opak mineraller içerdiği gözlenmiştir (Şekil 12, 13). Fillit örneğinin kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde mika minerallerinden kaynaklanan Al, Fe, Mg, Ca ve K gibi element içeriklerinin yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 1). Alt dokanağı gözlenemeyen birim, çalışma alanında Karahasan kalkerlerine dereceli geçiş göstermektedir. Bu kayaçların yaşı Devoniyen ve/veya daha yaşlı olarak verilmiştir (Erişen, 1972).

Tablo 1. Fillit örneğinin XRF analiz sonucu.

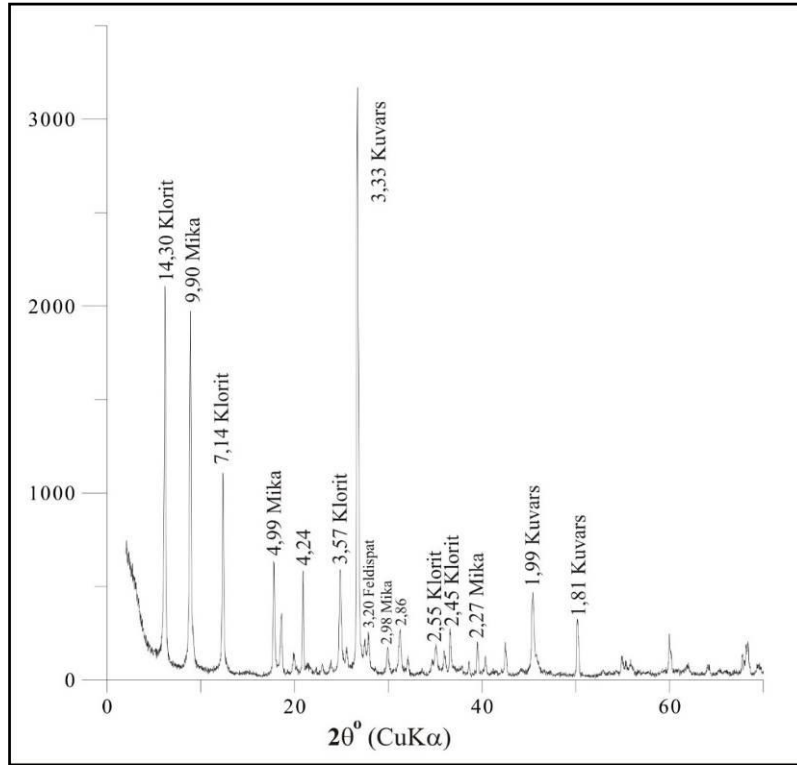
(%)	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	50,12	1,01	21,46	7,49	0,05	2,2	1,3	0,99	4,08	0,095	0,018
(ppm)	Cl	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th	Ni	V	Hf
	30,4	571	180	97,9	23,6	132,8	14,1	15,9	42,3	143,5	3,8
(ppm)	Cs	Pb	Ta	Co	U	W	Ga	Cu	Zn	Se	As
	< 4,0	22,4	3,6	19,8	1,4	1,9	28,6	26	112,2	< 0,5	11,8
(ppm)	Ge	Sn	La	Ce	Pr	Nd					
	2,6	18,6	58,2	< 2,0	< 2,0	75,6					



Şekil 11. Sultandede Yeşilşist Formasyonu'nun arazideki genel görünümü.



Şekil 12. Sultandede formasyonuna ait fillit örneklerinin polarizan mikroskop görüntüleri (a-c, ÇN, b-d, TN, ser: serizit, Q: kuvars).



Şekil 13. Sultandede formasyonuna ait fillit örneklerinin XRD grafiği.

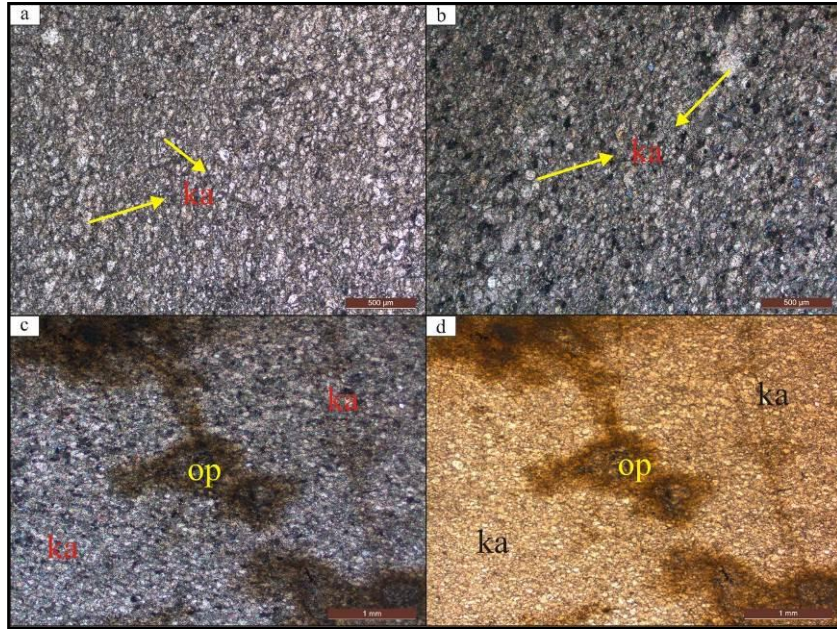
### **Karahasan Kalkerleri**

Değirmendere Köyü, Karahasan Mahallesi'nde tipik olarak gözleendiği için bu ismi almıştır. Bu birim koyu gri renkli, orta ve kalın düzgün tabakalanmalı olup kristalize kireçtaşlarından oluşur (Şekil 14). Altta yer alan Sultandede Yeşilüst Formasyonu ile geçişler sunan birimin alt düzeyleri fillit ve kuvarsit içerir.

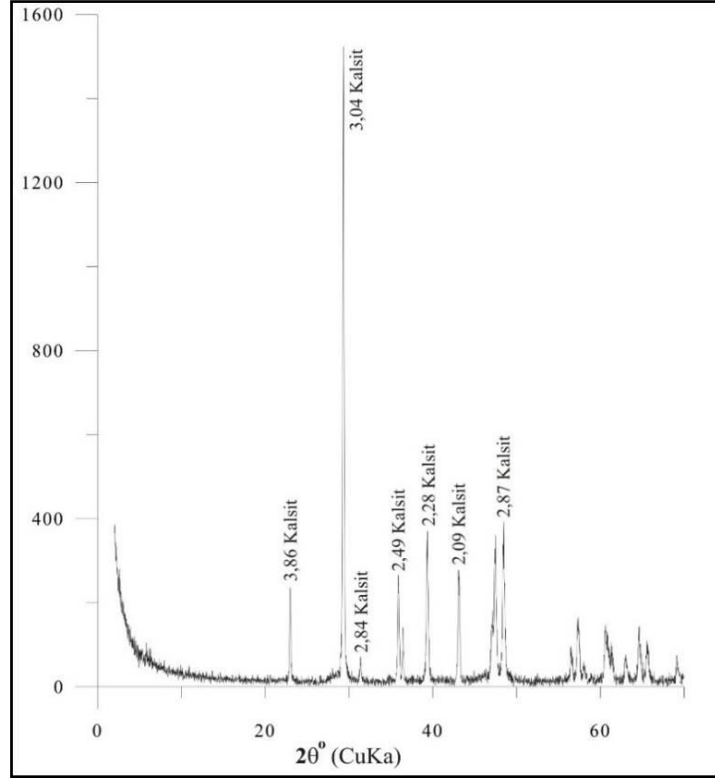
Petrografik incelemelerde mikrokristalli kalsit mineralleri ve yer yer demirli eriyiklerin hakim olduğu gözlenmiştir (Şekil 15). Kayacın ana bileşeni kalsit minerali olup % ağırlıkça 55,1'lik CaO içeriğine sahiptir. (Şekil 16). Birimin yaşı önceki çalışmalarda Üst karbonifer-Üst Permiyen olarak, kalınlığı ise yaklaşık olarak 350 m olarak verilmiştir (Erişen, 1972). Karahasan kalkerlerinin üst sınırı uyumsuz olarak Senozoyik birimler ile örtülmüştür.



Şekil 14. Karahasan kalkerlerinin arazideki görünümü.



Şekil 15. Karahasan Kalkerlerinin polarizan mikroskop görüntüleri (a-b-c ÇN, d TN, ka: kalsit, op: opak mineral).



Şekil 16. Karahasan kalkerlerine ait XRD grafiği.

#### 4.1.2.2 Senozoyik Grubu

Paleozoyik seri üzerinde uyumsuz olarak yer alan Senozoyik birimleri gösel/karasal ortamların ürünüdür. Senozoyik yaşlı formasyonların detayları aşağıda verilmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. Senozoyik ve Paleozoyik serilerin arazideki konumu.

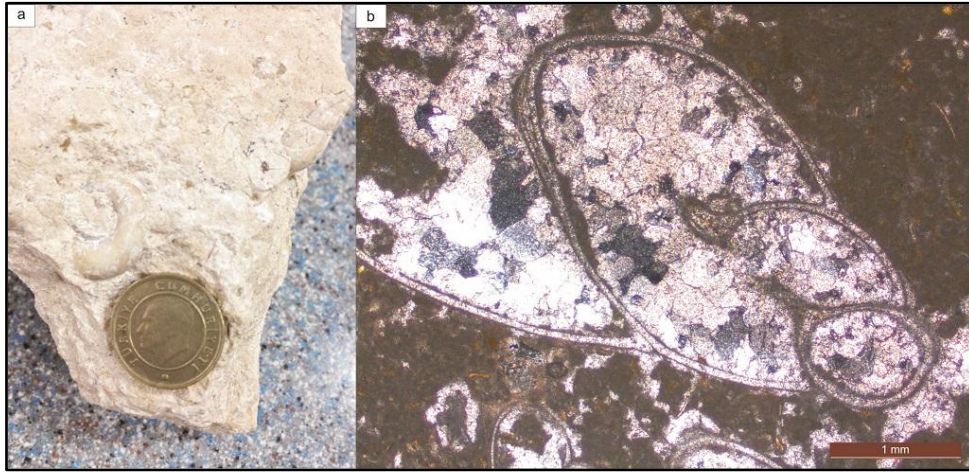
#### ***Gebeceler Formasyonu (Akbel Üyesi)***

Gözsüzlü-Kızıldağ köyleri arasında geniş yayılım sunan bu birim gösel, beyaz renkli killi kireçtaşı ile temsil edilmekte olup arada tuf bant ve mercikleri ile nadir olarak çakıltaşı içermektedir (Şekil 18). Yapılan petrografik çalışmalarda örneğin kalsit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Karbonat matriks içerisinde gözlenen fosiller Planobis sp. olarak adlandırılmıştır. (Şekil 19a) (Linnaeus, 1758). Fosil kavkaları sekonder kalsit ile

doldurulmuştur (Şekil 19b). Formasyonun toplam kalınlığı 50-70 m arasındadır (Erişen, 1972). İnceleme sahamızda bu formasyon Paleozoyik kayaçlar üzerine uyumsuzlukla gelmektedir.



Şekil 18. Gebeceler formasyonunun arazideki görünümü.



Şekil 19. Marn örneği içerisindeki makro (a) ve mikro (b) fosiller.

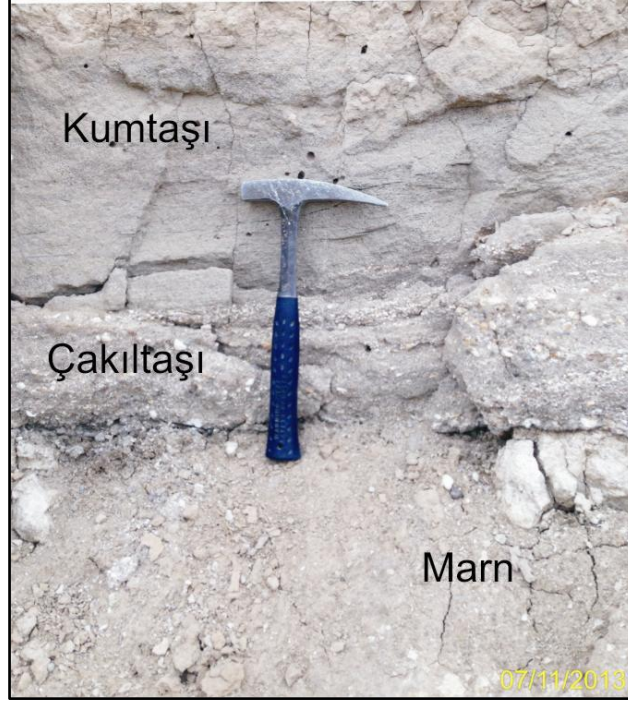
### ***Kaymakçı Formasyonu***

Gebeceler formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer alan ve yaşı Üst Pliyosen ve daha genç (Erişen, 1972) olan Kaymakçı formasyonu üç farklı üyeye ayrılmıştır.

### ***Sariova Üyesi***

Sariova üyesi kumtaşı-çakıltası-marn aralanmasından oluşmaktadır (Erişen, 1972), (Şekil 20). Formasyonun en önemli üyesi olan gölsel kireçtaşları beyaz renkli, kriptokristalin kalsit ve bol fosil içerikli olup orta-kalın tabakalanmalıdır. Çakıl ve kumtaşları genellikle az

tutturulmuş, boz renkli, kalın tabakalanmalı, iri, yuvarlak kireçtaşı, kuvarsit ve şist parçaları içerir. Ortamsal olarak bu sedimanter istifin oluşumu, gölsel ortamda akarsuyun durgun ve suyun yüksek olduğu (transgresyon) zamanlarda karbonat çökmesine bağlı olarak killi-kireçtaşlarının oluşması, akarsu akım hızının yüksek ve gölsel su seviyenin düşük olduğu (regresyon) dönemlerde ise çakıl ve kumtaşlarının çökmesi şeklinde açıklanabilir.



Şekil 20. Sarıova üyesinin arazideki görünümü (Gözsüzlü köy yolu).

### ***Sarıkayalar Konglomera Üyesi***

Temele ait çakıllardan oluşan çakıltaşı seviyeleri iyi çimentolu, orta-iyi yuvarlaklaşmış bir görünüm sunarlar (Şekil 21). Beslendiği temel kayaların özelliklerine göre kuvarsit, mermer ve şist parçacıkları içeren birim orta-kalın tabakalıdır (Erişen, 1972).

### ***Feleli Üyesi***

Birim kırmızı-beyaz renkli kil-silt-kumlu kil ve killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Feleli (Kocaöz) köyünün etrafında geniş mostra veren birim yatay bir konumdadır. Batıda uyumsuz olarak Gebeciler formasyonu üzerinde yer alırken, doğuda Sarıkayalar konglomera üyesi üzerinde izlenir.

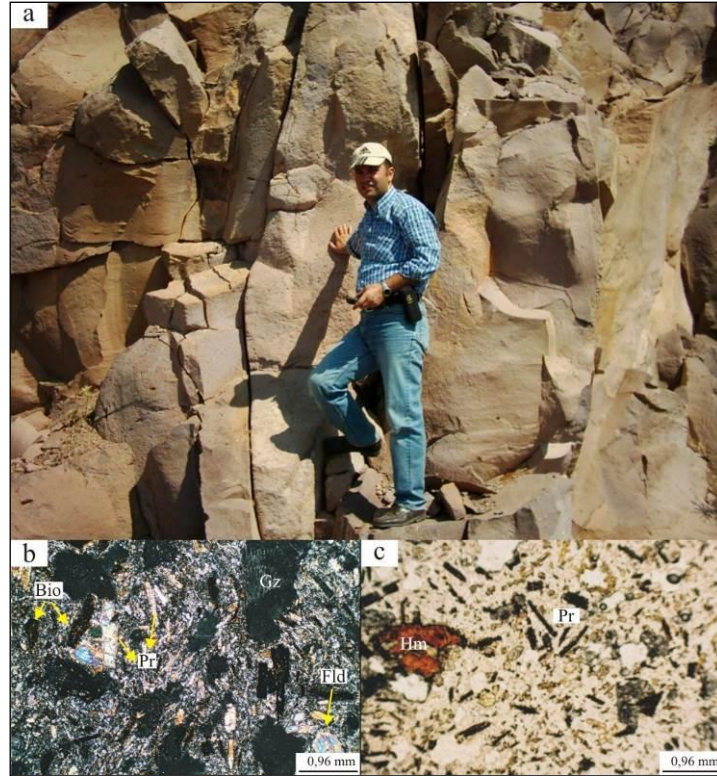
### ***Konarı Trakiandeziti***

İnceleme alanının kuzey ve güney kenarlarında küçük alanlarda mostra veren birim inceleme alanının dışında kalan Konarı Köyü'ne yakın bölgelerde koyu gri ve bordo renkli olup, içerisinde yoğun soğuma çatlakları bulunmaktadır (Şekil 22a).



Şekil 21. Sarıkayalar konglomera üyesinin arazideki görünümü (Kızıkpınar güneyi).

Kuşcu vd., (2006) tarafından yapılan çalışmada opaklaşma ve kil mineralleşmesinin yaygın olduğu görülmüş ve kayacın trakiandezit bileşimli olduğu belirlenmiştir. Mikroskobik incelemelerde feldispat (plajyoklas ve sanidin) mikrolitlerinden oluşmuş bir hamur içerisinde piroksen ve biyotit minerallerinin yaygın bir biçimde yer aldığı, yer yer demirli eriyiklerin (hematit) kayaca nüfus ettiği gözlenmiştir (Şekil 22b, c).



Şekil 22. Konarı trakiandezitlerinin arazideki görünümü (bio: biyotit, pr: piroksen, fld: feldispat, hm: hematit, b:ÇN c:TN).

## Traverten

Heybeli kaplıcası ve yakın çevresinde yüzeyleyen travertenler genellikle termal suların akış hatları boyunca oluşmuş sırt görünümünde olup, bol gözenekli, krem-kırmızı renkli bir görüntü sunarlar (Şekil 23). Yapılan XRD incelemesinde örneğin ağırlıklı olarak kalsit mineralinden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 24). XRF sonuçlarına göre örneğin % ağırlıkça 50,5 CaO içeriğinin yanında az miktarda SiO<sub>2</sub> içerdiği belirlenmiştir. Aynı zamanda analizi yapılan traverten örneği sıcak sulardan kaynaklanan yüksek As ve Sr değerlerine sahiptir (Tablo 2).

