

**SARIKAYA (YOZGAT) SICAK VE MİNERALLİ SULARININ  
HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

**HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THERMAL  
AND MINERAL WATERS OF SARIKAYA (YOZGAT)**

**Hatice Özen Türker**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

olarak hazırlanmıştır.

2006

# SARIKAYA (YOZGAT) SICAK VE MİNERALLİ SULARIN HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Hatice Özen Türker

## ÖZ

Sarıkaya jeotermal alanı, Yozgat iline bağlı Sarıkaya ilçe merkezinde yer almaktadır. Yozgat Sarıkaya bölgesinde görülen ve çalışma alanının temelini oluşturan kayaç topluluğu Paleozoyik yaşlı çeşitli şist, kuvarsitten oluşan Kalkanlıdağ Formasyonu ve Bozçaldağ Formasyonuna ait mermerlerdir. İnceleme alanında temel birim üzerine uyumsuz olarak marn, kiltası, çakiltası ve kireçtaşıdan oluşan Eosen yaşlı birimler (Beycedere Formasyonu) ve killi kireçtaşı, kumtaşı ve marn ardalanmasından oluşan Pliyosen (Kızılırmak Formasyonu) yaşlı çökeller gelmektedir. En üstte ise, Kuvaterner yaşlı travertenler ve alüvyonlar görülmektedir. İnceleme alanında Neojen ve Kuvaterner’de hakim olan gerilme tektoniğine bağlı olarak bölgede normal atımlı faylar gelişmiştir. Faylar genellikle doğu-batı ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu ve düşük atımlıdır.

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının sıcaklığı 46-50.9 °C ve ortalama toplam debileri 27 l/s’dir. Sıcak ve mineralli sular kalsiyum bikarbonatlı ( $\text{Ca-HCO}_3$ ) sular tipindedir. Sarıkaya jeotermal alanın rezervuar sıcaklığı kalsedon jeotermometreler ile 53-69 °C aralığında hesaplanmıştır.

İzotop sonuçlarına göre, Sarıkaya sıcak suları yerel meteorik doğru ile Dünya Meteorik Su Doğrusu arasında bir bölgede yer alması jeotermal sistemin meteorik yağışlardan beslendiğini göstermektedir.  $^3\text{H}$  içeriğinin güncel yağışlara göre daha düşük olması kaynağın göreceli olarak uzun süreli geçiş zamanına (30–40 yıl) sahip yeraltısuları ile beslendiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sıcak ve mineralli su, jeotermal alan, hidrojeokimya, izotop, Sarıkaya, Yozgat

Danışman: Prof.Dr.Şakir ŞİMŞEK, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

# HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OR THERMAL AND MINERAL WATERS OF SARIKAYA (YOZGAT)

Hatice Özen Türker

## ABSTRACT

Sarıkaya geothermal area is located at the city center of Sarıkaya in Yozgat province. Basement rock in the area is Paleozoic Kalkanlıdağ Formation which is mainly composed from schists, quartz and marbles (Bozçaldağ Formation). Pliocene deposits of clayey limestone, sandstone and marl alternation units and Eocene (Beycedere Formation) marl, claystone, conglomerate and limestone units unconformably overlie Paleozoic (Kızılırmak Formation) schists which are basement rocks of investigation. Quaternary travertine and alluvium are observed at the top of the area. Normal faults are developed due to stress tectonic dominant in Neogene and Quaternary. Faults are generally east-west and northeast-southwest strike and low slipped.

Temperature of thermal and mineral water springs are 46-50.9 °C and average total flow rates of springs are 27 l/s. Thermal springs are Ca-HCO<sub>3</sub> type waters. Reservoir temperature of Sarıkaya geothermal area estimated as 53-69 °C based on chalcedony geothermometers.

Sarıkaya thermal springs are located between Local Meteoric Water Line (LMWL) and World Meteoric Water Line (WMWL). This shows that geothermal system is feeded by meteoric rainfall. <sup>3</sup>H concept is lower than current rainfall and it shows that springs is relatively feeded with groundwaters that have long-period of passing time (30-40 years).

**Keywords:** Thermal and mineral water, geothermal area, hydrogeochemistry, isotope, Sarıkaya, Yozgat

Advisor. Prof.Dr. Şakir ŞİMŞEK, Hacettepe University, Department of Geological Engineering, Hydrogeological Engineering Section

## TEŞEKKÜR

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

Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK (Tez Danışmanı), çalışmanın tüm aşamalarında bilgi ve tecrübeleri ile araştırma yöntemlerinin belirlenmesinde, saha, laboratuvar ve değerlendirme çalışmalarında yol gösterici olmuş, maddi ve manevi katkıda bulunmuştur.

Doç.Dr. Sedat İNAN (TÜBİTAK) ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Çevre ve Petrol Jeokimyası Laboratuvarı çalışanları duraylı izotop analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Yozgat Valiliği, Sarıkaya Kaymakamlığı, Sarıkaya Belediyesi arazi çalışmalarında lojistik destekleri ile katkıda bulunmuşlardır.

Dr. N. Nur ÖZYURT (H.Ü.), Kimya Müh. Füsün MUSLU (H.Ü.) ve Kimyager Esin ÖNCEL (H.Ü.) su kimyası analizleri ve trityum analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Harita Kadastro Teknikeri Bülent TOPUZ kesit ve harita çizimlerinde katkıda bulunmuştur.

Çalışma süresince, Hidrojeoloji Yük. Müh. Hüseyin KARAKUŞ (H.Ü.), Hidrojeoloji Yük. Müh. Noyan GÜNER Hidrojeoloji Yük. Müh. Kemal KOÇ, Hidrojeoloji Müh. Elif YILMAZ tezin her aşamasında yardımcı olmuşlardır.

Manevi desteklerinden dolayı Jeoloji Müh. G.Deniz DOĞAN (H.Ü.), Jeoloji Müh. Burcu TOPÇAM, Jeoloji Müh. Çiğdem TETİK (H.Ü.), Makina Müh. İnan NAVRUZ ve aileme içtenlikle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

### Sayfa No

|                                                 |           |
|-------------------------------------------------|-----------|
| ÖZ .....                                        | i         |
| ABSTRACT .....                                  | ii        |
| TEŞEKKÜR.....                                   | iii       |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....                        | iv        |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....            | vii       |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                           | viii      |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                         | x         |
| FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....                        | xi        |
| <b>1.GİRİŞ .....</b>                            | <b>1</b>  |
| 1.1. Amaç ve Kapsam .....                       | 1         |
| 1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri .....  | 1         |
| 1.3. Çalışma Alanın Tanıtılması .....           | 2         |
| 1.4. İklim ve Bitki Örtüsü.....                 | 4         |
| 1.5. Önceki Çalışmalar .....                    | 8         |
| <b>2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ .....</b>      | <b>9</b>  |
| 2.1. Genel Stratigrafi .....                    | 9         |
| 2.1.1. Paleozoyik.....                          | 9         |
| 2.1.2 Eosen.....                                | 12        |
| 2.1.3. Pliyosen .....                           | 13        |
| 2.1.4. Kuvaterner .....                         | 14        |
| 2.2. Yapısal Jeoloji .....                      | 15        |
| <b>3. HİDROJEOLJİ .....</b>                     | <b>16</b> |
| 3.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri ..... | 16        |
| 3.1.1 Geçirimli birimler.....                   | 16        |
| 3.1.2 Yarı Geçirimli Birimler.....              | 16        |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.3 Geçirimsiz Birimler.....                                                  | 18        |
| 3.2 Yeraltısuyu .....                                                           | 18        |
| 3.3. Kaynaklar .....                                                            | 18        |
| 3.3.1. Sarıkaya sıcak ve mineralli su kaynakları .....                          | 19        |
| 3.4. Soğuk su sondaj kuyuları .....                                             | 22        |
| 3.5. Sıcak su sondaj kuyuları .....                                             | 25        |
| <b>4. SU KİMYASI .....</b>                                                      | <b>26</b> |
| 4.1. Suların Fiziksel Özellikleri.....                                          | 27        |
| 4.1.1. Sıcaklık (S) .....                                                       | 27        |
| 4.1.2. Elektriksel İletkenlik (Eİ) .....                                        | 27        |
| 4.1.3. Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH) .....                                     | 31        |
| 4.2. Suların Kimyasal Özellikleri .....                                         | 31        |
| 4.2.1. Majör ve minör iyonlar .....                                             | 31        |
| 4.2.2. Kirlilik Analizleri.....                                                 | 33        |
| 4.2.3. Ağır metal analizleri .....                                              | 36        |
| 4.3. Sıcak Su Kaynaklarının Kökeni .....                                        | 42        |
| 4.3.1. Su kaynaklarının iyon karakteristikleri .....                            | 42        |
| 4.3.2. Piper Diyagramı.....                                                     | 42        |
| 4.3.3. Schoeller Diyagramı .....                                                | 45        |
| 4.4. Sulama Suyu Sınıflandırılması .....                                        | 47        |
| 4.4.1. Wilcox Diyagramı.....                                                    | 47        |
| 4.4.2. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı .....                                | 49        |
| 4.5. Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarında Görülen Dönemsel Değişimler .....      | 53        |
| 4.6. Suların Mineral Doygunlukları .....                                        | 54        |
| 4.7. Jeotermometre Uygulamaları .....                                           | 56        |
| 4.7.1. Silis jeotermometreleri .....                                            | 57        |
| 4.7.2. Katyon jeotermometreleri.....                                            | 59        |
| <b>5. İZOTOP HİDROLOJİSİ .....</b>                                              | <b>63</b> |
| 5.1. Örnekleme ve Analiz Çalışmaları .....                                      | 63        |
| 5.2. Duraylı izotop Verilerinin Değerlendirilmesi .....                         | 63        |
| 5.2.1. Oksijen-18 ( $^{18}\text{O}$ )- Döteryum ( $^2\text{H}$ ) ilişkisi ..... | 64        |
| 5.2.2. Tritiyum ( $^3\text{H}$ ) .....                                          | 66        |

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>6. KAVRAMSAL HİDROTHERMAL MODEL.....</b>             | <b>69</b> |
| 6.1. Jeotermal Akışkanın Kökeni ve Beslenme Alanı ..... | 69        |
| 6.2. Hazne Kayaç .....                                  | 70        |
| 6.3. Isı Kaynağı .....                                  | 70        |
| 6.4. Örtü kayaç .....                                   | 70        |
| <b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                     | <b>71</b> |
| <b>8. YARARLANILAN KAYNAKLAR .....</b>                  | <b>72</b> |

## **EKLER**

- EK-1 Sarıkaya jeotermal alanının jeoloji haritası
- EK-2 Sarıkaya jeotermal alanının hidrojeoloji haritası
- EK-3 Sarıkaya jeotermal alanının jeoloji kesitleri
- EK-4 Sarıkaya jeotermal alanının hidrotermal modeli

## **ÖZGEÇMİŞ**

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|         |                                                               |
|---------|---------------------------------------------------------------|
| Bkz     | Bakınız                                                       |
| DMİ     | Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü                     |
| Eİ      | Elektriksel iletkenlik                                        |
| HÜ      | Hacettepe Üniversitesi                                        |
| l/s     | Litre/saniye                                                  |
| meq/l   | Miliekivolan/litre                                            |
| mg/l    | Miligram/litre                                                |
| µmho/cm | Mikromho/santimetre                                           |
| MTA     | Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü                         |
| pH      | Hidrojen iyonu aktivitesi negatif logaritması                 |
| ppm     | Milyonda Bir                                                  |
| T       | Sıcaklık (°C)                                                 |
| SAR     | Sodyum Adsorpsiyon Oranı                                      |
| SI      | Doygunluk indisi                                              |
| SMOW    | Standart Mean Of Ocean Water (Standart Ortalama Okyanus Suyu) |
| TÇM     | Toplam çözünmüş madde miktarı                                 |
| TSE     | Türk Standartları Enstitüsü Genel Müdürlüğü                   |
| TU      | Trityum birimi                                                |
| TÜBİTAK | Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu                   |
| YĞİ     | Yağış Gözlem İstasyonu                                        |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası.....                                                                                           | 4  |
| Şekil 1.2. İnceleme alanı ve yakın çevresi yağış gözlem istasyonlarının dağılımı .....                                                        | 6  |
| Şekil 1.3. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri (mm) .....                                | 7  |
| Şekil 1.4. Sarıkaya DMI'ye ait aylık ortalama yağış ve sıcaklık değişimi .....                                                                | 11 |
| Şekil 2.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti .....                                                                        | 11 |
| Şekil 3.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş hidrojeolojik kesiti .....                                                                      | 18 |
| Şekil 3.2. Sarıkaya Belediyesi içme suyu kuyularının teknik özellikleri.....                                                                  | 24 |
| Şekil 3.3. Sarıkaya ve dolayında Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından açılan soğuk su kuyularının özellikleri ve litolojik logları ..... | 25 |
| Şekil 4.1. Sarıkaya jeotermal alanına ait suların Sıcaklık-Elektriksel iletkenlik ilişkisi.....                                               | 29 |
| Şekil 4.2. İnceleme alanındaki kaynak sularının Cl-Sıcaklık grafiği. ....                                                                     | 29 |
| Şekil 4.3a. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Piper diyagramı (Temmuz 2004).....                                             | 44 |
| Şekil 4.3b. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Piper diyagramı (Nisan 2005).....                                              | 45 |
| Şekil 4.3c. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Piper diyagramı (Ekim 2005).....                                               | 45 |
| Şekil 4.4a. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Schoeller diyagramı (Temmuz 2004).....                                         | 46 |
| Şekil 4.4b. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Schoeller diyagramı (Nisan 2005) .....                                         | 47 |
| Şekil 4.4c. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Schoeller diyagramı (Ekim 2005).....                                           | 47 |
| Şekil 4.5a. Temmuz dönemi Wilcox diyagramı.....                                                                                               | 49 |
| Şekil 4.5b. Nisan dönemi Wilcox diyagramı.....                                                                                                | 49 |
| Şekil 4.5c. Ekim dönemi Wilcox diyagramı.....                                                                                                 | 50 |
| Şekil 4.6a. Temmuz dönemi ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.....                                                                            | 52 |

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.6b. Nisan dönemi ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı .....                                 | 53 |
| Şekil 4.6c. Ekim dönemi ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.....                                   | 53 |
| Şekil 4.7. Sarıkaya sıcaksu kaynaklarında görülen dönemsel sıcaklık değişimi.....                  | 55 |
| Şekil 4.8. Sarıkaya sıcaksu kaynaklarında görülen dönemsel elektriksel iletkenlik değişimi... ..   | 55 |
| Şekil 4.9a Temmuz dönemi Sarıkaya jeotermal alanındaki örneklerin mineral doygunluk durumları..... | 56 |
| Şekil 4.9b. Nisan dönemi Sarıkaya jeotermal alanındaki örneklerin mineral doygunluk durumları..... | 57 |
| Şekil 4.9c Ekim dönemi Sarıkaya jeotermal alanındaki örneklerin mineral doygunluk durumları.....   | 57 |
| Şekil 4.10. Sarıkaya sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg diyagramındaki konumları .....                 | 63 |
| Şekil 5.1. Sarıkaya jeotermal alanına ait sıcak suların Oksijen18 – Döteryum ilişkisi. ....        | 67 |
| Şekil 5.2. İnceleme alanındaki kaynak sularının $^3\text{H}$ -EC grafiği .....                     | 69 |
| Şekil 5.3. İnceleme alanındaki kaynak sularının $^3\text{H}$ -Cl grafiği.....                      | 69 |
| Şekil 5.4. İnceleme alanındaki kaynak sularının $^3\text{H}$ -Sıcaklık grafiği. ....               | 70 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 1.1. Yağış gözlem istasyonlarına ait genel bilgiler.....                                                                  | 5  |
| Çizelge1.2. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri (mm). ....                   | 8  |
| Çizelge1.3. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C).....                 | 8  |
| Çizelge 4.1. Çalışma alanında örnekleme yapılan su noktalarının UTM koordinatları. ....                                           | 27 |
| Çizelge 4.2. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları .....                                          | 30 |
| Çizelge 4.3. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait kirlilik analiz sonuçları .....                                        | 36 |
| Çizelge 4.4. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait ağır metal, SiO <sub>2</sub> ve B analiz sonuçları. ....               | 41 |
| Çizelge 4.5. Sarıkaya sıcaksu kaynaklarında görülen dönemsel sıcaklık değerleri.....                                              | 54 |
| Çizelge 4.6. Sarıkaya sıcaksu kaynaklarında görülen dönemsel elektriksel iletkenlik değerleri .....                               | 54 |
| Çizelge 4.7. Silis jeotermometre eşitlikleri (S=ppm olarak SiO <sub>2</sub> derişimidir) .....                                    | 59 |
| Çizelge 4.8. Sıcak su kaynakları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları .....                         | 59 |
| Çizelge 4.9.Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler ppm'dir).....                                                            | 60 |
| Çizelge 4.10. Çalışma alanındaki sıcak su noktaları için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C)..... | 62 |
| Çizelge 5.1. İnceleme alanındaki suların duraylı izotop içerikleri.....                                                           | 65 |
| Çizelge 5.2. Sarıkaya jeotermal alanındaki su örneklerinin trityum analiz sonuçları .....                                         | 68 |

## **FOTOĞRAFLAR DİZİNİ**

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Foto 2.1 Eosen yaşlı kırıklı ve çatlaklı kumlu kireçtaşları .....                              | 15 |
| Foto 2.2 Sarıkaya'da Kaymakamlık arkasında sıcaksuların oluşturduğu traverten seviyeleri ..... | 16 |
| Foto 3.1. Sarıkaya Özel İdare sıcaksu kaynağı ve kaptajı.....                                  | 20 |
| Foto 3.2. Sarıkaya Roma hamamı.....                                                            | 21 |
| Foto 3.3. Sarıkaya Roma hamamı ve termal su boşalımı.....                                      | 21 |
| Foto 3.4. Sarıkaya Yeni Kaplıca kaynağı ve kaptajı .....                                       | 22 |

## **1. GİRİŞ**

### **1.1. Amaç ve Kapsam**

Bu çalışmada, Yozgat-Sarıkaya jeotermal alanında yer alan sıcak ve mineralli sularının hidrokimyasal ve izotopik verilerle değerlendirilmesi ile jeotermal sistemdeki akışkanın karakteri, akışkan mineral dengesi, rezervuar sıcaklığı ve ısı kaynağı gibi jeotermal sistemin karakteristik parametrelerinin belirlenmesi ve bu veriler ışığında kavramsal hidrotermal modelin oluşturulması amaçlanmaktadır.

İnceleme alanında önceki yıllarda MTA Genel Müdürlüğü, Hacettepe Üniversitesi, İstanbul Üniversitesi ve Turizm Bakanlığı tarafından jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya çalışmaları ile sağlık ve turizm yatırımlarına ilişkin incelemeler yapılmıştır (İÜTF, 1976; Özmutaf, 1989; Kurt vd. 1991; Şimşek vd. 1995; Baççıl, 1996; H.Ü 2005a,b). Bu doğrultuda, bölgeye ait veriler önceki çalışmalardan yararlanılarak derlenmiş, inceleme alanındaki formasyonların litolojik ve hidrojeolojik özellikleri yapılan saha çalışmaları ile değerlendirilmiştir. Saha çalışmalarında sıcak ve mineralli su kaynak ve kuyuları ile birlikte soğuk su kaynak ve kuyularından, yağmur suyundan örnekler alınmış ve kimyasal, izotopik analizler yapılmıştır. Sarıkaya jeotermal alanında yer alan suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, izotop verileri ile bölgedeki yeraltısuyunun beslenme ve dolaşım ilişkisi araştırılmıştır.

### **1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri**

İnceleme alanında hidrojeolojik yapının açıklanabilmesi için hidrokimyasal süreçleri etkileyen jeolojik yapının aydınlatılması, suların kökeni, akifer kayaç ilişkisi, akifer kayacın özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaca yönelik olarak; çalışma alanında 2004-2006 yıllarında saha çalışmaları yapılmış olup, soğuk ve sıcak sulardan örnekleme ve yerinde ölçüm çalışmaları yapılarak kimyasal ve izotopik analizler gerçekleştirilmiştir. Hidrojeokimyasal değerlendirmelerde yaygın olarak kullanılan grafik (diyagram) yaklaşımından yararlanılmıştır. Sıcak su kaynaklarının kökenleri, kimyasal analiz sonuçlarının jeotermometre, doygunluk ve kimyasal tür dağılımı değerlendirmeleri ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Çalışma alanında hazne kayaç sıcaklıkları silis ve katyon jeotermometre eşitlikleri ile tahmin edilmiştir. Suların fiziksel ve kimyasal özellikleri  $^{18}\text{O}$ , DH,  $^3\text{H}$  izotop analiz sonuçları ile birlikte değerlendirilerek yeraltı dolaşım sistemleri belirlenmeye çalışılmıştır.

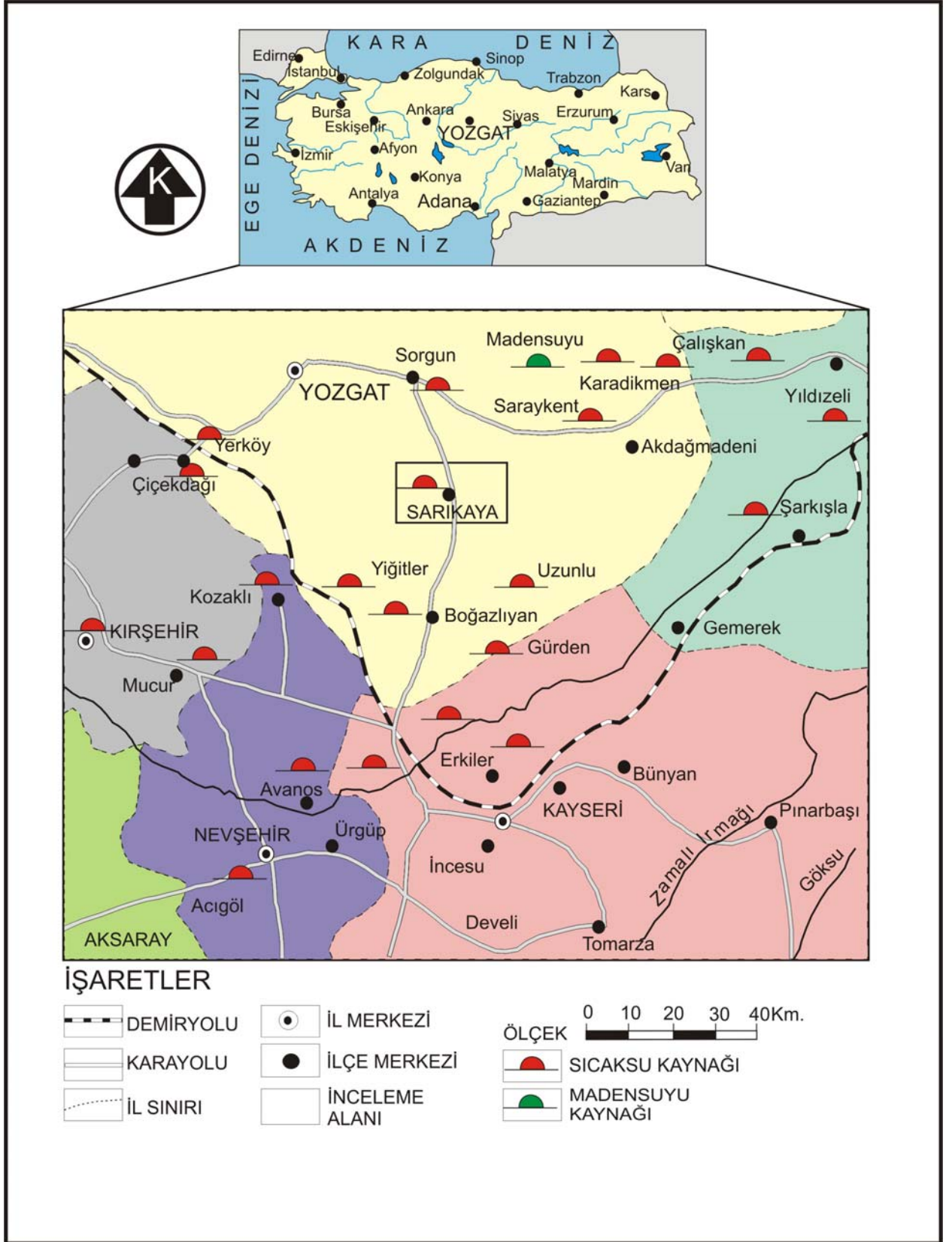
### 1.3. Çalışma Alanının Tanıtılması

Yozgat-Sarıkaya jeotermal alanı 1/25.000 ölçekli, Yozgat İ34 c3, c4, j34 b1, b2 paftalarında ve Sarıkaya ilçe merkezinde yer almaktadır. Sarıkaya İlçe Merkezi, Yozgat-Kayseri karayolu üzerinde, kuzey-güney doğrultulu bir vadi içerisine kurulmuştur (Şekil 1.1).

İnceleme alanının en önemli yükseltileri Beştepe (1374 m), Karatepe (1361 m), Orta Tepe (1287 m), Mehmet Tepe (1289 m) bulunmaktadır. Bölgede her mevsim su taşıyan Boğazlıyanözü Dere, Domuz Dere, Değirmendere, Melenözü çayı ve Cehennem çayı bulunmaktadır. Melenözü çayı, havzanın güneydoğusundan kuzeybatısına doğru Karakışla, Doğansaray ve Arpalık köylerinin çevresindeki derecikler ve dağlık bölgeden gelen derelerle beslenmektedir. Melenözü çayı havzanın kuzeyinde Cehennem çayı ile birleşip, Değirmen dere olarak akışa devam etmektedir.

Cehennem çayı havzanın güneydoğusundaki Çorak çayı'ndan ve Alifakılı, Baraklı, Konur ve Köprücek köylerinden gelen derelerden beslenmektedir. Cehennem çayı havzadaki en uzun drenaj ağına sahiptir ve Değirmen dereye katılmaktadır. Değirmen dere, havzanın kuzeyindeki Melenözü ve Cehennem çaylarının birleştiği noktadan itibaren havza dışında bulunan Kanak çayına drene olmaktadır.

Boğazlıyanözü dere, havzanın güneybatısındaki dağlık bölgeden gelen derecikler ve Kayapınar köyünden gelen Hayrioğlu dere ile güneydoğudan gelen Kayalık dere'den beslenmekte ve Sarıkaya'nın kuzeybatısındaki Domuz dere ile birleşmektedir. Domuz dere de, Değirmen dere ile birlikte havza dışındaki Kanak çayına katılmaktadır.

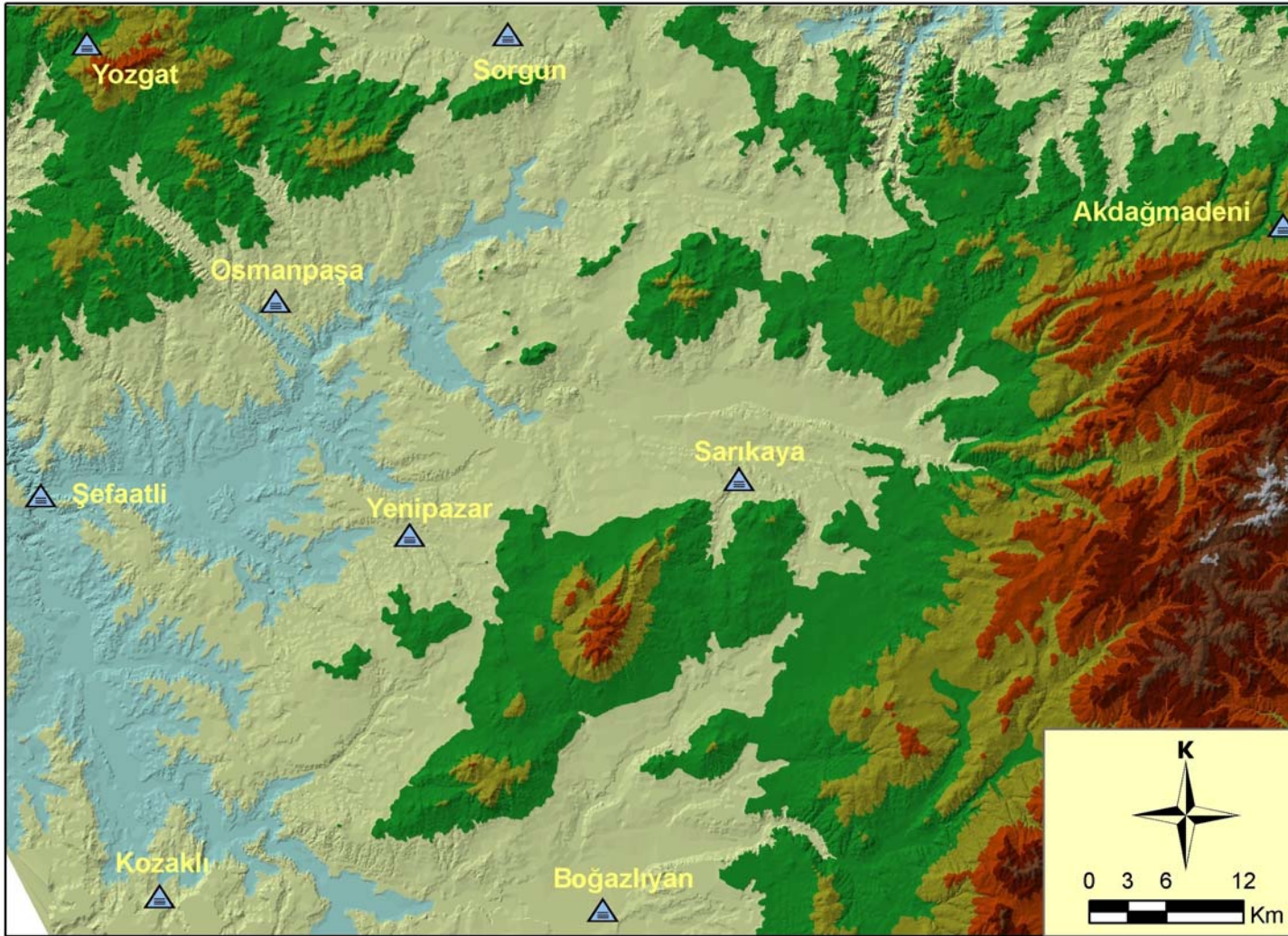


Şekil 1.1. İnceleme alanı yer bulduru haritaları

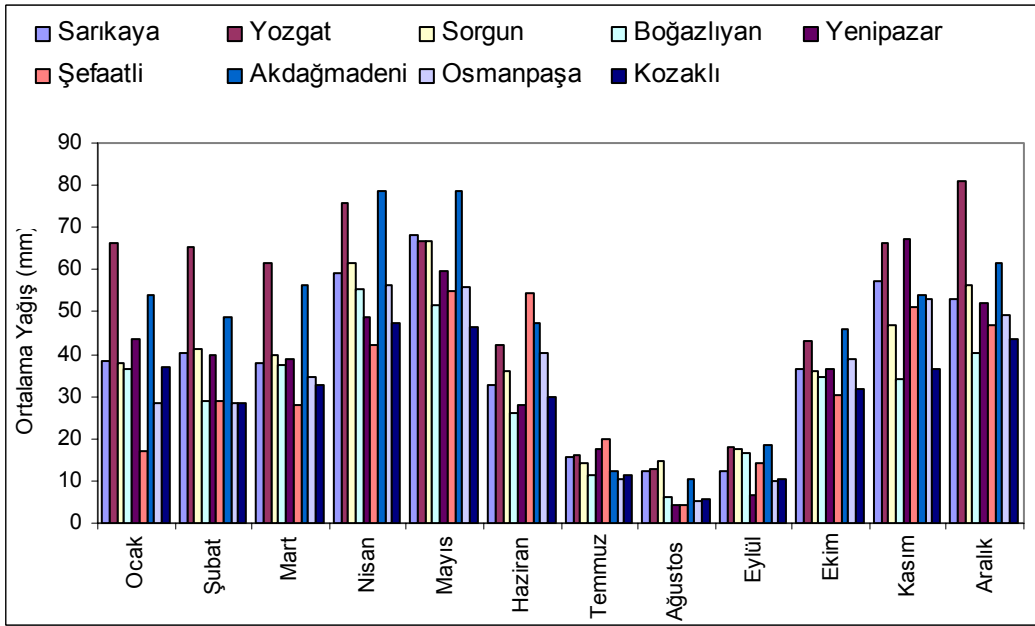
#### 1.4. İklim ve Bitki Örtüsü

Bölgede genel olarak İç Anadolu Bölgesinde hakim olan karasal iklim hüküm sürmektedir. Karasal iklimde yazlar kurak ve sıcak, kışlar soğuk ve sert geçmektedir. Kuraklık ve step bitki örtüsü yörenin genel özelliklerindendir.

