



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**AŞAĞI SAKARYA HAVZASI**  
**JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLOJİ VE**  
**HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ**

**Ertan GÖLLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**MAYIS-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Ertan GÖLLÜ tarafından hazırlanan "Aşağı Sakarya Havzasının Jeotermal Alanının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelenmesi" adlı tez çalışması 05/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof.Dr. Ali KAHRAMAN

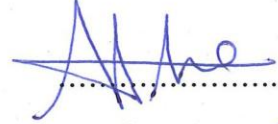
#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ali Ferat BAYRAM

#### Üye

Doç.Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

### İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

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

## DECLARATION PAGE

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

Ertan GÖLLÜ

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## AŞAĞI SAKARYA HAVZASININ JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLOJİ VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

Ertan GÖLLÜ

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali Ferhat BAYRAM

2019, 113 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ali Ferat BAYRAM  
Prof.Dr. Ali KAHRAMAN  
Doç.Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

Bu çalışmada Aşağı Sakarya jeotermal alanının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Sakarya kıtası ve Rodop-Pontid (İstanbul-Zonguldak Zonu) fragmentinin, birbirlerine yaklaşması sonucu oluşan metamorfizma ve bölgede oluşan Kuzey Anadolu Fayı çalışma alanının evrimsel jeolojisini ortaya koymaktadır.

İnceleme alanındaki kaya birimleri, Batı Pontid Zonu, Armutlu-Almacık-Arkotdağı Zonu, Sakarya Zonu ve örtü birimleri adı ile dört ana başlıkta incelenmiştir. Isı kaynağı, Kuzey Anadolu Fayı'na bağlı magmatik sokulumlar düşünülebilir. Rezervuar kaya ise gerek Sultaniye metamorfikleri içerisindeki kalk şist ve mermer düzeyleri gerekse Abant formasyonu içerisindeki kireçtaşları ve mermer bloklarıdır. Metamorfik kayaların killi şist düzeyleri kendi içerisinde örtü kayayı oluştururlar. Abant formasyonunun filiş karakteri gösteren seviyeleri ile şeyl ve çamurtaşı düzeyleri örtü kayayı oluşturur. Çaycuma, Yığılıca ve Örencik formasyonları genel anlamda geçirimsiz olup geçirimsiz düzeyleri örtü kayayı, taneli kısımları da bölgesel olarak ikincil rezervuarı oluşturur.

Çalışma alanında yedi farklı lokasyondan su örnekleri alınmış ve bu örneklerde katyon, anyon ve izotop analizleri yapılmıştır. İnceleme alanındaki sular genel olarak Na-Cl, Ca-Cl ve Na-Ca-Cl tipi sular olarak sınıflandırılabilir. Baskın katyon ve anyonlar bölgesel olarak değişmektedir. Örnekleme yapılan jeotermal suları Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramına göre çevresel su sınıfına girmektedir. İnceleme alanındaki sıcak sular Giggenbach diyagramına göre genel olarak olgun olmayan sular sınıfına girerken bir örnek kısmen denge durumunda olan sular sınıfına girmektedir. Termal suların silis jeotermometrelerine göre hesaplanan rezervuar sıcaklıkları genel olarak 18 °C- 152 °C arasında değişmektedir. Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları ise 32 °C- 338 °C arasındadır. İnceleme alanında açılan jeotermal kuyu ve termal kaynakların 20 °C – 89 °C arasında değişen kaynak ve rezervuar sıcaklık değerleri dikkate alındığında silis jeotermometrelerinin katyon jeotermometrelerine göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Termal suların δ<sup>2</sup>H değerleri -81,47 ile -71,63 arasında değişirken δ<sup>18</sup>O değerleri ise -11,97 ile -7,05 değişim göstermektedir. δ<sup>18</sup>O- δ<sup>2</sup>H grafiğine göre bölgede sıcak suların oksijen içeriğinin kaya-su etkileşimine bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Sıcak su numunelerinde kalsit, dolomit, aragonit, jips, anhidrit, kuvars ve kolsedon minerallerinin doygunluk indeksi hesaplamaları değerlendirilmiştir. Bütün numunelerin ortak özellikleri dolomit, kalsit ve aragonit minerallerinin aşırı doygun olması ile kuvars, jips ve anhidrit minerallerinin doygun olmamasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Aşağı Sakarya Havzası, Kuzey Anadolu Fayı, jeotermal sular, hidrojeoloji, hidrojeokimya