Tablo 2. Traverten örneklerinin XRF analiz sonuçları.

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
(%)	1,851	0,023	0,37	0,34	0,006	1,6	50,5	0,328	0,096	0,069	0,002
(ppm)	Cl	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ni	Hf	Cs	Pb
	34,5	42	7,3	2009	<0,5	<1,0	<1,0	<0,5	<1,0	<4,0	24
(ppm)	Ge	Sn	Co	U	Ga	Cu	Zn	Se	As	La	Ce
	1,3	11,7	<3,0	4	0,1	2,1	6,3	1,9	554,2	<2,0	<2,0

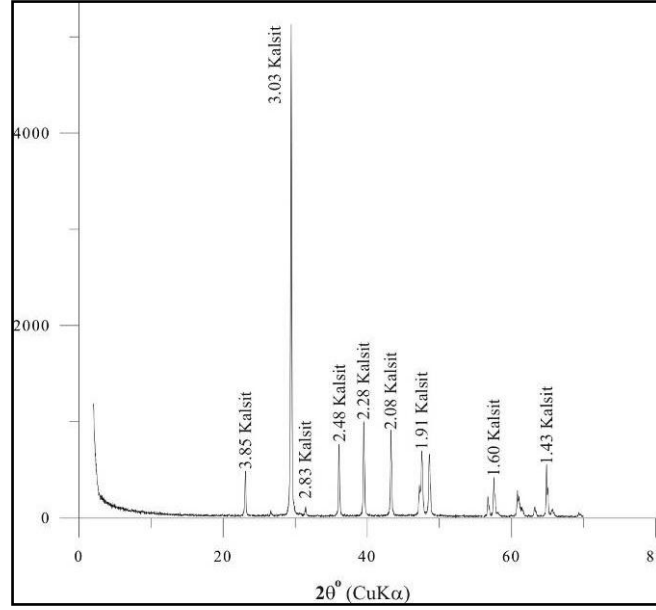


Şekil 23. Traverten oluşumunun arazideki genel görünümü.

## Alüvyon

İnceleme alanının büyük bir kısmı Afyon-Akşehir grabeni olarak adlandırılan alüvyal düzlükten oluşmaktadır. Alüvyon, silt-kil boyutlu çökellerin egemen olduğu elemanları içermekte olup kalınlığı 5-10 metre civarındadır.





Şekil 24. Traverten örneğinin XRD grafiği.

#### 4.2 Tektonizma

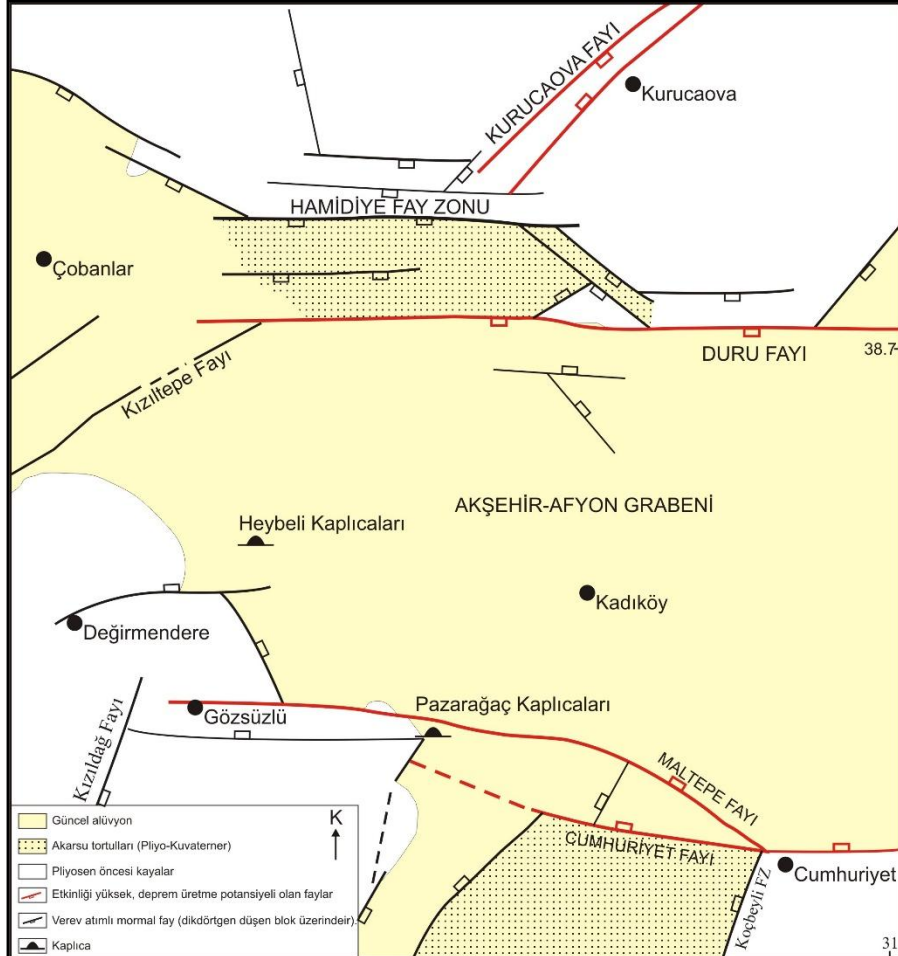
İnceleme alanının içinde bulunduğu bölgede 3-30 km genişlikte, 500 km uzunlukta, KB–GD-gidişli levhaiçi ve süreksiz verrev atımlı normal bir fay sistemi yüzeyler. Bu büyük sismojenik kuşak Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) olarak adlanmıştır (Koçyiğit ve Deveci 2005). ASFS 'nin güneydoğu yarısı, kuzeyde yer alan İç Anadolu ile güneyde yer alan Isparta açısı arasındaki coğrafik sınırı oluşturur; buna karşın fay sisteminin kuzeybatı yarısı Batı Anadolu içinde uzanır ve KD-gidişli Akhisar Fay Zonu (AFZ) ile kesişerek sona erer (Şekil 25).

ASFS bir seri graben–horst ve onların kenarını sınırlayan verrev atımlı normal faylarla karakterize edilir. İnceleme alanının da içerisinde bulunduğu Afyon-Akşehir graben sistemi ASFS'nin genel gidişine paralel olan ana graben sistemidir. Akşehir-Afyon grabeni (AAG) 4-20 km genişliğinde, 130 km uzunluğunda, BKB-DKD- gidişli etkin bir çöküntü alanıdır (Atalay, 1975; Koçyiğit vd., 2000; Koçyiğit ve Özacar 2003). İnceleme alanında, Afyon-Akşehir graben sisteminin kenar faylarını oluşturan kuzeyde Kurucaova, Duru Fay zonları ve güneyde Cumhuriyet-Maltepe fayları ile bu fayları kesen ikincil faylar yer almaktadır. Bu fayların tümü Pliyosen ve sonrası yaşlıdır (Erişen, 1972).

##### 4.2.1 Cumhuriyet ve Maltepe Fayları

Bu faylar aynı zamanda Akşehir fay zonu ana fayının inceleme alanımız içindeki uzantısıdır (Şekil 26). İnceleme alanımız dışında ve doğusunda yer alan Çay İlçesi'nin yaklaşık 2 km doğusunda, AFZ ana fayı gidişini, güneye doğru  $30^\circ$ lik bir dönüşle, K60°B'dan yaklaşık D-B'ya değiştirir ve batıya doğru devam ederek önce Çay İlçesi'nden geçer ve 5 km sonra

inceleme alanı içindeki Cumhuriyet beldesine ulaşır. Cumhuriyet beldesi yakın batısında ilkin iki alt kola (Cumhuriyet ve Maltepe fayları) ayrılır. İnceleme alanı dışındaki kesimi ile birlikte toplam uzunluğu yaklaşık 15 km olan Cumhuriyet ve Maltepe fayları kuzeye yaklaşık  $58^\circ$  ile eğimli ve verrev atımlı normal fay özelliğindedir ve diridir (Koçyiğit ve Devenci 2007). Heybeli ve Pazarağaç kaplıcalarının sıcak su çıkışları ile Cumhuriyet Köyü'ndeki soğuk su kaynaklarının bu fay üzerindeki dizilimi ile bazı jeolojik oluşumlar bu fayların diri olduklarının bir işaretidir.



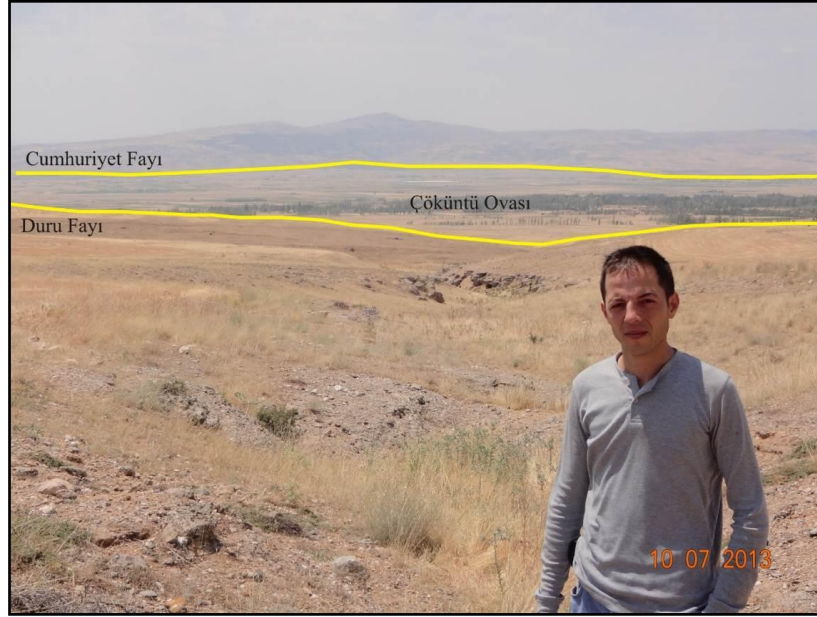
Şekil 25. İnceleme alanının neotektonik haritası (Koçyiğit ve Devenci, 2007).

#### 4.2.2 Duru Fay Zonu

İnceleme alanının kuzeyinde yer alan Duru fayı, uzanımı boyunca Paleozoyik yaşlı mermer ve şistleri keser, yaklaşık 200 m kadar düşey yönde öter ve bu temel kayalarını Kuvaterner yaşlı graben dolgusu ile tektonik olarak karşı karşıya getirir (Şekil 27). Fay aynasından ölçülen kayma vektörlerinin kinematik analizi, Duru fayının verrev atımlı normal bir fay olduğunu ve bu alandaki yerel genişlemenin KKD yönde sürdüğünü gösterir (Koçyiğit ve Devenci 2007). Wells ve Coppersmit'in (1994) kuramsal formülüne göre, Duru fayından kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü  $M_w = 6.4$  dür.



Şekil 26. Cumhuriyet fayı ve Sultandağı horstunun arazideki genel görünümü.



Şekil 27. Cumhuriyet ve Duru faylarının genel görünümü.

#### 4.2.3 Kurucaova Fay Zonu

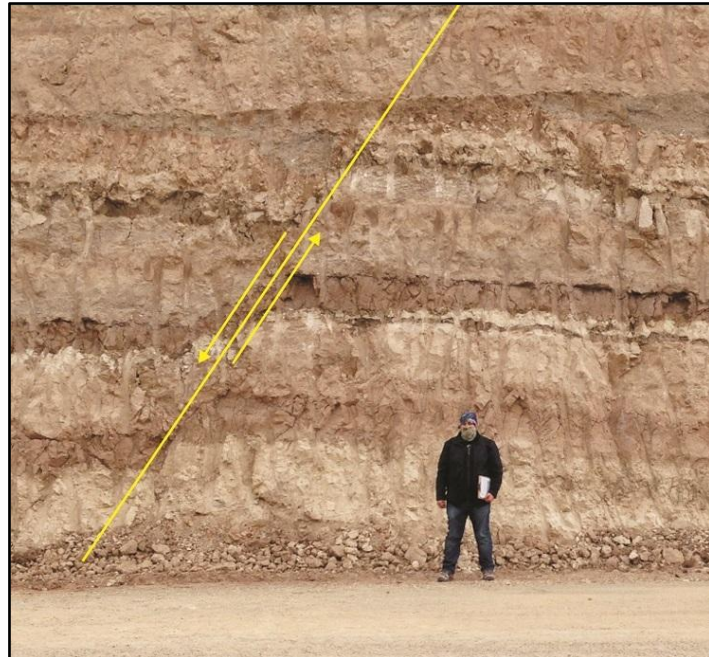
Kurucaova fay zonunun inceleme alanı içinde kalan kesimi, Hamidiye fay zonu ile kesiştikten sonra, onun daha kuzeyinde (Kurucaova yerleşkesi boyunca) KD-doğrultusunda devam eder (Şekil 28). Bu kesimde Kurucaova fayı birbirine yakın, değişik uzunlukta, birbirine paralel 5 ayrı fay segmenti ve bunlar arasında yer alan dar, derin ve oldukça uzun bir çöküntü (Kurucaova grabeni) ile temsil edilir (Koçyiğit ve Deveci 2007). Wells ve Coppersmith

(1994)'ün kuramsal formülüne göre, bu faydan kaynaklanacak en büyük depremin büyüklüğü  $M_w = 6.74$  dür.

Tüm bu ana graben sistemi fayları ile birlikte, Neojen yaşlı sedimanter birimler içinde bu sedimanter kayalar ve graben kenar faylarını kesen, yaklaşık KB-GD konumlu ve  $30^\circ$  eğime sahip eğim atımlı ters ve normal faylanmalar görülmektedir (Şekil 29).



Şekil 28. Kurucaova Fayının arazideki görünümü.



Şekil 29. Gözsüzlü Köy yolu üzerinde Neojen yaşlı birimleri kesen tali faylar.

### 4.3 Hidrojeoloji

Bu bölümde, inceleme alanının hidrolojik bilançosu yapılmış, kayaçların hidrojeolojik özellikleri belirtilmiş ve su noktaları konusunda bilgi verilmiştir.

#### 4.3.1 Hidrolojik Bilanço

Bolvadin meteoroloji istasyonundan alınan 1968-2012 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık verilerinden yararlanılarak su bütçesi yapılmış, buharlaşma-terleme hesaplamalarında Thornthwaite (1948) yöntemi kullanılmıştır. Bölgenin 1968 ile 2012 yılları arasındaki yıllık ortalama sıcaklık dağılımlarına bakıldığında ortalama sıcaklığın 11,03°C olduğu görülmektedir (Şekil 30). Maksimum sıcaklık 2012 yılı Temmuz ayında 39°C, minimum sıcaklık ise 2012 yılı Ocak ayında -23,7°C olarak ölçülmüştür. Aylık bazda ortalama sıcaklık değerlerine göre Temmuz ayı 22,4°C ile en sıcak ay iken, Ocak ayı -0,1°C ile en soğuk aydır. Bölgeye düşen yıllık yağış ortalaması 387,12 mm olup (Şekil 30), en çok ortalama yağış alan aylar Aralık, Nisan ve Mayıs ayları, en düşük ortalama yağış alan aylar ise Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarıdır (Şekil 31).

Bolvadin bölgesine ait su bütçesi Tablo 3'de verilmiştir. Yapılan hesaplamalarda yıllık potansiyel buharlaşma ve terleme (Etp) 674,44 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) 344,34 mm olarak bulunmuştur. Su bütçesi incelendiğinde Nisan ayına kadar yağışın Etp'den fazla olduğu ve düzeltilmiş Etp'nin Etr'ye eşit olduğu görülmektedir. Nisan ayından Haziran ayına, teorik olarak 100 mm kabul edilen zemin rezervi kullanılır. Haziran ayı ortasından Ekim ayı ortasına kadar tarım su açığı vardır. Etp'nin yağıştan fazla olduğu kurak dönemde su noksanı 330,10 mm'dir. Kasım ayından sonra yağış, Etp'den daha fazladır ancak; Aralık ayında zemin rezervinin 53,8 mm'si tamamlanmaktadır. Zemin rezervi izleyen yılın Ocak ayında tamamlanmaktadır. Bu bilançoaya ait yağış ve Etp grafiği Şekil 32'de verilmiştir.

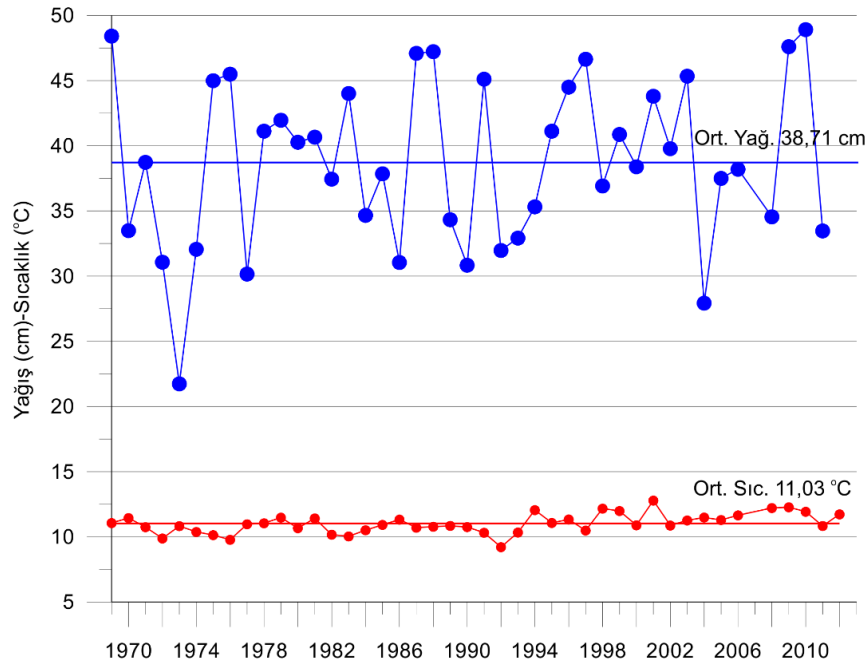
#### 4.3.2 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanındaki hidrojeoloji birimleri geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz olarak ayırtlanmış ve hidrojeoloji haritası EK-2'de sunulmuştur.