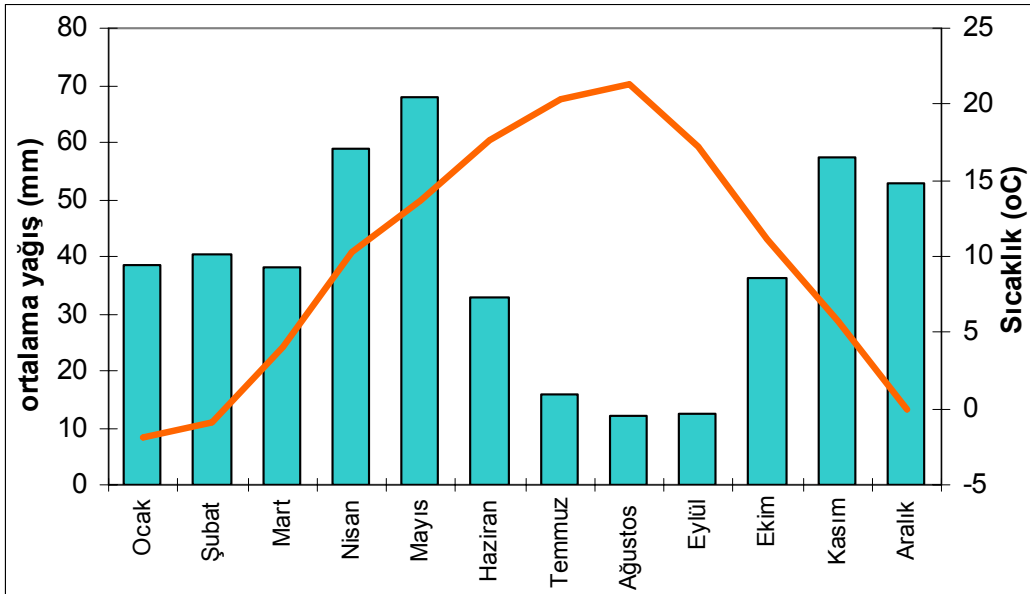
Bu çalışmada; Sarıkaya jeotermal alanında yeraltısuyu besleniminin belirlenmesi amacıyla yağış ve sıcaklık bileşenleri incelenmiştir. Bu kapsamda inceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen istasyonların yağış ve sıcaklık verileri elde edilmiştir (Şekil 1.2). İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan 9 adet yağış gözlem istasyonunun 1970-2003 yılları arasındaki ölçümleri için hazırlanan aylık ortalama yağış grafiği incelendiğinde en yüksek yağışın Aralık ayında, en düşük yağışın ise Ağustos ayında gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 1.3). Sarıkaya Meteoroloji İstasyonu'na ait 1984 ve 1993 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık ölçümleri değerlendirilerek yağış ve sıcaklık değişimi incelenmiştir (Şekil 1.4). Buna göre Sarıkaya havzasına düşen ortalama yağış 463.8 mm/yıl, ortalama sıcaklık ise 9.8 °C olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1.1-1.2). Temmuz ve Ağustos ayları en sıcak (20-21 °C) ve kurak aylardır. Yılın en soğuk ayları ise Ocak ve Şubat aylarıdır (-1-0 °C). Yağışlar genelde kış aylarında kar ve ilkbaharda yağmur şeklinde gözlenmektedir.



Şekil 1.2. İnceleme alanı ve yakın çevresi yağış gözlem istasyonlarının dağılımı



Şekil 1.3. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri (mm)



Şekil 1.4. Sarıkaya DMI'ye ait aylık ortalama yağış ve sıcaklık değişimi

Çizelge1.1. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri (mm).

| İstasyon adı | Gözlem Süresi | Yükselti (m) | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Toplam |
|--------------|---------------|--------------|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------|
| Sarıkaya     | 1984-1993     | 1100         | 38.5 | 40.2  | 38.1 | 59.0  | 68.1  | 32.9    | 15.8   | 12.1    | 12.4  | 36.4 | 57.4  | 53.0   | 463.8  |
| Yozgat       | 1975-2003     | 1298         | 66.5 | 65.5  | 61.8 | 75.6  | 66.6  | 42.1    | 16.3   | 12.6    | 17.8  | 43.0 | 66.4  | 81.0   | 615.3  |
| Sorgun       | 1984-2003     | 1050         | 38.1 | 41.0  | 39.8 | 61.8  | 66.6  | 36.0    | 14.1   | 14.5    | 17.7  | 36.2 | 47.0  | 56.4   | 469.3  |
| Boğazlıyan   | 1975-2003     | 1017         | 36.5 | 29.1  | 37.5 | 55.6  | 51.8  | 26.1    | 11.5   | 6.1     | 16.7  | 34.4 | 34.3  | 40.3   | 379.8  |
| Yenipazar    | 1984-1990     | 1050         | 43.5 | 39.6  | 39.0 | 49.0  | 59.9  | 28.1    | 17.3   | 4.3     | 6.5   | 36.4 | 67.4  | 52.2   | 443.1  |
| Şefaati      | 1987-1993     | 900          | 17.2 | 28.7  | 27.8 | 42.1  | 55.0  | 54.6    | 19.9   | 4.2     | 14.3  | 30.5 | 51.3  | 46.9   | 392.3  |
| Akdağmadeni  | 1970-1990     | 1300         | 54.2 | 48.8  | 56.5 | 78.4  | 78.7  | 47.3    | 12.4   | 10.4    | 18.5  | 46.1 | 54.2  | 61.7   | 567.3  |
| Osmanpaşa    | 1987-1998     | 1020         | 28.6 | 28.4  | 34.7 | 56.4  | 55.8  | 40.5    | 10.5   | 5.3     | 9.8   | 38.8 | 52.9  | 49.1   | 410.7  |
| Kozaklı      | 1970-1990     | 1000         | 36.9 | 28.5  | 32.6 | 47.6  | 46.3  | 29.9    | 11.4   | 5.6     | 10.3  | 31.9 | 36.6  | 43.6   | 361.2  |

Çizelge1.2. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C).

| İstasyon Adı | Gözlem Süresi | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Ortalama |
|--------------|---------------|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|----------|
| Sarıkaya     | 1984-1993     | -1.9 | -0.9  | 4.0  | 10.2  | 13.6  | 17.6    | 20.3   | 21.2    | 17.2  | 11.1 | 5.7   | -0.1   | 9.8      |
| Yozgat       | 1975-2003     | -2.0 | -1.2  | 2.6  | 8.4   | 12.9  | 16.6    | 19.5   | 19.4    | 15.5  | 10.1 | 4.2   | 0.1    | 8.8      |
| Sorgun       | 1984-2003     | -1.9 | -1.3  | 3.7  | 9.7   | 13.9  | 17.7    | 20.6   | 20.6    | 16.7  | 11.0 | 4.7   | 0.2    | 9.6      |
| Boğazlıyan   | 1975-2003     | -2.1 | -1.1  | 3.5  | 9.3   | 13.4  | 17.1    | 20.4   | 20.0    | 15.6  | 10.2 | 4.0   | 0.2    | 9.2      |
| Yenipazar    | 1984-1990     | -2.2 | -0.9  | 2.9  | 10.3  | 13.6  | 17.1    | 20.2   | 20.7    | 17.0  | 10.3 | 4.6   | -0.7   | 9.4      |
| Şefaati      | 1987-1993     | -4.0 | -1.6  | 5.5  | 10.1  | 13.4  | 17.7    | 20.0   | 20.9    | 18.4  | 12.6 | 6.9   | 2.1    | 10.2     |
| Akdağmadeni  | 1970-1990     | -3.3 | -0.9  | 2.4  | 7.7   | 11.5  | 14.8    | 17.6   | 17.2    | 14.4  | 9.3  | 3.9   | -1.2   | 7.8      |
| Osmanpaşa    | 1987-1998     | -2.0 | -0.9  | 3.5  | 9.7   | 14.2  | 17.8    | 20.8   | 20.9    | 17.0  | 11.9 | 4.8   | 0.9    | 9.9      |
| Kozaklı      | 1970-1990     | -1.4 | 0.6   | 4.7  | 10.5  | 14.4  | 18.3    | 21.3   | 20.8    | 17.1  | 11.2 | 5.4   | 0.4    | 10.3     |

### 1.5. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanında jeoloji, hidrojeoloji, su kimyası ve tıbbi değerlendirmelere yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan başlıcaları aşağıda sıralanmıştır.

İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi 1976 yılındaki incelemesinde kaynak suyunun analizlerini ve yeraltısuyunun sağlık yönünden kullanılabilirliğini değerlendirmiştir.

Özmutaf, 1989; Sarıkaya kaplıcaları ile ilgili hidrojeoloji çalışması yapmıştır. Sahada koruma alanlarını belirleyerek açılacak kuyularla üretimin artacağını belirtmiştir.

Kurt vd. 1991 tarafından yapılan jeolojik çalışmada litoloji birimlerini ayırtlanmıştır.

Şimşek, 1995 tarafından Yozgat yöresindeki diğer kaplıcalarda yapılan hidrojeokimyasal çalışmalara göre, Sarıkaya sıcak ve mineralli sularının meteorik kökenli ve yeraltı dolaşım sürelerinin 30 yıldan fazla olduğu ve sahadan elde edilebilecek jeotermal akışkanla termal turizmin geliştirilmesi yanında şehir ısıtmacılığının da yapılabilceği bildirilmiştir.

Turizm Bakanlığı, Baççıl, 1996 tarafından Sarıkaya termal turizm merkezinde yapılan çalışma ile kaplıca kaynak ve tesislerinin envanteri çıkarılmış ve kurulması planlanan tesislere ilişkin teknik özellikler belirtilmiştir.

HÜ, 2005a,b. Sarıkaya jeotermal alanında Hacettepe Üniversitesi tarafından yürütülen saha, laboratuvar ve büro çalışmaları sonucu Yozgat Valiliği Sarıkay Kaymakamlığı tarafından sahada arama sondajları (SK-1, SK-2, SK-3, SK-4) yapılmıştır.

## **2. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ**

Yozgat-Sarıkaya jeotermal alanı 1/25.000 ölçekli Yozgat İ34 c3, c4 ve Yozgat J34 b1, b2 paftaları içinde yer almaktadır. Bu çalışmada, inceleme alanını ve yakın çevresini kapsayacak şekilde, Kurt vd. (1991), Kara (1997), Özmutaf (1989) tarafından yapılmış olan jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalardan, MTA Genel Müdürlüğü tarafından sayısal ortamda hazırlanan 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasından (MTA, 2004) ve Özmutaf (1989) tarafından yapılan hidrojeoloji haritalarından yararlanılmıştır. Söz konusu çalışmalardan yararlanılarak hazırlanan jeoloji haritası ve jeolojik kesitler Ek-1 ve Ek-3’de, inceleme alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik istif ise Şekil 2.1’de sunulmuştur.

Yozgat Sarıkaya bölgesinde görülen ve çalışma alanının temelini oluşturan kayaç topluluğu Paleozoyik yaşlı çeşitli şist, kuvarsit ve mermerlerdir. İnceleme alanında temel birim olarak tabanda yer alan Paleozoyik şistler üzerine uyumsuz olarak Eosen ve Pliyosen yaşlı çökel birimleri gelmektedir. En üstte ise Kuvaterner yaşlı travertenler ve alüvyonlar görülmektedir.

İnceleme alanında Neojen ve Kuvaterner de etkili olan gerilme tektoniğine bağlı olarak bölgede normal atımlı faylar gelişmiştir. Faylar genellikle doğu-batı ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu ve düşük atımlıdır.

### **2.1. Genel Stratigrafi**

Temelde Paleozoyik yaşlı çeşitli şistler, kuvarsit ve mermerler yer almaktadır. Bunlar üzerine uyumsuz olarak Eosen ve Pliyosen yaşlı çökel birimleri, en üstte ise Kuvaterner yaşlı travertenler ve alüvyonlar yer almaktadır.

#### **2.1.1. Paleozoyik**

İnceleme alanında Paleozoyik; Kalkanlıdağ ve Bozçaldağ Formasyonu ile temsil edilmektedir.

| ZAMAN     | SİSTEM                 | SERİ              | FORMASYON           | Kalınlık<br>m   | Litoloji                  | Açıklamalar                                               |  |  |  |  |                        |
|-----------|------------------------|-------------------|---------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|--|--|--|--|------------------------|
| SENOZOYİK | KUVA-<br>TERNER        |                   | Alüvyon (Qal)       | 15-40           |                           | Alüvyon(kil, kum, çakıl)<br>traverten                     |  |  |  |  |                        |
|           |                        |                   |                     |                 |                           | Açısal uyumsuzluk                                         |  |  |  |  |                        |
|           | TERSİYER               | PLİYO-<br>SEN(Pl) | Kızılırmak<br>(Tmk) | 30-150          |                           | Killi kireçtaşı, kumtaşı<br>marn ardalanması              |  |  |  |  |                        |
|           |                        |                   |                     |                 |                           | Açısal uyumsuzluk                                         |  |  |  |  |                        |
|           |                        | EOSEN             | Beycedere<br>(Teb)  | 150-200         |                           | Kumtaşı, kiltası, marn                                    |  |  |  |  |                        |
|           |                        |                   |                     |                 |                           | Marn, tüf, kumtaşı, kiltası<br>kırmızı kiltası, çakiltası |  |  |  |  |                        |
|           |                        |                   |                     |                 |                           | Kireçtaşı (Nummulitli, beyaz)                             |  |  |  |  |                        |
|           |                        |                   |                     |                 |                           | Çakiltası                                                 |  |  |  |  |                        |
|           |                        |                   |                     |                 | PALEOZOYİK                |                                                           |  |  |  |  | Mermer, kuvarsit, şist |
|           |                        |                   |                     |                 |                           |                                                           |  |  |  |  | Açısal uyumsuzluk      |
|           | Bozçaldağ<br>(PzMzb)   | 50                |                     | Çeşitli şistler |                           |                                                           |  |  |  |  |                        |
|           | Kalkanlıdağ<br>(PzMzk) | ?                 |                     | Kuvarsit zonu   |                           |                                                           |  |  |  |  |                        |
|           |                        |                   |                     |                 | Kuvarsit, çeşitli şistler |                                                           |  |  |  |  |                        |

Şekil 2.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti

### **Kalkanlıdağ Formasyonu (PzMzk):**

Formasyon adlaması, Seymen (1981) tarafından yapılmış olup, yaygın olarak kullanılmaktadır (Tolluoğlu, 1986; Kurt vd. 1991 ). Sarıkaya bölgesinde, temelde Kırşehir Masifi olarak adlandırılan Paleozoyik yaşlı metamorfikler bulunmaktadır. Kırşehir Masifi metamorfikleri; magmatik katkı platform çökellerinin metamorfizması sonucu oluşmuşlardır. Metamorfikler; gnays, şist, mermer, kuvarsit vb. kaya türlerinden oluşmaktadır. Birimler birbirleriyle yanal ve düşey olarak geçişli olup düzenli bir dizilim göstermezler (Kurt vd. 1991). Çalışma alanında genellikle mermerler (Pmr) görülmekte, yer yer de mikaşist, kuvars-şist, kalk şist vb. çeşitli şistler sınırlı alanda yüzeylenmektedir.

Sarıkaya bölgesinde, güneyde Ortatepe ve Beştepe’de, güneybatıda Karatepe ve Mehmettepe’de yüzeyleyen birim Kurt vd. (1991) tarafından Kalkanlıdağ Formasyonu olarak adlandırılan birime karşılık gelmektedir. Bu birimin kapsadığı metamorfik birimler; amfibolit, mika şist / gnays, kuvarsit ve mermer içermektedir.

Kalkanlıdağ formasyonunun metapelitik kayalar renk, bileşim, doku ve fabrik açısından farklılıklar göstermektedirler. Buna bağlı olarak kayaç adlamaları da değişmektedir. Genel olarak çok yaygın litoloji olan “mikaşist” feldispat içeriğinin artması ile “biyotit gnays” adını almaktadır (Kurt vd. 1991).

Bu kayalarda kuvars, feldispat ve mika miktarının oransal ilişkisi kayaç adlamasını doğrudan belirler. Gnays, şist, kuvarsit ve mermer uç adlamaları oransal ilişkide ara terimleri oluşturur (Kuvarslı mermer, kuvars şist vb.) (Kurt vd. 1991).

Kayaçların adlandırılmasında kayaç fabriği de önemli bir parametredir. “Kıvrım şarniyelerinde masif bir fabrik gösteren kayatürü (mermer, kuvarsit, amfibolit vb.) kanatlarda şisti bir fabrik gösterebilir”. Bu durumda yaygın ve alışlagelmiş adlamalar (şisti mermer, şisti kuvarsit) kullanılmaktadır (Kurt vd. 1991).

Kuvarsitler genellikle masif kayalar olmakla birlikte renk, doku ve fabrik açısından değişiklik gösterebilir. Yer yer kalın katmanlı kumtaşı seviyelerine karşılık gelen masif kuvarsitler çökel paketin ortamsal özelliklerini belirler. Bazı alanlarda kilden arınmış kuvars yüzdesi yüksek kumtaşları masif kuvarsitlere dönüşmüştür.

Kalkanlıdağ formasyonu içinde yer alan mermerler açık gri, beyaz ve bej renkli, orta katmanlı, iri kristalli (şeker dokulu) kayalardır. Mermerler granoblastik doku gösterirler.

### **Bozçaldağ Formasyonu (PzMzb)**

Kırşehir Masifinin metamorfizmaya uğramış çökel kamasının üst bölümünü, yaygın olarak Bozçaldağ formasyonu (Seymen, 1982; Tolluoğlu 1986) olarak bilinen metakarbonatlar oluşturur (Kurt vd.1991).

Kalkanlıdağ formasyonunun tavanı veya Bozçaldağ Formasyonu'nun en alt birimleri kalkışist veya silikatlı mermer olarak adlandırılmış kayalardan oluşur. Üstte ise masif mermer ve dolomitik mermerler 50 m görünür kalınlığa sahiptir.

İnceleme alanında bu birim güneyde Ortatepe ve Beştepe'de, doğuda Köprücek köyü girişinde, güneybatıda Karatepe ve Mehmet Tepe'de şistlerin üzerinde görülmektedir ve bozunmaya daha dayanımlı olmaları nedeniyle sahadaki başlıca yükseltileri oluşturmaktadır.

Silikatlı mermerler kuvars, feldispat, epidot, turmalin diyopsit ve granat gibi eş taneli mineralleri daha yoğun olarak kapsamaktadır. Kalkışistler ise mikalarca zengin olup, yapraklanmaları belirgindir. Kaya dilinimleri boyunca mika çok zengin olup, lepidoblastik doku ve ayrılma yüzeyi oluşturmaktadır (Kurt vd.1991). Bozçaldağ formasyonunu açısız uyumsuzlukla örten Eosen yaşlı Beycedere formasyonu biriminin metamorfizma yaşının Eosen öncesi olduğunun kanıtıdır.

#### **2.1.2. Eosen**

İnceleme alanında Eosen; Beycedere Formasyonu ile temsil edilmektedir.

### **Beycedere Formasyonu (Teb)**

Beycedere formasyonu Kurt vd. (1991) tarafından adlandırılmıştır. Sarıkaya bölgesinde metamorfik temelin üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. Beyaz, bej, sarı, gri renklerde gözlenen kireçtaşları çoğunlukla orta katmanlıdır. Bazen ince katmanlanma gösteren birim bazen de masif ve yığışımlı bir görünüm sunmaktadır. Bol fosil içeren kireçtaşlarında yer yer kumtaşı, kilitaşı, marn arakatkıları görülmektedir (Foto 2.1). Eosen formasyonları denizel ortamda

çökelmiştir. Çakıltaşları ve kumtaşlarının kıyı şeridinde, kıltaşı ve kireçtaşlarının ise shelf üzerinde çökeldiğini belirtmişlerdir ( Kurt vd.1991).

Eosen birimleri, Sarıkaya batısında Köprücek köyü, Sarıkaya İlçe merkezinde Belediye arkasında yüzeylemektedir. Genellikle yaygın olarak Pliyosen birimleri tarafından örtülüdür.

Çalışma alanında Köprücek köyünde görülen Eosen yaşlı birim, metamorfiteiler üzerinde alacalı renkli, çakıltaşları ile başlamaktadır. Bu çakıltaşları temelden türeme mermer, granit, siyenit, şist, kuvarsit, gnays çakıllarını içermektedir. Tane destekli ve kum matriksli olup, mercekssel kumtaşı arakatkıları kapsamaktadır. Taneler kumdan bloğa kadar değişen boyutlardadır. Kötü boylanma gösteren birimin üzerine uyumlu olarak nummülitli kireçtaşları gelmektedir.



Foto 2.1 Eosen yaşlı kırıklı ve çatlaklı kumlu kireçtaşları

### **2.1.3. Pliyosen (Pl)**

İnceleme alanında Pliyosen Kızılırmak Formasyonu ile temsil edilmektedir.

#### **Kızılırmak Formasyonu (Tmk)**

Bu birim Kurt vd. (1991) tarafından Kızılırmak Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyonun litolojisini genelde, kumtaşı, marn, kıltaşı tuf, tüfit, çakıltaşı ve kireçtaşları oluşturmaktadır.

İnceleme alanının kuzeyinde Ilısu Grabeni alanında yaygın olarak görülen Pliyosen birimleri, kırmızı, sarımsı yeşil kumtaşı - yeşil kil ardalıması üzerine beyaz gri renkli orta katmanlı kireçtaşları şeklindedir. Yaklaşık 100 metre kalınlıktaki formasyon alttaki Eosen birimleri üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Pliyosen birimleri karasal-gölsel ortamda çökelmişlerdir.

#### **2.1.4. Kuvaterner**

##### **Alüvyon (Qal):**

Boğazlıyanözü Dere ve Domuz Dere boyunca gelişen alüvyon; çakıl, kum ve killerden oluşmaktadır. Alüvyon kalınlığı 15-40 m kalınlığındadır. Kum boyutundan iri bloğa kadar çeşitli kayaç parçaları birimin egemen litolojisini teşkil etmektedir. Çakıllar, karasal ve polijenik çakıltaşlarına özgü sedimentolojik parametreleri gösterirler. Metamorfik kayaç kırıntıları ve mermerlerin yuvarlak çakılları da bu birim içerisinde bulunmaktadır. Boylanma kötü, kil ve kum matriks genelde fazladır.

##### **Traverten (Qtrv):**

Travertenler, KB-GD doğrultulu fay hattı üzerinde eski sıcaksu kaynaklarına bağlı olarak oluşmuştur. Alacalı kırmızı renkli olan travertenler gözenekli yapısı ile belirgindir (Foto 2.2). Bunlar başlıca kalsit ve demir oksitli olup, traverten tabakaları içinde kum, çakıl ve bitki kalıntıları tipik olarak gözlenmektedir. Traverten yüzlekleri harita ölçeğine uygun olmadığından gösterilememiştir.



Foto 2.2 Sarıkaya Kaymakamlık binası arkasında sıcaksuların oluşturduğu traverten seviyeleri

## 2.2. Yapısal Jeoloji

Neojen ve Kuvaterner de hakim olan gerilme tektoniğine bağlı olarak bölgede normal atımlı faylar gelişmiştir. Faylar genellikle doğu-batı ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu ve düşük atımlıdır. Özellikle doğu – batı doğrultulu faylar kuzeye doğru basamaklı faylar şeklindedir. Güney bölümde temelin görüldüğü alan Karatepe Horstu ve Beştepe Horstu yer almaktadır. Doğu – batı doğrultulu basamaklı fayların kuzeyinde ise Ilısu grabeni yer almaktadır. Tabakalanmalar genellikle doğu-batı doğrultulu ve düşük eğimlidir.

### **3. HİDROJEOLOJİ**

Sarıkaya jeotermal alanında sıcak ve mineralli su kaynakları dışında yeraltısuyunun kaynaklardan boşalımı azdır. İnceleme alanında yer alan Eosen ve Pliyosen yaşlı çökeller genellikle geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır. Temeli oluşturan Paleozoyik yaşlı mermer, kuvarsit ve şist birimleri ile fay ve kırık zonları hidrojeolojik açıdan geçirimlidir. Sahada daha önce hidrojeoloji amaçlı olarak Özmutaf (1989) çalışmıştır. Bölgede soğuk su üretimine yönelik olarak DSI, İller Bankası, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü ve Sarıkaya Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlıkları kuyu açma çalışmaları yürütmektedir.

#### **3.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri**

Sarıkaya Kaplıcalarını kapsayan inceleme alanında bulunan litolojik birimler su taşıma özelliğine göre geçirimsiz, yarı geçirimli ve geçirimli birimler olarak belirlenmiş ve haritalanmıştır (Şekil 3.1, Ek-2). Birimlerin geçirimlilik özellikleri arazide yapılan gözlemler ve doğal su boşalmaları olup olmamasına göre değerlendirilmiştir.

##### **3.1.1. Geçirimli Birimler**

İnceleme alanında akifer oluşturan en önemli birim, temeli oluşturan Paleozoyik yaşlı mermer ve kuvarsitleri içeren Kalkanlıdağ ve Bozçaldağ Formasyonları'dır. Fay ve kırık zonları hidrojeolojik açıdan geçirimli ve büyük öneme sahiptir. Boğazlıyanözü deresi ve Domuz deresi yatağında yer alan çakıl, kum ve kilden oluşan ve kalınlığı 40 m ye kadar ulaşan alüvyonlar ise hem sıcaksu hem de soğuksu için önemli bir akiferdir. Ayrıca, Eosen Beycedere Formasyonu ve Pliyosen Kızılırmak Formasyonu içerisinde gevşek tutturulmuş kumtaşı ve çakıltası seviyeleri hidrojeolojik açıdan yerel öneme sahip olabilirler.

##### **3.1.2. Yarı Geçirimli Birimler**

Eosen ve Pliyosen yaşlı Beycedere ve Kızılırmak Formasyonunu oluşturan birimler genellikle geçirimsizdir. Ancak, gevşek tutturulmuş kumtaşı ve çakıltası seviyeleri içeren bölgeler hidrojeolojik açıdan yerel öneme sahiptirler.

| ZAMAN      | SİSTEM                   | SERİ               | FORMASYON           | Kalınlık<br>m | Litoloji | Açıklamalar                                                   | HİDROJEOLOJİK<br>ÖZELLİKLER                           |
|------------|--------------------------|--------------------|---------------------|---------------|----------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| SENOZOYİK  | KUVA-<br>TERNER<br>(Qal) |                    | Alüvyon (Qal)       | 15-40         |          | Alüvyon, traverten, kil kum, çakıl                            | Geçirimli sıg rezervuar                               |
|            |                          | PLİYO-<br>SEN (Pl) | Kızılırmak (Tmk)    | 30-150        |          | Killi kireçtaşı, kumtaşı marn ardalanması                     | Geçirimsiz, kumtaşı ve çakıltası seviyeleri geçirimli |
|            | TERSİYER                 | EOSEN              | Beycedere (Teb)     | 150-200       |          | Kumtaşı, kiltası, marn                                        | Geçirimsiz fay zonları geçirimli                      |
|            |                          |                    |                     |               |          | Marn, tuf, kumtaşı, kiltası kırmızı kiltası, çakıltası        |                                                       |
|            |                          |                    |                     |               |          | Kireçtaşı (Nummulitli, beyaz)                                 | Geçirimli birinci rezervuar                           |
|            |                          |                    |                     |               |          | Çakıltası                                                     | Geçirimsiz                                            |
| PALEOZOYİK |                          |                    | Bozçaldağ (PzMzb)   | 50            |          | Mermer, kuvarsit, şist                                        | Ana rezervuar                                         |
|            |                          |                    | Kalkanlıdağ (PzMzk) | ?             |          | Çeşitli şistler<br>Kuvarsit zonu<br>Kuvarsit, çeşitli şistler | Kuvarsit ve kalkışist zonları geçirimli               |

Şekil 3.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş hidrojeolojik kesiti

### **3.1.3. Geçirimsiz Birimler**

Bölgede Eosen yaşlı Beycedere Formasyonu'nu oluşturan çökeller kıltaşı, marn, killi kireçtaşı ve kumtaşı ardalanması içeren geçirimsiz birimlerden oluşmaktadır. Ancak tabanda yer alan çakıltaşları ve kireçtaşları ile fay ve kırık zonlarının geçirimli olabileceği düşünülmektedir. Pliyosen yaşlı Kızılırmak Formasyonu'nu oluşturan birimler ise kumtaşı, kıltaşı ve çakıltaşı ardalanmasından oluşur ve bu birimler genellikle geçirimsizdir. Ancak, gevşek tutturulmuş kumtaşı ve çakıltaşı seviyeleri geçirimli olabilmektedirler ve hidrojeolojik açıdan yerel öneme sahip olabilirler.