## ABSTRACT

## MS THESIS

# HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL EXAMINATION OF THE GEOTHERMAL AREA OF THE LOWER SAKARYA BASIN

Ertan GÖLLÜ

Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Geological Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Ali Ferhat BAYRAM

2019, 111 Pages

### Jury

Asst. Prof. Dr. Ali Ferhat BAYRAM  
Prof. Dr. Ali KAHRAMAN  
Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza SÖĞÜT

The aim of this study was to investigate the hydrogeological and hydrogeochemical properties of the Lower Sakarya geothermal area. The metamorphism of the Sakarya continent and the Rhodope-Pontid (Istanbul-Zonguldak Zone) fragment, which are formed as a result of the approaching of each other, and the North Anatolian Fault formed in the region reveal the evolutionary geology of the study area.

The lithological units in the study area are classified as West Pontide zone, Armutlu-Almacık-Arkotdağı zone, Sakarya zone and cover units. The heat source is thought to be magmatic intrusions due to the North Anatolian Fault. The reservoir rocks consist of calc schist and marble levels of the Sultaniye metamorphics, limestone and marble blocks of the Abant formation. The clayish schist levels of the metamorphic rocks form the cover rock. The level of shales and mudstones of the Abant formation showing the flysch character forms the cover rock. Çaycuma, Yığıca and Örencik formations are generally impermeable. The impermeable levels form the cover rock-whereas the granular parts are secondary reservoirs.

In this study, water samples were collected from seven different locations and were made cation, anion and isotope analyses. The waters show generally Na-Cl, Ca-Cl and Na-Ca-Cl types. The dominant cations and anions vary regionally in the study area. The geothermal waters sampled are classified as environmental water according to the Cl-SO<sub>3</sub>-HCO<sub>4</sub> triangle diagram. According to the hot Giggenbach diagram, hot waters in the study area generally fall into the class of immature waters except for one sample that falls into the partially equilibrated water class. Silica geothermometry result show that the reservoir temperatures of the thermal waters generally vary between 18 °C and 152 °C. The reservoir temperatures calculated by cation geothermometers range from 32 °C to 38 °C. Comparing the measured outlet temperatures of the geothermal wells and thermal springs having between 20 °C- 89 °C it is on opinion that silica geothermometers give more reliable results than cation geothermometers. δ<sup>2</sup>H values of thermal waters rang from -81.47 to -71.63, while δ<sup>18</sup>O values are between -11.97 and -7.05. According to the δ<sup>18</sup>O- δ<sup>2</sup>H graph, it was determined that the oxygen content of the hot water in the region enriched due to the rock-water interaction. Calculations of mineral saturation indices of calcite, dolomite, aragonite, gypsum, anhydrite, quartz and chalcedony minerals in hot water samples were evaluated. The common features of all samples are that the dolomite, calcite and aragonite minerals were oversaturated and that the quartz, gypsum and anhydrite minerals were under saturated.

**Keywords:** Lower Sakarya basin, North Anatolian Fault, geothermal waters, hydrogeology, hydrogeochemistry

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında tecrübe ve desteklerini esirgemeyen tez danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ali Ferhat BAYRAM' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımın sonucunda elde edilen numunelerinin kimyasal analizlerini Dokuz Eylül Üniversitesi Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezinde ölçülmesini sağlayan Prof. Dr. Niyazi AKSOY hocama en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarında yanımda bulunan, bilgi ve tecrübeleri ile yardımcı olan, meslektaşım, arkadaşım sayın Murat ALTINATA' ya teşekkür ederim.

Tez çalışmaları kapsamında bilgisayar programlarında yardımlarını esirgemeyen kardeşim Ceyhun GÖLLÜ'e teşekkür ederim.