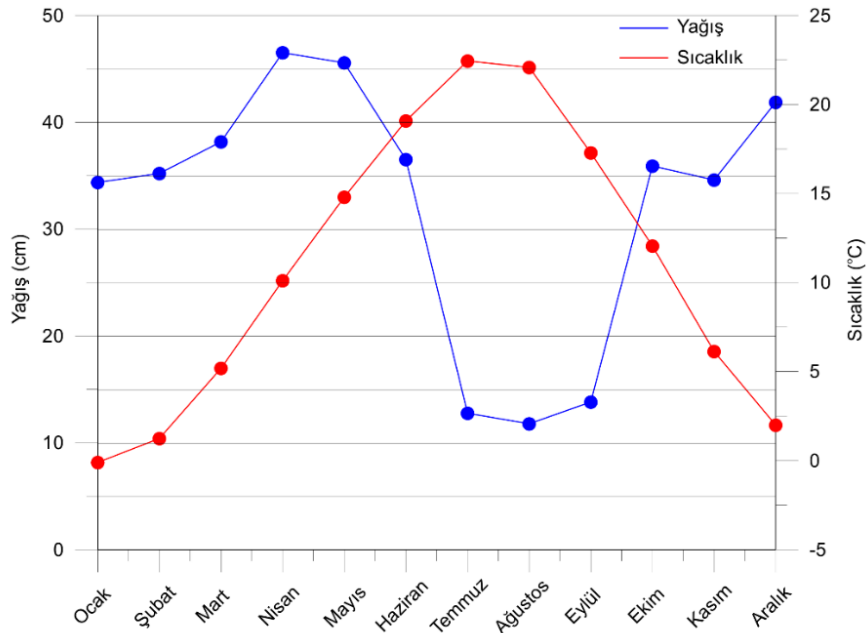
##### 4.3.2.1 Geçirimli Birimler

###### *Karahasan Kalkerleri*

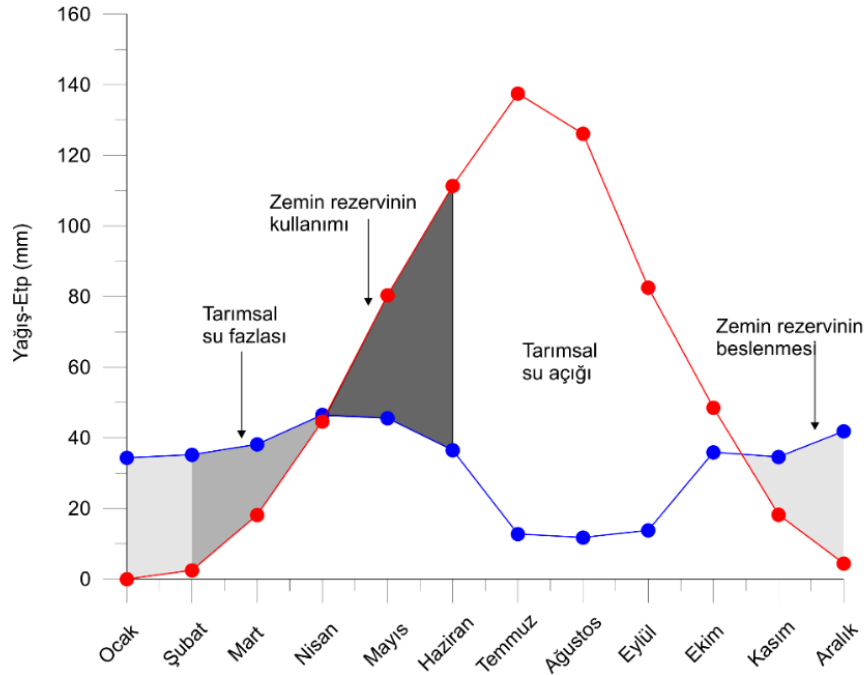
Karahasan rekristalize kireçtaşı birimi, maruz kaldığı yoğun tektonizma nedeniyle çok kırıklı ve çatlaklıdır. Bu nedenle ikincil gözeneklilik ve geçirgenliği yüksektir.



Şekil 30. Çalışma alanının yıllık toplam yağış ve ortalama sıcaklık (°C) değerlerinin 1968-2012 yılları arasındaki dağılımı.



Şekil 31. Çalışma alanının 1968-2012 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı.



Şekil 32. Çalışma alanının yağış ve buharlaşma-terleme grafiği.

Çalışma alanının GD kesiminde Sultandağı'nın 1000-1750 m arasındaki kotlarında birçok soğuk su kaynağı vardır. Alüvyon yelpazelerinde açılan ve bu birimi kesen DSİ sondajlarından da yüksek verim alınmıştır. Bu birim, aynı zamanda, Heybeli sahası termal sularının rezervuar kayacıdır.

### ***Kaymakçı Formasyonu Sarıkayalar Konglomera Üyesi***

Bileşen taneleri kuvarsit, şist ve re-kristalize kireçtaşı çakıllarından oluşan birim gözenekli ve geçirgendir. Birim içinde gözlenen Kızıkpınar sıcak su kaynağı, bu birimle Sultandede formasyonunu ayıran yaklaşık K-G doğrultulu faydan boşalmaktadır.

### ***Alüvyon, Alüvyon Yelpazesi ve Yamaç Molozu***

Kil, silt, kum ve çakıl (nispeten az oranda) boyutundaki şist, kireçtaşı, mermer ve tortul kayaç bileşenlerinden oluşan alüvyon, alüvyon yelpazesi ve yamaç molozu akifer özelliğindedir. Ancak, alüvyonun kalınlığının az ve yamaç molozlarının yersel ve dik eğime sahip olmaları verimlerini sınırlamaktadır. Alüvyonda açılmış olan sığ kuyulardan 7 m'den itibaren yeraltı suyu alınmaktadır. Yeraltı su seviyesinin yüze yakın olması nedeniyle, yeraltısuyunun tarımsal aktivite ve evsel atıklarla kirlenme riski vardır.

Tablo 3. Bolvadin Meteoroloji istasyonu verilerine (1968-2012) göre hazırlanan su bütçesi tablosu (Thornthwait (1948)'e göre).

	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	Yıllık
<b>Aylık ort. Sıc.</b>	-0,05	1,24	5,19	10,11	14,80	19,08	22,44	22,08	17,29	12,05	6,13	2,00	
<b>Aylık endeks(i)</b>	0,0	0,1	1,1	3,2	5,5	8,0	10,1	10,0	7,1	4,0	1,5	0,3	
<b>Etp</b>	0,00	2,96	17,63	40,58	65,36	89,80	110,00	107,80	79,38	50,58	21,72	5,34	<b>591,15</b>
<b>Düzeltilme katsayısı</b>	0,85	0,84	1,03	1,10	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	0,96	0,84	0,83	
<b>Düzeltilmiş Etp</b>	0,00	2,49	18,16	44,64	80,39	111,35	137,50	126,12	82,55	48,55	18,25	4,43	<b>674,44</b>
<b>Yağış (P, mm)</b>	34,37	35,21	38,18	46,51	45,56	36,52	12,77	11,79	13,82	35,91	34,60	41,88	<b>387,12</b>
<b>Zemin rez. değişimi (mm)</b>					34,83	74,83							
<b>Zemin rezervi (mm)</b>	88,17	100,00	100,00	100,00	65,17	0,00	0,00				16,35	53,80	
<b>Etr(mm)</b>	0,00	2,49	18,16	44,64	80,39	101,69	12,77	11,79	13,82	35,91	18,25	4,43	<b>344,34</b>
<b>Tarım su açığı (mm)</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,66	124,73	114,34	68,73	12,65	0,00	0,00	<b>330,10</b>
<b>Su fazlası (m)</b>	0,00	20,90	20,01	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>42,79</b>



#### 4.3.2.2 Yarı Geçirimli Birimler

##### ***Kaymakçı Formasyonu Feleli Üyesi***

Kum-silt ve kumlu kil araldanması sunan birimin kumlu seviyeleri geçirimlidir.

##### ***Sarıova Üyesi***

Kumtaşı-çakıltası-marn-kireçtaşı araldanmasından oluşan Kaymakçı formasyonunun Sarıova üyesinin kumtaşı ve çakıltası düzeyleri ile marn ve kireçtaşlarının kırıklı-çatlaklı zonları geçirimlidir.

##### ***Gebeceler Formasyonu Akbel Üyesi***

Genellikle killi kireçtaşı ile temsil edilmekte olup tuf bant ve mercekleri içermektedir. Birimin kırıklı, çatlaklı kesimleri geçirimlidir.

##### ***Konarı Trakiandeziti***

Konarı trakiandezitlerinin kırıklı-çatlaklı olduğu kesimleri yeraltısuyu içermektedir. İnceleme alanında çok dar bir alanda mostra veren trakiandezitlerde bir kaynak veya kuyu bulunmamaktadır. Buna karşılık, Afyonkarahisar ilindeki trakiandezitlerden yeraltısuyu alınmaktadır.

#### 4.3.2.3 Geçirimsiz Birimler

##### ***Sultandede Yeşilşist Formasyonu***

Şist ve fillit türü kayaçlardan oluşan bu birimin kırıklı-çatlaklı kuvarsit ve kalkşist düzeyleri geçirimlidir ve bu düzeylerden oldukça düşük debili kaynaklar boşalmaktadır. Ancak birim, genel olarak geçirimsizdir ve Heybeli jeotermal sahası için geçirimsiz temel kayacını oluşturur. Çoğu soğuk su kaynağı bu birimin geçirimli birimlerle olan dokanağından çıkmaktadır.

#### 4.3.3 Heybeli Jeotermal Sistemi

Heybeli jeotermal sahası Akşehir-Afyon grabeni içinde yer almaktadır. İnceleme alanı içinde, yaklaşık D-B gidişli Maltepe, Cumhuriyet ve Duru graben kenar fayları ile KD-GB doğrultulu Kurucaova Fayı deprem üretme riski olan aktif faylardır (Koçyiğit ve Deveci, 2007). Yöre, Türkiye Deprem Haritası'nda 1. Derecede Deprem Bölgesi alanına düşmektedir. Bölgedeki en son deprem 03 Şubat 2002 Pazar günü Afyon ilinin Sultandağı-Çay-Bolvadin ilçelerinde meydana gelmiştir. İki saat arayla meydana gelen ve büyüklükleri 6,2 ve 6,5 olan iki depremde 46 kişi ölmüş; Çay, Sultandağı ve Bolvadin ilçelerinde ve bu ilçelere bağlı köylerde

hasar oluşmuştur. Deprem, 30 cm'ye varan düşey yer değiştirme ve 20 km uzunluğa sahip yüzey kırığı oluşturmuştur (Demirtaş vd., 2002).

Bunun dışında bölgede gözlenen Miyosen volkanizması ürünleri ve jeotermal sahaların varlığı da bölgedeki genç tektonik aktiviteyi göstermektedir. Tektonik olarak aktif sahalarda jeotermal gradyanın normalden (33 m) daha yüksek olması beklenir. Heybeli sahasının ısı kaynağının genç tektonik aktiviteye bağlı yüksek jeotermal gradyan olduğu söylenebilir.

Heybeli sahasında rezervuar kayaç, rekristalize kireçtaşlarından oluşan Karahasan kalkerleridir. Çok kırıklı ve çatlaklı olan birimin ikincil gözenek ve geçirgenliği yüksektir. Kalınlığı sondaj verilerine göre 130 m'ye ulaşmaktadır. Genellikle, yüzeyden itibaren 120-150 m derinliklerde rezervuara girilmektedir. Neojen birimlerinin killi-siltli geçirimsiz litolojileri örtü kaya niteliğindedir. Sistemin beslenmesi başlıca 2500 m kotlardaki Sultandağı ve inceleme alanının GB'sında yer alan yükseltilere düşen yağış sularındandır. Beslenme alanında, genellikle yılın büyük bölümünde kar örtüsü vardır. Geçirimli birimlere düşen yağmur suları ile yaz döneminde eriyen kar suları yeraltına süzülerek sistemi rezervuarı beslemektedir. Yeraltına süzülerek derinlere inen ve burada yüksek jeotermal gradyan ile ısıtılan meteorik sular rezervuar kayada toplanmakta, su-kaya etkileşimi ile nihai kimyasal kompozisyonunu kazanmakta ve faylar boyunca yüzeye yükselerek sıcak su kaynaklarını oluşturmaktadır (EK-2). Literatürde değinilen ve proje teklifi öncesi arazi çalışmasında da gözlenen bu sıcak su kaynakları proje çalışmaları süresince yüzeylenmemiştir. Kaynaklar, olasılıkla basınç düşmesi sonucu kurumuşlardır. Ancak sondajlarla kesilen ve arazide gözlenen travertenler, sondajlar açılmadan önce Heybeli kaplıcası civarının bir termal kaynak alanı olduğunu ve ince örtü kaya nedeniyle sistemin tam korunamadığını göstermektedir.

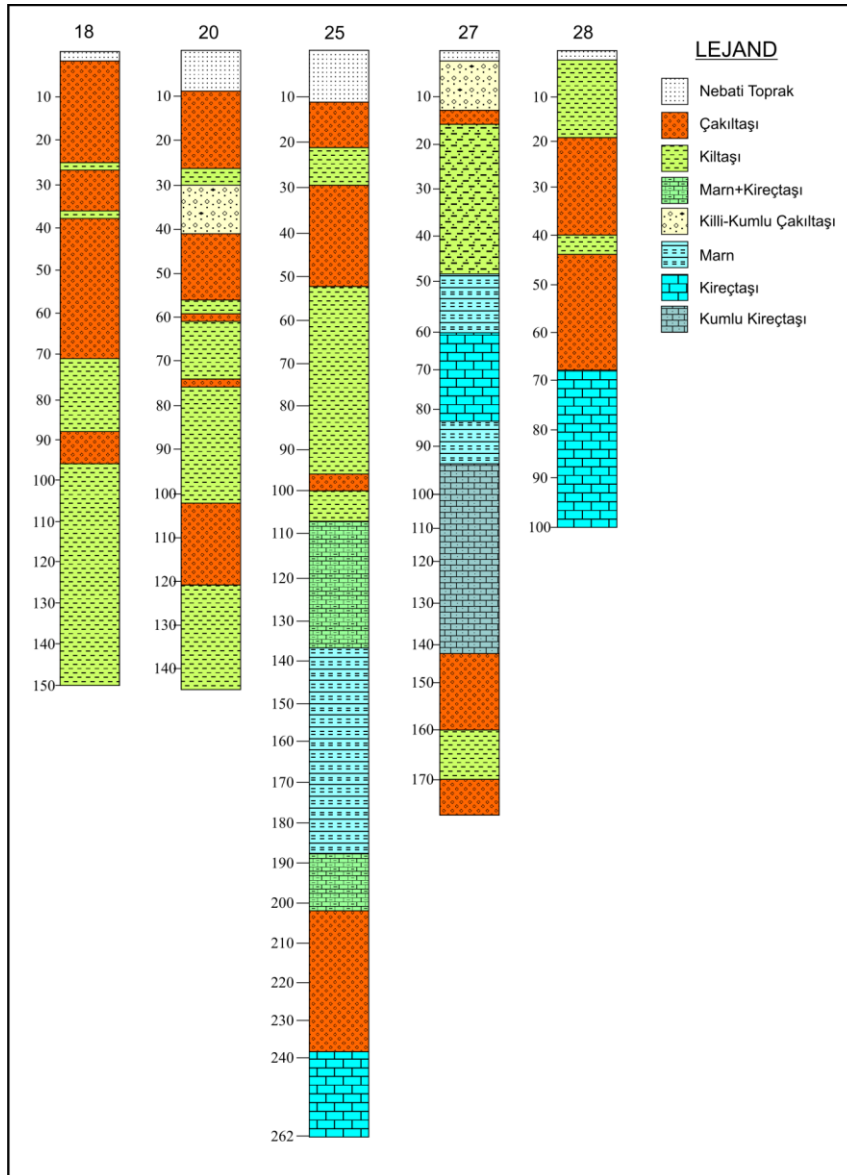
#### **4.3.4 Su Noktaları**

##### **Yüzey Suları**

İnceleme alanındaki en büyük akarsu, ovayı baştan sona kateden ve uzunluğu 115 km'yi bulan Akarçay Deresi'dir. Esas kolları Sincanlı batısından çıkarak Balmahmut ve Köprülü kuzeyinden geçen Nacak ve havzanın kuzeyinden gelen Gazlıgöl dereleridir. Bunun haricinde Kali (Selevir), Kuruçay (Seyitler), dereleri de Akarçay'a karışırlar. Toplam baz akımı  $93 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl'dır (Tezcan vd., 2002). İnceleme alanının hemen doğusunda Eber ve Akşehir gölleri yer almaktadır. Sincanlı ovasından doğan Akarçay, inceleme alanını batıdan doğuya katederek Eber ve Akşehir göllerine ulaşır. Her iki göl de iki fay hattı arasında kalan bir grabenin tabanında oluşmuştur. Akşehir çöküntü ovası üzerinde yağışlı dönemde genişleyip kurak dönemde daralan irili ufaklı birçok gölet bulunur.

## Soğuk Su Sondajları

Bölgede, DSİ, İl Özel İdare Müdürlüğü, İller Bankası ve şahıslar tarafından sulama ve içme-kullanma suyu amaçlı olarak açılmış olan 18 adet soğuk su sondajı bulunmakta olup derinlikleri 10-262 m arasında değişmektedir. Bazı DSİ kuyularının jeoloji logları Şekil 33'de verilmiştir. Pazarağaç'ın kuzeyinde açılmış olan 60 m derinlikteki kuyu (11 nolu örnek) artezyen özelliktedir ve verimi 10 l/s'dir. Diğer kuyuların DSİ tarafından kuyu açım tarihlerinde kayıt altına alınmış debileri 25-36 l/s arasındadır. Değirmendere Köyü'nün kuzeyinde açılmış 18 ve 20 örnek nolu kuyular genellikle alüvyon yelpazesi ve Neojen birimlerini kesmiş, daha derin olan (262 m) 25 örnek nolu kuyu ise bu birimlerin ardından yaklaşık 240 metreden sonra Karahasan rekristalize kireçtaşlarına girmiştir. Hamidiye Köyü'nün doğusunda bulunan 27 ve 28 örnek nolu kuyular da benzer şekilde kireçtaşı kesmiştir.



Şekil 33. DSİ kuyularına ait kuyu kesitleri.