### **3.2. Yeraltısuyu**

Boğazlıyanözü deresi ve devamı olan Domuz deresi vadisi bölgede yeraltısuyu boşalım düzeyini denetlemektedir. Vadinin doğu ve batısındaki dağlar veya doruklar beslenme alanı, Boğazlıyanözü deresi ve devamı olan Domuz deresi vadisi ise her iki yamaç için boşalım eksenidir. Bu nedenle, yeterli geçirgenlik kazanmış birimlerde, muhtemel yeraltısuyu hareketi Boğazlıyanözü deresi yönünde olmaktadır. Ayrıca, güney bölümün 10km den fazla vadi yönünde eğimli oluşu yeraltısuyunun hareketine daha elverişli bir etkidir. Dolayısıyla sığ yeraltısuları için Pliyosen birimleri ve alüvyon birimleri akifer oluşturmaktadır. Geçirgenliğin bağıl olarak düşük olması ve arada daha geçirimsiz seviyelerin varlığı bazı kesimlerde asılı su tablasının bulunabileceğine işaret etmektedir. Yüksek kesimlerdeki kaynakların çoğu bağlantılı kırık ve erime boşluklarından veya bağlantısız akiferlerden boşalmaktadır. Boğazlıyanözü deresi dolayındaki su tablasının eğiminin az olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla dereden uzaklaştıkça Paleozoyik yaşlı mermer akiferler dışında kuru kesimlere girilmesi veya beslenmenin az olması muhtemeldir.

### **3.3. Kaynaklar**

Sarıkaya ilçesi dolayındaki kaynaklar düşük debilidir. Eosen çökelleri geçirimsiz litolojilerdir. Bu nedenle geçirimsiz birimlerin bulunduğu alanlarda yüzey sellenmesi çok gelişmiştir. Su kaynakları, eklem veya kırık düzlemlerinden çıkan, debileri 0.5-1 l/s arasında değişen sızıntılar şeklindedir. Geçirimsiz temel kayaları arasında yer aldıkları ve beslenme alanları sınırlı olduğu için genellikle debileri azdır.

### 3.3.1. Sarıkaya sıcak ve mineralli su kaynakları

Sarıkaya sıcak suları ve Kaplıcaları (Terzili), Sarıkaya İlçe merkezi sınırları içinde yoğun yerleşim alanında yer almaktadır (Foto 3.1,2,3,4). Kaplıca alanında 2 kaplıca kaptajı ve bunlardan beslenen kaplıca ve tesisleri bulunmaktadır. Sahadaki iki kaptajdan toplam 27 l/s debide ve mevsimlere göre değişen şekilde 46-50.9 °C arasında değişen sıcaklıkta su boşalmaktadır. Eski kaplıca kaptajından tarihi Roma hamamına da su verilmektedir (Foto 3.2,3). Eski kaplıca kaynağının 160 m batısında ise Yeni Kaplıca kaptajı yer almaktadır (Foto 3.4). Bu kaptajdan alınan sular (4 l/s) Yeni Kaplıca hamamında kullanılmaktadır. Sıcak sular temele ait mermer ve kuvarsit çatlaklarında birikmekte ve her iki kaynağı birleştiren doğrudan geçen eğim atımlı normal faydan yükselen bir fay zonundan yükselmekte ve alüvyon içinden yüzeye ulaşmaktadır. Alüvyon içinde yayılan sıcak suya, açılan sığ kuyularda da rastlanmaktadır.



Foto 3.1. Sarıkaya Özel İdare sıcaksu kaynağı ve kaptajı.



Foto 3.2. Sarıkaya Roma hamamı



Foto 3.3. Sarıkaya Roma hamamı ve sıcak su boşalımı.



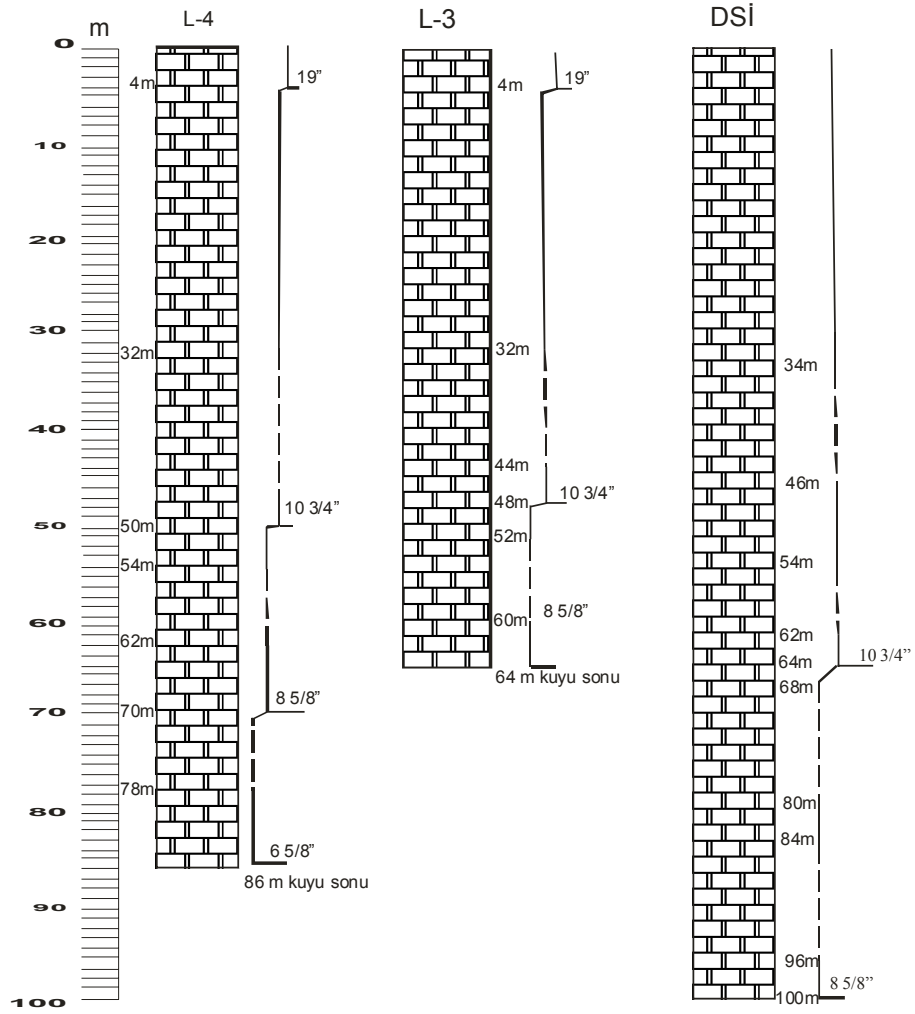
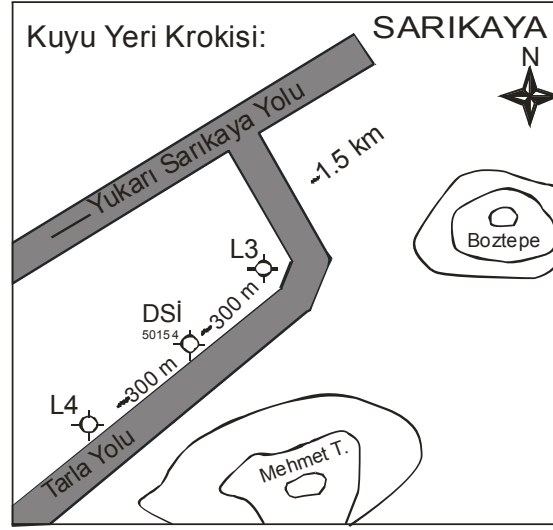
Foto 3.4. Sarıkaya Yeni Kaplıca kaynağının kaptajı.

İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi'ne göre; Terzili kaynağı 47 °C sıcaklıkta ve 35 l/s debidedir (İÜTF 1976). MTA verilerine göre suların sıcaklığı 44-48 °C arasında ve toplam debileri 28 l/s olarak ölçülmüştür (Özmutaf, 1989). Baççıl 1996'ya göre; Sarıkaya Eski kaplıca kaynaklarının sıcaklığı 48 °C olup, debisi 25 l/s kadardır. Uyuz Hamamı termal kaynak suyunun debisi 4 l/s olup sıcaklığı 44 °C dir. Termal kaynak sularının toplam debilerinin 29 l/s olduğu belirtilmiştir.

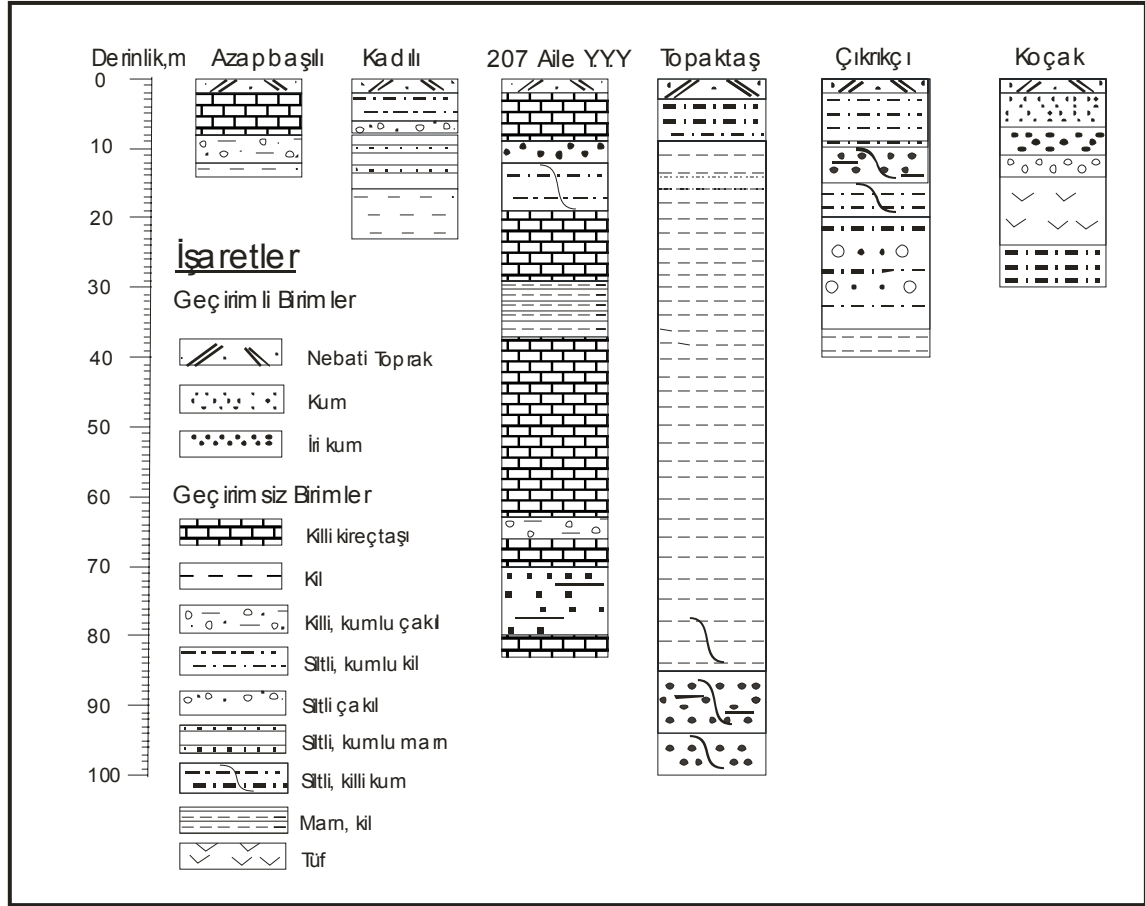
Bu tez çalışması kapsamında 2004-2006 yıllarında yapılan ölçümlere göre; Eski Kaplıca ve Yeni Kaplıca kaynaklarının sıcaklıkları 46.7 ile 50.9 °C arasında değişiklik göstermektedir. Eski Kaplıca ve Roma hamamı toplamı yaklaşık 23 l/s ile Yeni Kaplıcanın 4 l/s olan debisiyle birlikte toplam 27 l/s olduğu hesaplanmıştır. Bu değerleri, kaplıcalarda önceki yıllardaki ölçümlere göre önemli bir değişiklik olmadığını göstermektedir. Ancak, sıcaklık değerlerinde meydana gelen değişimlerin soğuk yeraltısuyu karışımından kaynaklandığı düşünülmektedir.

### **3.4. Soğuk su sondaj kuyuları**

Çalışma alanında içme ve kullanma suyunun karşılanması amacıyla Sarıkaya ilçesinin güney batısında Karatepe'nin kuzey yamacında DSI ve İller Bankası Genel Müdürlükleri tarafından derinliği 60-80 metre arasında değişen üç kuyu açılmış olup toplam 75 l/s debili soğuk su elde edilmektedir (Şekil 3.2). Ayrıca, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından Sarıkaya dolayındaki köylerin su ihtiyacını karşılamak amacıyla genellikle alüvyonda açılmış kuyular bulunmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Sarıkaya Belediyesi içme suyu kuyularının teknik özellikleri.



|                    |            |            |                |            |            |            |
|--------------------|------------|------------|----------------|------------|------------|------------|
| Kuyu no            |            |            |                |            |            | 4/66/29    |
| Kuyu adı           | Azapbaşı   | Kadılı     | 207 Aile Y.Y.Y | Topaktaş   | Çıkrıkçı   | Koçak      |
| Açan kuruluş       | Köy Hizm.  | Köy Hizm.  | Köy Hizm.      | Köy Hizm.  | Köy Hizm.  | Köy Hizm.  |
| Açılma amacı       | İşletme    | İşletme    | İşletme        | İşletme    | İşletme    | İşletme    |
| Açıldığı tarih     | 06/09/1993 | 16/06/1994 | 18/06/1997     | 08/07/1997 | 19/04/2001 | 17/09/1987 |
| Derinlik (m)       | 14         | 23         | 83             | 100        | 40         | 30         |
| Statik seviye (m)  | 2.0        | 3.0        | 15.0           | kuru       | 4.5        | 1.75       |
| dinamik seviye (m) | 4.5        | 6.0        | 70             |            | 15.0       | 4.25       |
| Debi (l/s)         | 4.0        | 5.0        | 0.5            |            | 7.0        | 6.0        |
| Düşüm (m)          | 2.5        | 3.0        | 55.0           |            | 10.5       | 2.5        |
| El                 |            |            |                |            | 594        |            |

Şekil 3.3. Sarıkaya ve dolayında Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından açılan soğuk su kuyularının özellikleri ve litolojik logları.

### **3.5. Sıcak su sondaj kuyuları**

Çalışma alanında Sarıkaya Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği tarafından açtırılan 4 adet sıcak su arama ve üretim kuyusu bulunmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda belirlenen ilk lokasyonda SK-1 arama kuyusu açılmıştır. Bu kuyudan 42.5 l/s debide ve 45 °C sıcaklıkta sıcaksu elde edilmiştir. Daha sonra SK-1 kuyusunun 105 m kuzeybatısında ikinci sondaja başlanmıştır, SK-2 nolu arama kuyusunda ise 272 m derinliğe inilmiş ancak bu kuyudan 30 °C sıcaklıkta ve yaklaşık 5-10 l/s ılık su geleceği anlaşıldığından kuyuda ilerleme durdurulmuş ve teçhiz indirilmeden kuyu tamamlanmıştır. SK-2 kuyusundan sonra yapılan araştırmanın değerlendirilmesi sonucunda, sahada daha önce açılmış olan SK-1 kuyusunun yaklaşık 63 m güneybatısındaki, SK-2 kuyusunun ise 135 m güneydoğusunda açılan SK-3 kuyusu 292 m derinlikte tamamlanmıştır. Kuyuda birkaç seviyede sıcaksu zonu kesilmiş daha sonra mermer seviyelerinden oluşan derin üretim zonundan 25 °C sıcaklıkta ilk belirlemelere göre 86 l/s ılık su elde edilmiştir. Son olarak 190 m derinlikte tamamlanan SK-4 kuyusundan 36 °C sıcaklık ve yaklaşık 45 l/s debide, artezyen halinde sıcak ve mineralli su üretilebileceği belirlenmiştir. Sahada kuyulardan toplam 173.5 l/s artezyen olarak 25-45 °C sıcaklığında termal su elde edilmiştir.

#### 4. SU KİMYASI

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi ve yeraltısuyu sistemi, kökenleri ve birbirleri ile olan ilişkilerinin aydınlatılması amacı ile Temmuz-2004, Nisan-2005, Ekim-2005 tarihleri olmak üzere üç ayrı dönemde örnekleme ve kimyasal analiz çalışmaları yapılmıştır.

İnceleme kapsamında yerel yeraltısuyu dolaşım sistemlerini temsil eden farklı soğuk su kaynaklarında ve sondaj kuyularında örnekleme ve analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İzotop çalışmaları kapsamında yerel meteorik su doğrusunun belirlenmesi çalışmalarında kullanılmak üzere Temmuz 2004 tarihinde yağış örneği alınmıştır. Çalışma alanında örnekleme yapılan su noktalarının koordinatları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Örnekleme çalışmalarında pH, toplam çözünmüş madde (TÇM), elektriksel iletkenlik (Eİ) ve sıcaklık (S) gibi fiziksel parametre ölçümleri yerinde yapılmıştır (Çizelge 4.2). Çalışma alanından toplanan örnekler 250 ml’lik özel polietilen şişeler içerisinde, katyon ve ağır metal içeriklerini korumak için pH<2 koşulu sağlanacak şekilde HNO<sub>3</sub> ile asitlenerek Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarı’na ulaştırılmıştır.

Fe, Mn, Ni, Pb, Cd, Li, Cu, Zn ve Cr analizleri Perkin Elmer Model 2280 Atomik Absorbsiyon Spektrometresi kullanılarak, CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub> analizi titrimetrik metotla (hata sınırı ±3 mg/l), Ca, Mg, Na, K, F, Cl, SO<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, Br, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> analizleri ise iyon kromatograf ile yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Çalışma alanında örnekleme yapılan su noktalarının UTM koordinatları

| No | Örnek adı               | Enlem (K) | Boylam (D) | Kot (m) |
|----|-------------------------|-----------|------------|---------|
| 1  | Roma Hamamı             | 704382    | 4374552    | 1104    |
| 2  | Eski Kaplıca            | 704410    | 4374570    | 1116    |
| 3  | Yeni Kaplıca            | 704268    | 4374543    | 1106    |
| 4  | SK-1                    | 704330    | 4374628    | 1114    |
| 5  | SK-3                    | 704302    | 4374574    | 1110    |
| 6  | SK-4                    | 704389    | 4374592    | 1113    |
| 7  | Ateşler                 | 704279    | 4374562    | 1110    |
| 8  | Sinan Otel              | 704435    | 4374401    | 1104    |
| 9  | Pliyosen çeşme          | 704100    | 4375460    | 1124    |
| 10 | Orta Tepe Çeşme         | 704858    | 4371878    | 1258    |
| 11 | İller Bankası Kuyusu    | 701611    | 4373511    | 1166    |
| 12 | Hacı hasan Parkı Kuyusu | 704014    | 4374954    | 1101    |

## **4.1. Suların Fiziksel Özellikleri**

### **4.1.1. Sıcaklık (T)**

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynak ve kuyularının sıcaklıkları 25-50.9 °C arasında değişmektedir. İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının dönemsel sıcaklık değişimleri 2-4 °C arasındadır. Bu sıcaklık farklılıkları yerel yeraltısuyu seviyesinin mevsimsel değişimi sonucunda sıcak suya karışan soğuk su oranının değişmesinden kaynaklanmaktadır.

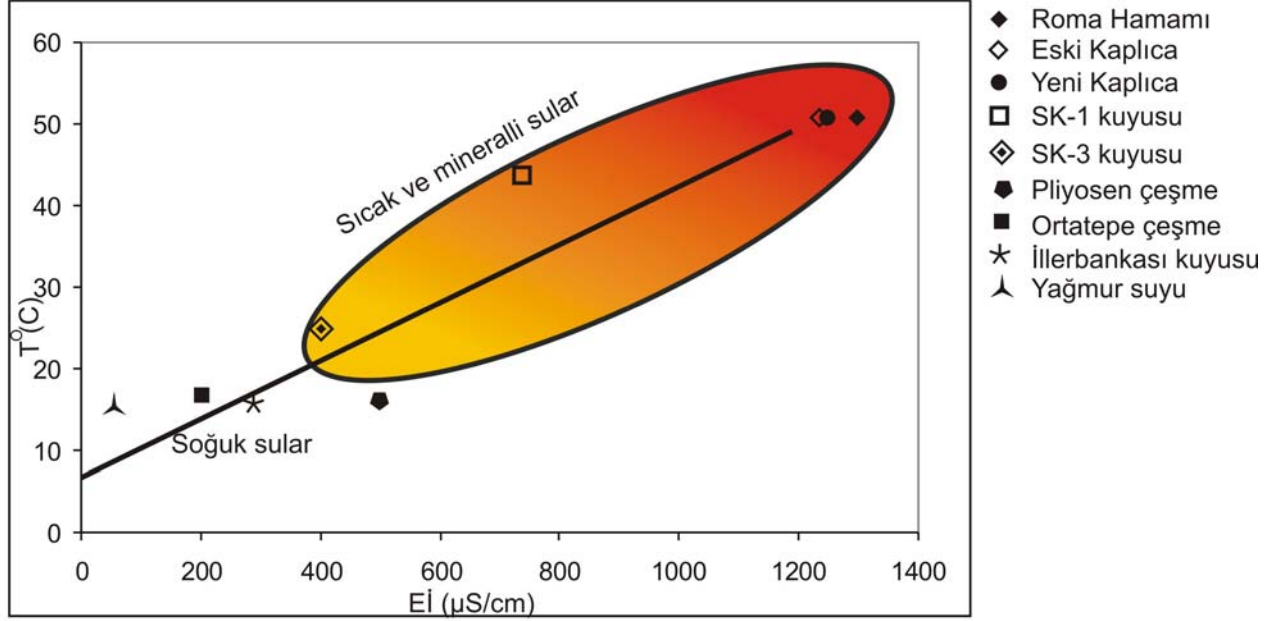
Sarıkaya sıcak su kaynakları ve SK-1 kuyu suyu (43.5-50.9 °C) Bogomolow sınıflamasına göre hipertermal (40-50 °C), SK-4 kuyu suyu (35.5 °C) mesotermal (34-40 °C), SK-3 kuyu suyu ise (25 °C) epitermal sular (20-34 °C) sınıfına girmektedir.

### **4.1.2. Elektriksel İletkenlik (Eİ)**

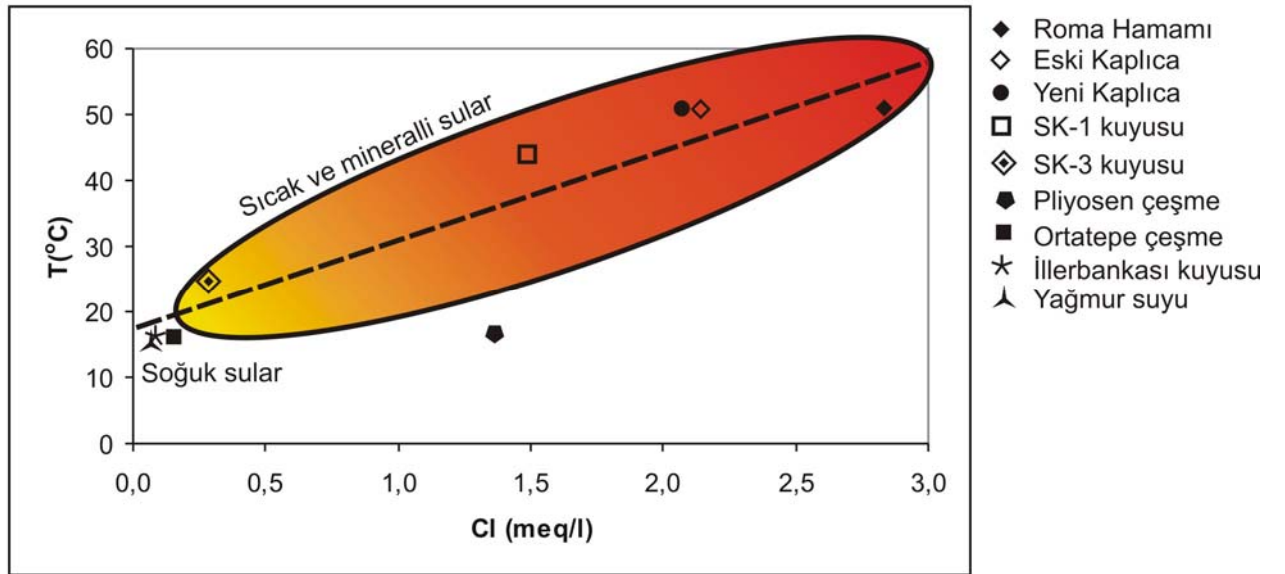
Elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal ifadesidir. Su analiz sonuçları, mikromho/cm veya mikrosiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) olarak ve 25 °C'deki değeri hesaplanarak verilmektedir. Suların elektriksel iletkenlikleri, sudaki iyon varlığına, toplam derişimlerine ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri de artmaktadır. Sudaki iyon derişimi ile artış gösteren elektriksel iletkenlik değeri, bu nedenle, sudaki toplam iyon derişiminin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bölgede yer alan suların özgül elektriksel iletkenlik değerleri 500-1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. 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 çözünürlüklerine, iklime, bölgedeki yağış koşullarına bağlıdır. Türk Standartları Enstitüsü (TSE) içme suyu standartlarında elektriksel iletkenlik için üst sınır 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olarak verilmektedir (TS 266, 2005).

Su içerisinde TÇM miktarı ile doğru orantılı olarak artan Eİ değerleri; Sarıkaya sıcak su kaynaklarında (Roma Hamamı, Eski Kaplıca, Yeni Kaplıca) 1300-640 arasında büyük bir değişiklik göstermektedir. Bölgede yeraltısuyu sıcaklığının artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri ve dolaşım sürecinin uzun olmasına bağlı olarak klorür içeriğinde de artış olmaktadır (Şekil 4.1,2). Kurak dönem olarak kabul edilen Temmuz 2004 ayında yeraltısuyu seviyesinde meydana gelen düşüş,

sıcaksu kaynaklarına karışan soğuk su oranının azalmasına, kaynak sıcaklıklarının (50.9 °C) ve Eİ (1300-1250) değerinin artmasına sebep olmuştur. Nisan ve Mayıs 2005 dönemlerinde yeraltı su seviyesinin yükselmesine bağlı olarak sıcak su kaynaklarına soğuk su karışım oranı artmış ve buna bağlı olarak sıcaklık (48-46 °C) ve Eİ değerleri (637-755) düşmüştür.



Şekil 4.1. Sarıkaya jeotermal alanına ait suların Sıcaklık-Elektriksel iletkenlik ilişkisi.



Şekil 4.2. İnceleme alanındaki kaynak sularının Cl-Sıcaklık grafiği.