Tez çalışmaları kapsamında bilgisayar programlarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Murat KÖSE'e teşekkür ederim.

Tez çalışmaları kapsamında bilgisayar programlarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım ve meslektaşım Kıvanç ÖZÇETİN' e teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca bana her türlü desteklerini ve yardımlarını sunan aileme ve canım eşim Esmâ GÖLLÜ' ye çok teşekkür ederim.

Ertan GÖLLÜ  
KONYA-2019

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....</b>	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>x</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
1.2. Çalışma Alanının Yeri .....	1
1.3. Coğrafi Konum ve Morfoloji.....	2
1.3.1. Depremsellik .....	3
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü .....	4
1.5. Çalışma Yöntemleri .....	4
1.5.1. Literatür çalışmaları .....	4
1.5.2. Arazi çalışmaları .....	7
1.5.3. Laboratuvar çalışmaları .....	8
1.5.4 Büro çalışmaları .....	8
<b>2. ÖRNEKLEME VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>9</b>
2.1. Örneklem Yöntemi.....	9
2.2. Ölçüm Yöntemi.....	9
2.3. Laboratuvar Ölçüm Yöntemi .....	9
2.3.1. ICP-MS yöntemi ile suların kimyasal analizleri.....	9
2.3.2. Gravimetri (Çöktürme) yöntemi ile sülfat analizi.....	10
2.3.3. İzotop analiz yöntemi.....	10
<b>3. JEOLJİ .....</b>	<b>11</b>
3.1. Stratigrafi .....	11
3.1.1. Batı Pontid Zonu .....	14
3.1.1.1. Soğuksu Formasyonu (Os).....	14
3.1.1.2. Kocatöngel Formasyonu (Oko) .....	14
3.1.1.3. Kurtköy Formasyonu (Ok).....	14
3.1.1.4. Ereğli Formasyonu (ODe) .....	15
3.1.1.5. Ferizli Formasyonu (Df) .....	15
3.1.1.6. Yılanlı Formasyonu (DCy) .....	15
3.1.1.7. Çakraz Formasyonu (PTRç) .....	16
3.1.1.8. Yemişliçay Formasyonu (Ky).....	16
3.1.1.9. Akveren Formasyonu (KTA) .....	16
3.1.1.10. Çaycuma Formasyonu (Teç).....	17
3.1.1.11. Yığılca Formasyonu (Tey).....	17
3.1.2. Armutlu-Almacık-Arkotdağı Zonu.....	18