Akifer parametrelerine yaklaşım sağlanabilmesi için beş DSİ kuyusunun (18-20-25-27-28 örnek nolu kuyular) pompa test verilerinden yararlanılmıştır. Bu kuyulara ait zaman-düşüm grafikleri Şekil 34'de verilmiş ve bu grafiklerin doğrusal kısımlarından en uygun doğru geçirilerek Jacob yaklaşımı ile transmissibilite (T) ve hidrolik iletkenlik (K) katsayıları hesaplanmıştır.

Transmissibilite katsayısının hesabı için Jacob tarafından verilen bağıntı:

$$T = \frac{0,183 \cdot Q}{\Delta S}$$

şeklinde olup bu bağıntıda;

T = Transmissibilite (iletkenlik) katsayısı - m<sup>3</sup>/gün/m

Q = Pompaj debisi - m<sup>3</sup>/gün

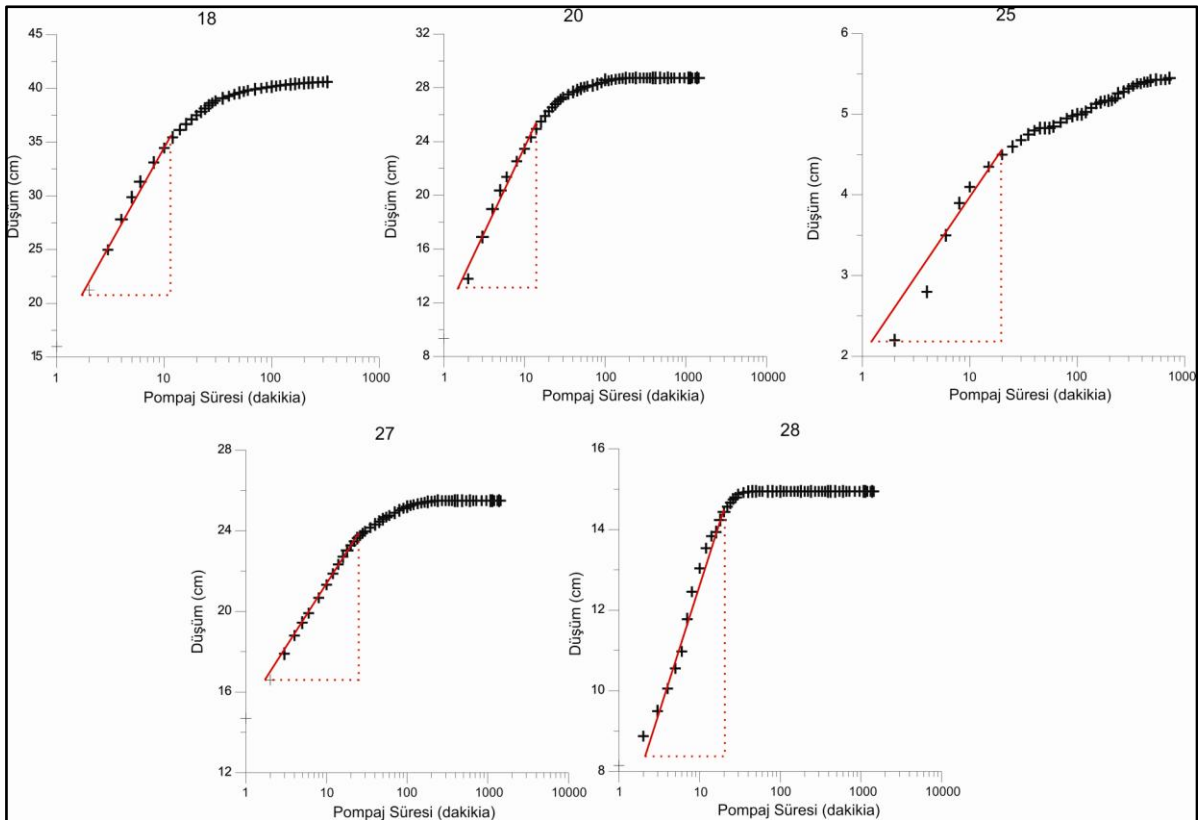
$\Delta S$  = İki logaritmik dilim arasındaki düşüme karşılık gelen değişimi belirten zaman-düşüm grafiğinin eğimidir.

Buradan hareketle, K;

$$K = \frac{T}{b}$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. (b değeri olarak filtre uzunluğu alınmıştır (m)).

Bu formüllere göre hesaplanan K ve T değerleri Tablo 4'de verilmiştir.



Şekil 34. DSİ kuyularına ait zaman-düşüm grafikleri.

Tablo 4: DSİ kuyuları için zaman-düşüm değerlerine göre hesaplanan parametreler.

Kuyu No	Q (l/s)	Q (m <sup>3</sup> /gün)	ΔS (m)	b (m)	T (m <sup>2</sup> /gün)	K (m/gün)	K (cm/s)
18	24,79	2141,9	15	48	26,1	0,54	6,25.10 <sup>-4</sup>
20	35,32	3051,6	12	52	46,5	0,89	1,03.10 <sup>-4</sup>
25	36,41	3145,8	2,6	128	221,4	1,73	2,00.10 <sup>-3</sup>
27	52,80	4561,9	7,5	72	111,3	1,55	1,78.10 <sup>-3</sup>
28	60,24	5204,7	6,1	50	156,1	3,12	3,61.10 <sup>-3</sup>

Tablo 4'deki değerlerden, kireçtaşı kesen kuyuların T ve K katsayılarının diğer kuyulara göre önemli oranda yüksek olduğu görülmektedir.

### Soğuk Su Kaynakları

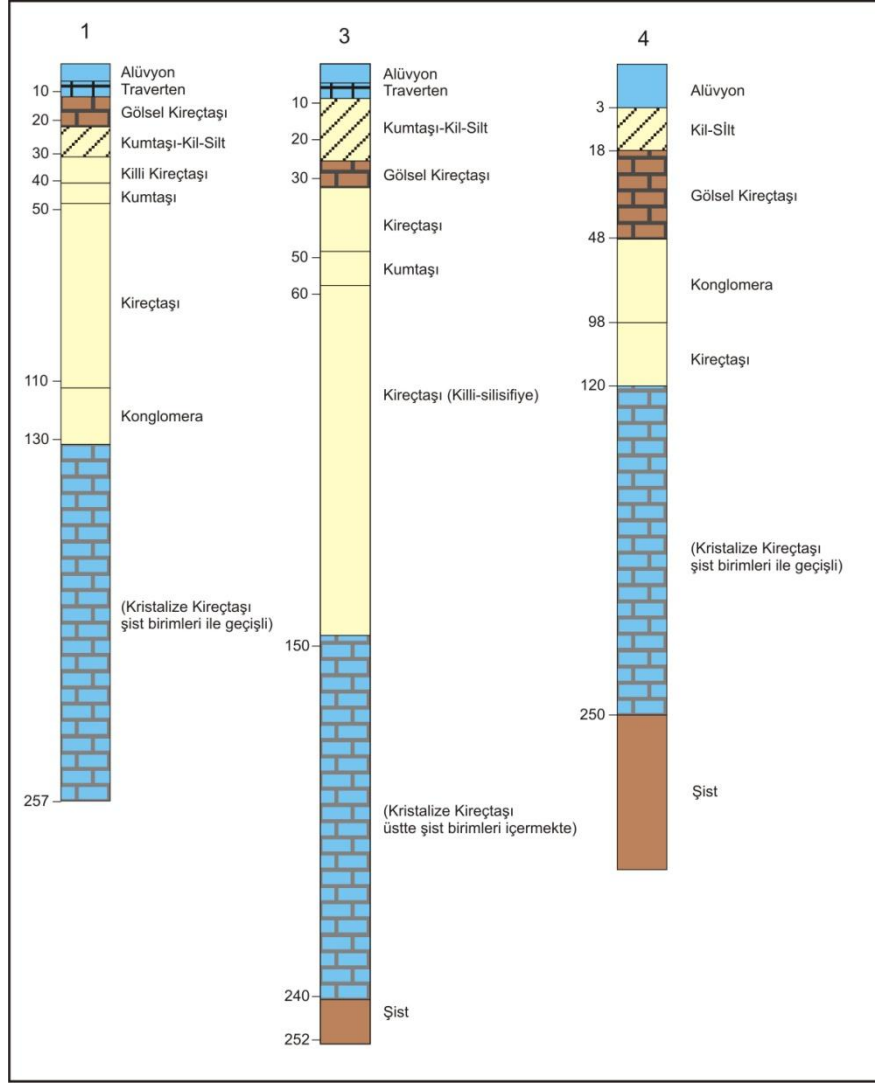
İnceleme alanında debileri 0,0 ile 3 l/s arasında değişen 30 civarında soğuk su kaynağı vardır. Bu kaynaklardan 10 tanesi alüvyon ve alüvyon yelpazelerinde, 5 tanesi Karahasan kalkerlerinden, 11 tanesi Gebeceler formasyonu, 1 tanesi Feleli formasyonu, 1 tanesi Sarıova üyesi ve 3 tanesi de Sultandede yeşilist formasyonunda gözlenmektedir.

### Sıcak Su Sondajları

İnceleme alanında 9 adet jeotermal kuyu vardır. Bu kuyulardan Gözsüzlü Köyü'nün 2,5 km kadar kuzeyinde bulunan beş tanesi (1-5 nolu örnekleme noktaları) 984-993 m kotlardadır. Derinlikleri 252-410 m arasında değişen kuyuların debileri 30-40 l/s civarındadır. Tamamı MTA tarafından açılan bu kuyulardan alınan sular kaplıcada kullanılmaktadır. Bu kuyuların 3 km kadar doğusunda Çay Belediyesi'nin 2 adet jeotermal kuyusu vardır. Kotları 1000 m olan iki kuyudan birinin (örnek no 6) derinliği 650 m, debisi 35 l/s, diğerinin (örnek no 7) derinliği 120 m, artezyen debisi 15 l/s'dir. Kuyular kapalı olup kullanımları yoktur. Çay Belediyesi tarafından açtırılan diğer iki jeotermal kuyu Gözsüzlü Köyü'nün yaklaşık 4,5 km doğusunda Afyonkarahisar-Konya karayolu kenarındadır. Bu artezyen kuyuların debileri 10-15 l/s civarındadır. Kuyulardan biri (örnek no 8) kaplıcada kullanılırken diğer kuyunun (örnek no 9) kullanımı yoktur. Sıcak suların rezervuar kayacı Karahasan kalkerleridir. 1, 3 ve 4 örnek nolu kuyuların kestiği birimler Şekil 35'de verilmiştir. Bu kuyularda 120-150 m derinliklerde rezervuara girildiği ve rezervuar kalınlığının (Karahasan rekristalize kireçtaşları) 90-130 m civarında olduğu görülmektedir. Bu birim üzerindeki Neojen çökellerinin geçirimsiz litolojileri örtü kayayı oluşturmaktadır.

### Sıcak Su Kaynakları

İnceleme alanında proje önerisi öncesi yapılan ön çalışmalarda Heybeli sahasındaki jeotermal sondaj kuyuları civarında düşük debili sıcak su kaynakları mevcut iken, proje çalışmalarının yürütüldüğü süre içinde bu kaynakların kurduğu görülmüştür. Bu durum, termal rezervuar basıncının düşmesi ile açıklanabilir.



Şekil 35. MTA tarafından açılan bazı jeotermal kuyularda kesilen birimler (Hamut, 2002).

Kaynakların kuruması nedeniyle proje önerisinde taahhüt edilen, “bir sıcak su kaynağına data-logger yerleştirerek sıcaklık ve elektriksel iletkenlikteki değişimin periyodik olarak izlenmesi” çalışması gerçekleştirilememiştir.

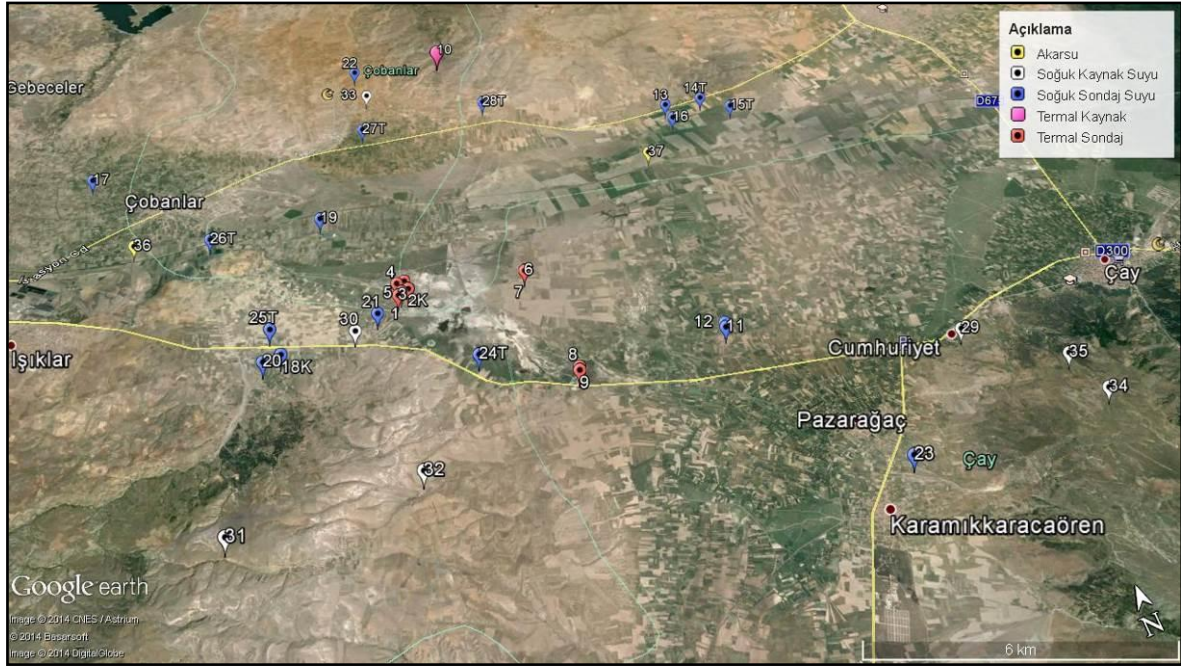
Sahadaki tek sıcak su kaynağı, Kaymakçı formasyonunun Sarıkayalar konglomera üyesi ile Sultandede formasyonunu ayıran yaklaşık K-G doğrultulu faydan boşalan Kızıkpınar kaynağıdır. Kaynağın kotu 1145 m, debisi 5 l/s'dir. Kaynağın suyu plastik boruyla bir havuza boşaltılmakta ve sulamada kullanılmaktadır.

#### 4.4 Hidrojeokimya

Bu bölümde, Heybeli (Kızılkirse) kaplıcası ve civarındaki soğuk ve sıcak suların fizikokimyasal özelliklerine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

#### 4.4.1 Su Örnekleme Noktaları

İnceleme alanının hidrojeokimyasal özelliklerinin anlaşılması için Heybeli termal kaplıcası ve çevresinden, sahanın hidrojeokimyasal yapısını temsil edebileceği öngörülen su noktalarından in-situ ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Örnekleme noktalarının lokasyonu Şekil 36'da verilmiştir. Ölçüm ve analiz çalışmaları Temmuz-2013 ve Kasım-2013 olmak üzere iki farklı dönemde yapılmış olup ilk dönemde 35, ikinci dönemde ise 30 adet örnek alınmıştır. Örnek sayısında Kasım ayındaki azalma, çoğunlukla çalıştırılmayan DSİ kuyularından kaynaklanmıştır. Kasım döneminde farklı su noktalarından da örnek alınmış ve böylece toplam 37 farklı su noktasından örnekleme yapılmıştır. Örneklerin 9'u sıcak su kuyusu, biri sıcak su kaynağı, 18'i soğuk su kuyusu, 7'si soğuk su kaynağı ve 2'si akarsudan (Afyon akarının inceleme alanına giriş ve çıkış noktalarından) alınmıştır. Örneklenen suların bazılarının fotoğrafları Şekil 37'de verilmiştir.



Şekil 36. Su örnekleme noktaları (T: sadece Temmuz ayında örnekleme yapılmıştır, K: sadece Kasım ayında örnekleme yapılmıştır).

#### 4.4.2. Suların fiziko-kimyasal özellikleri

Su noktalarının koordinatları, tipleri ve in-situ ölçülen debi, sıcaklık, elektriksel iletkenlik, pH ve Eh değerleri Tablo 5'de, kimyasal analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 37. Bazı örneklemeye noktalarından görünüşler (34 Cıvcır çeşme, 29:Cumhuriyet kaynağı, 10: Kızıkpınar sıcak su kaynağı, 5: HK-1 termal sondajı, 8: PZ-1 termal sondajı ve 28: DSİ-21743 nolu kuyu).

#### 4.4.2.1 Sıcaklık

Lokasyon olarak gruplanabilen inceleme alanı jeotermal kuyularının sıcaklıkları, Heybeli kaplıcası ve civarında (1-5 örnek nolu kuyular) 51,4-54,7°C, bu kuyuların 3 km doğusunda (Çay Belediyesi kuyuları, 6-7 örnek nolu kuyular) 27,3-38,0°C ve Afyonkarahisar-Konya karayolu üzerinde (Pazarağaç kuyuları, 8-9 örnek nolu kuyular) 28,2-37,9°C arasında değişmektedir. Bu sondajlardan 1, 3 ve 8 nolu kuyular kaplıca, 2, 4 ve 5 nolu kuyular sera ısıtmasında kullanılmaktadır. Diğer kuyu sularının kullanımı yoktur. İnceleme alanının kuzeyinde yer alan Kızıkpınar sıcak su kaynağının (10 nolu su) kodlu sıcak su kaynağının



sıcaklığı mevsimsel olarak 28,8-29,7°C arasında değişmektedir. Termal suların sıcaklıklarında önemli bir mevsimsel değişim gözlenmemiştir.

Soğuk kuyu sularının (11-28 örnek nolu sular) sıcaklıkları 13,0-20,5°C arasındadır. Temmuz ayında örneklenen 18 adet soğuk su kuyusundan ancak 11'i Kasım ayında örneklenebilmiştir. Bunlardan 6'sında mevsimsel sıcaklık değişiminin olmadığı belirlenmiştir. Diğer 5 kuyunun sıcaklıkları Kasım döneminde 3-5°C civarında azalmıştır.