Çizelge 4.2. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları.

| Örnek No | Ornek Adı      | Tür    | Tarih        | T (°C) | pH   | Eİ (µS/cm) | Ca (ppm) | Mg (ppm) | Na (ppm) | K (ppm) | Cl (ppm) | SO <sub>4</sub> (ppm) | HCO <sub>3</sub> (ppm) | CO <sub>3</sub> (ppm) | F (ppm) | Br (ppm) |
|----------|----------------|--------|--------------|--------|------|------------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|---------|----------|
| 1-A      | Roma Hamamı    | Kaynak | Temmuz 2004  | 50.9   | 6.19 | 1300       | 94.024   | 6.090    | 66.276   | 9.882   | 84.429   | 61.237                | 258.524                | 0.00                  | 3.008   | 0.00     |
| 1-B      | Roma Hamamı    | Kaynak | Şubat 2005   | 50.3   | 6.85 | 840        | 90.700   | 5.574    | 61.050   | 7.728   | 75.701   | 53.813                | 311.289                | 0.00                  | 2.388   | 0.00     |
| 1-C      | Roma Hamamı    | Kaynak | Nisan 2005   | 46.7   | 6.28 | 755        | 87.4328  | 5.296    | 56.273   | 7.367   | 62.465   | 46.028                | 246.667                | 0.00                  | 2.181   | 0.00     |
| 1-D      | Roma Hamamı    | Kaynak | Mayıs 2005   | 48.3   | 6.48 | 637        | 84.825   | 4.674    | 47.657   | 7.276   | 66.174   | 49.127                | 240.000                | 0.00                  | 3.054   | 0.00     |
| 1-E      | Roma Hamamı    | Kaynak | Ekim 2005    | 50.9   | 6.59 | 812        | 102.633  | 6.295    | 72.919   | 9.285   | 77.852   | 52.669                | 300.926                | 0.00                  | 1.775   | 0.00     |
| 2-A      | Eski Kaplıca   | Kaynak | Temmuz 2004  | 50.9   | 6.32 | 1250       | 93.211   | 5.873    | 63.289   | 8.940   | 75.977   | 56.312                | 267.238                | 0.00                  | 2.648   | 0.00     |
| 2-B      | Eski Kaplıca   | Kaynak | Nisan 2005   | 47.9   | 6.46 | 750        | 90.421   | 5.562    | 57.493   | 6.832   | 63.599   | 46.478                | 263.334                | 0.00                  | 2.071   | 0.00     |
| 2-C      | Eski Kaplıca   | Kaynak | Ekim 2005    | 50.9   | 6.48 | 814        | 100.855  | 6.916    | 78.279   | 9.9397  | 92.042   | 62.891                | 292.793                | 0.00                  | 1.451   | 0.00     |
| 3-A      | Yeni Kaplıca   | Kaynak | Temmuz 2004  | 50.9   | 6.52 | 1250       | 89.415   | 5.383    | 59.980   | 7.712   | 73.563   | 54.759                | 255.619                | 0.00                  | 2.756   | 0.00     |
| 3-B      | Yeni Kaplıca   | Kaynak | Şubat 2005   | 50.3   | 6.87 | 841        | 91.820   | 5.843    | 63.040   | 8.280   | 73.133   | 51.890                | 308.145                | 0.00                  | 2.240   | 0.00     |
| 3-C      | Yeni Kaplıca   | Kaynak | Nisan 2005   | 46.9   | 6.82 | 726        | 88.788   | 5.123    | 53.051   | 7.335   | 62.343   | 47.006                | 250.000                | 0.00                  | 1.887   | 0.00     |
| 3-D      | Yeni Kaplıca   | Kaynak | Mayıs 2005   | 48.2   | 6.74 | 640        | 83.236   | 4.713    | 48.353   | 6.178   | 65.762   | 48.357                | 226.667                | 0.00                  | 3.033   | 0.00     |
| 3-E      | Yeni Kaplıca   | Kaynak | Ekim 2005    | 50.9   | 7.07 | 805        | 98.106   | 5.561    | 73.038   | 9.384   | 76.160   | 50.651                | 288.726                | 0.00                  | 1.432   | 0.00     |
| 4-A      | SK-1           | Kuyu   | Nisan 2005   | 43.5   | 6.95 | 686        | 90.534   | 5.069    | 45.591   | 6.060   | 52.963   | 42.748                | 243.334                | 0.00                  | 1.640   | 0.00     |
| 4-B      | SK-1           | Kuyu   | Ekim 2005    | 50.6   | 7.33 | 804        | 95.535   | 5.596    | 73.537   | 8.589   | 72.121   | 47.523                | 292.793                | 0.00                  | 1.497   | 0.00     |
| 5-A      | SK-3           | Kuyu   | Ağustos 2005 | 25.0   | 6.0  | 400        | 80.559   | 3.559    | 10.706   | 1.720   | 11.434   | 27.892                | 220.637                | 0.00                  | 1.067   | 0.00     |
| 5-B      | SK-3           | Kuyu   | Ekim 2005    | 25.0   | 7.43 | 405        | 80.963   | 3.161    | 9.457    | 1.700   | 7.801    | 20.755                | 227.728                | 0.00                  | 0.00    | 0.00     |
| 6-B      | SK-4           | Kuyu   | Ekim 2005    | 35.5   | 7.50 | 592        | 91.778   | 4.742    | 36.053   | 3.310   | 34.388   | 30.863                | 268.393                | 0.00                  | 0.388   | 0.00     |
| 7-A      | Ateşler        | Kuyu   | Nisan 2005   | 42.2   | 6.93 | 766        | 91.450   | 5.810    | 59.526   | 8.551   | 61.401   | 46.875                | 270.000                | 0.00                  | 2.234   | 0.00     |
| 8-A      | Sinan Otel     | Kuyu   | Nisan 2005   | 39.5   | 6.85 | 783        | 93.329   | 5.737    | 58.412   | 7.204   | 63.680   | 48.582                | 260.000                | 0.00                  | 1.981   | 0.00     |
| 9-A      | Pliyosen çeşme | Kaynak | Temmuz 2004  | 15.6   | 6.90 | 500        | 97.836   | 16.629   | 38.927   | 1.955   | 47.847   | 24.018                | 252.714                | 0.00                  | 1.575   | 0.00     |
| 9-B      | Pliyosen Çeşme | Kaynak | Ekim 2005    | 16.6   | 7.72 | 707        | 101.586  | 17.179   | 31.475   | 1.360   | 35.833   | 20.293                | 288.726                | 0.00                  | 0.00    | 0.00     |

Çizelge 4.2. (Devam ediyor)

| Örnek No | Örnek Adı               | Tür    | Tarih       | T (°C) | pH   | Eİ (µS/cm) | Ca (ppm) | Mg (ppm) | Na (ppm) | K (ppm) | Cl (ppm) | SO <sub>4</sub> (ppm) | HCO <sub>3</sub> (ppm) | CO <sub>3</sub> (ppm) | F (ppm) | Br (ppm) |
|----------|-------------------------|--------|-------------|--------|------|------------|----------|----------|----------|---------|----------|-----------------------|------------------------|-----------------------|---------|----------|
| 10-A     | Orta Tepe Çeşme         | Kaynak | Temmuz 2004 | 16.5   | 7.33 | 200        | 58.385   | 8.959    | 6.771    | 0.774   | 5.292    | 10.144                | 194.619                | 0.00                  | 0.188   | 0.00     |
| 10-B     | Orta Tepe Çeşme         | Kaynak | Ekim 2005   | 15.6   | 7.23 | 360        | 58.966   | 8.646    | 8.9481   | 1.087   | 4.668    | 11.693                | 191.129                | 0.00                  | 0.00    | 0.00     |
| 11-A     | İller Bankası Kuyusu    | Kuyu   | Temmuz 2004 | 15.9   | 7.00 | 290        | 69.170   | 2.721    | 2.896    | 0.794   | 2.858    | 6.900                 | 200.429                | 0.00                  | 0.391   | 0.00     |
| 11-B     | İller Bankası Kuyusu    | Kuyu   | Ekim 2005   | 15.9   | 7.87 | 370        | 71.028   | 3.583    | 10.160   | 1.200   | 3.655    | 8.838                 | 219.595                | 0.00                  | 0.00    | 0.00     |
| 12-A     | Hacı hasan Parkı Kuyusu | Kuyu   | Temmuz 2004 | 16.6   | 6.88 | 800        | 115.793  | 10.528   | 48.714   | 8.265   | 41.870   | 90.734                | 325.333                | 0.00                  | 2.004   | 0.00     |
| 13-A     | Yağmur Suyu             | Yağış  | Temmuz 2004 | 15.0   | 8.80 | 60         | 18.778   | 0.912    | 4.871    | 7.320   | 2.337    | 87.682                | 31.952                 | 0.00                  | 0.059   | 0.00     |

#### **4.1.3. Hidrojen iyonu aktivitesi (pH)**

pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Doğal yeraltısularının pH değeri 6.0-8.5 aralığında değışir. Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini arttırırken, serbest mineral asitleri ve karbonik asit suyun asit özelliğini arttırmaktadır (Doğan 1981).

Sudaki serbest karbondioksit, fiziksel çözünme sonucunda suda çözünmekte ve hidrotasyon sonucunda karbonik aside dönüşmektedir. Bunun sonucunda su, çözücü-aşındırıcı bir özellik kazanır. Gerek aşındırıcı gerekse kabuk bağlayıcı özellik pH değerine bağlıdır.

Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının pH değerleri 6.19-6.95 aralığında hafif asidik özelliğe sahipken soğuk sular 6.90-7.87 aralığında pH değerlerine sahiptir.

#### **4.2. Suların Kimyasal Özellikleri**

##### **4.2.1. Majör iyonlar**

Doğal sularda toplam iyonik içeriğinin %90'ından daha fazlasını oluşturan Na+K, Ca, Mg, Cl, HCO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> iyonları major iyonlar olarak adlandırılmaktadır. İnceleme alanında bulunan suların kimyasal analiz sonuçlarında (Bkz. Çizelge 4.2) yer alan majör iyonlar ve dağılımları aşağıda açıklanmıştır.

##### **Sodyum (Na<sup>+</sup>) ve Potasyum (K<sup>+</sup>)**

Sodyum, doğal sularda en yaygın olarak bulunan alkali metaldir. Yeraltısularının doğal sodyum içeriği 6-130 ppm arasında değışmektedir. Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldispatlar, feldispatoidler, evaporitler Na içeren başlıca kayaç ve minerallerdir. İnceleme alanında Na iyonu sıcaksu kaynaklarında Ca iyonundan daha düşük derişimlerde dir. Sarıkaya Kaplıcaları bölgesinde yer alan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucunda sodyum değerleri 47-78 ppm aralığında, soğuk su kaynaklarında ise 2-48 ppm aralığında değışim göstermektedir.

Potasyum, esas olarak feldispatlarda, mikalarda, feldispatoyidlerde ve kil minerallerinde bulunur. Doğal sularda potasyum içeriği genelde 20 ppm'i

aşmamaktadır. Ancak sıcak su kaynaklarında bu değer 100 ppm'ye ulaşabilmektedir. Sarıkaya Kaplıcaları bölgesinde yer alan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucunda potasyum değerleri 6-10 ppm aralığında, soğuk su kaynaklarında ise 0.7-8,2 ppm aralığında değişim göstermektedir.

### **Kalsiyum (Ca)-Magnezyum (Mg)**

Kalsiyum, çeşitli magmatik kayaç minerallerinin, özellikle piroksen, amfibol ve feldispatların asıl bileşenidir. Sedimanter kayaçlarda kalsiyum genellikle karbonatlar (kalsit, dolomit vb.) şeklinde bulunmaktadır. Ca, doğal sularda en bol bulunan katyonlardan biridir. Doğal sulardaki miktarı, suyun bulunduğu ortamdaki kayaçların bileşimi ile yakından ilgilidir. Karbonatlı kayaçların bulunduğu bir bölgedeki sularda kalsiyum miktarı 100 ppm'e kadar çıkabilir. Kalsiyum, suların sertliğini oluşturan ana iyonlardan biridir. Magnezyum tuzları ise oldukça yüksek bir çözünürlüğe sahiptirler. Kalsiyum tuzları çökeldikten sonra bir kısmı çözeltide kalmaya devam ederler. Doğal sularda 100 ppm'e kadar değişen derişimlerde bulunan magnezyum, suların sertliğini oluşturan diğer bir iyondur. Kalsiyum ve magnezyumun zehirleyici özellikleri bulunmamaktadır (Doğan, 1981).

İnceleme alanının, karbonatça zengin birimlerden oluşması nedeniyle sıcak su kaynaklarında ve soğuk su kaynaklarında hakim katyon kalsiyumdur. Sarıkaya Kaplıcaları bölgesinde yer alan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucunda kalsiyum değerleri 83-100.8 ppm aralığında, soğuk su kaynaklarında ise 58-101.5 ppm aralığında değişim göstermektedir. Magnezyum derişimleri ise sıcak ve mineralli sularda 4.5-7.0 ppm aralığında, soğuk su kaynaklarında ise 2.5-17.2 ppm aralığında değişim göstermektedir.

### **Alkalinite ( $\text{HCO}_3^-$ ve $\text{CO}_3^{2-}$ )**

Suların alkalitesi, içerdiği çözünmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötralleştirme kapasitesidir. Hemen hemen bütün doğal sularda, alkalinite karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) ve hidroksit ( $\text{OH}^-$ ) iyonlarından dolayı ortaya çıkmaktadır. Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel unsurlar, atmosferik karbondioksit ile toprakta ve doymun olmayan bölgede üretilen gazlardır. Bunun dışında biyolojik olarak oluşan sülfat indirgenmesi ile karbonat kayaçlarının metamorfizması sonucu da karbondioksit oluşabilmektedir.

Sarıkaya Kaplıcaları bölgesinde yer alan suların kimyasal analizleri sonucunda  $\text{HCO}_3^-$  değerleri; sıcak ve mineralli sularda 226-309 ppm, soğuk su kaynaklarında ise 191-325 ppm aralığında değişim göstermektedir.

#### **Klorür (Cl) ve Florür (F<sup>-</sup>)**

Klorürün doğadaki dağılımı oldukça geniştir. Klorür, esas olarak sedimanter kayalarda, özellikle evaporitlerde bulunur. Ayrıca, sodalit, biyotit, hornblend gibi magmatik kökenli minerallerde ve şeyllerde klorür iyonu bulunur. Kirlenmemiş doğal sularda klorür içeriği genellikle 10-20 ppm aralığındadır. Bu değer yağışın klorür içeriği ile yakından ilişkilidir. Florür, klorür gibi halojenler grubundan bir elementtir ancak doğal sularda bu iyon oldukça düşük derişimlerde bulunmaktadır.

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarındaki Cl derişimi  $\text{HCO}_3^-$ 'ten sonra en bol bulunan ikinci anyon olup derişimi 62-92 ppm, soğuk su kaynaklarında ise 2.8-47.8 aralığında değişim göstermektedir. Florür ise sıcak su ve soğuk su kaynaklarındaki derişimi 0.0-0.3 ppm aralığında değişim göstermektedir.

#### **Sülfat ( $\text{SO}_4$ )**

Kükürt elementi, indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayalarda yaygın olarak bulunmaktadır. Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozunduklar zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşur ve bu iyonlar suya geçmektedir.

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarında  $\text{SO}_4$  derişimi 46-62 ppm, soğuk su kaynak ve kuyularında ise 6.9-90.7 ppm aralığında değişim göstermektedir.

#### **4.2.2. Kirlilik Analizleri**

Sarıkaya Kaplıcaları bölgesinde yer alan kaynak ve kuyu sularında kirlilik tespitine yönelik örnekler derlenerek  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  ve  $\text{PO}_4$  ve analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.3). Bu analizler ile ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

### **Amonyum (NH<sub>4</sub>)**

Amonyum formu, sularda bulunan azotun en fazla indirgenmiş inorganik bileşiğidir. Çözünmüş amonyak (NH<sub>3</sub>) ve amonyum (NH<sub>4</sub>) iyonlarından oluşmaktadır. Doğal sulardaki amonyak derişimleri genellikle 0.1 ppm'den daha düşüktür. Yeraltısularındaki amonyak derişimi toprak tanelerinin ve kil minerallerinin adsorplanması nedeniyle daha düşüktür.

Amonyak içeren sularda bakteri üremesi nedeniyle dağıtım şebekelerinde bir takım sorunlar ortaya çıkmaktadır (McNeely et al., 1979). İçme ve kullanma suları standartlarında amonyum 0.5 mg/l yi aşmamalıdır (TS-266, 2005).

İnceleme alanındaki su noktalarında amonyum, Roma Hamamı (1.144 ppm), Yeni Kaplıca (0.855 ppm), Hacı Hasan Parkı kuyusu (0.811 ppm), Pliyosen çeşme (0.770 ppm) ve SK-1 kuyusunda (0.660 ppm) sınır değerlerinin üzerindedir. Bu kirlilik kuyu ve kaynak başı korunma önlemlerinin alınmayışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

### **Nitrit (NO<sub>2</sub>)**

Nitrit iyonu, sularda düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşiğidir. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan, amonyak ve nitrat arasında (nitrifikasyon) veya nitrat ve azotoksit arasında (denitrifikasyon) geçiş formu olarak bulunmaktadır. Suda nitritin bulunması organik kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik süreçlerin varlığını göstermektedir (McNeely et al., 1979). Nitrit insanlar ve hayvanlar için nitrattan daha fazla zehirleyicidir. Türkiye'de uygulanan standartlara göre, İçme ve kullanma suları standartlarında nitrit 0.5 ppm'i aşmamalıdır (TS 266, 2005). Yapılan ölçümlerde Sarıkaya Kaplıcaları'nda, soğuk sularda nitrit varlığına rastlanılmamıştır.

### **Nitrat (NO<sub>3</sub>)**

Nitrat iyonu, sularda bulunan bağlı azot bileşiklerinin en önemlisidir. Çoğu yüzey suları bir miktar nitrat iyonu içerir. Bununla birlikte, nitratın ana kaynaklarından biri insan ve hayvan atıkları olduğundan 5 ppm den fazla nitrat içeriği kirlenme göstergesi olabilir (McNeely et al., 1979). Öte yandan, magmatik ve volkanik gazlar sulardaki nitrata yerel olarak kaynaklık ederler. Yüzey ve yeraltısularındaki nitrat çoğunlukla organik veya insan kaynaklıdır. Bozunan bitkisel ve hayvansal

atıklar, endüstriyel atıksular, tarımda kullanılan gübreler, sulamadan dönen sular, atmosferik azotun yağışlarla yıkanması, yüzey ve yeraltısularındaki nitrati sağlayan başlıca kaynaklardır (Hem, 1985). Nitratın insan sağlığı üzerine olan etkileri gözönünde tutularak Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE), içme sularında nitrat iyonunun 50 ppm'den daha az olması gerektiğini önermişlerdir (TS 266, 2005). Çalışma alanındaki sıcak sularda nitrat derişimi belirlenen limitlerin altındadır. Ancak çevresel etkilere karşı koruma önlemlerinin alınmaması nitrat varlığının soğuk sulardan Pliyosen çeşme (63.664 ppm), Ortatepe çeşme (20.598 ppm) ve İllerbankası kuyularında (12.966 ppm) sınır değerlerinin üzerinde çıkmasına sebep olmaktadır.

Çizelge 4.3. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait kirlilik analiz sonuçları

| Örnek No | Örnek Adı               | Tür    | Tarih        | NH <sub>4</sub> (ppm) | NO <sub>3</sub> (ppm) | NO <sub>2</sub> (ppm) | PO <sub>4</sub> (ppm) |
|----------|-------------------------|--------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1-A      | Roma Hamamı             | Kaynak | Temmuz 2004  | 1.144                 | 0                     | 0                     | 0                     |
| 1-B      | Roma Hamamı             | Kaynak | Şubat 2005   | 0                     | 0.464                 | 0                     | 0                     |
| 1-C      | Roma Hamamı             | Kaynak | Nisan 2005   | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     |
| 1-D      | Roma Hamamı             | Kaynak | Mayıs 2005   | 0.323                 | 0                     | 0                     | 0                     |
| 1-E      | Roma Hamamı             | Kaynak | Ekim 2005    | 0.458                 | 0                     | 0                     | 0                     |
| 2-A      | Eski Kaplıca            | Kaynak | Temmuz 2004  | 0.435                 | 0.221                 | 0                     | 0                     |
| 2-B      | Eski Kaplıca            | Kaynak | Nisan 2005   | 0.100                 | 2.091                 | 0                     | 0                     |
| 2-C      | Eski Kaplıca            | Kaynak | Ekim 2005    | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     |
| 3-A      | Yeni Kaplıca            | Kaynak | Temmuz 2004  | 0.855                 | 0                     | 0                     | 0                     |
| 3-B      | Yeni Kaplıca            | Kaynak | Şubat 2005   | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     |
| 3-C      | Yeni Kaplıca            | Kaynak | Nisan 2005   | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     |
| 3-D      | Yeni Kaplıca            | Kaynak | Mayıs 2005   | 0                     | 0.783                 | 0                     | 0                     |
| 3-E      | Yeni Kaplıca            | Kaynak | Ekim 2005    | 0.595                 | 0                     | 0                     | 0                     |
| 4-A      | SK-1                    | Kuyu   | Nisan 2005   | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     |
| 4-B      | SK-1                    | Kuyu   | Ekim 2005    | 0.606                 | 0                     | 0                     | 0                     |
| 5-A      | SK-3                    | Kuyu   | Ağustos 2005 | 0.204                 | 2.586                 | 0                     | 0                     |
| 5-B      | SK-3                    | Kuyu   | Ekim 2005    | 0                     | 2.671                 | 0                     | 0                     |
| 6-B      | SK-4                    | Kuyu   | Ekim 2005    | 0.463                 | 0                     | 0                     | 0                     |
| 7-A      | Ateşler                 | Kuyu   | Nisan 2005   | 0                     | 0                     | 0                     | 0                     |
| 8-A      | Sinan Otel              | Kuyu   | Nisan 2005   | 0                     | 0.758                 | 0                     | 0                     |
| 9-A      | Pliyosen çeşme          | Kaynak | Temmuz 2004  | 0.770                 | 1.252                 | 0                     | 0                     |
| 9-B      | Pliyosen Çeşme          | Kaynak | Ekim 2005    | 0                     | 63.664                | 0                     | 0                     |
| 10-A     | Orta Tepe Çeşme         | Kaynak | Temmuz 2004  | 0.306                 | 0.355                 | 0                     | 0                     |
| 10-B     | Orta Tepe Çeşme         | Kaynak | Ekim 2005    | 0.019                 | 20.568                | 0                     | 0                     |
| 11-A     | İller Bankası Kuyusu    | Kuyu   | Temmuz 2004  | 0.374                 | 0.252                 | 0                     | 0                     |
| 11-B     | İller Bankası Kuyusu    | Kuyu   | Ekim 2005    | 0.113                 | 12.966                | 0                     | 0                     |
| 12-A     | Hacı hasan Parkı Kuyusu | Kuyu   | Temmuz 2004  | 0.811                 | 0                     | 0                     | 0                     |
| 13-A     | Yağmur Suyu             | Yağış  | Temmuz 2004  | 0.758                 | 0.076                 | 0                     | 0                     |

## **Fosfat (PO<sub>4</sub>)**

Fosfor magmatik kayalarda bulunan en yaygın elementlerden biridir. Sedimanlar içinde de oldukça yaygın olmasına karşın doğal sulardaki fosfat derişimi 1 ppm'nin çok altındadır (Hem, 1985). Yüzey ve yeraltısularındaki fosfat, kayalardan ve topraktan, bozunan bitkisel ve hayvansal atıklardan, kullanılan gübrelerden kaynaklanabilir. Ortamda yeterli miktarda azot bulunduğunda 0.1 ppm üzerindeki fosfor derişimleri çamur oluşumuna ve alg çoğalmasına neden olarak suyun içme, endüstriyel ve banyo amacıyla kullanımını etkilemektedir (McNeely et al., 1979). TSE standartlarında fosfat için bir sınır verilmemiştir.

Yapılan ölçümlerde Sarıkaya Kaplıcaları'nda ve diğer kaynaklarda fosfat varlığına rastlanılmamıştır

**Bakteriyolojik analizler;** Sarıkaya Sağlık Grup Başkanlığı tarafından Eski ve Yeni Kaplıca kaynaklarından alınan su numuneleri Yozgat İli Sağlık Müdürlüğü Halk Sağlığı Laboratuvarında tahlil edilmiştir. Buna göre, kaynak sularında çoğu zaman, özellikle yaz aylarında bakteriyolojik kirlilik tespit edilmektedir. Bu kaynaklar; yerleşim merkezinde yer aldığından koruma alanları ile ilgili önlemlerin alınması ve özellikle Boğazlıyanözü Deresinin ıslah edilmesi, beton kanala alınması gerekmektedir. Kirlenmenin önlenmesi için sondaj kuyusu yoluyla sıcaksu üretimi en iyi çözüm olarak gözükmektedir.

### **4.2.3 Ağır Metal Analizleri**

Doğal sularda bulunan majör iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadırlar. Demir dışında diğer ağır metaller sularda genellikle 1 ppm'den daha düşük derişimlerde bulunur (Freeze and Cherry, 1979). Doğal sulara, evsel ve endüstriyel atıksular ve madencilik faaliyetleri atıkları aracılığı ile bazen önemli miktarlarda ağır metal katılabilir. Suyun dolaşımı sırasında temasta bulunduğu litolojik birimlerin yapısı da, sulardaki ağır metal içeriğinin kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Sarıkaya Kaplıcaları bölgesinde bulunan sularda ağır metal olarak demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu), çinko (Zn), krom (Cr), kurşun (Pb), nikel (Ni) ve kadmiyum (Cd) analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.4).

### **Demir(Fe) ve Mangan (Mn)**

Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalardaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunan bir element olan demir miktarının bazı termal kaynaklarda 10-100 ppm arasında değiştiği bildirilmektedir (McNeely et al., 1979). İçme ve kullanma suları standartlarında demir ve mangan 0.05 mg/l'yi aşmamalıdır (TS 266, 2005). Demirin su içerisindeki çözünürlüğü ortamın pH ve redoks koşullarına bağlıdır.

Mangan ise genel olarak metamorfik ve magmatik kayalarda olivin, piroksen ve amfibol minerallerinde bulunur. Yeraltısularında bulunan Mn miktarı su içerisinde çözünmüş oksijen miktarına bağlı olarak değişmektedir. Mangan özünmüş oksijene doygun yeraltısularında çökelirken, oksijensiz ortamlarda demirle birlikte bol miktarda bulunmaktadır.

Sarıkaya Kaplıcaları bölgesinde yer alan suların kimyasal analizleri sonucunda demir değerleri; sıcak ve mineralli su kaynaklarında 0.1-3.5 ppm, soğuk su kaynaklarında ise 0-1.0.4 ppm aralığında değişim göstermektedir. Mangan içeriği ise sıcak ve mineralli su kaynaklarında 0.06-0.09 ppm, soğuk su kaynak ve kuyularında ise 0-0.4 ppm aralığında değişmektedir (izelge 4.4).

### **Bakır (Cu)**

Bakır, yerkabuğundaki kayalarda doğal bakır veya bakır içeren sülfür ve karbonat mineralleri halinde bulunur. Bununla birlikte, bakır minerallerinin çözünürlükleri çok düşük olduğundan, sulardaki bakırın çok az bir kısmı doğal kökenlidir (Hem, 1985). Çeşitli sanayi atıklarından gelebilen bakır için TSE içme suyu standartlarında 2 mg/l'yi aşmamalıdır (TS 266, 2005).

İnceleme alanında yapılan kimyasal analiz sonuçlarında dönemsel olarak bakır varlığına rastlanılmaktadır. Ancak bu değer, 0.05 ppm'den daha az miktarda bulunmaktadır.

### **Krom (Cr)**

Suların bileşiminde bulunan krom, kayalardan, endüstriyel atıklardan ve tarımdan kaynaklanabilir. Doğal sulardaki derişimi genellikle 0.01 ppm'nin altındadır. Bununla birlikte suyun temasta olduğu kayacın bileşimine bağlı olarak bu derişim

0.2 ppm'ye kadar artabilmektedir. Türkiye'de içme suyu standartlarında krom içeriği için önerilen üst sınır 0.05 ppm olarak verilmektedir. (TS 266, 2005). İnceleme alanında yapılan kimyasal analiz sonuçlarında krom varlığına dönemsel olarak rastlanmıştır ve bu değer, 0.02 ppm'den daha az miktarda bulunmaktadır.

### **Kurşun (Pb)**

Birçok kayaç oluşturan mineralin asıl yapısında yer alan kurşun, sulara doğal olarak bulunmakta ve kayaçlardan ve insan faaliyetlerinden sağlanmaktadır. Doğal sulardaki kurşun nadir olarak yüksek değerlere ulaşır. İnsan vücudunda birikim yaparak zehirli bir etkiye sahip olan kurşun için TSE, içme suyu standartlarında izin verilebilir üst sınır olarak 0.05 ppm derişimini önermiştir. İnceleme alanında sadece SK-4 kuyusunda (0.024 ppm) ve Pliyosen çeşme'de (0.036 ppm) kurşun varlığına rastlanılmıştır. Diğer sıcaksu kaynak ve kuyularında, soğuk su kaynaklarında ve yağmur suyunda kurşun varlığına rastlanılmamıştır.

### **Çinko (Zn)**

Doğal sulara bulunan çinko genellikle, suyun temasta olduğu kayaçlardan, topraktan, endüstriyel atıklardan, gübreden ve atmosferden kaynaklanabilir. Çinko, insan için görece olarak zehirli olmayan bir element olup 25 mg/l derişimlere kadar büyük bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir (McNeely et al., 1979). İçme ve kullanma suları standartlarında çinko 5 mg/l'yi aşmamalıdır (TS 266, 2005).

İnceleme alanındaki sıcak sulara Zn derişimi 0.025 ppm'den daha düşük miktarlarda bulunmaktadır. Soğuk sulara ise Zn derişimi 0.018-1.816 ppm arasında değişim göstermektedir (Çizelge 4.4).

### **Nikel (Ni)**

Nikel, magmatik kayaçlarda bulunan birçok mineralin yapısında bulunmaktadır. TSE (2005) tarafından nikel için herhangi bir sınır değeri verilmemiş olan nikelin doğal sulara, 1 mg/l' ye kadar yükselen derişimleri yanında, genellikle 0.005 ile 0.020 mg/l arasındaki derişimlerde bulunduğu belirlenmiştir (WHO, 1993). İçme ve kullanma suları standartlarında nikel 0.02 mg/l'yi aşmamalıdır (TS 266, 2005).

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su kaynak ve kuyularında dönemsel olarak Ni derişimi ölçölmüştür ve bu derişimler 0,031 ppm'den düşük miktarlardadır. (Çizelge 4.4).

### **Kadmiyum (Cd)**

Kadmiyum yerkabuğunda eser miktarda bulunan ve özellikleri çinkoya benzeyen bir elementtir. Doğal suların kadmiyum içerikleri genellikle 0.001 ppm daha azdır. Bununla birlikte bazı sularda 0.01 ppm'ye kadar ulaşan derişimlerde bulunabilmektedir (McNeely et al., 1979). TSE, içme suyu standartları için kadmiyum derişimi üst sınırını 0.005 ppm olarak belirlemiştir.

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarında dönemsel olarak Cd varlığına rastlanılmıştır. Ancak bu derişimler 0.017 ppm'den daha az miktarlarda ölçölürken, soğuk su kaynaklarında Cd varlığına rastlanılmamıştır.

Çizelge 4.4. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait ağır metal, SiO<sub>2</sub> ve B analiz sonuçları

| Örnek No | Ornek Adı      | Tür    | Tarih        | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Cr (ppm) | Pb (ppm) | Ni (ppm) | Cd (ppm) | Li (ppm) | B (ppm) | SiO <sub>2</sub> (ppm) |
|----------|----------------|--------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|------------------------|
| 1-A      | Roma Hamamı    | Kaynak | Temmuz 2004  | 0.293    | 0.053    | 0.017    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.045    | 1.402   | 34.941                 |
| 1-B      | Roma Hamamı    | Kaynak | Şubat 2005   | 0.111    | 0.052    | 0        | 0.009    | 0        | 0        | 0.025    | 0        | 0.047    | 0       | 47.098                 |
| 1-C      | Roma Hamamı    | Kaynak | Nisan 2005   | 0.332    | 0.064    | 0        | 0.004    | 0.015    | 0        | 0        | 0.013    | 0.032    | 2.332   | 33.127                 |
| 1-D      | Roma Hamamı    | Kaynak | Mayıs 2005   | 1.013    | 0.091    | 0        | 0.007    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.028    | 0       | 35.491                 |
| 1-E      | Roma Hamamı    | Kaynak | Ekim 2005    | 0.181    | 0.058    | 0        | 0.01     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.050    | 1.338   | 22.514                 |
| 2-A      | Eski Kaplıca   | Kaynak | Temmuz 2004  | 0.281    | 0.062    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.039    | 1.384   | 38.060                 |
| 2-B      | Eski Kaplıca   | Kaynak | Nisan 2005   | 0.179    | 0.046    | 0.011    | 0.011    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.038    | 2.589   | 33.982                 |
| 2-C      | Eski Kaplıca   | Kaynak | Ekim 2005    | 0.049    | 0.057    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.054    | 0.574   | 36.076                 |
| 3-A      | Yeni Kaplıca   | Kaynak | Temmuz 2004  | 0.286    | 0.062    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.046    | 1.108   | 39.468                 |
| 3-B      | Yeni Kaplıca   | Kaynak | Şubat 2005   | 0.180    | 0.055    | 0        | 0.010    | 0        | 0        | 0.023    | 0        | 0.040    | 0       | 47.601                 |
| 3-C      | Yeni Kaplıca   | Kaynak | Nisan 2005   | 0.327    | 0.055    | 0.011    | 0.011    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.044    | 2.267   | 35.541                 |
| 3-D      | Yeni Kaplıca   | Kaynak | Mayıs 2005   | 0.528    | 0.05     | 0        | 0.007    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.024    | 0.151   | 32.473                 |
| 3-E      | Yeni Kaplıca   | Kaynak | Ekim 2005    | 0.106    | 0.059    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.052    | 0       | 42.413                 |
| 4-A      | SK-1           | Kuyu   | Nisan 2005   | 0.669    | 0.062    | 0.014    | 0.014    | 0        | 0        | 0        | 0.014    | 0.028    | 2.258   | 33.378                 |
| 4-B      | SK-1           | Kuyu   | Ekim 2005    | 0.412    | 0.069    | 0        | 0.007    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.056    | 0.795   | 36.547                 |
| 5-A      | SK-3           | Kuyu   | Ağustos 2005 | 0.359    | 0.022    | 0        | 0.025    | 0.019    | 0        | 0.031    | 0        | 0.006    | 0       | 15.322                 |
| 5-B      | SK-3           | Kuyu   | Ekim 2005    | 0.036    | 0.019    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.979   | 14.316                 |
| 6-B      | SK-4           | Kuyu   | Ekim 2005    | 0.036    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.024    | 0        | 0        | 0.027    | 0.685   | 24.777                 |
| 7-A      | Ateşler        | Kuyu   | Nisan 2005   | 3.508    | 0.165    | 0.016    | 0.101    | 0        | 0        | 0        | 0.017    | 0.050    | 2.102   | 45.55                  |
| 8-A      | Sinan Otel     | Kuyu   | Nisan 2005   | 0.206    | 0.064    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.009    | 0.037    | 4.889   | 26.99                  |
| 9-A      | Pliyosen çeşme | Kaynak | Temmuz 2004  | 0        | 0.008    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.010    | 0.988   | 15.509                 |

Çizelge 4.4. (devam ediyor)

| Örnek No | Ornek Adı               | Tür    | Tarih       | Fe (ppm) | Mn (ppm) | Cu (ppm) | Zn (ppm) | Cr (ppm) | Pb (ppm) | Ni (ppm) | Cd (ppm) | Li (ppm) | B (ppm) | SiO <sub>2</sub> (ppm) |
|----------|-------------------------|--------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|------------------------|
| 9-B      | Pliyosen Çeşme          | Kaynak | Ekim 2005   | 0.047    | 0.014    | 0        | 0.022    | 0        | 0.036    | 0        | 0        | 0        | 0.777   | 25.733                 |
| 10-A     | Orta Tepe Çeşme         | Kaynak | Temmuz 2004 | 0        | 0.025    | 0.011    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.906   | 19.148                 |
| 10-B     | Orta Tepe Çeşme         | Kaynak | Ekim 2005   | 0.029    | 0.025    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.001    | 1.301   | 28.097                 |
| 11-A     | İller Bankası Kuyusu    | Kuyu   | Temmuz 2004 | 0        | 0.042    | 0.054    | 0.008    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1.025   | 12.228                 |
| 11-B     | İller Bankası Kuyusu    | Kuyu   | Ekim 2005   | 0.018    | 0        | 0        | 1.816    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.002    | 0       | 9.990                  |
| 12-A     | Hacı hasan Parkı Kuyusu | Kuyu   | Temmuz 2004 | 1.048    | 0.477    | 0.014    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.041    | 0.823   | 43.492                 |
| 13-A     | Yağmur Suyu             | Yağış  | Temmuz 2004 | 0.61     | 0.047    | 0        | 0.013    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0.002    | 0       | 2.834                  |

### 4.3. Sıcak Su Kaynaklarının Kökeni

İnceleme alanından derlenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk sular için yapılan kimyasal analiz sonuçları ile Sarıkaya jeotermal alanı içerisindeki sıcak su kaynaklarının kimyasal özellikleri ve litoloji ile olan ilişkileri incelenmiştir. Bu amaçla, yapılan kimyasal analiz sonuçlarından hazırlanan Piper ve Schoeller diyagramları ile sıcak ve soğuk su kaynaklarının birbirleri ile olan benzerlik ve farklılıkları gibi ilişkiler incelenmiştir.