3.1.2.1. Yedigöller Formasyonu (P€y) .....	18
3.1.2.2. Sultaniye Metamorfitleri (PTRs) .....	18
3.1.2.3. Keltepe Mermeri (JKk).....	18
3.1.2.4. Akçay Metamorfitleri (Ka) .....	19
3.1.2.5. Almacık Ofiyolitik Melanjı (Kal) .....	19
3.1.2.6. Abant Formasyonu (KTab) .....	20
3.1.3. Sakarya Zonu .....	20
3.1.3.1. Sarıcakaya Formasyonu (Csg).....	20
3.1.3.2. Gökçekaya Metamorfitleri (PTRg).....	20
3.1.3.3. Karatepe Formasyonu (PTRk) .....	21
3.1.3.4. Bilecik Kireçtaşı (JKb) .....	21
3.1.3.5. Soğukçam Formasyonu (JKs).....	22
3.1.3.6. Yenipazar Formasyonu (Kye).....	22
3.1.3.7. Selvipınar Formasyonu (Tps) .....	23
3.1.3.8. Kızılçay Formasyonu (Tpek).....	23
3.1.3.9. Çataltepe Formasyonu (Teça).....	23
3.1.3.10. Halidiye Formasyonu (Teh).....	24
3.1.4. Örtü birimi .....	24
3.1.4.1. Örencik Formasyonu (Tplö) .....	24
3.1.4.2. Taraça Dolgusu (Qt) .....	24
3.1.4.3. Traverten (Otr).....	24
3.1.4.4. Yamaç Molozu (Oym).....	25
3.1.4.5. Eski Alüvyon Yelpazezi (Q1ay) .....	25
3.1.4.6. Alüvyon Yelpazezi (Oay) .....	25
3.1.4.7. Alüvyon (Qal) .....	25
3.2. Yapısal Jeoloji.....	25
<b>4. HİDROLOJİ.....</b>	<b>28</b>
4.1. Giriş .....	28
4.2. Su Noktaları .....	28
4.3. Kayaçları Hidrojeolojik Özellikleri .....	30
4.3.1. Örtü Birimleri .....	30
4.3.1.1. Taraça, traverten, alüvyon, alüvyon yelpazezi, yamaç molozu .....	30
4.3.1.2. Örencik Formasyonu (Tplö) .....	30
4.3.1.3. Halidiye Formasyonu (Teh).....	31
4.3.1.4. Çaycuma Formasyonu (Teç).....	31
4.3.1.5. Yığılca Formasyonu (Tey).....	31
4.3.1.6. Çataltepe Formasyonu (Teça).....	31
4.3.1.7. Yenipazar Formasyonu (Kye).....	31
4.3.1.8. Soğuksu Formasyonu (Os).....	31
4.3.1.9. Almacık Ofiyolitik Melanjı (Kal) .....	32
4.3.1.10. Akçay Metamorfitleri (Ka) .....	32
4.3.1.11. Yedigöller Formasyonu (P€y) .....	32
4.3.2. Rezervuar Kayaçlar.....	32
4.3.2.1. Soğukçam Formasyonu (JKs).....	32
4.3.2.2. Bilecik Kireçtaşı (JKb) .....	32
4.3.2.3. Karatepe Formasyonu (PTRk) .....	32
4.3.2.4. Akveren Formasyonu (KTA).....	33
4.3.2.5. Yemişliçay Formasyonu (Ky).....	33



4.3.2.6. Çakraz Formasyonu (PTRç) .....	33
4.3.2.7. Yılanlı Formasyonu (DCy) .....	33
4.3.2.8. Ferizli Formasyonu (Df) .....	33
4.3.2.9. Abant Formasyonu (KTab) .....	33
4.3.2.10. Mermer Üyesi (PTRsm).....	34
4.3.2.11. Sultaniye Metamorfitleleri (PTRs) .....	34
4.3.3 Isıtıcı Kaya .....	34
4.4. Meteoreolojik Su Bütçesi.....	36
4.5. Yeraltısı Seviyesi .....	38

## 5. HİDROJEOKİMYA ..... 44

5.1. Giriş .....	44
5.2. İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş Birincil (Majör) İyonlar.....	46
5.2.1. Kalsiyum (Ca <sup>++</sup> ).....	46
5.2.2. Magnezyum (Mg <sup>++</sup> ) .....	47
5.2.3. Sodyum (Na <sup>+</sup> ) .....	48
5.2.4. Potasyum (K <sup>+</sup> ).....	49
5.2.5. Karbonat (CO <sub>3</sub> ) ve bikarbonat (HCO <sub>3</sub> ) .....	50
5.2.6. Klorür (Cl <sup>-</sup> ) .....	51
5.2.7. Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) .....	52
5.2.8. Silisyum (Si) .....	53
5.3. İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş İkincil İyonlar.....	54
5.3.1. Demir (Fe <sup>+3</sup> ).....	54
5.3.2. Arsenik (As).....	55
5.3.3. Bor (B) .....	56
5.3.4. Lityum (Li <sup>+</sup> ) .....	58
5.3.5. Baryum (Ba <sup>++</sup> ) .....	58
5.3.6. Stronsiyum'un (Sr) .....	59
5.3.7. Flor (F).....	60
5.4. İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş Minör ve İz Bileşenler.....	61
5.5. İnceleme Alanındaki Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri .....	61
5.5.1. İnceleme Alanındaki Soğuk ve Sıcak Suların İçilebilme Özellikleri .....	61
5.5.2. İnceleme Alanındaki Soğuk ve Sıcak Suların Wilcox Diyagramına Göre Kullanılabilirlik Özellikleri.....	65
5.5.3. İnceleme Alanındaki Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına Göre Kullanılabilirlik Özelliği.....	68
5.6. Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflandırması.....	70
5.6.1. Sertliğine Göre Su Sınıflaması .....	70
5.6.2. pH Değerlerine Göre Su Sınıflaması .....	72
5.6.3. Elektriksel İletkenlik Değerlerine Göre Su Sınıflaması .....	72
5.6.4. Suda Çözünmüş Toplam İyon Miktarına Göre Su Sınıflaması .....	72
5.6.5. Suların Hidrojeokimyasal Fasiyes Kavramına Göre Sınıflaması .....	73
5.6.6. Piper Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması .....	73
5.6.7. Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram'a Göre Su Sınıflaması.....	76
5.6.8. Kökensele Sınıflama.....	78
5.7. İzotop Analizi .....	79
5.8. İnceleme Alanındaki Sıcak Sularının Doygunluk İndeksleri Değerleri .....	82
5.8.1. Doygunluk indeksi hesaplaması .....	83
5.8.2. İnceleme alanındaki sıcak sularının doygunluk indeksleri değerleri.....	85