Soğuk kaynak sularının (29-35 nolu örnekler) sıcaklıkları 9,7-18,6°C arasında değişmektedir. Kaynak sularında mevsimsel sıcaklık değişimi en çok yüksek kottaki kaynaklarda gözlenmiştir.

Afyon akarına ait sıcaklık ölçümlerinde ise, akar giriş noktasından (36 nolu örnek) akar çıkış noktasına (37 nolu örnek) doğru sıcaklığın Temmuz döneminde arttığı, Kasım döneminde azaldığı belirlenmiştir.

#### **4.4.2.2 Elektriksel İletkenlik (EC)**

Elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal ifadesidir. Su analiz sonuçları, mikromho/cm veya mikrosiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) olarak ve 25°C'deki değeri hesaplanarak verilmektedir. Suların elektriksel iletkenlikleri, sudaki iyon varlığına, toplam derişime ve sıcaklığa bağlıdır. Sudaki iyon derişimi ile artış gösteren elektriksel iletkenlik değeri, bu nedenle, sudaki toplam iyon derişiminin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Suların içerdikleri iyonların toplam derişimi ve dolayısıyla elektriksel iletkenlikleri, suda çözülmüş toplam madde miktarına (TÇM), suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yola, temasta oldukları kayaçların cinsine ve çözünlüklerine, iklime, bölgedeki yağış koşullarına bağlıdır.

İnceleme alanındaki sıcak su kuyularından 1-5 nolu kuyuların EC değerleri 2770-3620  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , 6-7 nolu kuyuların 1380-2380  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve 8-9 nolu kuyuların 1447-2210  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. Kızıkpınar sıcak su kaynağında ise bu değer 587-615  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olarak ölçülmüştür. Soğuk kuyu sularının EC değerleri 282-1498  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasındadır. Soğuk su kaynaklarında en düşük EC değerleri yüksek kottaki (1590-1741 m) kaynaklarda ölçülmüştür (73,8- 286  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Soğuk kaynaklardaki en yüksek EC değeri 610  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ile 32 nolu örnekte ölçülmüştür. Sıcak ve soğuk suların EC değerlerinde mevsimsel olarak önemli bir değişim gözlenmemiştir. Soğuk sularda Kasım döneminde görülen az miktardaki yükselme yeraltısularındaki seyrelmenin azalması nedeniyledir. İnceleme alanında EC değerlerinde gözlenen en önemli değişim Afyon akarında Temmuz ve Kasım ayında gerçekleşmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. Örnekleme noktaları ve in-situ ölçüm sonuçları (TSK: Termal su kuyusu, TSKAY: Termal su kaynağı, SSK: Soğuk su kuyusu, SSKAY: Soğuk su kaynağı, AFAK: Afyon akarı).

Örnek Kodu	Örnek Adı	Örnek Türü	Koordinatlar (ED50)			Derinlik (m)	Pompa Derinliği (m)	Debi (l/s)	Temmuz	Kasım	Temmuz	Kasım	Temmuz	Kasım	Temmuz	Kasım
			X (Yukarı)	Y (Sağa)	Z (m)				Sıcaklık (°C)	EC (µS/cm)	pH	Eh (mV)				
1	H1-A	TSK	4279874	311557	987	258	50	35	54,7	53,1	3580	3620	6,93	6,66	3,8	19,9
2	H2-A	TSK	4279900	311740	988	385	70	35	---	53,2	---	3210	---	6,52	---	28,4
3	H-4	TSK	4279784	311443	993	252	60	30	54	53,7	3310	3340	6,56	6,53	26,4	28,4
4	AÇ-2	TSK	4280198	311547	986	256	90	30	52,9	52	2770	3060	6,75	6,96	14,9	1,4
5	HK-1	TSK	4280203	311743	984	410	90	40	51,4	53,4	3450	3350	6,93	7,21	3,7	-13,8
6	ÇB-1	TSK	4279279	314554	1000	650	350	35	37,6	38	2350	2380	6,91	6,95	4,6	1,7
7	ÇB-2	TSK	4279279	314554	1000	120	A	15	29,3	27,3	1380	1420	6,56	6,60	24,7	22,1
8	PZ-1	TSK	4275741	314371	991	---	A	15	37,9	37,5	2119	2210	6,32	6,41	39,3	33,9
9	PZ-2	TSK	4275645	314333	992	---	A	10	28,9	28,2	1447	1521	6,52	6,64	27,3	19,4
10	KIZIKPINAR	TSKAY	4289232	316019	1145	---	---	5	29,7	28,8	587	615	7,37	7,56	-21,8	-33,5
11	MALTEPE-1	SSK	4275413	318035	988	60	A	10	20,3	19,1	955	997	6,79	6,93	11,1	3,0
12	MALTEPE-2	SSK	4275550	318085	988	150	---	---	20,1	14,1	563	550	7,35	7,5	-20,2	-28,2
13	AVŞAR-1	SSK	4284060	321067	981	---	---	---	20,5	15,2	1387	1001	7,01	7,36	-1,1	-21,3
14	AVŞAR-2	SSK	4283940	322144	977	---	---	---	17,9	---	908	---	6,98	---	0,5	---
15	AVŞAR-3	SSK	4283217	322728	972	---	---	---	16	---	718	---	7,57	---	-32,2	---
16	AVŞAR-4	SSK	4283416	320958	980	---	---	---	16,5	14,5	689	790	7,47	7,69	-26,9	-39,6
17	ÇOBANLAR	SSK	4287582	305586	1000	60	34	---	15,2	14,3	563	609	7,41	7,49	-22,9	-28
18	DSİ-52514	SSK	4279066	308338	1021	151	---	25	---	13,4	---	556	---	7,50	---	-28,6
19	SERA SOĞUK SU	SSK	4283404	310592	986	---	---	---	15,3	14,2	812	839	7,02	7,41	-1,4	-23,9
20	DSİ-49758	SSK	4279013	307902	1041	145	---	36	16,1	13,3	555	515	7,37	7,55	-21,0	-31,2
21	KAPLICA SOĞUK SU	SSK	4279403	310790	988	140	44	---	17,5	17,4	1338	1498	6,41	6,59	32,4	22,0
22	KOCAÖZ	SSK	4289514	313518	1091	200	---	---	18,9	13,5	331	361	7,79	7,90	-49,5	-55,4
23	KARAMIK-3	SSK	4270313	319704	1090	110	50	---	13,4	13	282	288	7,83	7,86	-45,0	-49,1
24	DSİ-1	SSK	4277095	312455	986	---	---	---	18,5	---	515	---	7,16	---	-9,2	---
25	DSİ-15020	SSK	4279981	308330	1011	262	---	36	16,7	---	512	---	7,27	---	-15,7	---
26	BAHÇE	SSK	4283810	307839	987	10	---	---	14,7	---	1368	---	6,91	---	4,4	---
27	DSİ-52319	SSK	4286661	312816	998	210	---	53	16,5	---	551	---	7,40	---	-22,7	---
28	DSİ-21743	SSK	4286463	316370	993	100	---	62	18,3	---	784	---	7,11	---	-6,4	---
29	CUMHURİYET	SSKAY	4272977	323012	1034	---	---	1,5	14,6	14,4	282	267	7,64	7,82	-35,9	-47,4
30	GERDANOĞLU	SSKAY	4279066	310126	998	---	---	3	17,9	14,6	373	400	7,39	7,50	-22,2	-28,8
31	NAZİK	SSKAY	4274571	305928	1390	---	---	1	18,6	13,8	396	413	7,69	7,90	-38,7	-58,1
32	HALİL	SSKAY	4274440	310123	1135	---	---	1	13,5	14	548	610	7,10	7,24	-5,9	-14,5
33	CİVCİR ÇEŞME	SSKAY	4288206	313454	1036	---	---	2	16,2	16,4	415	439	7,37	7,49	-19,5	-28,4
34	KARAMIK-1	SSKAY	4270028	324840	1741	---	---	0,5	16,7	9,7	78,9	73,8	7,25	7,32	-12,5	-18,4
35	KARAMIK-2	SSKAY	4271258	324767	1590	---	---	1	13,4	9,9	286	260	7,29	7,40	-14,4	-22,9
36	AKAR GİRİŞ	AFAK	4284383	306047	985	---	---	---	23,6	15,4	1369	1841	7,81	7,30	-46,4	-17,8
37	AKAR ÇIKIŞ	AFAK	4282262	319566	962	---	---	---	28,3	11,6	1206	1918	9,52	6,86	-144,7	6,8

#### 4.4.2.3 Hidrojen iyonu aktivitesi (pH) ve Redoks Potansiyeli (Eh)

pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Doğal yeraltı sularının pH değeri 6,0-8,5 aralığında değişir. Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini arttırırken, serbest mineral asitleri ve karbonik asit suyun asit özelliğini arttırmaktadır.

Suyun pH değeri, ona aşındırıcı ya da kabuk bağlayıcı özellik kazandırır. Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli sular genellikle hafif asidik olup pH değerleri 6,32-7,56 arasındadır. Soğuk sular ise 6,41-7,90 arasında değişen hafif asidik-hafif bazik pH değerlerine sahiptir.

Afyon akarında pH değerleri 6,86-9,52 arasında ölçülmüştür.

Redoks potansiyeli ise bir suyun içerdığı kimyasal bileşen türleri açısından yükseltgeyici ya da indirgeyici eğilimde olup olmadığını göstergesidir. Yüzeiden derinlere inildikçe, yağış sularının redoks potansiyeli azalır. Suyun redoks potansiyelinin değişimi zeminin yapısı, gözenekliği, geçirgenliği, organik maddelerin cinsi ve bulunduğu derinlik, yağışların sıklığı, akiferin zemin yüzeyine derinliği, sıcaklık gibi etkenlere bağlıdır. Eh metre ile ölçülen değerler ortamın indirgen yada yükseltgen olup olmadığını göstermektedir (Hem, 1985; Özyurt vd., 2001). Örnekleme dönemlerinde gerçekleştirilen ölçümlerden redoks potansiyelinin -58,1 ile +39,3 mV arasında değiştii belirlenmiştir. Genel olarak inceleme alanındaki sıcak sular pozitif (yükseltgen) ve soğuk sular negatif (indirgen) karakterlidir. Afyon akarında Eh değeri -144,7 ile 6,8 arasında değişim göstermektedir.

#### 4.4.2.4 Suların Kimyasal Özellikleri

Örnekleme ve analizi yapılan su örneklerinin iyon ve bazı element analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

**Kalsiyum (Ca<sup>+2</sup>):** Kalsiyumun yeraltısularındaki başlıca kaynağı kalsit ve aragonit (CaCO<sub>3</sub>), dolomit (CaMg-(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), jips (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), anhidrit (CaSO<sub>4</sub>), fluorit (CaF<sub>2</sub>), plajjoklas, piroksenin çözünmeleridir (Hounslow, 1995). Soğuk su örneklerinde kalsiyum miktarı en düşük 8,8 mg/l (no 34) ve en yüksek 249,9 mg/l (no 21), sıcak su örneklerinde ise en düşük 72,3 mg/l (no 10) ve en yüksek 369,9 mg/l (no 5)'dir. Afyon akarından alınan örneklerde (36-37) kalsiyum miktarı 45,2-139,5 mg/l'dir.

**Magnezyum (Mg<sup>+2</sup>):** Yeraltı sularında kalsiyumdan sonra en fazla bulunan katyondur ve toprak alkali elementlerdendir. Doğal sularda magnezyumun en büyük kaynağı sedimanter kayalardaki dolomit [CaMg-(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]’dir. Bunun yanı sıra magmatik kayalardaki olivin, mikalar, amfibol, metamorfik kayalardaki piroksen, serpantin, talk ve tremolitler magnezyum kaynağı olan diğer minerallerdir (Hem, 1985; Hounslow, 1995).

Tablo 6. İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları (mg/l).

No	Dönem	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	F	SiO <sub>2</sub>	Sr	As
1	Temmuz	363,9	75,9	533,0	56,4	156,5	905,7	1439,6	0	0,00	1,51	3,62	55,4	6,605	1,453
	Kasım	347,7	70,5	541,0	51,9	159,9	710,0	1512,8	0	100,78	0,30	2,8	48,4	4,569	1,596
2	Kasım	336,8	73,3	414,0	40,1	140,4	932,0	1354,2	0	39,34	0,12	2,54	42,3	4,555	1,850
	Temmuz	367,0	79,3	484,9	50,5	134,9	851,7	1354,2	0	0,00	1,76	3,35	52,5	6,680	1,434
3	Kasım	353,8	74,2	442,7	42,1	145,7	950,0	1403	0	15,91	0,32	3,22	44,9	4,694	1,602
	Temmuz	363,9	82,9	313,8	34,9	93,5	854,0	1098,0	0	0,00	1,17	2,90	45,2	6,501	1,149
4	Kasım	352,0	77,3	372,0	35,7	124,4	872,0	1281,0	0	43,32	0,41	2,42	45,7	4,694	1,612
	Temmuz	369,9	78,7	524,2	54,9	151,1	896,6	1439,6	0	0,00	1,39	3,34	54,0	6,677	1,352
5	Kasım	339,4	74,3	467,4	44,1	158,1	1044,0	1390,8	0	36,69	0,33	2,38	41,8	4,673	1,917
	Temmuz	102,2	46,5	503,8	24,3	66,5	575,0	915,0	0	0,00	0,32	0,75	66,0	4,081	0,36
6	Kasım	92,7	39,9	471,5	19,4	58,8	512,0	902,8	0	0,00	0,09	3,28	59,1	2,393	0,631
	Temmuz	128,8	34,6	191,7	22,5	22,8	75,9	854,0	0	0,00	0,80	2,81	28,8	1,842	0,90
7	Kasım	123,1	32,4	186,0	21,5	21,6	104,0	890,6	0	7,07	0,48	2,38	20,9	2,384	0,246
	Temmuz	192,9	43,4	319,1	41,8	56,8	181,5	1213,9	0	0,00	0,31	4,23	47,7	3,401	0,19
8	Kasım	187,9	42,2	309,9	38,0	64,2	202,0	1146,8	0	2,65	0,02	3,48	40,8	2,217	0,240
	Temmuz	164,0	40,5	164,9	21,8	32,9	104,9	866,2	0	0,00	0,22	2,42	31,3	3,380	0,06
9	Kasım	161,9	38,8	160,9	19,9	39,3	145,2	939,4	0	0,00	0,03	1,98	27,5	0,909	0,080
	Temmuz	78,6	33,4	10,6	3,0	7,6	156,2	231,8	0	0,00	0,12	3,31	19,8	1,615	0,007
10	Kasım	72,3	30,7	6,1	1,8	7,4	142,0	222,04	0	8,40	0,00	3,02	18,6	1,503	0,011
	Temmuz	121,4	40,4	76,0	11,9	17,6	58,4	624,6	0	0,00	0,44	1,77	32,7	1,435	0,086
11	Kasım	111,0	37,6	69,9	10,3	25,2	66,7	512,4	0	0,00	0,22	1,51	28,7	0,716	0,069
	Temmuz	51,4	31,4	39,6	9,7	9,0	27,0	327,4	0	0,58	0,39	0,09	68,4	0,817	0,021
12	Kasım	49,5	29,0	34,0	8,4	11,0	42,7	341,6	0	9,28	0,13	0,15	68,2	0,48	0,015
	Temmuz	243,1	75,1	56,2	4,7	24,3	587,2	445,3	0	0,00	0,11	1,15	24,1	5,919	0,014
13	Kasım	146,0	43,8	35,1	3,2	18,1	304,0	414,8	0	0,88	0,11	0,85	16,9	3,1	0,000
	Temmuz	105,1	35,3	79,9	6,8	16,2	156,9	449,0	0	3,46	0,22	1,19	32,7	3,523	0,014
15	Temmuz	66,3	35,0	71,7	10,2	14,3	118,5	366,0	0	0,00	0,23	0,85	62,7	1,755	0,015
	Temmuz	69,3	24,0	60,0	9,1	10,9	95,3	363,6	0	0,00	0,44	0,82	59,4	1,673	0,030
16	Kasım	79,8	28,8	63,2	8,3	18,1	136,4	402,6	0	12,82	0,33	0,52	52,7	1,433	0,002
	Temmuz	78,0	15,1	49,3	8,3	20,1	32,0	341,6	0	6,18	0,36	0,49	48,0	0,741	0,020
17	Kasım	76,6	14,2	40,6	7,3	23,4	44,2	324,52	0	5,75	0,18	0,22	46,7	0,392	0,005
	Kasım	94,5	18,1	7,6	2,1	12,8	109,8	253,76	0	17,24	0,02	0,1	11,5	0,138	0,001
19	Temmuz	121,2	26,4	58,8	7,4	49,0	138,4	351,4	0	8,87	0,27	0,68	54,9	1,546	0,066
	Kasım	103,2	22,6	45,2	5,6	60,6	111,0	336,72	0	0,44	0,22	0,42	50,5	0,704	0,062
20	Temmuz	95,4	24,4	12,3	2,9	13,1	95,4	263,5	0	21,12	0,13	0,26	14,4	0,628	0,006
	Kasım	82,6	16,6	0,7	0,7	11,0	99,4	233,02	0	0,00	0,00	0,09	11,4	0,168	0,000
21	Temmuz	244,3	31,1	92,0	3,3	41,5	263,0	658,8	0	11,24	0,15	0,46	26,7	1,640	0,026
	Kasım	249,9	31,8	93,8	2,7	48,2	282,5	713,7	0	10,17	0,09	0,19	24,3	0,997	0,023
22	Temmuz	42,9	11,4	16,1	4,0	9,6	10,5	181,8	0	8,60	0,18	0,72	40,5	0,440	0,011
	Kasım	43,1	11,7	16,4	3,9	14,5	23,0	192,76	0	9,28	0,13	0,55	12,8	0,3	0,001
23	Temmuz	31,5	16,5	5,8	1,2	2,8	15,2	148,8	0	3,36	0,24	0,25	12,6	0,198	0,014
	Kasım	35,7	17,8	4,4	0,8	9,2	14,0	183	0	14,14	0,11	0,14	37,9	0,042	0,000
24	Temmuz	101,5	7,5	15,9	2,5	15,7	22,8	263,5	0	39,59	0,23	0,44	26,3	0,611	0,014
	Temmuz	84,6	14,9	31,5	2,4	6,4	139,3	205,0	0	4,66	0,18	0,31	18,5	0,957	0,009
26	Temmuz	215,5	44,2	114,9	6,8	134,9	328,5	463,6	0	14,41	0,25	0,64	32,0	2,321	0,036
	Temmuz	69,8	12,0	43,6	3,7	21,9	46,9	244,0	0	34,27	0,27	0,77	44,7	0,789	0,012
28	Temmuz	103,5	35,4	54,4	4,2	19,0	165,3	351,4	0	12,65	0,20	0,99	21,0	3,124	0,006
	Temmuz	41,8	10,7	4,6	0,8	3,1	8,5	170,8	0	4,92	0,08	0,13	10,3	0,153	0,006
29	Kasım	39,1	10,0	4,2	0,7	5,7	18,6	170,8	0	8,40	0,03	0,01	9,3	0,017	0,000
	Temmuz	73,8	5,7	9,6	1,0	9,0	10,9	189,1	0	46,16	0,07	0,37	15,3	0,388	0,007
30	Kasım	71,5	5,3	2,5	0,2	11,0	22,7	201,3	0	10,17	0,03	0,18	14,3	0,102	0,000
	Temmuz	88,2	4,4	3,9	0,9	5,0	7,6	256,2	0	9,27	0,15	0,24	15,7	0,326	0,006
31	Kasım	87,7	4,3	3,5	0,9	5,7	3,0	262,3	0	8,84	0,02	0	14,1	0,043	0,001
	Temmuz	104,9	8,3	15,8	11,2	17,3	12,9	290,4	0	37,29	0,33	0,55	33,1	0,628	0,012
32	Kasım	106,6	8,2	11,3	9,5	21,6	22,9	344,04	0	14,14	0,21	0,27	33,3	0,318	0,003
	Temmuz	60,9	12,2	21,6	1,7	17,9	23,0	204,9	0	17,55	0,17	0,97	26,9	0,757	0,011
33	Kasım	59,0	11,5	16,3	0,9	18,1	36,5	200,08	0	9,28	0,00	0,74	25,7	0,402	0,000
	Temmuz	9,7	3,1	4,3	1,5	2,8	2,7	43,9	0	5,24	0,10	0,12	13,1	0,125	0,023
34	Kasım	8,8	2,9	3,1	0,9	3,1	2,7	39,04	0	8,84	0,12	0	6,6	-0,028	0,000
	Temmuz	39,5	12,7	2,2	1,6	3,1	7,4	151,3	0	10,44	0,09	0,09	7,3	0,13	0,019
35	Kasım	39,9	12,6	1,8	1,1	7,4	8,0	168,36	0	26,08	0,01	0	11,7	-0,026	0,000
	Temmuz	81,1	21,9	205,3	43,4	160,5	84,1	536,8	12,0	0,00	19,36	0,67	30,9	1,069	0,181
36	Kasım	108,3	23,1	277,0	37,9	252,0	119,6	702,72	0	9,72	1,81	0,68	31,3	0,517	0,256
	Temmuz	45,2	23,2	207,5	43,5	178,0	118,3	196,0	9,1	25,87	10,72	0,73	6,9	0,878	0,137
37	Kasım	139,5	27,8	243,8	34,6	221,9	72,8	878,4	0	4,90	0,00	0	30,7	0,537	0,219