#### 4.3.1. Su kaynaklarının iyon karakteristikleri

Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının iyon içeriklerinin meq/l derişimine göre hakim katyon sıralaması  $Ca > Na+K > Mg$  ve anyon sıralaması ise  $HCO_3 > Cl > SO_4$  şeklindedir. Soğuk su kaynakları ise hakim katyon Ca ve hakim anyon  $HCO_3$  olup beslendikleri birimlerin litolojik özelliklerine bağlı olarak iyon dizilimleri de değişmektedir. İnceleme alanındaki sıcak su akiferi olan şist ve mermerlerden beslenen Orta Tepe çeşme soğuk su örneğinin Temmuz 2004 ölçümlerine göre iyon dizilimi sıcak su kaynaklarından farklı,  $Ca > Mg > Na+K$  ve  $HCO_3 > SO_4 > Cl$  şeklindedir.

Sıcak su kaynaklarında hakim katyonun Ca, hakim anyonun ise  $HCO_3$  olması sıcak su akiferinin Ca- $CO_3$  fasiyesindeki birimlerden (Paleozoyik mermerler) oluşmasından kaynaklanmaktadır.

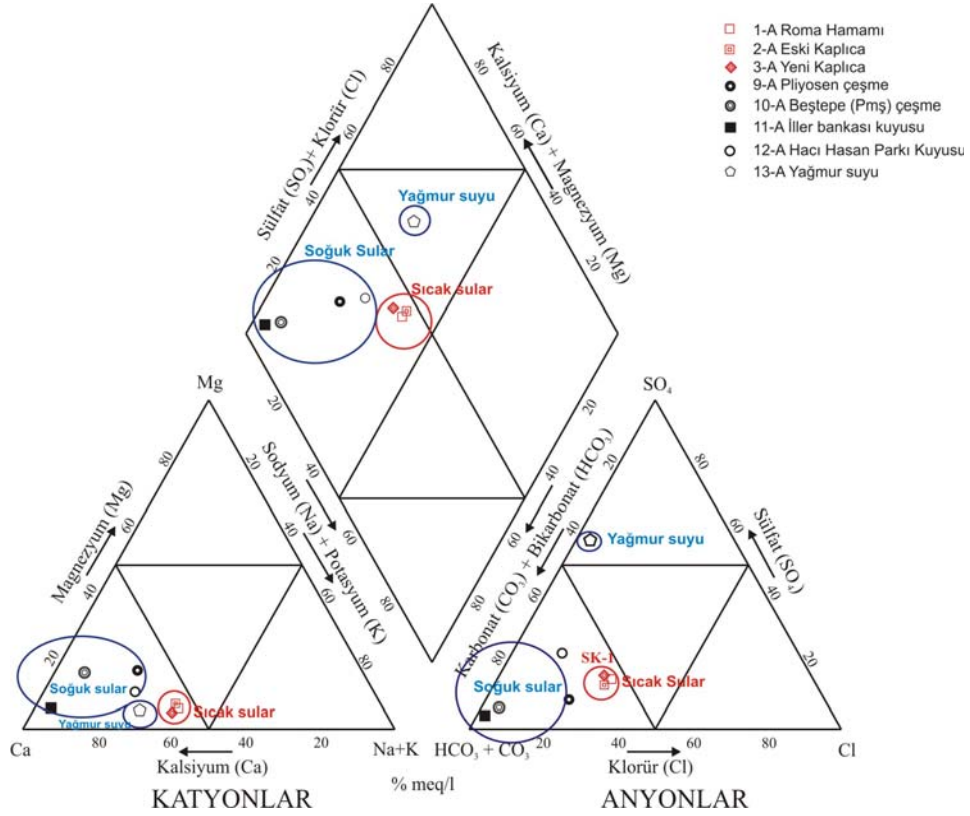
#### 4.3.2. Piper Diyagramı

Sıcak su kaynaklarının litoloji ile ilişkileri ve dolaşım sistemleri boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal evrim süreçleri Piper diyagramı kullanılarak açıklanmaya çalışılmıştır (Şekil 4.3a,b ve c).

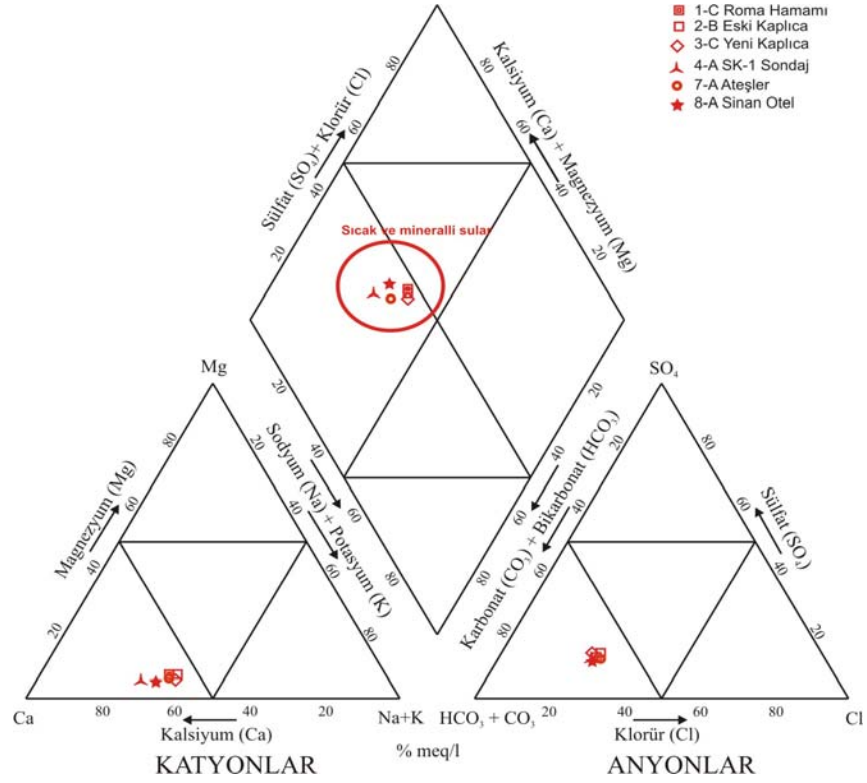
Bölgedeki sıcak su kaynaklarının aynı bölgede kümelenmeleri bu suların aynı kökene sahip oldukları anlamına gelmektedir. Yukarıda sözü edilen iyon dizilimlerine benzer bir şekilde sıcak su kaynaklarının Ca- $HCO_3$  tipi sular sınıfına girmeleri, bu kaynakların karbonat kökenli bir akiferden beslediğini göstermektedir.

Bölgedeki soğuk su kaynakları ise genel olarak Ca+Mg- $HCO_3$  tipi sular sınıfına girmektedirler. Bölgede düşük sıcaklık ve düşük iyonik içeriğe sahip soğuk su kaynakları sığ dolaşimli yeraltısuyu sisteminden, yüksek sıcaklık ve yüksek iyonik

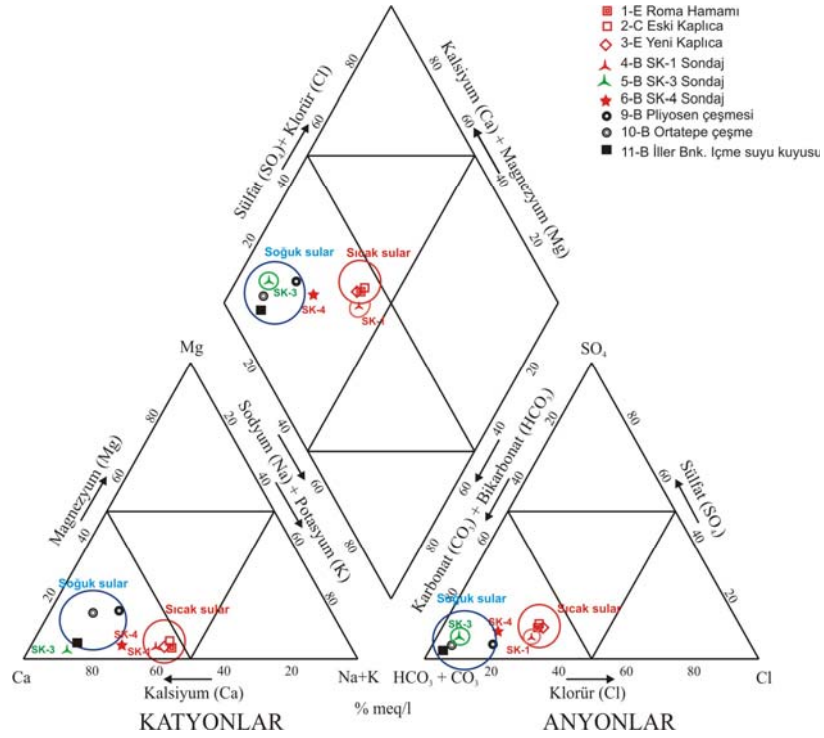
içeriğe sahip sıcak su kaynakları derin dolaşimli yeraltısuyu sistemine geçildikçe iyonik içerikte belirgin bir artış ile birlikte iyonik bileşimde de bir değişim meydana geldiği görülmektedir. SK-3 kuyusu ılık suyunda düşük Cl değeri, sıcaksulara oranla daha sık dolaşımı ve soğuk sularla çok büyük oranda karışımı göstermektedir. SK-4 kuyusu sıcak suyu ise iyonik bileşimi bakımından sıcak su kaynaklarına benzemekte ve soğuk su karışımı göstermektedir.



Şekil 4.3a. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Piper diyagramı (Temmuz 2004)



Şekil 4.3b. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Piper diyagramı (Nisan 2005)

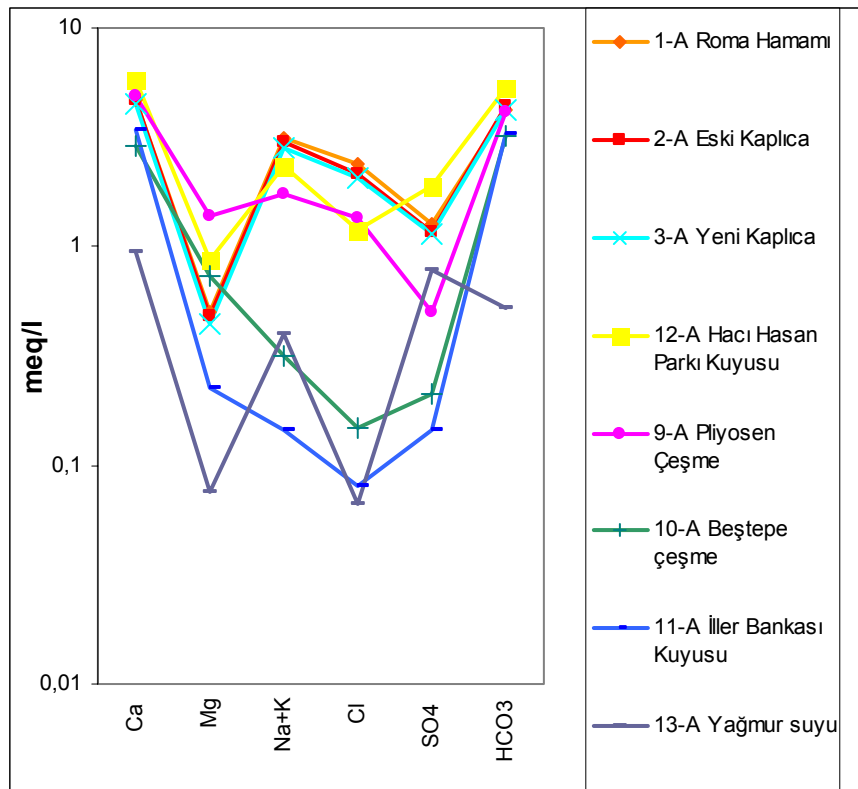


Şekil 4.3c. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Piper diyagramı (Ekim 2005)

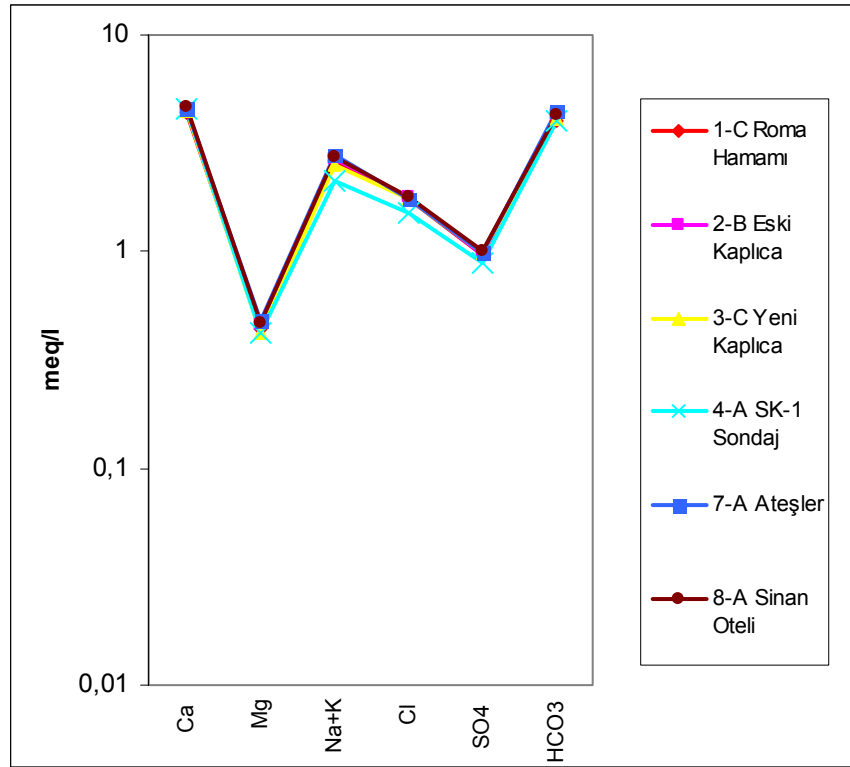
#### 4.3.3. Schoeller Diyagramı

Sıcak su kaynaklarının birbirleri arasındaki kökensel benzerlik ve farklılıklarını belirlemek amacıyla Schoeller diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 4.4a,b ve c). Bu diyagramda bölgedeki sıcak su kaynaklarının benzer kökenlere sahip oldukları, yüksek Na+K ve Cl derişimleri ile soğuk su kaynaklarından belirgin bir şekilde ayrıldıkları görölmektedir.

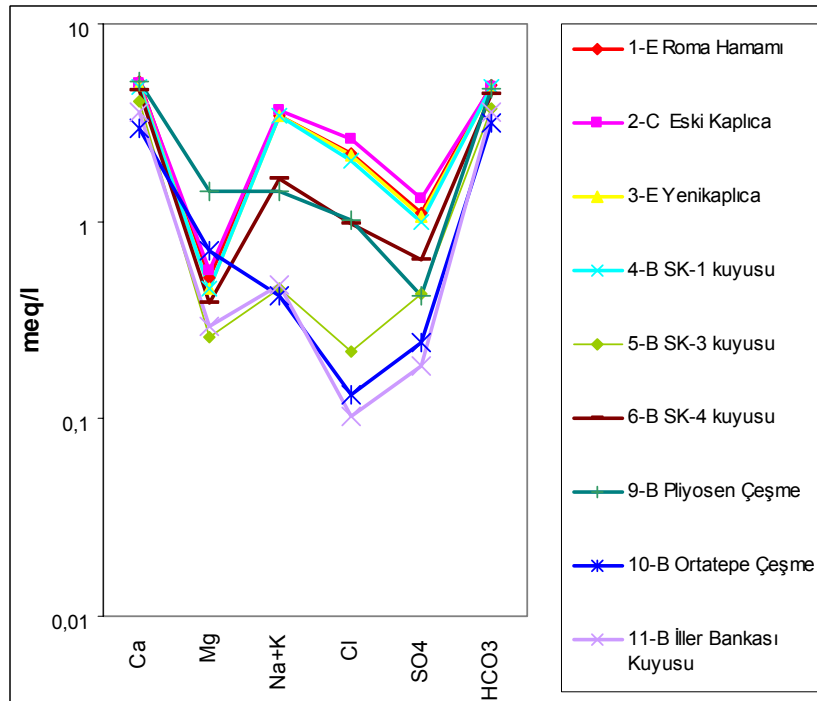
SK-4 ve SK-1 kuyularından alınan sıcak ve mineralli sular iyonik bileşimi bakımından kaplıca kaynaklarına benzemekte ancak soğuk yeraltısuyu karışımı göstermektedir. Kuyularda sıcaklık arttıkça mineral derişimi artmaktadır. Soğuk sularda mineral derişimi biraz daha az olduğundan, sıcak orijinal suya soğuk yeraltısuyunun karışma oranına göre suların sıcaklıkları ve çözünmüş madde konsantrasyonları birbirleri ile uyumlu olarak azalmaktadır.



Şekil 4.4a. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Schoeller diyagramı (Temmuz 2004)



Şekil 4.4b. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Schoeller diyagramı (Nisan 2005)



Şekil 4.4c. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Schoeller diyagramı (Ekim 2005)

#### 4.4. Sulama Suyu Sınıflandırılması

Sarıkaya jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının tarımda sulama suyu olarak kullanımı ABD Tuzluluk Laboratuvarı sistemi ve Wilcox grafik sistemine göre değerlendirilmiştir.

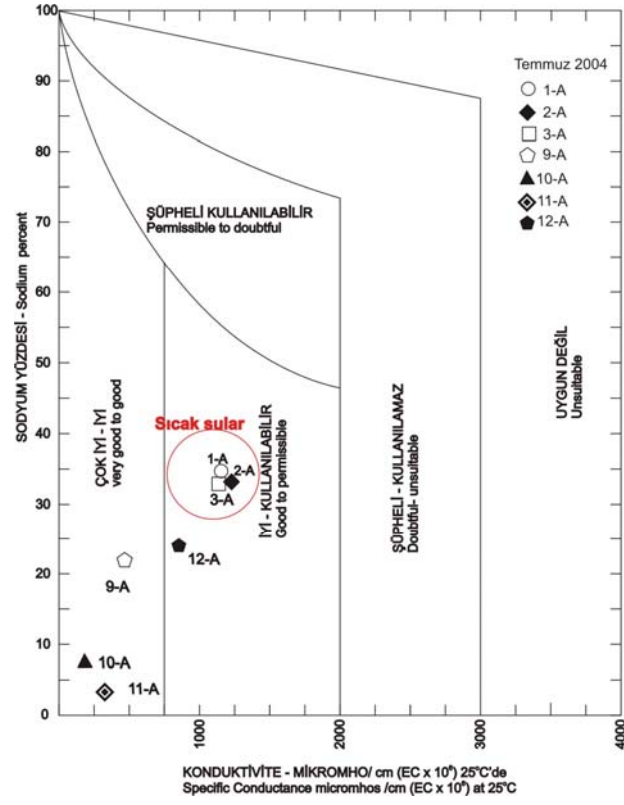
##### 4.4.1. Wilcox Diyagramı

Wilcox diyagramında; Sodyum yüzdesi (%Na) ve Elektriksel iletkenlik (Eİ) mikrosiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) değerleri suların sulama suyu olarak kullanımı için Çok İyi - İyi Kullanılabilir, Şüpheli Kullanılabilir, Şüpheli Kullanılamaz ve Uygun Değil gibi bölümleri kapsamaktadır. Sodyum yüzdesi; suyun toplam major katyonları içinde %Na değerini ifade eder. İyon derişimleri meq/l olmak üzere;

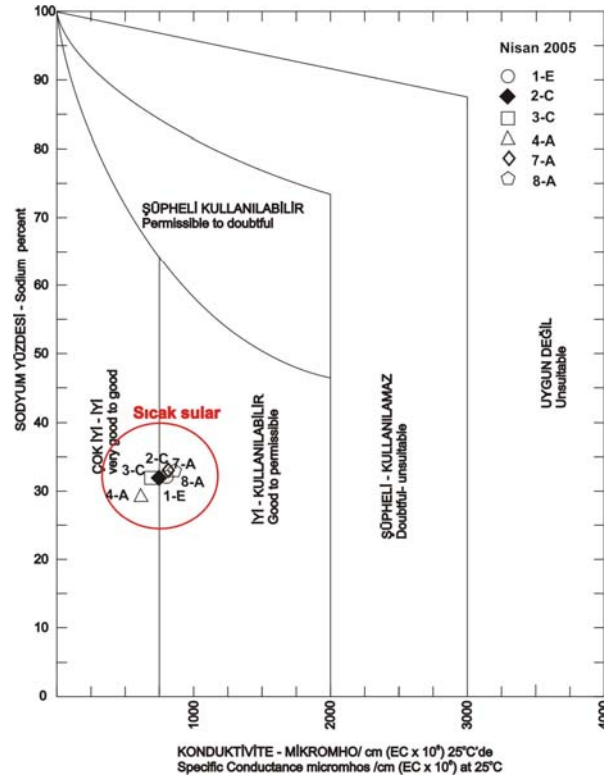
$$\% \text{ Na} = 100 \times \text{Na} / (\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) \quad (4.1)$$

eşitliğiyle hesaplanabilir.

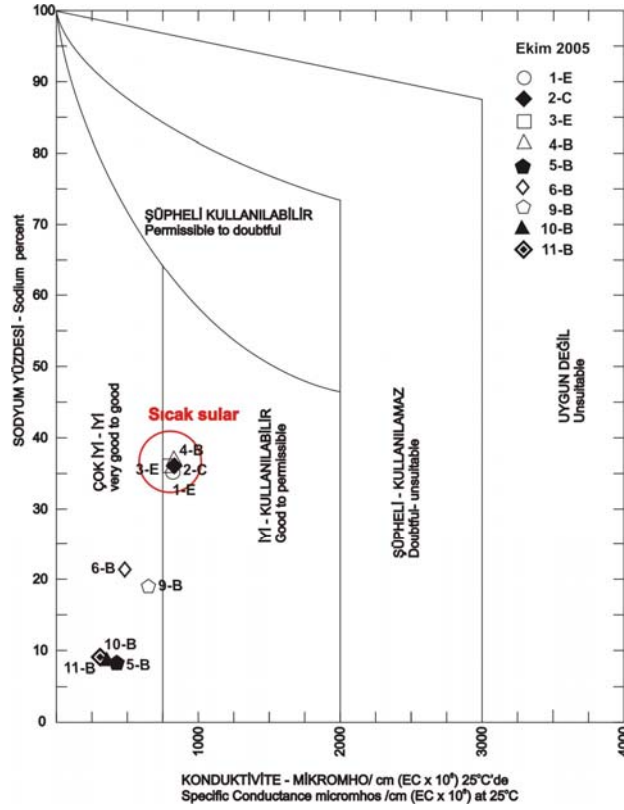
Sarıkaya jeotermal alanındaki sıcak su kaynakları ile civardaki soğuk su kaynakları ve yüzey sularının diyagram üzerinde kümelenmeleri değerlendirildiğinde soğuk su kaynak ve kuyu sularının az tuzluluk (Eİ: 200-800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ve düşük sodyum yüzdesine sahip oldukları, dolayısıyla Çok İyi – İyi Kullanılabilir bölümünde, sıcak su kaynakları ise nispeten yüksek Eİ ve sodyum yüzdeleri ile İyi–Kullanılabilir bölümünde yer aldıkları belirlenmiştir (Şekil 4.5a,b,c).



Şekil 4.5a. Temmuz dönemi sularının Wilcox diyagramı.



Şekil 4.5b. Nisan (yağışlı) dönemi sularının Wilcox diyagramı.



Şekil 4.5c. Ekim dönemi sularının Wilcox diyagramı.

#### 4.4.2. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerinde Sodyum (Alkali) tehlikesi ve Tuzluluk tehlikesinin belirlenmesi amacıyla Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) ve Eİ Elektriksel iletkenlik değerleri işaretlenmiştir (Şekil 4.6a,b,c).

SAR; Sodyum iyonunun iyon takası (ion exchange) reaksiyonlarındaki aktifliğinin ifadesi olup, sodiklik tehlikesi yönünden suların sınıflamasında kullanılan genel bir ölçüdür. Bikarbonat ve karbonat değerleri nispeten düşük olan suların değerlendirilmesi için SAR kullanılan bir kriterdir. İyon derişimleri meq/l olmak üzere;

$$SAR = Na / [ (Ca + Mg) / 2 ]^{1/2} \quad (4.2)$$

eşitliğiyle hesaplanabilir.

SAR kavramı sodyumu tek başına değil, Ca ve Mg ile karşılıklı etkileşimi ve katyon takas reaksiyonlarındaki aktifliğini dikkate aldığı için % Na'a göre daha hassastır. Ca ve Mg suda sodyum tehlikesini azaltıcı etki gösterir (Doğan 1981).

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

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

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

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

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

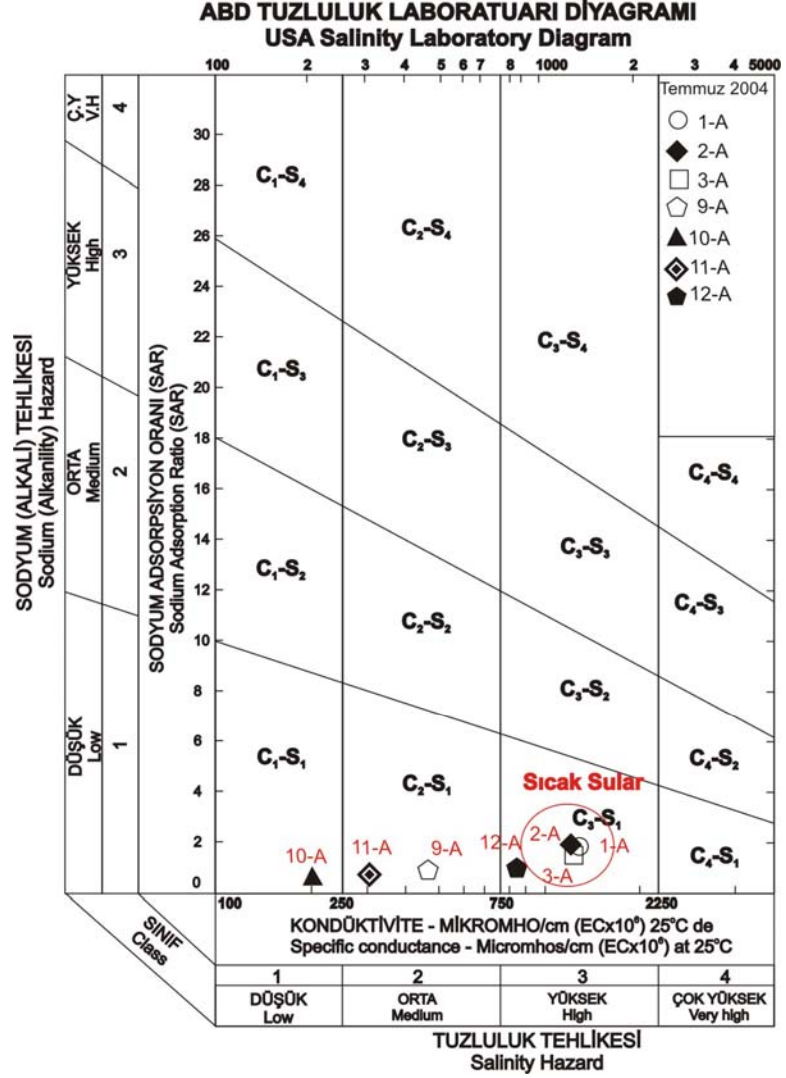
S2: Orta sodyumlu suyu temsil eder. Fazlaca derişebilir sodyum var demektir. İnce yapılı topraklarda, özellikle jips yönünden fakir topraklarda, önemli bir sodyum tehlikesi gösterebilir. S1: Az sodyumlu suyu göstermektedir. Bu sınıftaki bir su, sodyum tehlikesi yaratmaksızın kullanılabilir.