5.9. Jeotermometre Hesaplamaları.....	86
5.9.1. Kimyasal Jeotermometreler .....	87
5.9.1.1. Niteliksel (Kalitatif) kimyasal jeotermometre değerlendirmeleri.....	87
5.9.1.2. Sayısal (Kantitatif) kimyasal jeotermometreler değerlendirmeleri .....	88
5.9.2. Birleşik jeotermometreler .....	93
5.9.2.1. Giggenbach kare diyagramı .....	94
5.10. Kabuklaşma Analizi.....	95
<b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>103</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>108</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>113</b>



## ŞEKİLLER

Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2. İnceleme alanının yeri ve yükseklik modeli (T.O.B., 2018).....	3
Şekil 3.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Temur ve Aksay (2002), Gedik ve Aksay (2002b), Gedik ve Aksay (2002a), Duru ve ark. (2002)' den değiştirilerek alınmıştır).....	12
Şekil 3.2. İnceleme alanının jeoloji haritası(Temur ve Aksay, 2002), (Gedik ve Aksay, (2002b), (Gedik ve Aksay, 2002a) (Duru ve ark., 2002) değiştirilerek alınmıştır).....	13
Şekil 3.3. Kuzeybatı Türkiye'nin paleotektonik dönem haritası (Gündüz,2015)...	26
Şekil 3.4. Türkiye ve yakın dolayının neotektonik haritası. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu (Gündüz, 2015).....	26
Şekil 4.1. Su noktalarının Google Earth görüntüsü.....	30
Şekil 4.2. İncelem ealanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Temur ve Aksay (2002), Gedik ve Aksay (2002b), Gedik ve Aksay(2002a), Duru ve ark. (2002)' dendeğiştirilerek alınmıştır).....	35
Şekil 4.3. Soğuk su sondajlarından belirlenen yeraltısu akım yönünü ve statik seviye haritası.....	40
Şekil 4.4. 3D modelleme ile yeraltısu hareket yönü.....	40
Şekil 4.5. Soğuk su sondajlarından belirlenen yeraltısu akım yönünü ve eş yükselti eğrileri.....	41
Şekil 4.6. Taraklı jeotermal alanının taslak hidrojeolojik modeli.....	42
Şekil 4.7. Ahibaba jeotermal alanının taslak hidrojeolojik modeli.....	42
Şekil 4.8. Ahibaba jeotermal alanının taslak hidrojeolojik modeli.....	43
Şekil 5.1. Analiz sonuçlarına göre kalsiyum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	47
Şekil 5.2. Analiz sonuçlarına göre magnezyum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	48
Şekil 5.3. Analiz sonuçlarına göre sodyum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	49
Şekil 5.4. Analiz sonuçlarına göre potasyum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	50
Şekil 5.5. Analiz sonuçlarına göre karbonat ve bikarbonat iyonlarının inceleme alanındaki dağılımı.....	51
Şekil 5.6. Analiz sonuçlarına göre klorür iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	52
Şekil 5.7. Analiz sonuçlarına göre sülfat iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	53
Şekil 5.8. Analiz sonuçlarına göre silisyum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	54
Şekil 5.9. Analiz sonuçlarına göre demir iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	55
Şekil 5.10. Analiz sonuçlarına göre arsenik iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	56
Şekil 5.11. Analiz sonuçlarına göre bor iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	57