Tablo 6. Devam (mg/l).

No	Dönem	Zn	Pb	Cd	Ni	Ba	Fe	B	Mn	Pt	Cr	Ti	Al	Li	Cu
1	Temmuz	0,032	0,005	0,046	0,013	0,055	0,330	3,397	0,020	0,012	0,010	0,014	0,087	0,917	0,000
	Kasım	0,021	0,009	0,065	0,008	0,057	0,318	3,575	0,022	0,022	0,009	0,013	0,037	1,053	0,008
2	Temmuz	0,010	0,008	0,073	0,005	0,058	0,657	3,097	0,024	0,022	0,010	0,013	0,038	0,932	0,004
	Kasım	0,006	0,007	0,047	0,009	0,053	0,307	2,903	0,017	0,014	0,010	0,013	0,062	0,788	0,000
3	Temmuz	0,010	0,008	0,018	0,006	0,055	0,732	3,127	0,023	0,024	0,009	0,014	0,058	0,939	0,005
	Kasım	0,009	0,005	0,040	0,009	0,051	0,525	1,855	0,028	0,011	0,010	0,013	0,064	0,512	0,000
4	Temmuz	0,012	0,008	0,065	0,006	0,057	0,300	2,753	0,027	0,023	0,009	0,013	0,035	0,785	0,056
	Kasım	0,006	0,005	0,045	0,010	0,053	0,338	3,194	0,032	0,012	0,010	0,013	0,064	0,866	0,000
5	Temmuz	0,077	0,008	0,074	0,006	0,057	0,221	3,502	0,024	0,024	0,009	0,013	0,032	1,067	0,008
	Kasım	0,009	0,006	0,013	0,009	0,047	0,420	3,707	0,050	0,012	0,010	0,014	0,067	0,343	0,002
6	Temmuz	0,011	0,008	0,030	0,006	0,140	0,049	2,347	0,088	0,021	0,010	0,014	0,012	0,314	0,009
	Kasım	0,009	0,007	0,030	0,010	0,121	0,270	2,010	0,077	0,011	0,010	0,014	0,057	0,235	0,002
7	Temmuz	0,058	0,007	0,017	0,005	0,048	0,067	4,306	0,049	0,023	0,009	0,017	0,076	0,441	0,012
	Kasım	0,007	0,005	0,007	0,009	0,087	0,418	1,284	0,032	0,008	0,010	0,013	0,059	0,399	0,000
8	Temmuz	0,010	0,008	0,017	0,005	0,101	0,535	1,552	0,039	0,022	0,009	0,014	0,037	0,539	0,008
	Kasım	0,007	0,005	0,003	0,008	0,092	0,272	0,652	0,027	0,011	0,010	0,013	0,058	0,200	0,002
9	Temmuz	0,012	0,007	0,011	0,005	0,104	0,298	0,747	0,033	0,022	0,009	0,014	0,026	0,242	0,008
	Kasım	0,007	0,003	0,001	0,009	0,071	0,059	0,098	0,012	0,010	0,010	0,015	0,088	0,019	0,002
10	Temmuz	0,009	0,007	0,009	0,005	0,078	0,015	0,138	0,016	0,022	0,009	0,015	0,058	0,026	0,010
	Kasım	0,006	0,005	0,004	0,009	0,102	0,104	0,329	0,023	0,011	0,010	0,018	0,133	0,093	0,001
11	Temmuz	0,010	0,011	0,012	0,007	0,102	0,032	0,332	0,027	0,020	0,010	0,014	0,024	0,097	0,010
	Kasım	0,009	0,006	0,002	0,009	0,029	0,035	0,144	0,011	0,012	0,028	0,014	0,049	0,038	0,005
12	Temmuz	0,017	0,010	0,010	0,005	0,027	0,052	0,150	0,016	0,020	0,025	0,014	0,021	0,041	0,011
	Kasım	0,355	0,007	0,003	0,012	0,047	0,152	0,792	0,045	0,016	0,010	0,014	0,061	0,146	0,007
13	Temmuz	0,024	0,008	0,009	0,005	0,038	0,032	0,563	0,016	0,018	0,010	0,014	0,001	0,117	0,011
	Kasım	0,007	0,006	0,002	0,009	0,062	0,020	0,708	0,039	0,014	0,010	0,014	0,066	0,138	0,002
14	Temmuz	0,018	0,007	0,002	0,012	0,326	0,102	0,626	0,156	0,009	0,010	0,015	0,085	0,173	0,013
	Kasım	0,007	0,006	0,003	0,009	0,132	0,087	0,604	0,217	0,012	0,010	0,014	0,062	0,182	0,002
15	Temmuz	0,009	0,009	0,009	0,006	0,188	0,064	0,616	0,337	0,018	0,009	0,014	0,017	0,236	0,012
	Kasım	0,011	0,005	0,002	0,009	0,284	0,007	0,365	0,011	0,009	0,012	0,014	0,053	0,077	0,004
16	Temmuz	0,015	0,006	0,009	0,005	0,317	0,015	0,334	0,015	0,017	0,012	0,018	0,009	0,084	0,015
	Kasım	0,011	0,006	0,009	0,005	0,091	0,049	0,024	0,019	0,016	0,009	0,015	0,013	0,019	0,010
17	Temmuz	0,007	0,006	0,003	0,010	0,058	0,044	0,335	0,012	0,011	0,013	0,014	0,054	0,071	0,001
	Kasım	0,025	0,007	0,011	0,005	0,061	0,015	0,360	0,016	0,019	0,012	0,014	0,026	0,077	0,010
18	Temmuz	0,006	0,005	0,001	0,009	0,077	0,016	0,015	0,011	0,010	0,011	0,014	0,053	0,018	0,002
	Kasım	0,009	0,007	0,009	0,003	0,074	0,031	0,019	0,016	0,019	0,010	0,014	0,022	0,019	0,011
19	Temmuz	0,015	0,006	0,002	0,009	0,074	0,034	0,526	0,147	0,010	0,010	0,013	0,060	0,083	0,001
	Kasım	0,027	0,007	0,010	0,006	0,079	0,020	0,582	0,148	0,018	0,010	0,014	0,141	0,103	0,009
20	Temmuz	0,006	0,005	0,002	0,007	0,146	0,013	0,099	0,011	0,011	0,012	0,014	0,057	0,013	0,002
	Kasım	0,013	0,008	0,009	0,005	0,161	0,015	0,076	0,016	0,019	0,011	0,014	0,000	0,016	0,011
21	Temmuz	0,031	0,019	0,021	0,010	0,174	0,034	0,005	0,033	0,022	0,023	0,027	0,061	0,020	0,020
	Kasım	0,009	0,007	0,007	0,006	0,774	0,016	0,000	0,015	0,022	0,010	0,014	0,038	0,012	0,011
22	Temmuz	0,006	0,005	0,002	0,009	0,308	0,032	0,092	0,012	0,009	0,013	0,014	0,056	0,021	0,001
	Kasım	0,019	0,005	0,002	0,013	0,107	0,033	0,035	0,013	0,007	0,010	0,014	0,065	0,026	0,004
23	Temmuz	0,010	0,006	0,002	0,009	0,073	0,006	0,354	0,011	0,014	0,011	0,013	0,054	0,054	0,000
	Kasım	0,006	0,004	0,002	0,008	0,079	0,035	0,354	0,012	0,009	0,013	0,014	0,047	0,025	0,002
24	Temmuz	0,007	0,005	0,001	0,009	0,043	0,028	0,589	0,012	0,010	0,011	0,014	0,058	0,078	0,004
	Kasım	0,005	0,005	0,002	0,008	0,174	0,022	0,019	0,011	0,010	0,010	0,014	0,062	0,009	0,002
25	Temmuz	0,006	0,005	0,001	0,009	0,348	0,017	0,045	0,011	0,008	0,010	0,014	0,059	0,017	0,002
	Kasım	0,007	0,007	0,009	0,005	0,375	0,033	0,053	0,015	0,015	0,009	0,014	0,021	0,020	0,011
26	Temmuz	0,006	0,004	0,002	0,009	0,198	0,006	0,003	0,011	0,008	0,010	0,014	0,055	0,011	0,002
	Kasım	0,009	0,008	0,009	0,003	0,215	0,013	0,014	0,015	0,016	0,009	0,014	0,009	0,014	0,011
27	Temmuz	0,006	0,004	0,002	0,008	0,329	0,012	0,105	0,012	0,009	0,012	0,014	0,056	0,018	0,002
	Kasım	0,009	0,009	0,009	0,005	0,384	0,018	0,128	0,015	0,016	0,011	0,014	0,027	0,022	0,011
28	Temmuz	0,006	0,005	0,001	0,009	0,219	0,007	0,216	0,011	0,007	0,013	0,014	0,055	0,015	0,002
	Kasım	0,011	0,007	0,009	0,005	0,230	0,025	0,239	0,016	0,018	0,012	0,014	0,000	0,019	0,012
29	Temmuz	0,030	0,019	0,022	0,011	0,071	0,204	0,077	0,057	0,022	0,023	0,029	0,156	0,021	0,025
	Kasım	0,009	0,006	0,009	0,005	0,069	0,163	0,001	0,017	0,017	0,010	0,019	0,016	0,012	0,012
30	Temmuz	0,027	0,019	0,021	0,010	0,035	0,082	0,022	0,036	0,024	0,024	0,027	0,065	0,021	0,019
	Kasım	0,009	0,006	0,009	0,005	0,025	0,014	0,001	0,020	0,018	0,009	0,014	0,029	0,012	0,012
31	Temmuz	0,011	0,004	0,007	0,014	0,065	0,027	1,101	0,013	0,009	0,010	0,014	0,045	0,197	0,004
	Kasım	0,014	0,008	0,018	0,015	0,153	0,261	4,712	0,217	0,020	0,012	0,017	0,090	0,568	0,010
32	Temmuz	0,007	0,006	0,005	0,014	0,033	0,087	0,893	0,020	0,010	0,010	0,019	0,171	0,164	0,005
	Kasım	0,011	0,008	0,016	0,018	0,169	0,148	6,272	0,315	0,020	0,012	0,015	0,074	0,498	0,009

Bölgedeki soğuk su örneklerinin  $Mg^{+2}$  miktarı en düşük 2,90 mg/l (no 34), en yüksek 75,1 mg/l (no 13), sıcak su örneklerinde ise en düşük 30,7 mg/l (no 10) ve en yüksek 82,9 mg/l (no 4)'dir. Afyon akarına ait örneklerde 21,9 ve 27,8 mg/l arasında değişen magnezyum içeriği belirlenmiştir.

**Sodyum ( $Na^+$ ):** Sodyum jeotermal akışkanının ana katyonudur ve konsantrasyonu yaklaşık 200–2000 mg/l'dir (Nicholson, 1993). Sodyum klorürün tabiattaki bolluğu ve suda kolay çözünmesi sularda sodyumun ( $Na^+$ ) bulunmasının başlıca kaynağıdır. Ayrıca, yeraltısularının sodyum içeriği temel kayadan Na-plajyoklasın ayrışması ve iyon değişimine bağlı olarak da değişebilir. Analizi yapılan soğuk su örneklerinde sodyum değeri en düşük 0,7 mg/l (no 20), en yüksek ise 114,9 mg/l (no 26), sıcak su örneklerinde en düşük 6,1 mg/l (no 10), en yüksek 541 mg/l (no 1) olarak ölçülmüştür. Akarsu örneklerinin sodyum değerleri 205,3-277 mg/l civarındadır.

**Potasyum ( $K^+$ ):** Potasyum iyonu da jeotermal akışkandaki majör katyondur. Yeraltısularının potasyum içeriği K-feldspat ( $KAlSi_3O_8$ ), mika ( $KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$ ), daha az yaygın olarak lösit ve silvit gibi minerallerinin ayrışma oranının bir fonksiyonudur (Hounslow, 1995). Ancak jeotermal sularda potasyum sodyuma göre daha düşük seviyelerde bulunur (yaklaşık 1/10 kadar).  $Na^+/K^+$  oranı yüksek sıcaklıklı zonlar için iyi bir yol göstericidir (Nicholson, 1993). Soğuk su örneklerinde potasyum değeri en düşük 0,2 mg/l (no 30), en yüksek ise 11,9 mg/l (no 11), sıcak su örneklerinde en düşük 1,8 mg/l (no 10), en yüksek 56,4 mg/l (no 1) olarak ölçülmüştür. 36 ve 37 numaralı örneklerin potasyum değerleri 34,6-43,5 mg/l arasındadır.

**Karbonat ve Bikarbonat ( $CO_3^{-2}$  ve  $HCO_3^-$ ):** Sıcak akışkanlardaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğu, atmosfer ve topraktaki karbondioksitten ve karbonatlı kayaların çözünmesinden oluşmaktadır. pH yaklaşık 6-10 arasında ise, çözültide  $HCO_3^-$  baskındır. Daha düşük pH değerlerinde, ortamda karbonik asit ( $H_2CO_3$ ), daha alkali sularda ise  $CO_3^{--}$  baskın iyondur (Nicholson, 1993; Hounslow, 1995). Ca-Mg- $HCO_3$  bileşimli sular dolomitlerle, Ca- $HCO_3$  tipli sular kireçtaşları ile suların etkileşimini gösterir. (Mazor, 1997). İnceleme alanından alınan soğuk su örneklerinin  $HCO_3$  değerleri en düşük 45,1 mg/l (no 34), en yüksek 717,3 (no 21), sıcak sularda ise en düşük 222 mg/l (no 10), en yüksek ise 1512,8 (no 1) olarak ölçülmüştür. Akar Giriş (36) ve Akar Çıkış (37) örneklerinin  $HCO_3$  değerleri sırasıyla 196 ve 878,4 mg/l arasındadır.

**Klorür ( $Cl$ ):** Sıcak akışkanlardaki jeotermal kaynaklarda yüksek klorür konsantrasyonları doğrudan derin bir rezervuar kayaktan beslenmeye işaret eder (Nicholson, 1993). Çalışma alanında yer alan soğuk su noktalarında klorür miktarları en düşük 2,82 mg/l (no 23, 34), en yüksek 134,9 mg/l (no 26), sıcak sularda ise en düşük 7,4 mg/l (no 10) ve en yüksek 159,9 mg/l (no 1) olarak ölçülmüştür.

**Bor (B):** Jeotermal sistemlerde B ve Cl<sup>-</sup> genellikle suların kökeni ve sistemler içinde farklı rezervuarlar arasındaki karışımı belirlemek amacıyla kullanılır (Truesdell, 1976; Arnorsson vd., 1983). Cl<sup>-</sup> ve B özellikle >100 °C üstündeki jeotermal sularda, ikincil mineral olarak yer alır (Ellis ve Mahon, 1964; 1967). Bölgede yer alan termal suların bor içerikleri 0,098-4,306 mg/l arasında değişmektedir.

**Sülfat (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>):** Kükürt indirgenmemiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayalarda yaygın olarak bulunur. Sülfür mineralleri suyla temas ederek bozdukları zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşur ve bu iyonlar suya geçer. Doğal sulardaki sülfatın başlıca kaynakları sedimanter kayalar (özellikle jips, anhidrit, şeyl), magmatik kayalar ve organik maddelerdir. Bu doğal kaynaklar dışında deri, selüloz, tekstil, sülfürik asit, metalürji endüstrisi atık suları, asit yağmuru ve kükürt içeren maden sahalarının drenaj suları da yüzey ve yeraltısularındaki sülfat miktarını arttıran kaynaklardır. (Hem, 1985). Yapılan analizler sonucunda soğuk sularda en düşük sülfat değeri 2,7 mg/l (no 34), en yüksek 587,2 mg/l (no 13), sıcak sularda en düşük 75,9 mg/l (no 7), en yüksek 1044 mg/l (no 5) olarak ölçülmüştür.