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

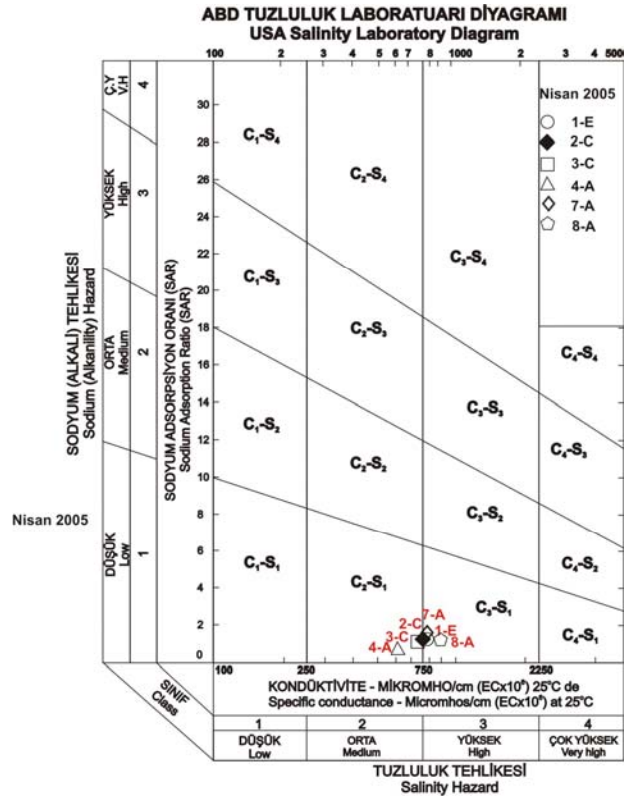
S4: Çok yüksek sodyumlu suları ifade eder. Sulama amaçlarına uygun değildir. Ancak tuzluluğun orta ve düşük olması, jipsle birlikte kullanılarak suda kimyasal değişiklikler yapılması gibi çok özel bazı hallerde kullanılabilir.

Sarıkaya jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk sularının, ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı üzerindeki dağılımlarının değerlendirilmesine göre: 10-A Orta Tepe çeşme nolu şist ve kuvarsitlerden beslenen soğuk su kaynağının düşük

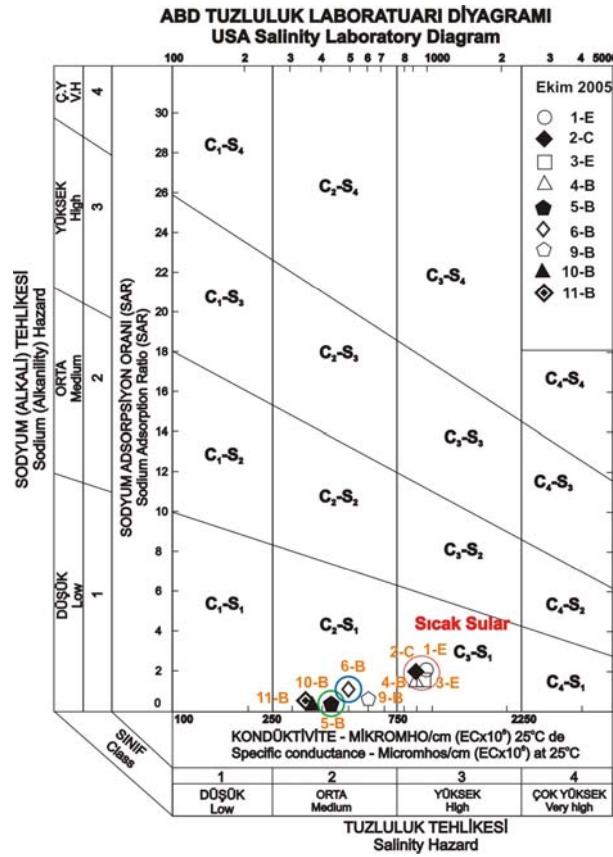
Eİ değeri ile C1-S1, diğer soğuk su örnekleri, SK-3 ve SK-4 kuyu suları C2-S1, nispeten yüksek Eİ değerleri nedeniyle sıcak su kaynakları C3-S1 sınıfında yer almaktadır.



Şekil 4.6a. Temmuz dönemi sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.



Şekil 4.6b. Nisan dönemi sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.



Şekil 4.6c. Ekim dönemi sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.

#### 4.5. Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarında Görülen Dönemsel Değişimler

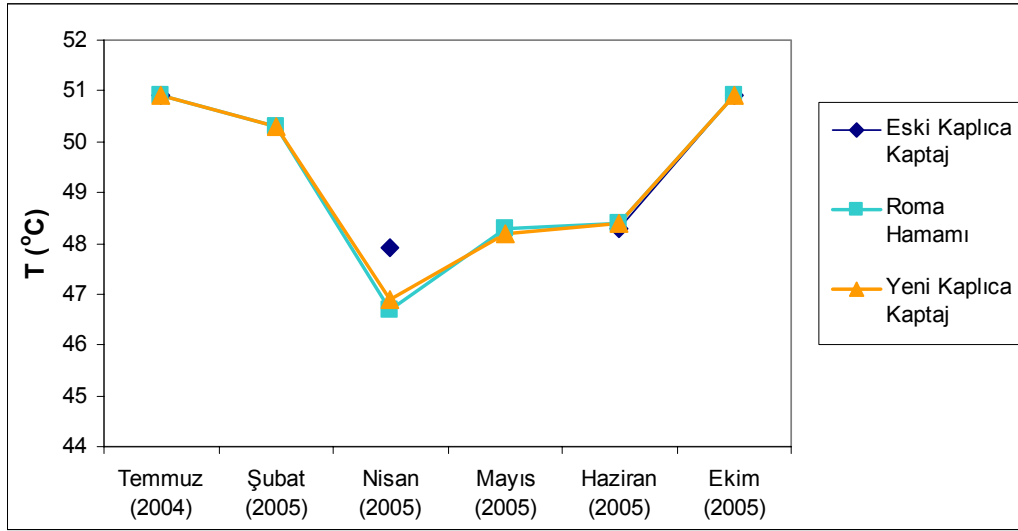
Sarıkaya sıcak ve mineralli su kaynakları kimyasal açıdan birbirleri ile benzerlik göstermektedir. Ancak dönemsel olarak sıcaklık ve elektriksel iletkenlik değerlerinde değişimler meydana gelmekte ve soğuk yeraltısuyunun karışım oranına bağlı olarak çözünmüş madde konsantrasyonları birbirleri ile uyumlu olarak azalmaktadır. Yağışlı dönemlerde özellikle bahar aylarında kar sularının erimesi ve yağmur suyu nedeniyle yeraltısı seviyesinin yükselmesine bağlı olarak sıcak su kaynaklarına soğuk su karışım oranı artmış ve buna bağlı olarak sıcaklık ve elektriksel iletkenlik değerleri düşmüştür (Şekil 4.7,4.8). Çalışma alanında ölçülen dönemsel sıcaklık ve elektriksel iletkenlik değerleri Çizelge 4.5 ve 4.6'da sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Sarıkaya sıcak su kaynaklarında görülen dönemsel sıcaklık değerleri

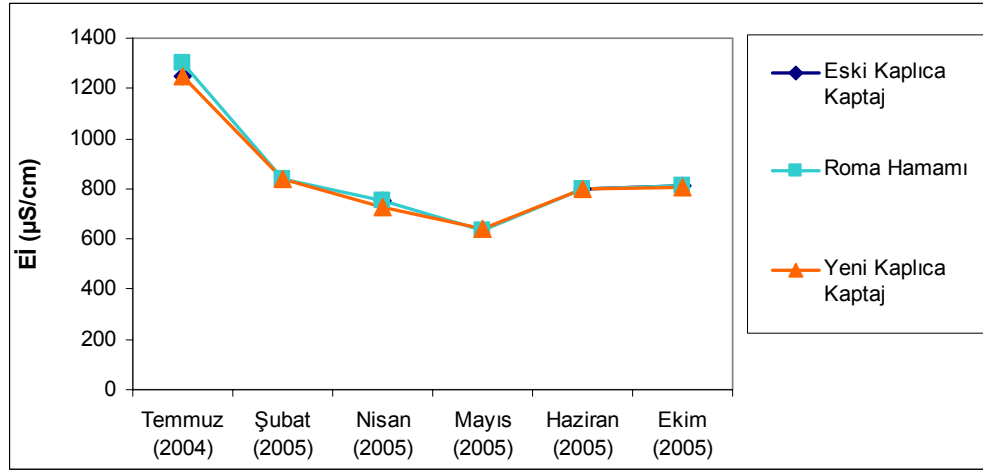
| Kaynaklar           | Sıcaklık değerleri (°C) |              |              |              |                |             |
|---------------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|-------------|
|                     | Temmuz (2004)           | Şubat (2005) | Nisan (2005) | Mayıs (2005) | Haziran (2005) | Ekim (2005) |
| Eski Kaplıca Kaptaj | 50.9                    | -            | 47.9         | -            | 48.5           | 50.9        |
| Roma Hamamı         | 50.9                    | 50.3         | 46.7         | 48.3         | 48.4           | 50.9        |
| Yeni Kaplıca Kaptaj | 50.9                    | 50.3         | 46.9         | 48.2         | 48.4           | 50.9        |

Çizelge 4.6. Sarıkaya sıcak su kaynaklarında görülen dönemsel elektriksel iletkenlik değerleri

| Kaynaklar           | Elektriksel İletkenlik Değerleri (µS/cm) |              |              |              |                |             |
|---------------------|------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|-------------|
|                     | Temmuz (2004)                            | Şubat (2005) | Nisan (2005) | Mayıs (2005) | Haziran (2005) | Ekim (2005) |
| Eski Kaplıca Kaptaj | 1250                                     | -            | 750          | -            | 800            | 814         |
| Roma Hamamı         | 1300                                     | 840          | 755          | 637          | 800            | 812         |
| Yeni Kaplıca Kaptaj | 1250                                     | 841          | 726          | 640          | 800            | 805         |



Şekil 4.7. Sarıkaya sıcaksu kaynaklarında görülen dönemsel sıcaklık değişimi



Şekil 4.8. Sarıkaya sıcaksu kaynaklarında görülen dönemsel elektriksel iletkenlik değişimi

#### 4.6. Suların mineral doygunlukları

Yeraltısularında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam ile kabuklaşma ve korozyon problemlerinin önceden tahmin edilebilmesi için suların mineral doygunluk durumları araştırılmaktadır. İnceleme alanındaki sıcak su rezervuarının muhtemelen Paleozoyik mermerler olması nedeniyle sıcak suların özellikle kalsit, dolomit gibi karbonat minerallerine göre doygunluk durumları incelenmiştir.

Su-mineral denge durumu kısaca doygunluk indisi (Saturation Index: SI) her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişir. Termodinamik

yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indisi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır.

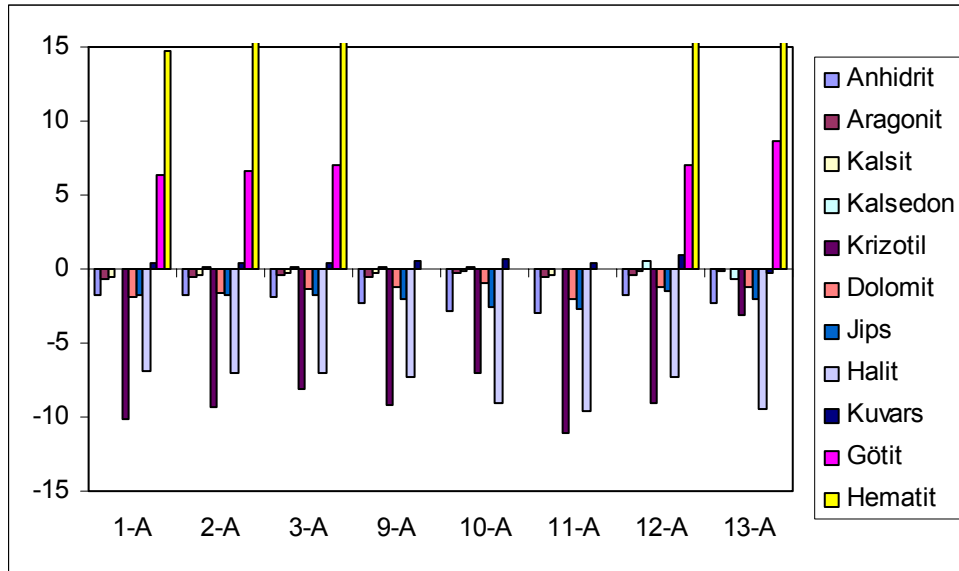
**SI = 0** ise su ile ilgili mineral dengededir

**SI > 0** ise su ilgili minerale aşırı doygundur (mineral çöktürücü özelliktedir)

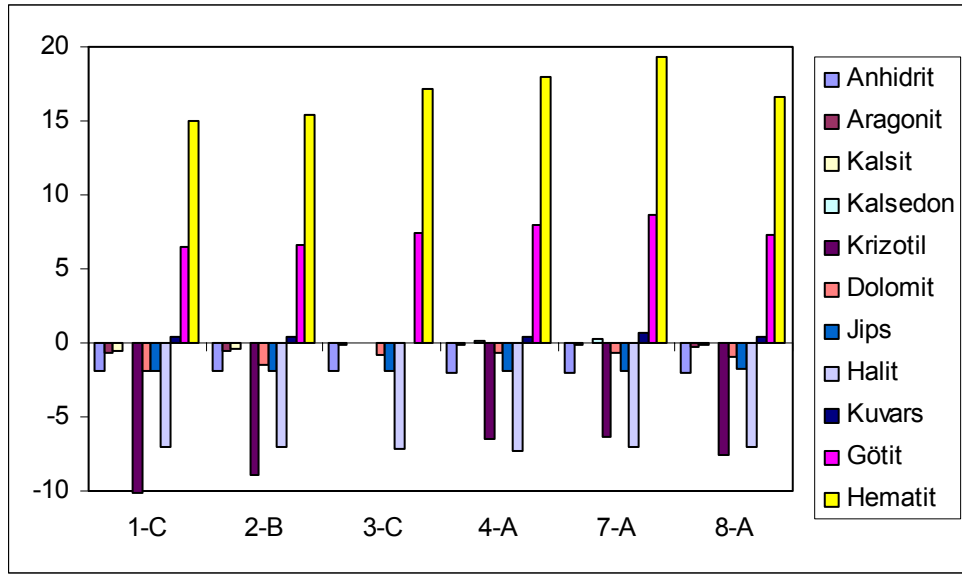
**SI < 0** ise su ilgili minerale doygun değildir (mineral çözücü özelliktedir).

İnceleme alanında sıcak su kaynakları ile birlikte soğuk su kaynaklarının karbonat mineralleri ile birlikte jips, anhidrit, hematit ve götit minerallerine göre doygunluk indisi değerleri hesaplanmıştır (Şekil 4.9a,b,c). Minerallerin doygunluk indisi hesaplamaları için PhreeqC (Parkhurst and Appelo, 1999) yazılımı ile Wateqf veritabanı kullanılmıştır. Hesaplamalarda örnekleme-analiz sürecinde meydana gelebilecek CO<sub>2</sub> kaybı düşünülerek, arazide ölçülen pH değerleri esas alınmıştır.

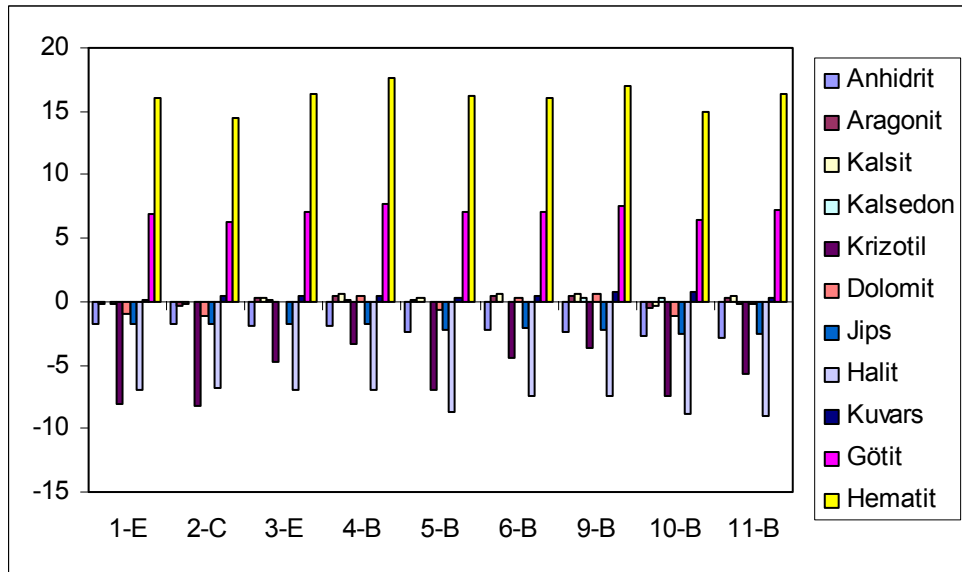
Yapılan doygunluk hesaplamalarında bölgedeki sıcak su kaynaklarının karbonat minerallerine doygun olmadıkları buna karşın demir minerallerine aşırı doygun durumda oldukları belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre, yüzeye çıkan sıcak suların kabuklaşma yapıcı özellikte olmadıkları belirlenmiştir.



Şekil 4.9a Temmuz dönemi Sarıkaya jeotermal alanındaki örneklerin mineral doygunluk durumları.



Şekil 4.9b. Nisan dönemi Sarıkaya jeotermal alanındaki örneklerin mineral doygunluk durumları.



Şekil 4.9c Ekim dönemi Sarıkaya jeotermal alanındaki örneklerin mineral doygunluk durumları.

#### 4.7. Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermal sular yeraltından yüzeye erişinceye kadar izledikleri yol boyunca temas ettikleri kayalarla ısı alışverişi ve soğuk yeraltısuları ile değişik oranlarda karışım sonucu soğuyarak rezervuardaki sıcaklık değerlerinden daha düşük sıcaklık değerlerine sahip olurlar. Akifer içerisindeki akışkan sıcaklığının tahmin edilmesi

amacıyla jeotermometre yöntemleri geliştirilmiştir. Jeotermometreler; kimyasal ve izotop jeotermometreleri olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Kimyasal jeotermometreler kaynak veya kuyu başından alınan örneklerin kimyasal bileşimine (özellikle silis, katyon derişimi ve buhar içerisindeki gazların baēıl oranlarına) izotopik jeotermometreler ise su-gaz-mineral fazları arasındaki izotopik deēiřime dayalıdır. Kimyasal analizlerin, sondajlara göre daha ucuz ve kısa sürede yapılabilmesi jeotermal araştırmalarda rezervuar sıcaklıēının tahmininde kimyasal jeotermometrelerin yaygın olarak kullanılmasını saēlamaktadır. Bu çalışmada sadece kimyasal jeotermometreler ile rezervuar sıcaklıēı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

#### **4.7.1. Silis jeotermometreleri**

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki sıcaklıēa baēlı znrlēne dayalıdır. Kuvars, kristobalit, kalsedon ve amorf silis gibi deēiřik silis formlarının su içerisindeki znrlē farklı olduēu için farklı jeotermometre eēitlikleri geliştirilmiştir (izelge 4.7). Silis için geliştirilen jeotermometre eēitliklerinin her biri farklı sıcaklık aralıkları için geçerlidir. Kuvars znrlē, sıcaklıēı 120-180°C'den daha yüksek olan jeotermal rezervuarlarda çözünmüş silisi kontrol eder (Fournier, 1991). Daha yüksek sıcaklıklarda akifer kayaçtan yüzeye doēru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi gözlenmektedir. Sıcaklıēı 180°C'den az olan jeotermal sistemlerde ise kuvarstan çok kalsedon ile bir denge söz konusudur. Bu nedenle sıcaklıēı 180°C'den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180°C'den daha yüksek jeotermal sistemlerde ise kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygun grlmektedir (D'Amore and Arnrsson, 2000).

Çizelge 4.7. Silis jeotermometre eşitlikleri (S=ppm olarak SiO<sub>2</sub> derişimidir)

| No | Jeotermometre                       | Jeotermometre Eşitliğı                                                                                         | Sıcaklık Aralığı | Referans                     |
|----|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| 1  | Kuvars                              | $t^{\circ}\text{C} = -42.2 + 0.28832S - 3.6686 \times 10^{-4} S^2 + 3.1665 \times 10^{-7} S^3 + 77.034 \log S$ | 25-900           | Fournier and Potter (1982)   |
| 2  | Kuvars (buhar kaybı yok)            | $t^{\circ}\text{C} = (1309 / (5.19 - \log S)) - 273.15$                                                        | 25-250           | Fournier (1977)              |
| 3  | Kuvars (100°C'de Maks. buhar kaybı) | $t^{\circ}\text{C} = (1522 / (5.75 - \log S)) - 273.15$                                                        | 25-250           | Fournier (1977)              |
| 4  | Kuvars                              | $t^{\circ}\text{C} = -55.3 + 0.36559S - 5.3954 \times 10^{-4} S^2 + 5.5132 \times 10^{-7} S^3 + 74.360 \log S$ | 0-350            | D'Amore and Arnórsson (2000) |
| 5  | Kalsedon (buhar kaybı yok)          | $t^{\circ}\text{C} = (1032 / (4.69 - \log S)) - 273.15$                                                        | 0-250            | Fournier (1977)              |
| 6  | Kalsedon (buhar kaybı yok)          | $t^{\circ}\text{C} = (1112 / (4.91 - \log S)) - 273.15$                                                        | 25-180           | Arnórsson et al. (1983)      |

Çizelge 4.7'de verilen silis jeotermometre eşitlikleri hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Çizelge 4.8' da sunulmuştur.

Çizelge 4.8. Sıcak su kaynakları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları

|                  |                        | Jeotermometre Eşitliğı |    |    |    |    |    |
|------------------|------------------------|------------------------|----|----|----|----|----|
| Örnek            | SiO <sub>2</sub> (ppm) | 1                      | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| 1-A Roma Hamamı  | 34.941                 | 86                     | 86 | 89 | 72 | 55 | 57 |
| 2-A Eski Kaplıca | 38.060                 | 90                     | 90 | 92 | 75 | 59 | 61 |
| 3-A Yeni Kaplıca | 39.468                 | 91                     | 91 | 93 | 77 | 60 | 62 |
| 1-C Roma Hamamı  | 33.127                 | 84                     | 84 | 87 | 69 | 52 | 55 |
| 2-B Eski Kaplıca | 33.982                 | 85                     | 85 | 88 | 70 | 54 | 56 |
| 3-C Yeni Kaplıca | 35.541                 | 87                     | 87 | 89 | 72 | 56 | 58 |
| 4-A SK-1         | 33.378                 | 84                     | 84 | 87 | 70 | 53 | 55 |
| 7-A Ateşler      | 45.550                 | 97                     | 98 | 99 | 84 | 67 | 69 |
| 8-A Sinan Otel   | 26.990                 | 75                     | 75 | 79 | 61 | -  | -  |
| 1-E Roma Hamamı  | 22.514                 | 68                     | 68 | 73 | 53 | -  | -  |
| 2-C Eski Kaplıca | 36.076                 | 87                     | 87 | 90 | 73 | 56 | 59 |
| 3-E Yeni Kaplıca | 42.413                 | 94                     | 94 | 96 | 80 | 64 | 66 |
| 4-B SK-1         | 36.547                 | 88                     | 88 | 90 | 74 | 57 | 59 |
| 6-B SK-4         | 24.777                 | 72                     | 72 | 76 | 57 | -  | -  |

Kuvarsa dayalı 1,2,3 ve 4 no'lu jeotermometreler ile Sarıkaya jeotermal alanı için 53-92 °C aralığında rezervuar sıcaklıkları elde edilmiştir. Ancak, rezervuar sıcaklığının 180°C'den daha az hesaplanması nedeniyle kuvars jeotermometresi yerine kalsedon jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmüştür. Kalsedon formuna dayalı jeotermometre eşitlikleri (5 ve 6 no'lu eşitlikler) ile 53-69°C aralığında rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır.

#### 4.7.2. Katyon jeotermometreleri

Katyon jeotermometreleri iyon değişimine dayalı jeotermometrelerdir. İyon değişimi sıcaklığa bağlı olan tepkime denge sabitinin ( $K$ ) bir fonksiyonudur. İyon değişimine uğramış katyon derişimleri oranı, denge sabitinin sıcaklığa bağlı değişimine bağlıdır. Soğuk su karışımı, sıcak suyun yükselimi sırasındaki su-kayaç etkileşimi gibi akışkanın kimyasal bileşimi üzerinde etkin olan süreçler nedeni ile katyon jeotermometreleri özellikle sıcak su kaynakları için farklı rezervuar sıcaklıkları vermektedirler. Bu nedenle, sondaj kuyularından üretilen akışkanlar dışında bu eşitliklerin rezervuar sıcaklığı tahmininde uygulanması uygun görülmemektedir. Katyon jeotermometreleri için türetilen jeotermometre eşitlikleri Çizelge 4.9'de verilmiştir.

Çizelge 4.9.Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler ppm'dir)

| No | Jeotermometre     | Jeotermometre Eşitliği                                                     | Uygulama Aralığı (°C) | Referans                     |
|----|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1  | Na-K              | $t^{\circ}\text{C} = (856 / (0.857 + \log(\text{Na/K}))) - 273.15$         | 100-275               | Truesdell(1976)              |
| 2  | Na-K              | $t^{\circ}\text{C} = (833 / (0.780 + \log(\text{Na/K}))) - 273.15$         |                       | Tonani (1980)                |
| 3  | Na-K              | $t^{\circ}\text{C} = (933 / (0.993 + \log(\text{Na/K}))) - 273.15$         | 25 -250               | Arnorsson et al. (1983)      |
| 4  | Na-K              | $t^{\circ}\text{C} = (1319 / (1.699 + \log(\text{Na/K}))) - 273.15$        | 250-350               | Arnorsson et al. (1983)      |
| 5  | Na-K              | $t^{\circ}\text{C} = (1217 / (1.483 + \log(\text{Na/K}))) - 273.15$        |                       | Fournier(1979)               |
| 6  | Na-K              | $t^{\circ}\text{C} = (1178 / (1.470 + \log(\text{Na/K}))) - 273.15$        |                       | Nieva and Nieva (1987)       |
| 7  | Na-K              | $t^{\circ}\text{C} = (1390 / (1.750 + \log(\text{Na/K}))) - 273.15$        |                       | Giggenbach (1988)            |
| 8  | Na-K <sup>a</sup> | $t^{\circ}\text{C} = 733.6 - 770.551Y + 378.189Y^2 - 95.753Y^3 + 9.544Y^4$ | 0-350                 | D'Amore and Arnorsson (2000) |
| 9  | K-Mg <sup>b</sup> | $t^{\circ}\text{C} = (2330 / (7.35 - \log(K^2/\text{Mg}))) - 273.15$       |                       | Fournier(1991)               |

Çizelge 4.9. Devam ediyor

| No | Jeotermometre           | Jeotermometre Eşitliği                                                                                                     | Sıcaklık Aralığı | Referans                      |
|----|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 10 | K-Mg <sup>c</sup>       | $t^{\circ}\text{C} = (1077 / (4.033 + \log(K^2/\text{Mg}))) - 273.15$                                                      |                  | Fournier(1991)                |
| 11 | K-Mg                    | $t^{\circ}\text{C} = (4410 / (14 - \log(K^2/\text{Mg}))) - 273.15$                                                         |                  | Giggenbach (1988)             |
| 12 | Li-Mg                   | $t^{\circ}\text{C} = (2200 / (5.47 - \log(\text{Li}/\text{Mg}^{0.5}))) - 273.15$                                           |                  | Kharaka and Mariner (1989)    |
| 13 | Na -K - Ca <sup>d</sup> | $t^{\circ}\text{C} = (1647 / (\log(\text{Na}/\text{K}) + \beta(\log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2.06) + 2.47)) - 273.15$ |                  | Fournier and Truesdell (1973) |
| 14 | K -Ca                   | $t^{\circ}\text{C} = (1930 / (3.861 - \log(K/\sqrt{\text{Ca}}))) - 273.15$                                                 |                  | Tonani (1980)                 |
| 15 | Na -Li                  | $t^{\circ}\text{C} = (1590 / (0.779 + \log(\text{Na}/\text{Li}))) - 273.15$                                                |                  | Kharaka et al.(1982)          |

<sup>a</sup>Y= log([Na]/[K]) ; <sup>b</sup> log(K<sup>2</sup>/Mg)>1.25 ; <sup>c</sup> log(K<sup>2</sup>/Mg)<1.25;

<sup>d</sup> t<sup>°</sup>C>100 °C ise β=1/3, t<sup>°</sup>C<100 °C ise β=4/3, t<sup>°</sup>C<100 °C ve [log (√Ca/Na)+2.06] < 0 ise β=1/3

### Na-K-Ca jeotermometresi

Fournier and Truesdell (1973) tarafından geliştirilen bu jeotermometre eşitliği feldispatlar, kalsit veya Ca içeren mineraller ile jeotermal akışkanlar arasındaki dengeye dayalıdır. Kuvars ve Na-K jeotermometrelerine göre en önemli özelliği düşük sıcaklıklarda veya dengeye ulaşamamış sularda yüksek veya hatalı sonuçlar vermemesidir.

Jeotermometre eşitliğinde:  $\log(\text{Ca}^{0.5}/\text{Na}) + 2.06 < 0$  ise  $\beta = 1/3$ ;  $\log(\text{Ca}^{0.5}/\text{Na}) + 2.06 > 0$  ise  $\beta = 4/3$  alınarak hesaplanır.

Sarıkaya sıcak ve mineralli su kaynağında  $\beta = 4/3$  alınarak rezervuar sıcaklığı 27-61 °C aralığında hesaplanmıştır (Çizelge 4.8).