Şekil 5.12. Analiz sonuçlarına göre lityum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	58
Şekil 5.13. Analiz sonuçlarına göre baryum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	59
Şekil 5.14. Analiz sonuçlarına göre stronsiyum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	60
Şekil 5.15. Analiz sonuçlarına göre flor iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.....	61
Şekil 5.16. İnceleme alanından alınan su numunelerinin Wilcox grafiği üzerinde dağılımı.....	67
Şekil 5.17. Numunelerin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerinde gösterimi.....	69
Şekil 5.18. Piper Üçgen Diyagramı ve sınıflaması (Piper, 1953).....	74
Şekil 5.19. İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin analizlerinin Piper Diyagramı üzerindeki izdüşümleri.....	75
Şekil 5.20. İnceleme alanından alınan su numunelerinin analizlerinin Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram üzerindeki izdüşümleri.....	78
Şekil 5.21. İnceleme alanına ait jeotermal sularına ait Cl-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> üçgen diyagramı.....	79
Şekil 5.22. İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerin izotop analizi sonuçlarının diyagram üzerinde gösterimi.....	82
Şekil 5.23. İnceleme alanındaki termal suların Na-K-Mg Üçgen Diyagramı'ndaki konumları.....	94
Şekil 5.24. İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin Giggenbach Kare Diyagramı üzerinde gösterimi.....	95
Şekil 5.25. AKZ-1 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	96
Şekil 5.26. Ahibaba kaynağından alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	97
Şekil 5.27. İhlas K3 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	98
Şekil 5.28. KİL Hamamı kaynağından alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	99
Şekil 5.29. Kuzuluk Sodası kaynağından alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	100
Şekil 5.30. SPC-1 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	101
Şekil 5.31. Taraklı Termal kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	102

## ÇİZELGELER

<b>Tablo 4.1.</b> Çalışma alanındaki su noktalarının konumu.....	29
<b>Tablo 4.2.</b> Sakarya ilinin 1950-2017 yılları arası ölçülen meteorolojik veriler.....	37
<b>Tablo 4.3.</b> Yeraltı su seviye haritasının oluşturulmasında kullanılan soğuk su kuyuları ve kuyu bilgileri.....	39
<b>Tablo 5.1.</b> Aşağı Sakarya Havzası jeotermal alanlarından alınan suların kimyasal analiz sonuçları.....	45
<b>Tablo 5.2.</b> Türk Standartları TS 266 ve Diğer Uluslararası İçme Suyu Standartları, Limit Değerleri.....	62
<b>Tablo 5.3.</b> İnceleme alanından alınan su örneklerinin kimyasal analizleri ile Türk Standartları, Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), ABD Koruma Ajansı, Avrupa Birliği (EC) içme suyu kriterleri karşılaştırılması.....	64
<b>Tablo 5.4.</b> Wilcox sulama suları sınıflaması tablosu.....	65
<b>Tablo 5.5.</b> Wilcox sulama suları sınıflaması diyagramında kullanılmak üzere hesaplanmış % Na değerleri.....	66
<b>Tablo 5.6.</b> Hesaplanan SAR değerlerine göre sulama sularının niteliği.....	68
<b>Tablo 5.7.</b> İnceleme alanına ait su numunesi analizlerinin SAR değerleri hesaplamaları.....	68
<b>Tablo 5.8.</b> Fransız Toplam Sertlik tablosu.....	71
<b>Tablo 5.9.</b> İnceleme alanına ait su numunelerindeki Fransız Sertlik değerleri ve numune sertlik sınıflamaları.....	71
<b>Tablo 5.10.</b> İnceleme alanına ait su numunelerinin toplam iyon miktarına göre su sınıflamaları.....	72
<b>Tablo 5.11.</b> İnceleme alanındaki termal suların IAH (1979)'ya göre su tipi sınıflaması.....	73
<b>Tablo 5.12.</b> Schoeller'e göre suların klorür derişimine göre su sınıflama tablosu.....	76
<b>Tablo 5.13.</b> Schoeller'e göre suların sülfat derişimine göre su sınıflama tablosu.....	76
<b>Tablo 5.14.</b> Schoeller'e göre suların karbonat ve bikarbonat derişimlerine göre su sınıflama tablosu.....	77
<b>Tablo 5.15.</b> İnceleme alanından temin edilen sıcak su numunelerinin Schoeller'e göre su sınıflamaları.....	77
<b>Tablo 5.16.</b> İnceleme alanından alınan bazı sıcak su numunelerinde yapılmış izotop analizi sonuçları.....	81
<b>Tablo 5.17.</b> İnceleme alanına ait sular da saptanan minerallerin doygunlukları.....	85
<b>Tablo 5.18.</b> İnceleme alanından alınan su numuneleri ile yapılan jeotermometre hesaplamaları.....	92