**Florür (F):** Sularda florürün kaynağı florit, apatit, mika ve amfibol gibi minerallerdir. Genellikle anyon değişimi sonucunda kaolinitlerin adsorbsiyonu ile oluşur. Deniz sularının F<sup>-</sup> içeriği <1 mg/l'dir (Hem, 1985). Jeotermal akışkanlarda F<sup>-</sup> içeriği genellikle 10 mg/l'den düşüktür. CO<sub>2</sub> basıncı yüksek ise Ca ortamda bulunan F<sup>-</sup> ile bileşik oluşturur. Yüksek F<sup>-</sup> konsantrasyonları sedimanter kayalara göre, riyolit, pomza ve obsidiyen gibi volkanik kayaların su-kayaç etkileşimindeki önemini gösterir (Mahon, 1966). İnceleme alanında yer alan soğuk su örneklerinde florür değeri en düşük 0,0 mg/l, en yüksek 1,77 mg/l (no 11), sıcak sularda ise en düşük 0,75 mg/l (no 6) ve en yüksek 4,23 mg/l (no 8) olarak ölçülmüştür.

**Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>):** Azot çevrimi sırasında organik azot bileşiklerinin parçalanarak amonyum tuzlarının oluşumu "amonifikasyon", oksijenli ortamda amonyum tuzlarını nitrite ve daha sonra nitrate dönüşümü "nitrifikasyon" adını alır. Oksijensiz şartlar altında nötrale yakın pH değerlerinde ve organik hidrojen verici maddelerin bulunması durumunda nitrat iyonları önce nitrite daha sonrada azot oksit (N<sub>2</sub>O) ve moleküler azota (N<sub>2</sub>) indirgenir. Bu süreç "denitrifikasyon" olarak adlandırılır (Freeze ve Cherry, 1979; Uslu ve Türkman, 1987). Azot gübrelemesi, evsel-tarımsal-hayvansal atıkların yeraltısularına karışması sulardaki azot derişimini arttırmaktadır. Sularda 5-10 mg/l'nin üzerinde nitratın bulunması bu suyun dışarıdan kirletildiğini gösterir. İncelenen soğuk su örneklerinin nitrat değerleri en düşük 0 mg/l, en yüksek 46,2 mg/l (no 30), sıcak suların değerleri ise 0-100,8 mg/l (no 1) olarak ölçülmüştür. Akarsu örneklerinde nitrat değerleri 0-25,9 mg/l olarak bulunmuştur.

**Demir (Fe):** Demir, magmatik kayalardaki piroksen, amfibol, biyotit, magnetit, olivin gibi minerallerde bulunur. Yeraltı sularında demirin en yaygın formu Fe<sup>+2</sup> (ferro)'dir. Fe<sup>+3</sup> (ferri) ise

asit çözeltilerde bulunmaktadır (Hem, 1992). Analiz sonuçlarına göre soğuk sulara demir içeriği 0,006-0,204 mg/l, sıcak sulara ise 0,015-0,984 mg/l arasında değişmektedir.

**Arsenik (As):** Arsenik, pirit, arsenopirit, demir ve fosfatlı kayaların oksidasyonu sonucu sıcak sulara kolayca geçebilmektedir (Gemici ve Tarcan, 2002). Derin jeotermal sistemlerde arsenik çoğunlukla  $As^{+3}$  (arsenit) formunda bulunurken, bu form jeotermal suyun atmosferik oksijen ile reaksiyonu sonu  $As^{+5}$  (arsenat)'e geçiş göstermektedir (Brown, 1995). İnceleme alanındaki soğuk su kaynaklarının arsenik değerleri 0,0-0,098 mg/l, sıcak suların arsenik değerleri 0,007-1,917 mg/l arasında değişim göstermektedir.

#### 4.4.2.5 Suların Sınıflaması

##### ***Çözünmüş Toplam Katı Madde Miktarına Göre Sınıflama***

Bu sınıflamada toplam iyon miktarı 1000 mg/l'den az olan sular tatlı, 1000-10.000 mg/l arasında olanlar hafif tuzlu, 10.000-100.000 mg/l arasında olanlar tuzlu sular sınıfına girer.

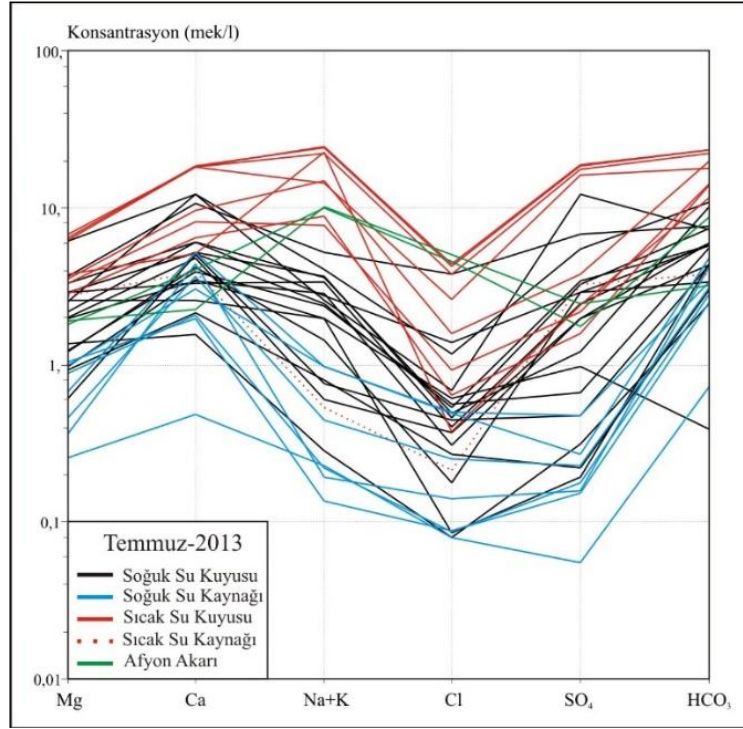
Bu sınıflamaya göre termal sondaj suları, 21-26 no'lu soğuk sondaj suları ve 36-37 no'lu akarsu örnekleri hafif tuzlu, diğer tüm örnekler tatlı su sınıfına girmektedir.

##### ***Schoeller Sınıflaması***

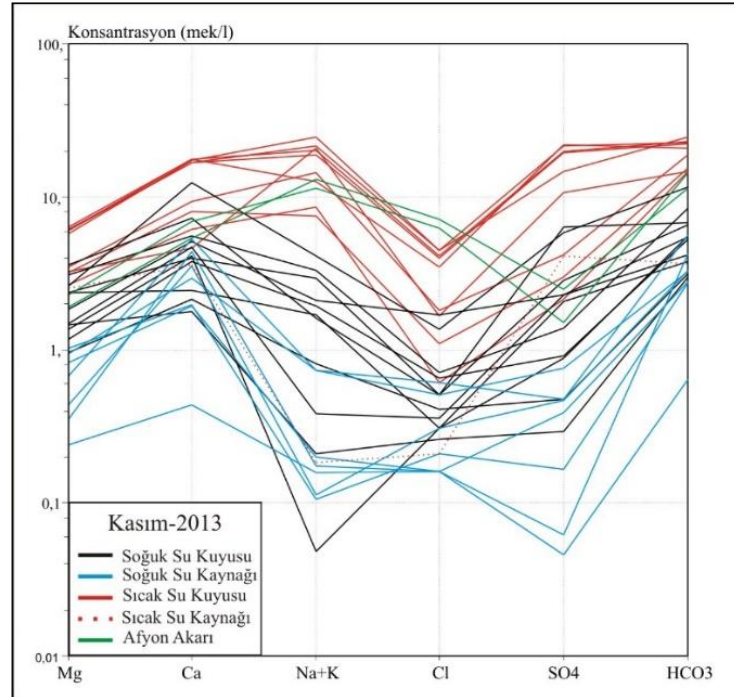
Schoeller (1962), anyon ve katyon konsantrasyonlarını göstermek için yarı logaritmik diyagram kullanmayı önermiştir. İnceleme alanı sularının yarı logaritmik diyagramı iki dönem için Şekil 38 ve 39'da verilmiştir. Bu diyagramda Heybeli civarındaki yaklaşık 50°C sıcaklığa sahip suların aynı rezervuardan geldikleri veya yeraltında aynı jeokimyasal süreçten geçtikleri anlaşılmaktadır. Diğer sıcak sular, soğuk sular ile Heybeli civarı sıcak suları arasında yer almaktadır. Sıcak sular yüksek Na+K ve  $SO_4$  derişimleri ile soğuk su kaynaklarından belirgin bir şekilde ayrılmaktadır. Sıcak sular soğuk sondaj sularına ve soğuk kaynak sularına geçildikçe çözünmüş madde derişimleri genellikle birbirleri ile uyumlu olarak azalmaktadır. Genel anlamda, bu diyagramdan, Çay ve Pazarağaç sularının Heybeli kaplıcası yakınındaki daha yüksek sıcaklıklı sularla soğuk suların bir karışımını yansıttığı, bazı soğuk kuyu sularında da (21 nolu örnekte olduğu gibi) termal su katkısı olduğu söylenebilir.

Schoeller (1962) ayrıca suları; klorür, sülfat ve bikarbonat miktarlarına göre sınıflamıştır. Bu sınıflamaya göre; suların tamamının olağan klorürlü, 1-2-3-4-5-6-13 no'lu örneklerin oligosülfatlı, diğer örneklerin olağan sülfatlı olduğu ve bikarbonat miktarına göre de 1-2-3-4-5-6-7-8-9-11-21-26-36-37 no'lu örneklerin hiperkarbonatlı, 34 no'lu kaynak suyunun az karbonatlı ve diğer tüm örneklerin olağan karbonatlı sular sınıfına girdiği belirlenmiştir.





Şekil 38. İnceleme alanı sularının yarı logaritmik diyagramı (Temmuz-2013).



Şekil 39. İnceleme alanı sularının yarı logaritmik diyagramı (Kasım-2013).

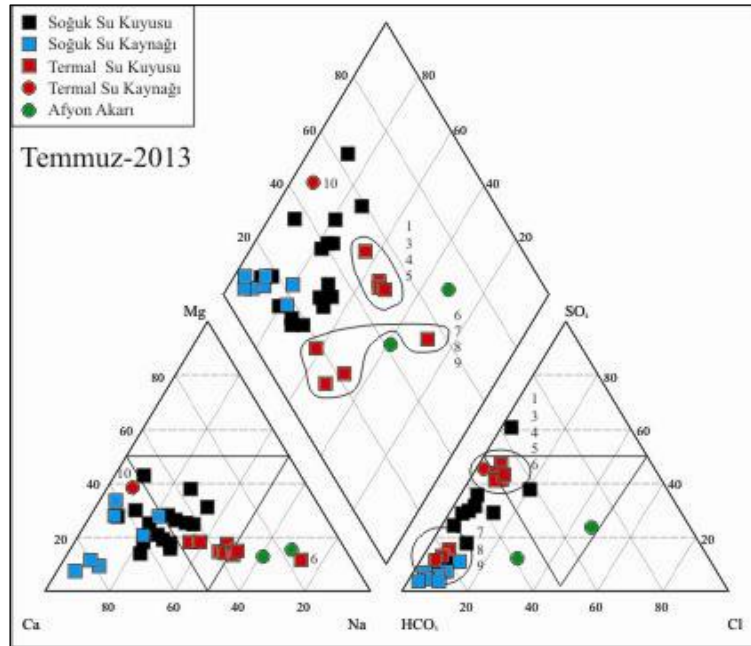
### **Piper Sınıflaması**

İnceleme alanı sularının Piper (1944) diyagramları Şekil 40 ve 41’de verilmiştir. Bu diyagramlarda soğuk su kaynaklarının Ca ve HCO<sub>3</sub> alanında toplandığı görülmektedir. Soğuk

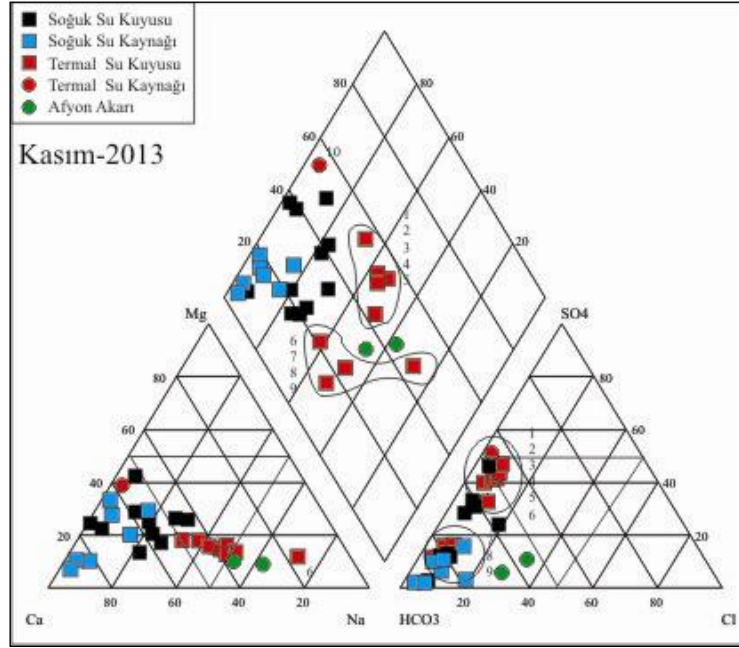
kaynak sularının tamamı  $\text{Ca-HCO}_3$  ve  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  su tipindedir.  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  tipinde olan sulardaki Mg katkısı şistlerden kaynaklanmaktadır.

Soğuk sondaj sularının kimyasal özellikleri, sondaj derinliği, akifer litolojisi, sıcak su karışımları, iyon değişimi gibi etkenler nedeniyle oldukça değişkendir (Tablo 7). Bu nedenle Piper diyagramında düzensiz bir dağılım sunmakla birlikte 5 nolu alan içinde (karbonat sertliği %50'den fazla olan sular) yer alırlar.

Bu diyagramlarda sıcak suların genellikle iki grupta toplandığı görülmektedir. Sıcaklığı  $50^\circ\text{C}$  ve üzerinde olan sular  $\text{Na-Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$ , sıcaklığı  $40^\circ\text{C}$ 'den aşağı olan diğer sular  $\text{Na-Ca-HCO}_3$  tipindedir. Daha düşük sıcaklığa sahip sularda sülfat miktarı bağıl olarak azalmaktadır. Sıcak sulardan %mek/l olarak en yüksek Na değeri 6 nolu örnekte gözlenmektedir. Bu su yöredeki en derin sondajdan (650 m) boşalmaktadır. Bu sondaj Çay Belediyesi tarafından soğuk su elde etmek amacıyla açılmıştır ve kuyu techizi olasılıkla soğuk yeraltısuyu eldesine göre dizayn edilmiştir. Suyun düzeltilmemiş  $^{14}\text{C}$  yaşı (44.900 yıl) diğer yüksek sıcaklıktaki sulardan daha fazladır. Bu sudaki Na zenginleşmesi olasılıkla, yeraltında kalış süresinin fazla olmasından ve/veya iyon değişim reaksiyonlarından (örneğin %Ca değeri diğer sulara oranla önemli derecede düşüktür) kaynaklanabilir.



Şekil 40. İnceleme alanı sularının Piper diyagramı (Temmuz-2013).

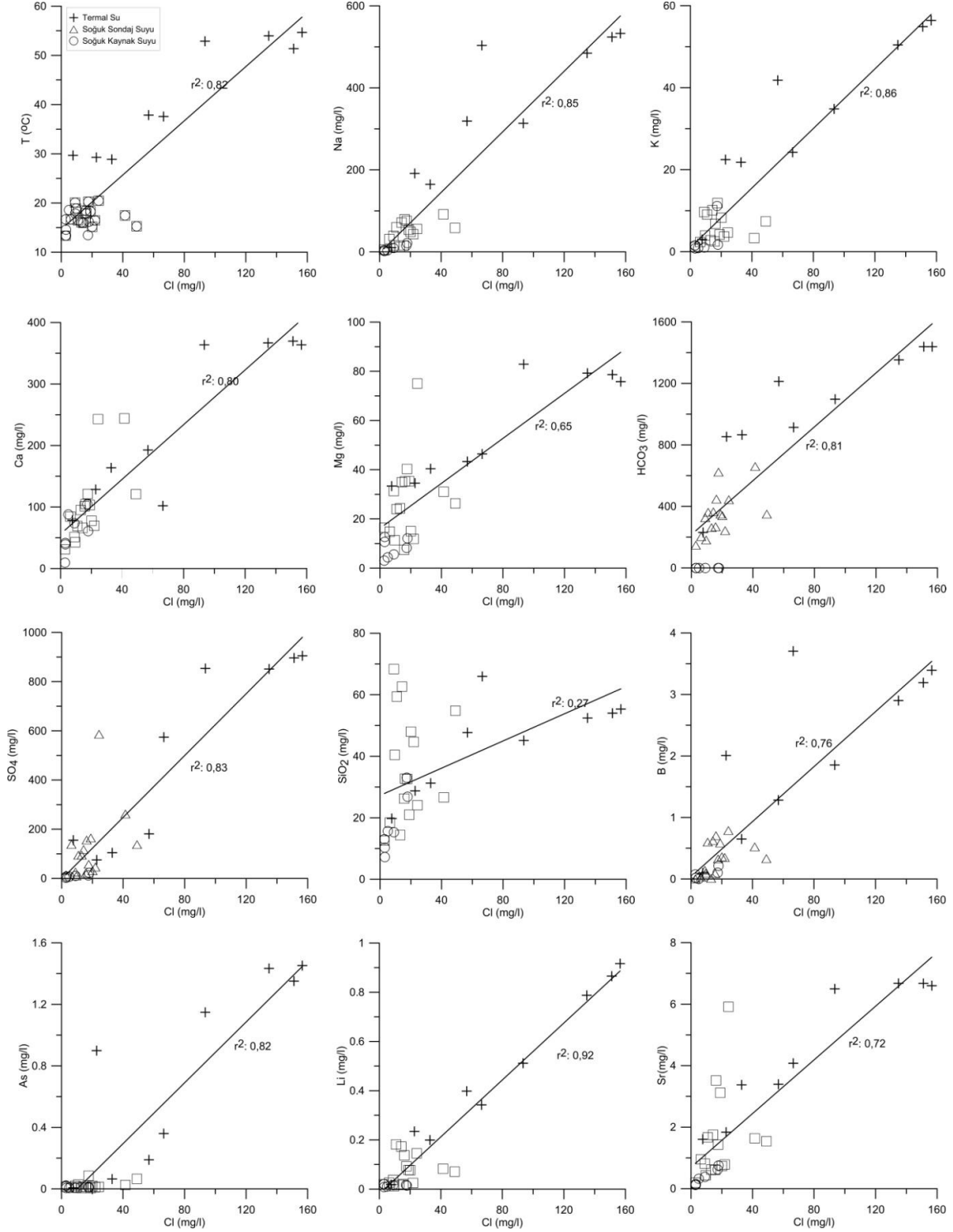


Şekil 41. İnceleme alanı sularının Piper diyagramı (Kasım-2013).