### K - Mg jeotermometresi

K-Mg jeotermometre eşitliği (Bkz. Çizelge 4.9, 11 nolu eşitlik) jeotermal suların akifer sıcaklıklarının yanı sıra suların ilişkide olduğu kayaçlar ve mineraller ile denge durumlarının belirlenmesi amacıyla Giggenbach (1988) tarafından geliştirilmiştir. K-Mg jeotermometresi ile hem sıcak suların rezervuar sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya uygulanıp/uygulanamayacağı veya

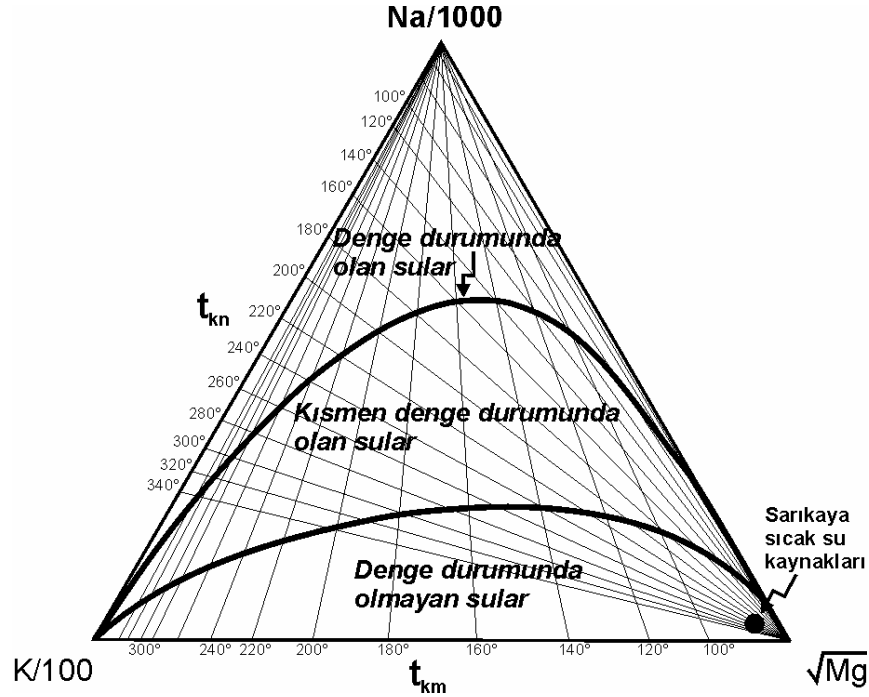
güvenilir sonuçlar verip/vermeyeceği değerlendirilebilmektedir. Giggenbach (1988)'a göre denge halinde olmayan (immature) seyrelmiş jeotermal sularda K-Na arasındaki denge sıcaklığı kullanılarak değerlendirme yapılmasının uygun olamayacağı ancak denge durumunda olan sular (olgun sular “mature”) hattı ve bu hat üzerinde yer alan jeotermal sularda katyon jeotermometreleri daha doğru sonuçlar vermektedir.

Sarıkaya sıcak ve mineralli su kaynağı için K-Mg jeotermometresi (Çizelge 4.10, 11 no'lu eşitlik) ile 50-72°C aralığında kalsedon jeotermometre değerlerine yakın sonuçlar hesaplanmıştır.

Çizelge 4.10. Çalışma alanındaki sıcak su noktaları için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C)

| Kaynak       | Dönem       | Jeotermometre eşitliği<br>(Bkz. Çizelge 4.7) |                         |
|--------------|-------------|----------------------------------------------|-------------------------|
|              |             | K-Mg                                         | Na -K - Ca <sup>d</sup> |
| Roma Hamamı  | Temmuz 2004 | 72                                           | 61                      |
|              | Nisan 2005  | 66                                           | 52                      |
|              | Ekim 2005   | 70                                           | 58                      |
| Eski Kaplıca | Temmuz 2004 | 70                                           | 58                      |
|              | Nisan 2005  | 64                                           | 50                      |
|              | Ekim 2005   | 70                                           | 61                      |
| Yeni Kaplıca | Temmuz 2004 | 67                                           | 54                      |
|              | Nisan 2005  | 67                                           | 51                      |
|              | Ekim 2005   | 71                                           | 60                      |
| SK-1         | Nisan 2005  | 62                                           | 44                      |
|              | Ekim 2005   | 69                                           | 58                      |
| Ateşler      | Nisan 2005  | 69                                           | 56                      |
| Sinan Otel   | Nisan 2005  | 65                                           | 51                      |
| SK-4         | Ekim 2005   | 50                                           | -                       |

Kasyon jeotermometreleri genelde uzun süreli geçiş zamanına sahip yeraltısuları ile beslenen jeotermal akiferlerde kullanımı daha uygundur. Katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya uygulanıp/uygulanamayacağı belirlemek için Giggenbach (1988) tarafından önerilen Na-Mg-K üçgeni oluşturulmuştur (Şekil 4.10.). Na-Mg-K üçgeninde Sarıkaya jeotermal alanı içerisindeki sıcak su kaynaklarının tümü “denge durumunda olmayan sular” bölümünde yer almaktadır. Bu nedenle katyon jeotermometrelerinin bu kaynaklarda uygulanması uygun görülmemiştir. Ancak düşük sıcaklıklarda yüksek ve hatalı sonuçlar türetmeyen Na-K-Ca jeotermometre eşitliği 27-61 °C ve K-Mg jeotermometre eşitliği ise 50-72°C aralığında kalsedon jeotermometre sonuçlarına yakın ve nispeten kabul edilebilir rezervuar sıcaklıkları türetmişlerdir.



Şekil 4.10. Sarıkaya sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg diyagramındaki konumları

## 5. İZOTOP HİDROLOJİSİ

Jeotermal akışkanların çevresel izotop içeriklerinin incelenmesi yoluyla jeotermal sistemlerin hidrojeolojik özelliklerinin aydınlatılması mümkün olabilmektedir. İzotop oranlarının sıcaklığa, su-kayaç etkileşimine ve diğer fizikokimyasal süreçlere duyarlı olmaları nedeniyle izotop teknikleri jeotermal araştırmalar için önemli katkılar sağlamaktadır. Duraylı oksijen-18 ( $^{18}\text{O}$ ) ve döteryum ( $^2\text{H}$ ) izotopları genel olarak jeotermal akışkan kökenlerinin (meteorik, fosil, metamorfik), beslenme alanlarının ve akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığının belirlenmesinde kullanılırken radyoaktif trityum ( $^3\text{H}$ ) izotopu ise akışkanın yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmada, inceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynak ve kuyuları ile soğuk su kaynak ve kuyularının çevresel izotop içerikleri incelenerek, jeotermal akışkanın beslenme alanları, kökenleri, akışkan bileşimini etkileyen su kayaç etkileşim süreçleri açıklanmaya çalışılmıştır.

### 5.1. Örnekleme ve Analiz Çalışmaları

İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli su kaynakları ile soğuk su kaynak ve kuyularında duraylı izotop çalışmaları Ekim 2005 tarihinde ve  $^3\text{H}$  izotopu analizi için örnekleme çalışması ise Temmuz 2004 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Duraylı izotop ( $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$ ) analizleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Çevre ve Petrol Jeokimyası Laboratuvarı'nda,  $^3\text{H}$  analizleri ise H.Ü. Jeoloji Müh. Bölümü, Hidrojeoloji Müh. ABD Çevresel Trityum Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

### 5.2. Duraylı izotop Verilerinin Değerlendirilmesi

Duraylı (kararlı) izotoplar jeotermal arama ve geliştirme çalışmalarında akışkan bileşimini etkileyen kayaç-su etkileşimi, buharlaşma ve soğuk su karışımı gibi fiziko-kimyasal süreçlerin irdelenmesinde kullanılmaktadır.

İnceleme alanındaki sulara ait duraylı izotop analiz sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. İnceleme alanındaki suların duraylı izotop içerikleri.

| Örnek                                  | Oksijen – 18<br>$\delta^{18}\text{O}$ (‰<br>SMOW) | Standart<br>Sapma | Döteryum<br>$\delta^2\text{H}$ (‰<br>SMOW) | Standart<br>Sapma |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|-------------------|
| Eski Kaplıca Kaptaj                    | <b>-10.23</b>                                     | 0.19              | <b>-79.61</b>                              | 0.37              |
| SK-3 Kuyu                              | <b>-11.02</b>                                     | 0.39              | <b>-77.64</b>                              | 0.36              |
| SK-1 Kuyu                              | <b>-11.42</b>                                     | 0.02              | <b>-80.68</b>                              | 0.06              |
| Orta Tepe                              | <b>-9.28</b>                                      | 0.32              | <b>-69.36</b>                              | 0.44              |
| Pliyosen Çeşme                         | <b>-9.68</b>                                      | 0.33              | <b>-69.62</b>                              | 0.09              |
| İllerbankası Kuyu                      | <b>-12.22</b>                                     | 0.21              | <b>-77.78</b>                              | 0.04              |
| Yağmur suyu                            | <b>-7.97</b>                                      | 0.33              | <b>-46.46</b>                              | 0.07              |
| Sarıkaya sıcak su kaynağı NİSAN 1992   | <b>-11.66</b>                                     | 0.02              | <b>-81.70</b>                              | 0.09              |
| Sarıkaya sıcak su kaynağı AĞUSTOS 1992 | <b>-11.62</b>                                     | 0.02              | <b>-82.40</b>                              | 0.06              |
| Sarıkaya sıcak su kaynağı MART 1993    | <b>-11.50</b>                                     | 0.34              | <b>-81.10</b>                              | 0.12              |

### 5.2.1. Oksijen-18 ( $^{18}\text{O}$ )- Döteryum ( $^2\text{H}$ ) ilişkisi

Jeotermal arama geliştirme ve izleme çalışmalarında akışkan kökenine bağlı olarak, akışkan özelliğini etkileyen fiziko-kimyasal süreçlerin belirlenebilmesinde en çok kullanılan çevresel izotoplar  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$ 'dur.

Herhangi bir su örneğinin kararlı izotop içeriği, ağır olan izotopun hafif olan izotopa oranının, belirlenmiş bir standarttan farkı olarak ifade edilir. Kullanılan bu standart ise Standart Ortalama Okyanus Suyu (Standart Mean Ocean Water, SMOW) bileşimidir. Referans standart bileşiminden olan sapmalar delta ( $\delta$ ) parametresi ile ifade edilmektedir. Buna göre bir örneğin  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  içeriği;

$$\delta^{18}\text{O} = ((^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{örnek}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}) / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}} * 1000$$

$$\delta \text{D} = ((\text{D}/\text{H})_{\text{örnek}} - (\text{D}/\text{H})_{\text{SMOW}}) / (\text{D}/\text{H})_{\text{SMOW}} * 1000$$

Sonuçlar binde (‰) başına bölümdeki sapma olarak ifade edilmektedir.  $\delta$  değeri pozitifse, numune standarda göre ağır izotop bakımından zenginleşmiştir; negatif ise, numune izotopik olarak fakirleşmiştir.

Karasal yağışta bulunan suyun hidrojen ve oksijen izotopları arasında atmosferik süreçlerle kontrol edilen doğrusal bir ilişki saptanmıştır (Craig 1961).

$$\delta D = s * \delta^{18}O + d$$

Bu bağıntıda d; döteryum fazlası

D;  $^2H$  derişimi (TU)

s; eğim

Dünya üzerindeki farklı lokasyonlardan alınan çok sayıdaki yağış sularında gerçekleştirilmiş olan izotop analizleri, meteorik suyun  $\delta^{18}O$  ve  $\delta D$  değerleri

$$\delta D = 8 * \delta^{18}O + 10$$

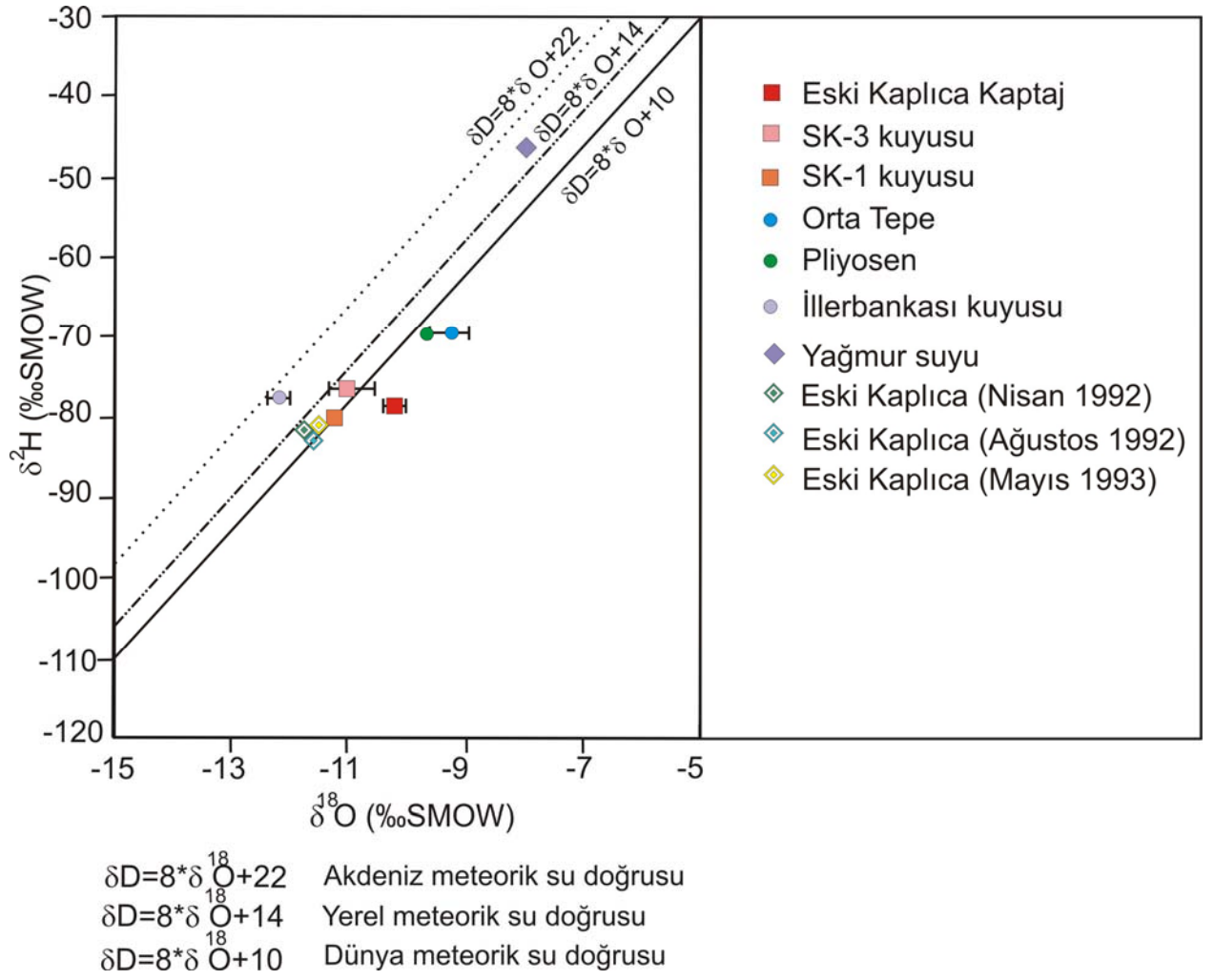
olarak tanımlanmıştır (Craig 1961). Meteorik suların  $\delta^{18}O$  değerleri 0 ile -60 ‰,  $\delta D$  değerleri ise +10 ile -400 ‰ arasında değişim göstermektedir. Meteorik suların  $\delta^{18}O$  ve  $\delta D$  değerleri yıllık ortalama hava sıcaklığına bağılı olarak değişim göstermektedir; sıcaklık düştükçe izotop ayrışma faktörü, dolayısıyla suların ağır izotop/hafif izotop oranı artmaktadır (Dangsgaard 1964). Ayrıca bu değerler, bulunan bölgenin enlemine ve deniz seviyesinden olan yükseltisine bağılı olarak da değişmektedir; enlem ve yükseklik artıkça,  $\delta^{18}O$  ve  $\delta D$  değerleri düşmektedir. Özetle buharlaşma, nem, yağış, iklim koşulları ve coğrafi konuma bağılı olarak yukarıdaki bağıntıda s (eğim) ve d (döteryum fazlası) değişim göstermektedir. Bu nedenle her bölgenin temsil edildiğı bir meteorik su doğrusu vardır.

Şimşek vd. (1995) tarafından Yozgat ili civarında yapılan çalışmada bölgenin yerel meteorik su doğrusu:

$$\delta D = 8 * \delta^{18}O + 14$$

olarak belirlenmiştir.

Sarıkaya sıcak sularının yerel meteorik doğru ile Dünya Meteorik Su Doğrusu arasında bir bölgede yer alması jeotermal sistemin meteorik yağışlardan beslendiğini göstermektedir (Şekil 5.1). Bununla birlikte bu diyagramda eski kaplıca sıcak su kaynağının sıcaklığın etkisiyle jeotermal akışkan-kayaç etkileşimi sonucunda oluşan izotopik yerdeğiştirme (isotopic exchange) süreci ile yerel meteorik su doğrusundan  $^{18}O$  yönünde sapma yaptığı görülmektedir.



Şekil 5.1. Sarıkaya jeotermal alanına ait sıcak suların Oksijen18 – Döteryum ilişkisi.

### 5.2.2. Trityum ( $^3\text{H}$ )

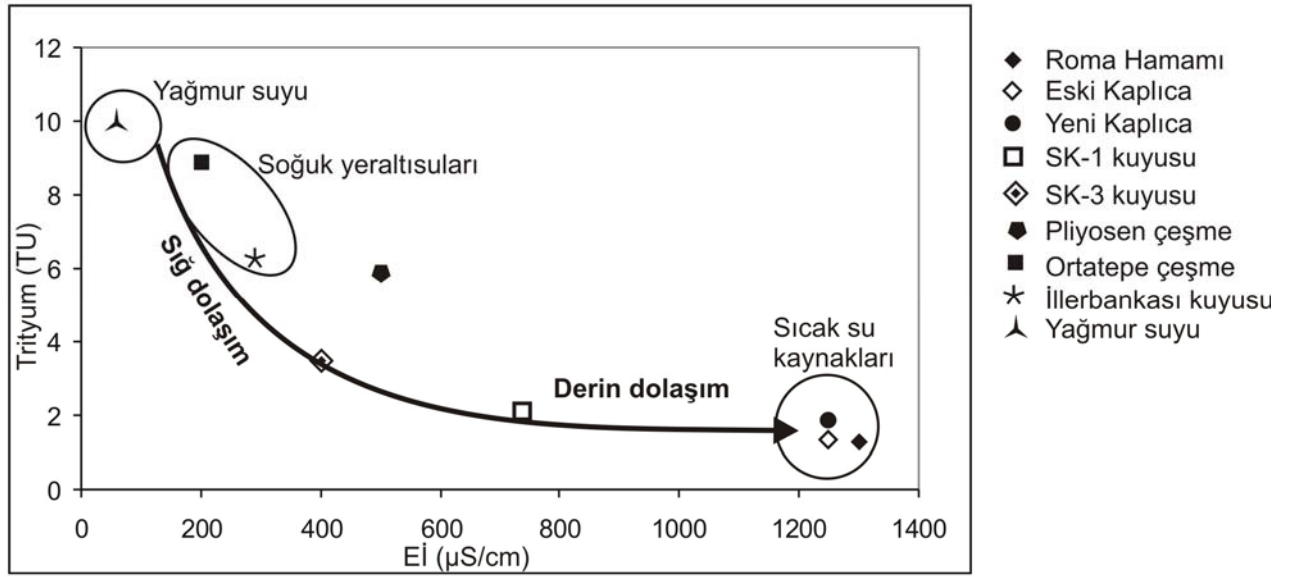
Trityum ( $^3\text{H}$ ) 12.43 yıl yarılanma ömrüne sahip bir hidrojen izotopudur. Atmosferdeki trityum tipik olarak  $\text{H}^3\text{HO}$  molekülü formunda olup, yağışla beslenme sonucu yeraltısuyuna girer. Trityum izotop analizlerine göre bölgedeki sıcak su kaynağının  $^3\text{H}$  içeriği güncel yağışların  $^3\text{H}$  içeriklerinden (~7–10 TU) daha düşük değerlerdedir.

Yeraltısuyunun akifer kayaktan geçiş süresi, meteorik yağış olarak yüzeye düşen suyun kaynak ile akiferi terk etmesine kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Radyoaktif trityum izotopu ile hidrojeolojik sistemlerde yeraltısuyu dağılımı ve geçiş süresi hakkında bilgi edinilebilmekte, geçiş süreleri ile suların göreceli yaşları ve aynı sisteme ait olup olmadıkları belirlenebilmektedir.

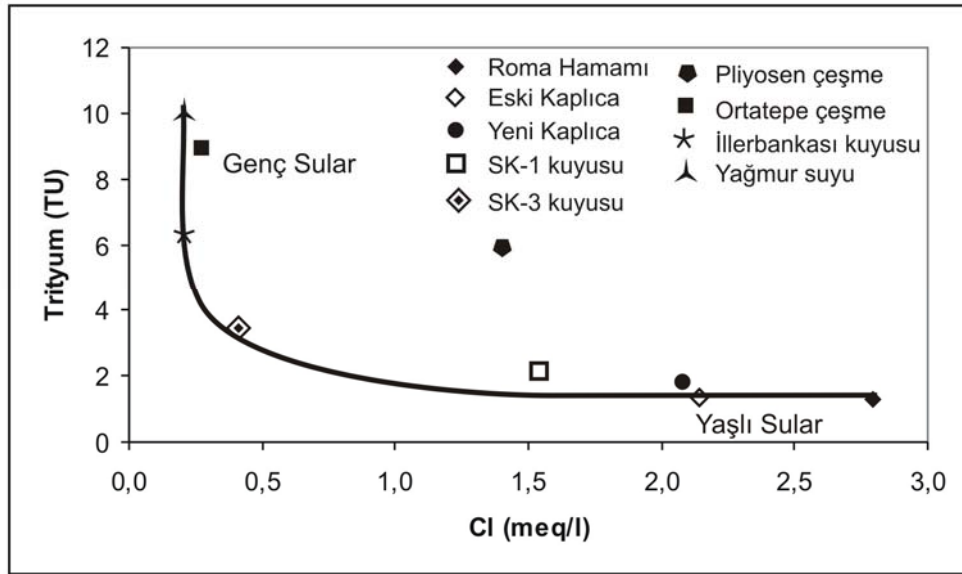
Sarıkaya sıcak su kaynağının  $^3\text{H}$  içeriğinin güncel yağışlara göre daha düşük olması kaynağın göreceli olarak uzun süreli geçiş zamanına (30 – 40 yıl) sahip yeraltısuları ile beslendiğini göstermektedir (Şekil 5.3). Benzer şekilde sıcak su kaynaklarının yüksek  $\text{Ei}$  değeri ve düşük  $^3\text{H}$  içeriğine sahip olması bu alandaki sıcak suların uzun ve derin yeraltısuyu dolaşımına sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 5.2).

Çizelge 5.2. Sarıkaya jeotermal alanındaki su örneklerinin trityum analiz sonuçları.

| Örnekleme Dönemi | Ornek Adı           | T (°C) | Ei ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | Cl (meq/l) | Trityum (TU) |
|------------------|---------------------|--------|--------------------------------|------------|--------------|
| Temmuz 2004      | Roma Hamamı         | 50.9   | 1300                           | 2.832      | 1.25 ± 0.29  |
| Temmuz 2004      | Eski Kaplıca        | 50.9   | 1250                           | 2.143      | 1.35 ± 0.30  |
| Temmuz 2004      | Yeni Kaplıca        | 50.9   | 1250                           | 2.075      | 1.79 ± 0.30  |
| Nisan 2005       | SK-1                | 43.5   | 740                            | 1.494      | 2.11± 0.17   |
| Haziran 2005     | SK-3                | 25.0   | 400                            | 0.285      | 3.45 ± 0.28  |
| Temmuz 2004      | Pliyosen çeşme      | 15.6   | 500                            | 1.350      | 5.91 ± 0.37  |
| Temmuz 2004      | Ortatepe            | 16.5   | 200                            | 0.149      | 8.92 ± 0.41  |
| Temmuz 2004      | İllerbankası kuyusu | 15.9   | 290                            | 0.081      | 6.29 ± 0.37  |
| Temmuz 2004      | Yağmur suyu         | 15.0   | 60                             | 0.066      | 9.94 ± 0.40  |



Şekil 5.2. İnceleme alanındaki kaynak sularının  $^3\text{H}$  –Eİ grafiği.



Şekil 5.3. İnceleme alanındaki kaynak sularının  $^3\text{H}$  -Cl grafiği.

## 6. KAVRAMSAL HİDROTHERMAL MODEL

Beslenme alanı, ısı kaynağı, örtü kaya, akifer ve akışkanın yüzeye taşınmasını sağlayan kırık veya çatlak yapıları jeotermal sistemleri oluşturan ana parametrelerdir.

Sarıkaya jeotermal alanında yapılan jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal veriler değerlendirilerek akifer litolojileri belirlenmeye çalışılmıştır. İnceleme alanında yaygın olarak bulunan Paleozoyik yaşlı metamorfikler hazne kayacı oluştururken, örtü kayacın ise kiltası, marn ve kumlu kil ardalanmasından oluşan Senozoyik (Eosen ve Pliyosen) çökelleri olduğu düşünülmektedir.

Bölgede genç tektoniğin bulunuşu, kayaçların (mermer, kalkışist, kuvarsit) ikincil geçirimsizlik özelliği kazanmalarına neden olmuştur. Bu tektonik zon boyunca meydana gelen kırıklar ve fay hatları jeotermal sistemi besleyen derin dolaşıma sahip akışkanların (sıvı+gaz) yüzeye taşınmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen veriler değerlendirilerek, Sarıkaya jeotermal alanının yayılımı ve hidrotermal yapısının ortaya konulmasıdır. Bu amaç doğrultusunda Sarıkaya sıcak ve mineralli su kaynakları ile temsil edilen jeotermal alanın yapılan çalışmalar ile kavramsal modeli ortaya konulmuştur (Ek-4).

### 6.1. Jeotermal Akışkanın Kökeni ve Beslenme Alanı

Jeotermal sistemler; meteorik, magmatik ve jüvenil kökenli akışkanlar ile beslenmektedir. Sarıkaya jeotermal alanında yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarının izotopik olarak yerel ve dünya meteorik su doğruları arasında yer almaları nedeniyle bölgede jeotermal sistemi meteorik kökenli suların beslediği belirlenmiştir.

İzotop çalışmaları ile sıcak su kaynakları için belirtilen beslenme alanı inceleme alanının güney ve güneybatısında yer alan Ortatepe ve Karatepe kesimlerinden beslendiği düşünülmektedir.

Sarıkaya sıcak ve mineralli sularının düşük trityum ve yüksek klorür derişimi jeotermal alanındaki yeraltısuyu dolaşım sistemini yansıtmaktadır. Ortatepe ve Karatepe'nin yüksek kesimlerine düşen yağış sularının derinlere süzülmesi ve

jeotermal gradyan ile ısınarak kırık ve faylar boyunca tekrar yüzeye yükselmesi sonucunda oluşmuş bir fay kaynağı özelliğindedir.

## **6.2. Isı Kaynağı**

Jeotermal alanlarda ısının kaynağı; volkanizma, soğumasını tamamlayamamış magmatik bir sokulum veya tektonik etkinliğe bağlı olarak değişmektedir. Bu faaliyetler jeotermal alanın bulunduğu bölgede ısı akısının yükselmesine neden olmaktadır. Sarıkaya jeotermal alanında genç tektoniğin ve graben yapısının bulunuşu yer gradyanının diğer bölgelere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Kaynaklardan çıkan sıcak ve mineralli sular; yağmur ve kar yağışından yeraltına süzülen meteorik kökenli suların yeraltında jeotermal gradyan ile ısınması, kırıklar ve fay hatları boyunca yükselmesi sonucu oluşmaktadır.

## **6.3. Hazne Kayaç**

Sarıkaya sıcak ve mineralli su kaynaklarında yapılan hidrokimyasal ve sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde sıcak ve yeterli su üretilmesi beklenen rezervuar kayalar Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalardır. Bu kayalar; mermer, kalkşist ve kuvarsitten oluşan Bozçaldağ ve Kalkanlıdağ Formasyonuna karşılık gelmektedir. İnceleme alanında bu birim güneyde Ortatepe ve Beştepe'de doğuda Köprücek Köyü girişinde, güneybatıda Karatepe ve Mehmet Tepe'de görülmektedir. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları, Ayrıca Eosen yaşlı kireçtaşlarının hidrojeolojik açıdan birinci rezervuarı oluşturmaları açısından öneme sahip olduğunu göstermiştir.

## **6.4. Örtü Kayaç**

Hidrotermal sistemlerde ısının korunabilmesi için, sıcak su akiferi üzerinde düşük termal iletkenliğe ve geçirimsizliğe sahip bir örtü kayacın olması gerekmektedir. İnceleme alanında örtü kayaç olabilecek formasyonlar; Kızılırmak ve Beycedere formasyonlarının kilaşı, marn ve kumlu kil ardalanmasından oluşan Senozoyik (Eosen ve Pliyosen) çökelleridir. Bu birimler Sarıkaya ilçe merkezinde ve Ilısu tarafında yüzeylenmektedir.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sarıkaya jeotermal alanın hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan jeoloji, hidrojeoloji, hidroloji, jeokimyasal ve izotop çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Çalışma kapsamında Sarıkaya jeotermal alanının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası yapılmıştır. Bu çalışmayla yöredeki kayaç birimleri, faylar, kırık ve çatlaklar belirlenmiştir. Buna göre, sahada başlıca D-B, KD-GB doğrultularında basamaklı fay sisteminin geliştiği ortaya çıkarılmıştır.
- Yaklaşık 335 km<sup>2</sup> lik bir alanı kapsayan Sarıkaya havzasına düşen ortalama yağış 463.8 mm/yıl'dır. Bölgedeki ortalama sıcaklık ise Sarıkaya istasyonunun değerleri incelenerek 9.8 °C olarak hesaplanmıştır.
- Hidrojeolojik çalışma ile sahanın 1/25.000 ölçekli hidrojeoloji haritası yapılmıştır. Bu çalışmayla kaplıca yöresindeki formasyonların hidrojeolojik özellikleri belirlenmiş ve sıcak ve mineralli sular için Paleozoyik yaşlı mermerler (Bozçaldağ Formasyonu), fay zonlarının kırıklı, çatlaklı yapıların yoğun olduğu Eosen yaşlı kireçtaşları ve taban çakıllıtaşlarının sıcak su akiferini (jeotermal rezervuarı) oluşturduğu belirlenmiştir.
- Sarıkaya Kaplıcaları bölgesinde yeraltı ve yerüstü sularının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ortaya konabilmesi, dolayısıyla sıcak ve soğuk su kaynaklarının bağlı bulundukları yeraltısuyu sistemi, kökenleri ve birbirleri ile olan ilişkilerinin aydınlatılması amacıyla 2004-2006 yıllarında örnekleme ve ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Bu örnekler; Sarıkaya sıcak ve mineralli su kaynak ve kuyularından, soğuk su kaynak ve içme suyu kuyularından ve yağış sularından alınmıştır.
- Sarıkaya Kaplıcaları bölgesindeki yüzey ve yeraltısuları, Wilcox, ABD Tuzluluk Laboratuvarı, Schoeller ve Üçgen diyagramları kullanılarak kimyasal bileşim (tuzluluk) ve kalite yönleriyle başlıca 4 grupta toplanmaktadır.