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

A	: Alan, (m <sup>2</sup> )
Al	: Alüminyum
Ag	: Gümüş
As	: Arsenik
B	: Batı
B	: Bor
Ba	: Baryum
Be	: Berilyum
Br	: Brom
°C	: Santigrat derece
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klor
cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
2D	: Döteryum
Δ	: Delta
F	: Flor
Fe	: Demir
HCO <sub>3</sub>	: Bikarbonat
Hg	: Civa
HNO <sub>3</sub>	: Nitrik asit
K	: Potasyum
Km	: Kilometre
Km <sup>2</sup>	: Kilometrekare
L	: Litre
Li	: Lityum
m	: Metre
m <sup>2</sup>	: Metrekare
m <sup>3</sup>	: Metreküp
meq	: Miliekivalent
Mg	: Magnezyum
mg	: Miligram
μg	: Mikrogram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
Mn	: Manganez
Mo	: Molibden
My	: Milyon yıl
μS	: Mikrosimens
N	: Azot
Na	: Sodyum
NH <sub>4</sub>	: Amonyum
NO <sub>3</sub>	: Nitrat
NO <sub>2</sub>	: Nitrit

<sup>16</sup> O	: Oksijen İzotopu
P	: Fosfor
P	: Yağış, (mm)
pH	: Bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimi
Pb	: Kurşun
PO <sub>4</sub>	: Fosfat
Q	: Tepkime Oranı
Rb	: Rubidyum
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Si	: Silis
SO <sub>4</sub>	: Sülfat
Sr	: Stronsiyum
T	: Sıcaklık
Zn	: Çinko

### Kısaltmalar

DSİ	: Devlet Su İşleri
DSİ TAKKD	: Devlet Su İşleri Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi
EC	: Electrical Conductivity (Elektriksel İletkenlik)
Etp	: Potansiyel buharlaşma
Etr	: Gerçek buharlaşma-terleme
IAEA	: International Atomic Energy Agency (Uluslararası Atom Enerji Ajansı)
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi)
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
MTA	: Maden Tetkik Arama
ppb	: Parts Per Billion (Milyarda Bir)
SAR	: Sodium Adsorption Ratio (Sodyum Adsorpsiyon Oranı)
SI	: Saturation İndeks (Doygunluk İndeksi)
SMOW	: Standart Mean Ocean Water (Standart Ortalama Okyanus Suyu)
TDS	: Total Dissolved Solid (Toplam Çözünmüş Madde)
WHO	: World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