Tablo 7. Analizi yapılan örneklerin su sınıfları.

Örnek Kodu	Temmuz 2013	Kasım 2013
1	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
2	-----	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
3	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
4	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
5	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
6	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
7	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
8	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
9	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
10	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
11	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
12	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
13	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
14	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	-----
15	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	-----
16	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
17	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
18	-----	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
19	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	-----
20	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
21	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
22	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
23	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
24	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
25	Ca-HCO <sub>3</sub>	-----
26	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	-----
27	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	-----
28	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>	-----
29	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
30	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
31	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
32	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
33	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
34	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
35	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
36	Na-Cl-HCO <sub>3</sub>	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl
37	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl	Na-Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl

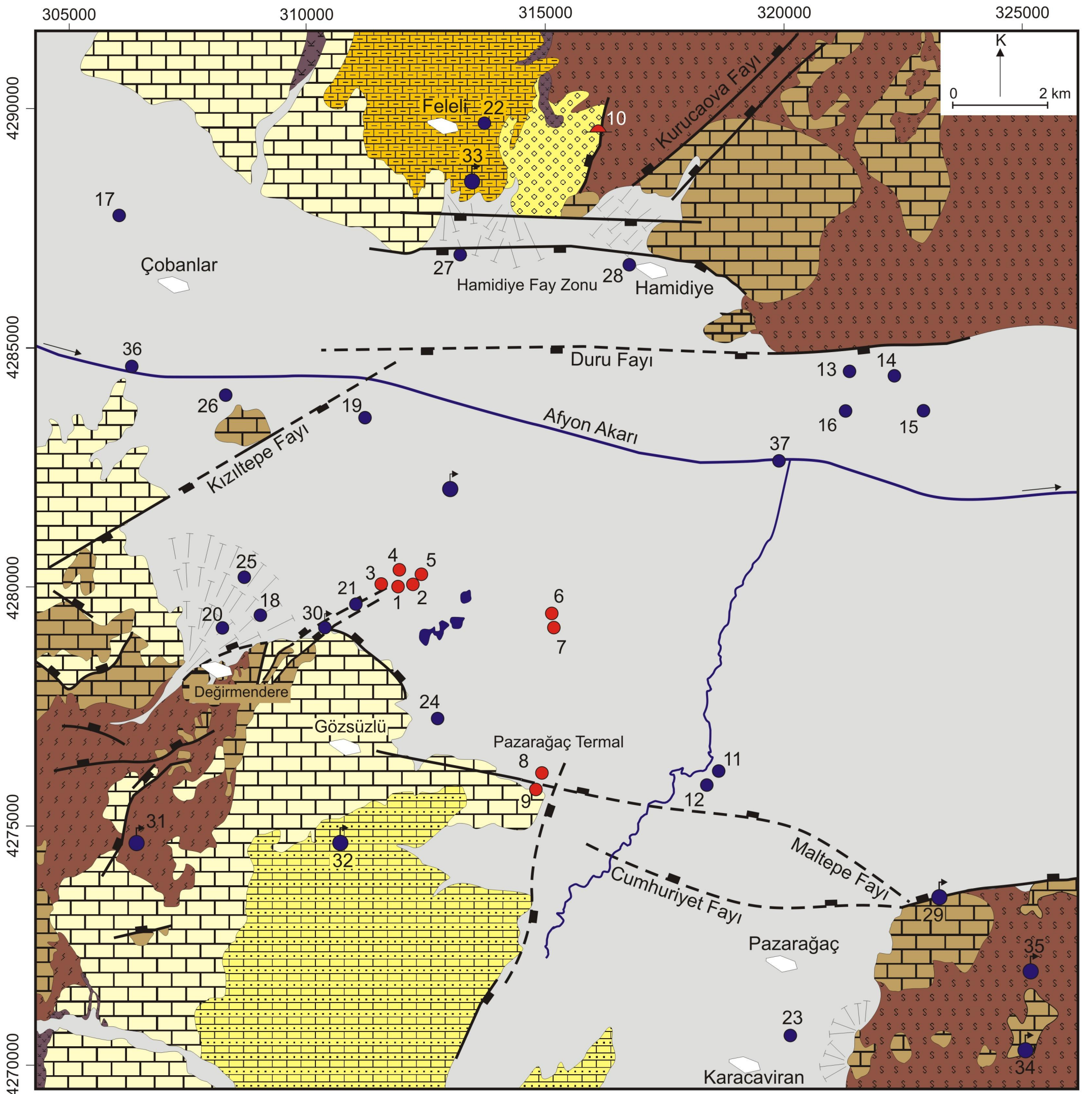
İnceleme alanı suları için klorürün diğer iyon ve elementlerle olan ikili grafikleri Şekil 42'de verilmiştir. Bu grafiklerde genellikle soğuk sondaj sularının soğuk kaynak suları ile sıcak sular arasında yer aldığı görülmektedir. İkili grafiklerin çoğunda Cl ile diğer iyon ve elementler arasında kuvvetli bir doğrusal ilişki ( $r^2 = 0,72-0,92$  arasında) gözlenmektedir. Bu ilişki yukarıda anılan karışımın bir göstergesidir.



Şekil 42. İnceleme alanı sularındaki klorürün diğer iyon ve elementlerle ilişkisi.

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje Yürütücüsü:	Yrd. Doç. Dr. ALİ GÖKGÖZ
Proje No:	113Y031
Proje Başlığı:	Heybeli Jeotermal Sahasının (Afyonkarahisar) Kavramsal Hidrojeokimyasal Modellenmesi
Proje Türü:	1002 - Hızlı Destek
Proje Süresi:	12
Araştırmacılar:	CAN BAŞARAN
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	PAMUKKALE Ü. MÜHENDİSLİK F. JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/06/2013 - 15/06/2014
Onaylanan Bütçe:	29656.0
Harcanan Bütçe:	26081.7
Öz:	<p>Bu çalışmanın amacı Heybeli jeotermal sahasının (Afyonkarahisar) hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda inceleme alanındaki 37 sıcak ve soğuk su noktasından iki dönemde örnekleme, kimyasal ve izotopik analiz yapılmıştır.</p> <p>Heybeli jeotermal sahasının rezervuar kayacını Karahasana kalkerleri, örtü kayacını ise Neojen birimlerinin geçirimsiz litolojileri oluşturmaktadır. Isı kaynağı, genç tektonik aktiviteyle ilişkili yüksek jeotermal gradyandır.</p> <p>İnceleme alanındaki termal suların sıcaklığı 27,3-54,7°C, elektriksel iletkenlik değerleri 587-3620 µS/cm, soğuk sondaj ve kaynak sularının sıcaklığı 9,7-20,5°C, elektriksel iletkenlik değerleri 74-1498 µS/cm arasında değişmektedir. Sıcak sular Na-Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> ve Na-Ca-HCO<sub>3</sub> olmak üzere iki farklı kimyasal kompozisyona sahiptir. Soğuk suların kimyasal bileşimi akifer kayacın litolojisi, sıcak-soğuk su karışımı, iyon değişimi ve sirkülasyon sürelerine bağlı olarak oldukça değişken olmakla birlikte kaynak suları genellikle Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Sıcak suların ? aktivitesi 0,073-0,857 Bq/l, ? aktivitesi 0,08-1,97 Bq/l arasındadır. İnceleme alanı suları meteorik kökenli olup 1600-2600 m aralığındaki kotlara düşen yağış suları ile beslenmektedir. Sıcak ve bazı soğuk sular trityum içermemeleri nedeniyle 50 yıldan daha fazla sirkülasyon sürelerine sahipken soğuk kaynak sularında güncel meteorik beslenme söz konusudur. Düzeltilmemiş 14C yaşları, sıcak sondaj suları için 38.500-47.000 yıl, sıcak su kaynağı için 19.100 yıl değerlerini vermiştir. Sıcak sulardaki karbonun kökeni 300-350°C sıcaklıklarda karbonat kayaların metamorfizması, sülfatın kökeni kireçtaşı ve Paleozoyik CaSO<sub>4</sub> olarak değerlendirilmiştir.</p> <p>Doyma indisi hesaplamalarına göre sıcak sular kalsit, aragonit, dolomit, kuvars, kalsedon ve Fe(OH)<sub>3</sub> minerallerine göre doygunudur. Jeotermal sondajlarda kuyu başı ve etrafında gözlenen çökeltilerden yapılan XRD incelemeleri sonucunda başlıca kabuklaşma mineralinin kalsit olduğu belirlenmiştir.</p> <p>İnceleme alanı suları hazne kayayla kimyasal dengeye erişmemiş (ham) sulardır. Sıcak sulara uygulanan kimyasal jeotermometreleri, ?18O(SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O) jeotermometresi ve mineral denge diyagramları 60-95°C aralığında bir rezervuar sıcaklığı vermiştir.</p> <p>Sıcak sular kaplıca ve sera ısıtmasında kullanılmaktadır. Soğuk su kaynakları içilebilir olmakla birlikte az sayıdaki soğuk sondaj suyu yüksek As içerikleri nedeniyle içilmez özelliktedir. Soğuk suların tümü sulamada kullanılabilir niteliktedir.</p>
Anahtar Kelimeler:	Afyonkarahisar, Heybeli, jeotermal, hidrojeokimya, izotop, jeotermometre, mineral doygunluğu.
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Akarçay Havzası-Çay Alt Havzası'nda (Afyonkarahisar) Yer Alan Suların Hidrojeokimyası ve Kullanılabilirlik Özellikleri (Bildiri - Ulusal Bildiri - Poster Sunum),



Alüvyon

Trakiandezit

Devoniyen  
Karbonifer

Kireçtaşı  
(Karahasan Kalkerleri)

Şist-Kuvarsit  
(Sultandede Formasyonu)

Birikinti Konisi

Fay

Muhtemel Fay

Yerleşim Yeri

Göl-Bataklik

Akarsu

Soğuk Su Sondajı

Soğuk Su Kaynağı

Termal Su Sondajı

Termal Su Kaynağı

Orta-Üst Pliyosen  
Kaymakçı  
Formasyonu

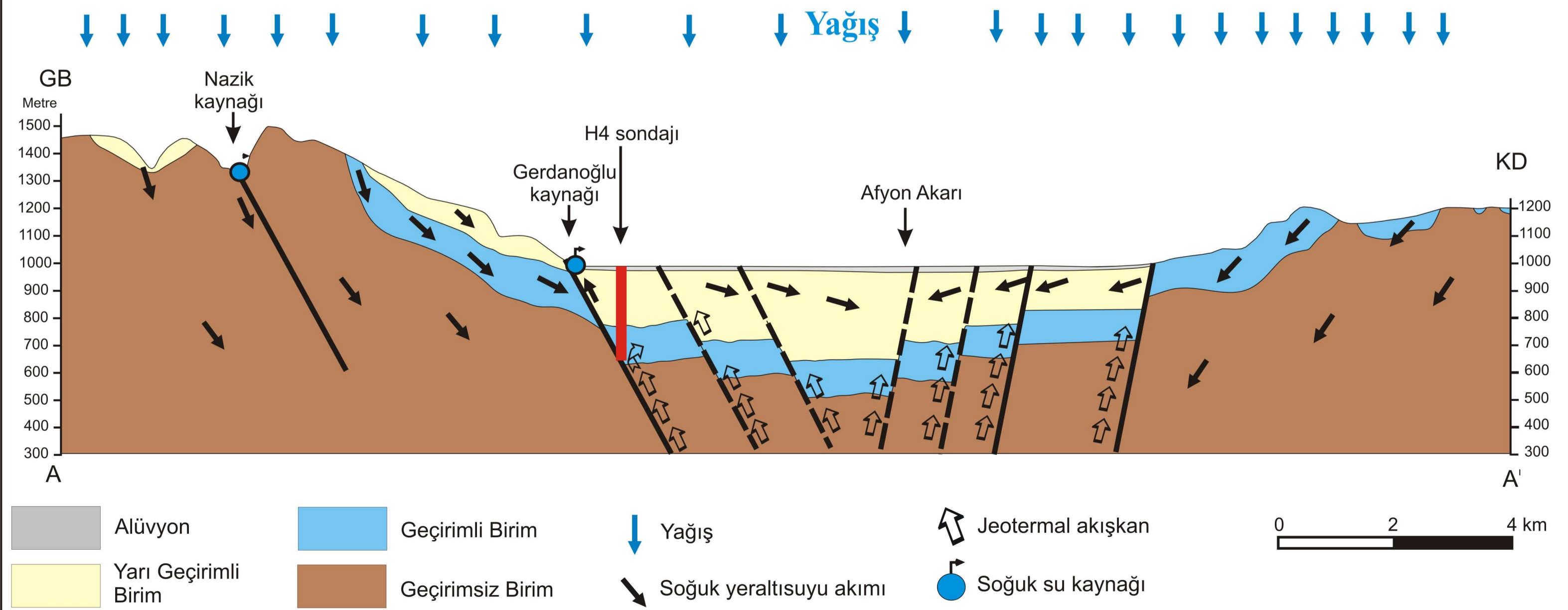
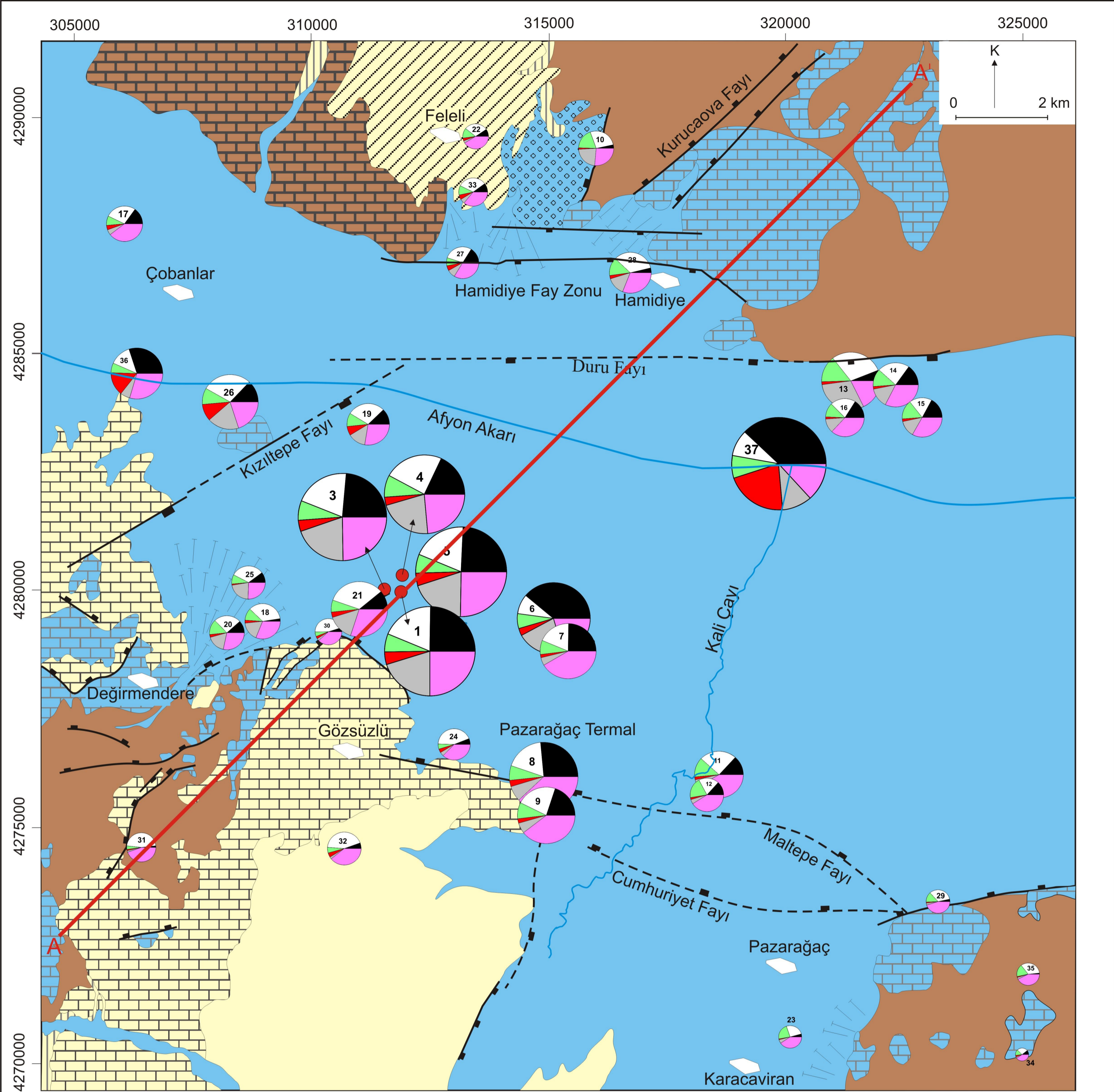
Kil-silt Feleli üyesi

Sarıkayalar Konglomera Üyesi

Kumtaşı-Konglomera-Kireçtaşı  
Sarıova Üyesi

Killi-Kireçtaşı Gebeceler Fm. (Akbel Üyesi)

EK-1. İnceleme alanının 1:25.000 ölçekli  
jeoloji haritası.  
(Erişen, 1972'den sadeleştirilmiştir)



EK-2. İnceleme alanının 1/25.000 ölçekli hidrojeoloji haritası ve kesiti.