Bunlar sırasıyla;

1- Sıcak su kaynakları (46-50.9 °C) ve SK-1 Sıcaksu sondaj kuyusu (43.5-50.6 °C)

2- SK-4 Kuyusu (36 °C)

3- Ortatepe, Çeşme ve İller Bnk. Bld. İçmesuyu Kuyusu ve SK-3 Kuyusu (16.5-25 °C)

4-Yağmur suyu (15°C).

- Bölgedeki sıcak su kaynakları ve kuyu sularının aynı bölgede kümelenmeleri sıcak suların aynı kökene (meteorik) sahip olduklarını göstermektedir. Ca-HCO<sub>3</sub> tipi sular sınıfına girmeleri ise bu kaynakların karbonat kökenli bir akiferden beslendiğini ve sıcaksu akiferinin litolojisini oluşturan ana formasyonun mermerler olduğuna işaret etmektedir.
- Yöredeki sıcak ve mineralli sular Schoeller diyagramına göre; benzer kökenli olup, yüksek Na+K ve Cl derişimleri ile soğuksu kaynaklarından belirgin şekilde ayrılmaktadır.
- SK-4 ve SK-1 kuyularından alınan sıcak ve mineralli sular iyonik bileşimi bakımından kaplıca kaynaklarına benzemekte ancak, soğuk yeraltısuyu karışımı göstermektedir.
- Açılan kuyularda sıcaklık arttıkça mineral derişimi artmaktadır. Soğuk sularda mineral derişimi biraz daha az olduğundan, sıcak orijinal suya soğuk yeraltısuyunun karışma oranına göre suların sıcaklıkları ve çözünmüş madde konsantrasyonları birbirleri ile uyumlu olarak azalmaktadır.
- Wilcox diyagramında sıcaksu kaynakları İyi - kullanılabilir bölümünde yer almaktadır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre C3-S1 grubundadır
- Yapılan doygunluk hesaplamalarında bölgedeki sıcak su kaynaklarının karbonat minerallerine doygun olmadıkları, buna karşın demir minerallerine aşırı doygun durumda oldukları belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre, zayıf aşındırıcı (korozif) özellikte olduğu belirlenmiştir.

- İzotop çalışmalarında jeotermal sistemin meteorik yağışlardan beslendiği ve sıcak su kaynaklarında yüksek sıcaklığın göstergesi olan izotopik yer değiştirme (isotopic exchange) süreci varlığı gözlenmiştir.
- Sıcak su kaynaklarının düşük trityum içeriği kaynakların göreceli olarak uzun süreli (30-40 yıl) geçiş zamanına sahip yeraltısuları ile beslendiklerini göstermektedir.
- Yapılan jeotermometre hesaplamalarına ve sondaj çalışmalarına göre, Sarıkaya jeotermal alanında rezervuar sıcaklığının 53-69 °C arasında olması beklenmektedir.
- Sahadan elde edilen jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal veriler değerlendirilerek oluşturulan hidrotermal modele göre, Sarıkaya Kaplıcaları bölgesindeki sıcak ve mineralli sular, yağmur ve kar yağışından yeraltına süzülen meteorik kökenli suların yeraltında jeotermal gradyan ile ısınması fay hatları ve kırık çatlaklar boyunca yükselmeleri sonucu oluşmaktadır. Bölgede yeralan fay hatları, Saraykent yakınlarında genç volkanizmanın bulunuşu ve sıcak su kaynakları jeotermal gradyanın diğer bölgelere göre daha yüksek olduğunu göstermektedir.
- Kaplıca sularında az miktarda  $\text{NH}_4$  kirliliği ve zaman zaman da bir miktar bakteri kirliliği görülmektedir. Buradan kaplıca kaptajları yerleşim merkezinde ve kirlenmiş dere yakınında yer aldığından korunmalarının sağlanamadığı ve kirlendikleri belirlenmiştir. Hıfzıssıhha Enstitüsü tarafından yapılan bakteriyolojik analizler sonucu kuyu suları temiz çıkmıştır.
- Kaplıca tesisleri kaynakların hemen yanında yer almaktadır. Bu durum sıcak ve mineralli su kaynaklarını çok olumsuz olarak doğrudan etkilemektedir. Yerleşim alanındaki bir kısım atık sular, kanalizasyon suları, yağmur sel ve katı atıklar kaynakların yakınındaki Boğazlıyanözü deresine doğrudan verilmektedir. Deredeki bu aşırı kirlenmenin alüvyondan yüzeylenen sıcak ve mineralli sulara karışması kaçınılmazdır. Sıcak ve mineralli su kaynakları korunma alanlarının Su Kaynakları Koruma ve Kontrol Yönetmeliği ve Su Havzalarını Koruma Kurallarına göre takibi önem taşımaktadır.

## 8. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Arnnórsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H., 1983, The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 567-577.
- Baççıl, I.S. 1996, Sarıkaya (Yozgat) termal turizm merkezi envanteri. Turizm Bakanlığı
- Craig, H., 1961, Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703
- Dansgaard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16/4, 436-468
- D'Amore F. and Arnórsson, S., 2000, Geothermometry. Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use. Arnórsson, S. (ed.), IAEA, Vienna. pp.152-199.
- Doğan, L., 1981, Hidrojeolojide su kimyası, DSI yayınları, 178s, Ankara
- Freeze, R. A. And Cherry, J.A., 1979, Groundwater, Prentice – Hall, USA, 604p.
- Fournier, R.O., 1977, Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*. 5, 41-50.
- Fournier, R.O., 1979, A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Res. Council Trans.* 3, 221-224.
- Fournier, R.O., 1991, Water geothermometers applied to geothermal energy. *Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*, D'Amore, F. (coord.), UNITAR/UNDP, Rome. pp. 37-69.
- Fournier, R.O., Potter, R.W. II, 1982, A revised and expanded silica (quartz) geothermometer, *Geothermal Research Council Bull.* 11, 3-9.
- Fournier, R.O. and Truesdell, A.H., 1973, An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters, *Geochimica et Cosm. Acta*. 37,1255-1275.
- Giggenbach, W. F., 1988, Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 55, 2749-2765.

- Hem, J.D., 1985, Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, USGS Water Supply Paper 2254, US Gov. Print. Office, 263 p.
- Hacettepe Üniversitesi, 2005a., SR-2 Sıcaksu Kuyusu Danışmanlık raporu. Yozgat Valiliği, Sarıkaya Kaymakamlığı
- Hacettepe Üniversitesi, 2005b., SR-3 Sıcaksu Kuyusu Danışmanlık raporu. Yozgat Valiliği, Sarıkaya Kaymakamlığı
- İ.Ü.T.F.1976. Türkiye Maden Suları-4. İç Anadolu Bölgesi İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Kürsüsü. İstanbul.
- Kara, H., 1997. 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi No. 54, Yozgat -G19 paftası, MTA yayını.
- Kharaka, Y. K., Lico, M.S. and Law, L.M., 1982, Chemical geothermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California basins, Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 66, 558.
- Kurt, Z., Altun, E.İ., Keskin, H., Şengün, M., Sütçü, Y.F., Tekin, F., Özay, R., Erkan, M., Örçen, S., 1991., Boğazlıyan (Yozgat) dolayının jeolojisi., MTA raporu., Ankara.
- MTA, 2004. 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Kayseri paftası. MTA, Ankara.
- McNeely, R. N., Neimanis, V.P., Dwyer, L., 1979. Water Quality Source Book-A Guide to Water Quality Parameters.
- Nieva, D. and Nieva, R., 1987, Development in geothermal energy in Mexico, part 12-A cationic composition geothermometer for prospecting of geothermal resources, Heat recovery systems and CHP. 7, 243-258.
- Özmutaf, M. 1989, Yozgat – Sarıkaya Kaplıcası Hidrojeoloji Etüdü MTA Derleme Raporu No 2715. Ankara.
- Parkhurst, D.L. and Appelo C.A.J., 1999, User's guide to PHREEQC (Version 2) - a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional

transport, and inverse geochemical calculations, USGS Water Resources Investigation Report 99-4259, 312p.

Seymen, İ., 1981. Kaman (Kırşehir dolayında Kırşehir masifinin stratigrafisi ve metamorfizması: T.J.K. Bul. 24/2

Seymen, İ., 1982, Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi, İTÜ Maden Fakültesi, Doçentlik tezi 164 s. İstanbul (yayımlanmamış).

Şimşek, Ş., Doğdu, M.Ş ve Çelik H.1995. Yozgat Bölgesindeki termal suların hidrojeokimyası. Hacettepe Üniversitesi Ankara.

Tolluoğlu, Ü, 1986, Orta Anadolu masifinin güneybatısında (Kırşehir yöresinde) petrografik ve petrotektonik incelemeler Doktora tezi, H.Ü. Jeoloji Müh. Böl. Ankara, (yayınlanmamış)

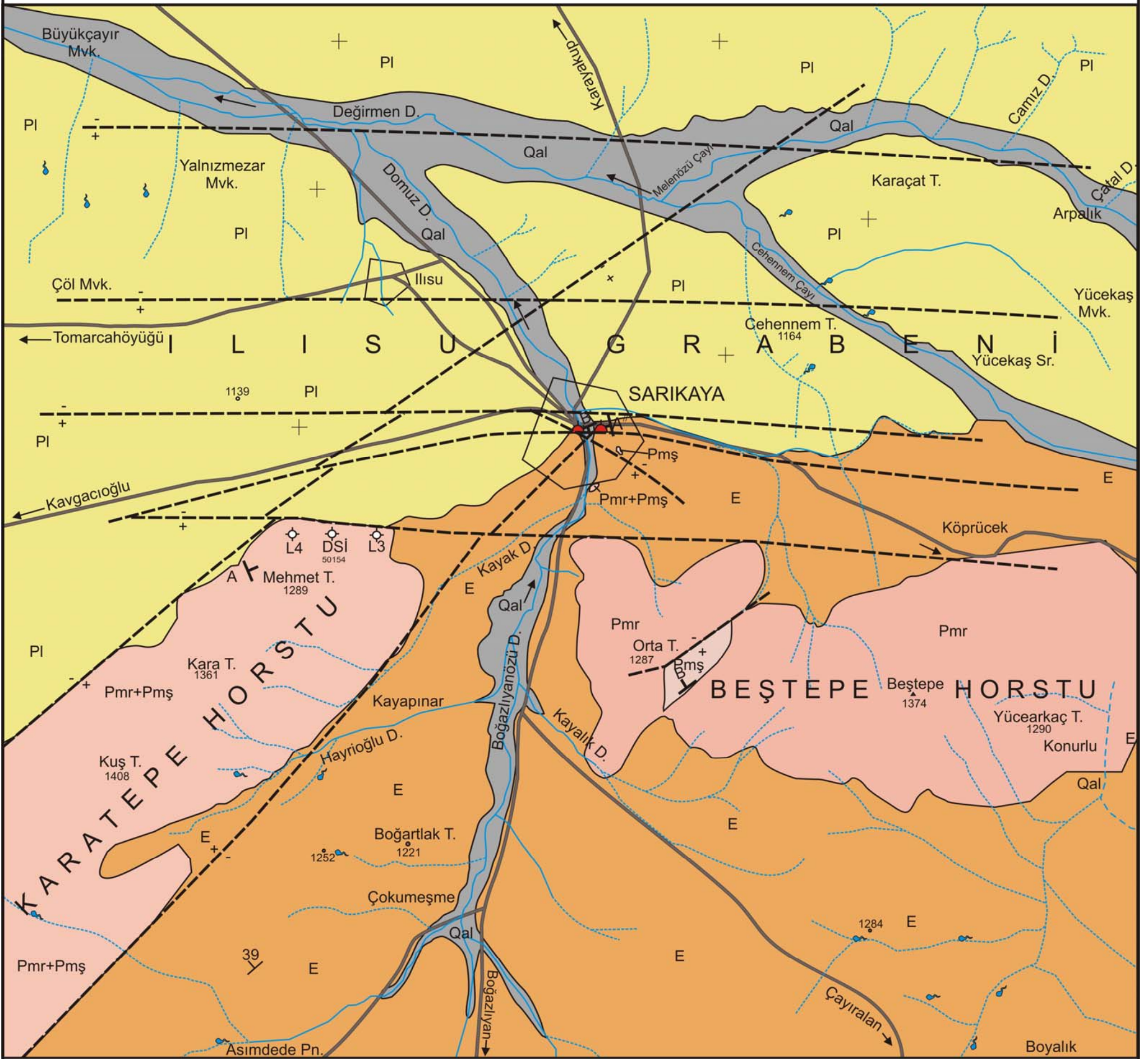
Tonani, F., 1980, Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp., Strasbourg, pp. 428-443.

Truesdell, A. H., 1976, Summary of section III geochemical techniques in exploration. Proc. of Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, 1975, San Francisco, U.S. Gov. Print. Office, pp. 53-79.

TSE, TS 266, 2005. Türk Standartları Enstitüsü, İçme Suları Standardı No:266, Ankara.

WHO, 1993. Drinking water standards. In Engineering Geology and Environmental

**EKLER**



Özmutaf 1989 ve Kurt vd. 1991'den yararlanılmıştır.

|           |                              |                  |                   |                                                        |
|-----------|------------------------------|------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|
| Dokanak   | Yatay tabakalanma            | Sürekli akarsu   | Asfalt yol        | Tabaka Doğrultusu ve eğim yönü                         |
| Fay       | Sıcak ve minerali su kaynağı | Mevsimlik akarsu | Yükselti (m)      | Belediye içme suyu sondaj kuyuları (İller Bankası+DSİ) |
| Olası fay | Soğuk su kaynağı             | Yerleşim yeri    | Enine kesit hattı | Sondaj kuyusu                                          |

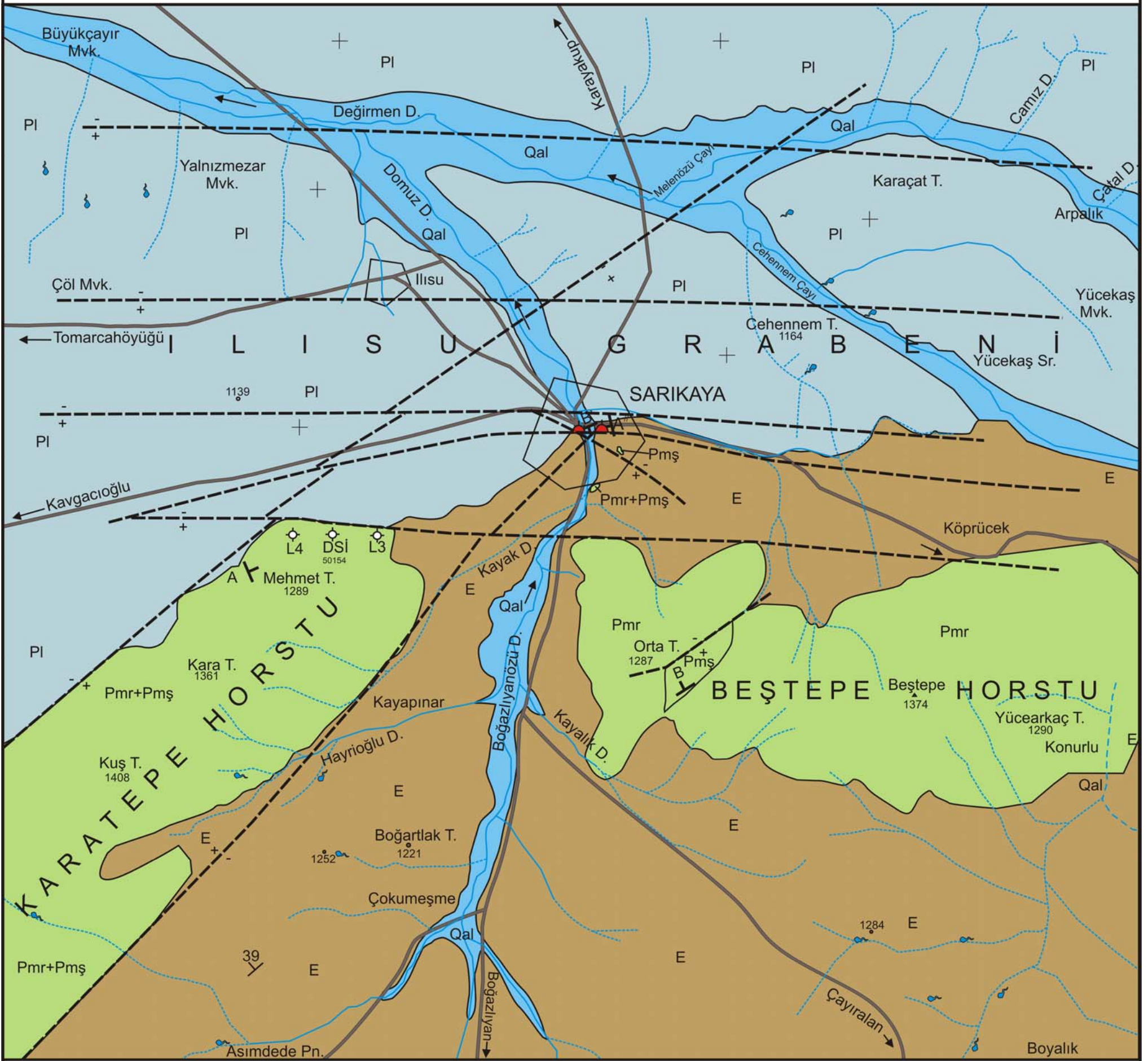
## JEOLojİK BİRİMLER

|                                |                                            |                            |                                       |                                 |                           |
|--------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Kuvaterner                     | Kil, kum, çakıl                            | Beycedere formasyonu Eosen | Çakıltı, kumtaşı, marn Kireçtaşı, tuf | Bozçaldağ formasyonu Paleozoyik | Mermer, kuvarsit          |
| Kızılırmak formasyonu Pliyosen | Kumtaşı, kıltaşı killimarn, killikireçtaşı |                            | Açılal uyumsuzluk                     | Kalkanlıdağ formasyonu          | Kuvarsit, çeşitli şistler |

Ölçek: 1/50 000

0 500 1000 1500m

1/25000 ölçekli haritadan küçültülmüştür



Özmutaf 1989 ve Kurt vd. 1991'den yararlanılmıştır.

## AÇIKLAMALAR

- Dokanak
- Fay
- Olası fay

- Yatay tabakalanma
- Sıcak ve minerali su kaynağı
- Soğuk su kaynağı

- Sürekli akarsu
- Mevsimlik akarsu
- Yerleşim yeri

- Asfalt yol
- Yükselti (m)
- Enine kesit hattı

- Tabaka Doğrultusu ve eğim yönü
- Belediye içme suyu sondaj kuyuları (İller Bankası+DSİ)
- Sondaj kuyusu

## LEJAND

- Kuvaterner Kil, kum, çakıl
- Kızılırmak formasyonu Kumtaşı, kilitaşı killimarn, killikireçtaşı.
- Beycedere formasyonu Çakıltaşı, kumtaşı marn, Kireçtaşı, tuf
- Bozçaldağ formasyonu Mermer, kuvarsit
- Kalkanlıdağ formasyonu Kuvarsit çeşitli şistler

## HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLER

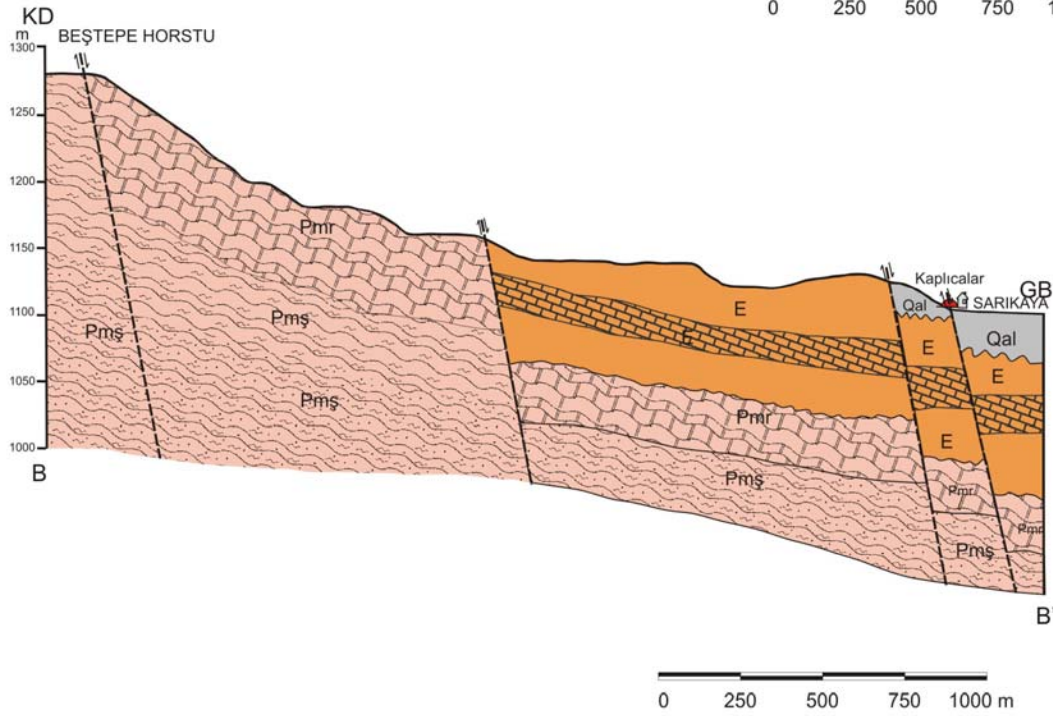
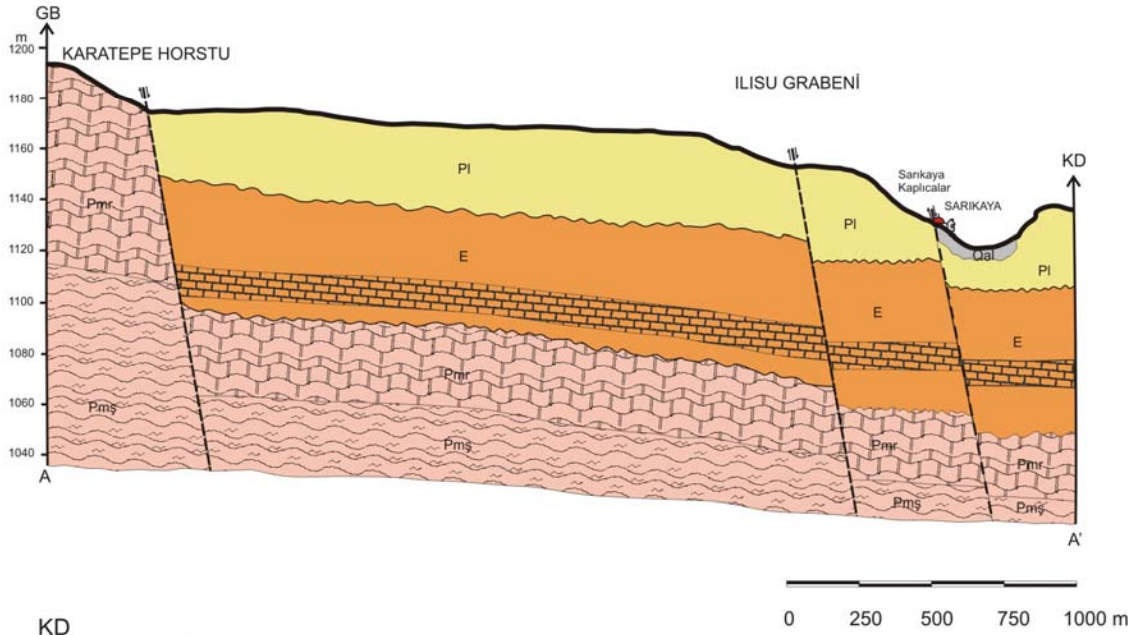
- Geçirimli, sıg rezervuar
- Geçirimsiz
- Geçirimsiz, fay zonları geçirimli
- Karstik, kırıklı çatlaklı ana rezervuar
- Geçirimsiz, kırıklı çatlaklı ve fay zonları geçirimli



Ölçek: 1/50 000

0 500 1000 1500m  
1/25000 ölçekli haritadan küçültülmüştür

## Sarıkaya Jeotermal Alanının Jeoloji Kesitleri



## JEOLOJİK BİRİMLER

Kuvaterner **Qal** Kil, kum, çakıl  
Açıl uyumsuzluk

Pliyosen **Pl** Kızılırmak formasyonu  
Kumtaşı, kıltaşı, killimarn, killikireçtaşı  
Açıl uyumsuzluk

Eosen **E** Beycedere Formasyonu  
Çakıltaşı, kumtaşı, marn  
Kireçtaşı, tuf  
Açıl uyumsuzluk

Paleozoyik

**Pmr** Bozcaada Formasyonu  
Mermer, kuvarsit

**Pms** Kalkanlıdağ Formasyonu  
Kuvarsit, çeşitli şistler

## AÇIKLAMALAR



Dokanak

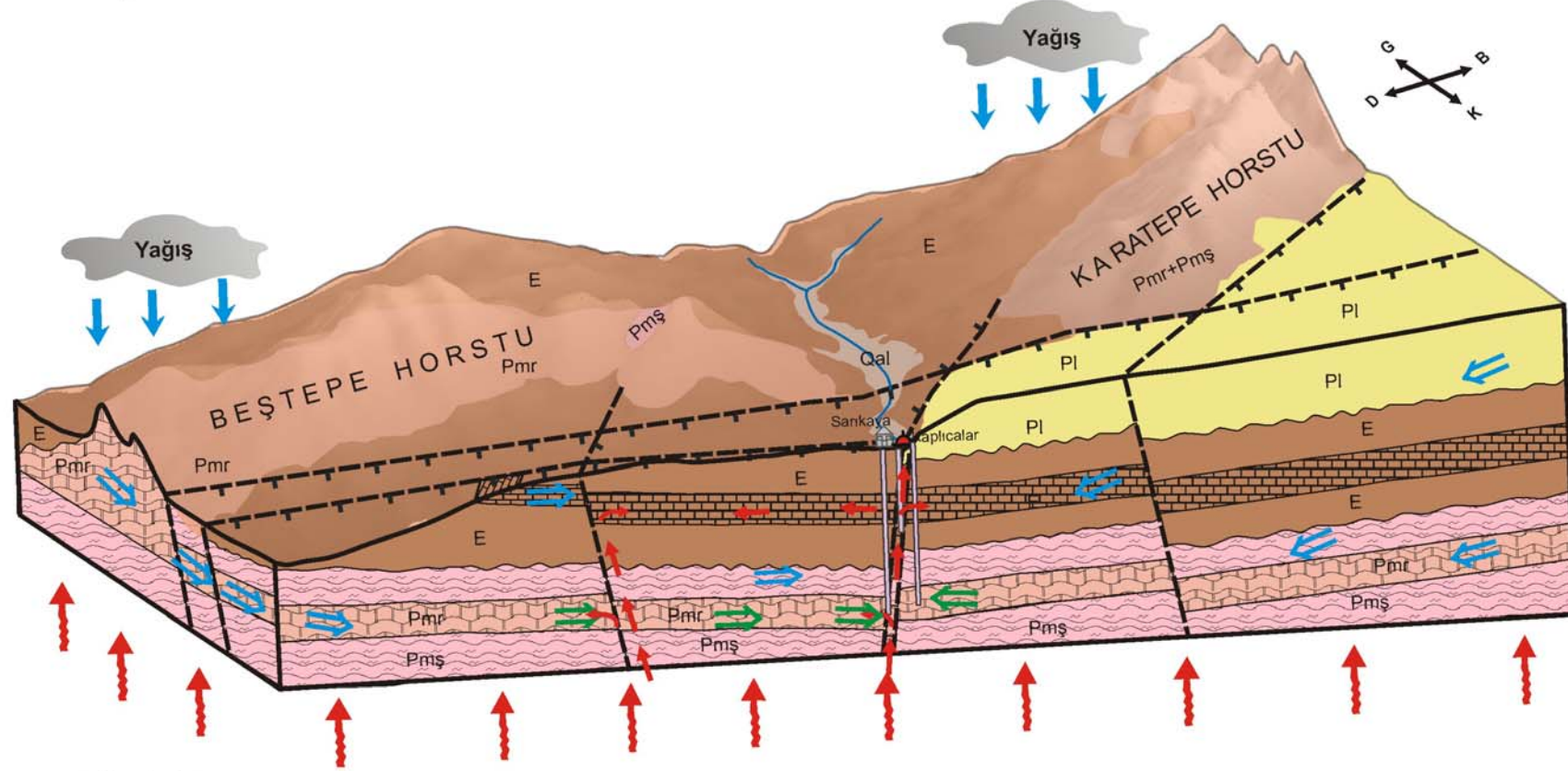


Fay

Sıcak ve mineralli  
su kaynağı

Yerleşim yeri

## Sarıkaya Jeotermal Alanının Hidrotermal Modeli



### JEOLojİK BİRİMLER

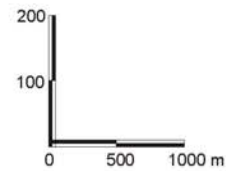
|                       |     |                           |                      |   |                          |                        |     |                           |
|-----------------------|-----|---------------------------|----------------------|---|--------------------------|------------------------|-----|---------------------------|
| Kuvaterner            | Qal | Kil, kum, çakıl           | Beycedere formasyonu | E | Çakıltaşı, kumtaşı, marn | Bozçaldağ formasyonu   | Pmr | Mermer, kuvarsit          |
| Kızılırmak formasyonu | Pl  | Kumtaşı, kıltaşı          | Eosen                | E | Kireçtaşı, tuf           | Kalkanlıdağ formasyonu | Pmş | Kuvarsit, çeşitli şistler |
| Pliyosen              | Pl  | Killimarn, killikireçtaşı |                      |   |                          |                        |     |                           |
|                       |     | Açıl uyumsuzluk           |                      |   |                          |                        |     |                           |

### AÇIKLAMALAR

|                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Dokanak                       | Yerleşim yeri               |
| Fay                           | Sürekli akarsu              |
| Sıcak ve mineralli su kaynağı | Jeotermal akışkan akış yönü |

|                             |
|-----------------------------|
| Soğuk yeraltısuyu akış yönü |
| Ilık yeraltısuyu akış yönü  |
| Isı akışı                   |

### Ölçek



## **ÖZGEÇMİŞ**

Adı Soyadı : Hatice Özen Türker

Doğum Yeri :Çorum

Doğum Yılı : 1979

Medeni Hali : Bekar

### **Eğitim ve Akademik Durumu:**

Lise : 1994-1997 Dr. Şerafettin Tombuloğlu Lisesi

Lisans : 1997-2003Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

### **İş Tecrübesi:**

Ocak 2004-Kasım 2004 ORME Jeotermal A.Ş.

Kasım 2004-(devam ediyor) Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği  
Bölümü Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil: İngilizce