## **1. GİRİŞ**

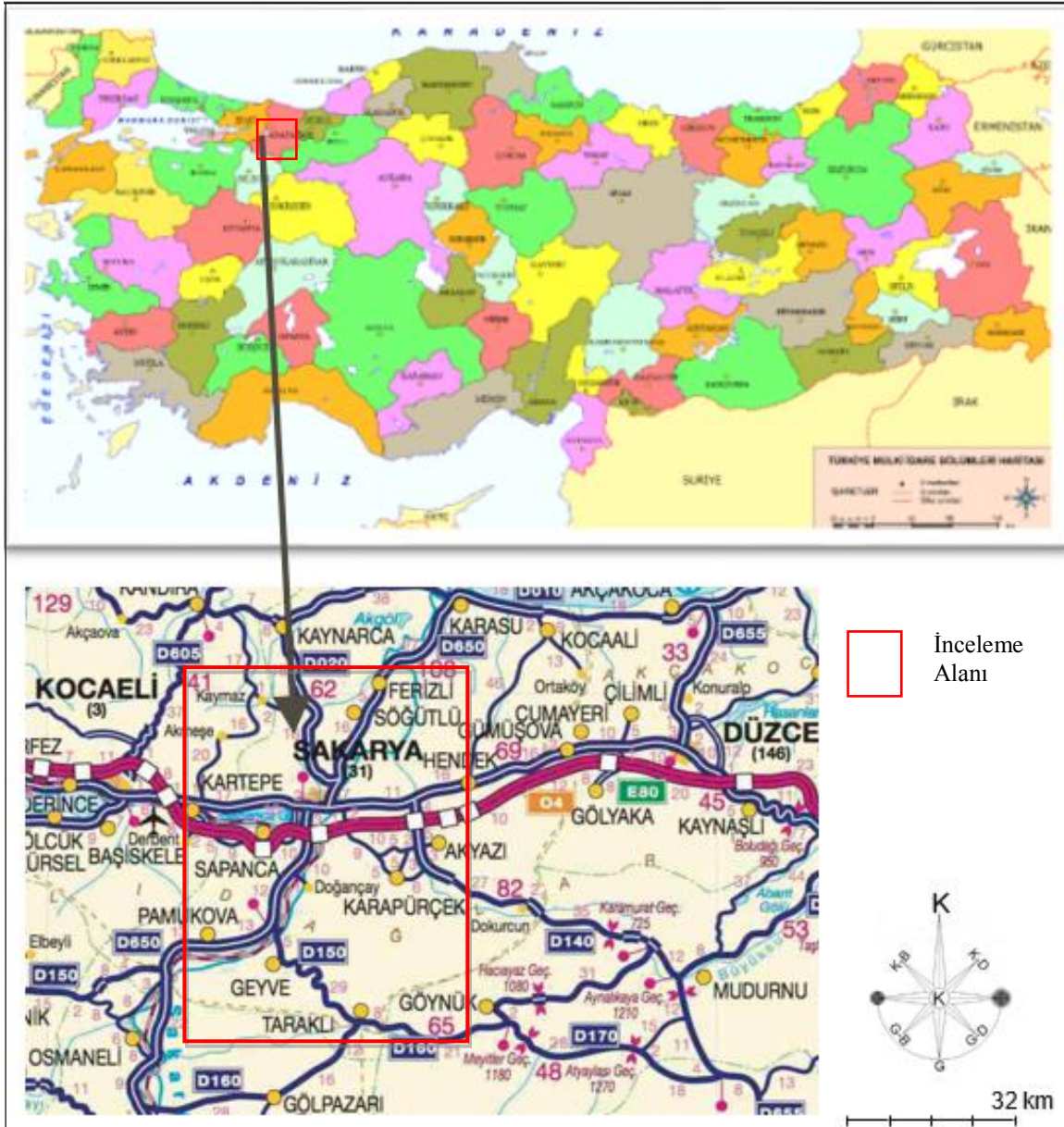
### **1.1. Çalışmanın Amacı**

Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma, Sakarya İli sınırları içerisindeki yer alan Aşağı Sakarya havzasının jeotermal alanlarının incenmesi ve alınan su numunelerinin laboratuvar analiz sonuçlarının yorumlanması ile bölgenin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal potansiyelini araştırmaya katkıda bulunmak amacı ile yazılmıştır.

### **1.2. Çalışma Alanının Yeri**

Marmara Bölgesi'nin Kocaeli Bölümü'nde yer alan toprakları, kuzeyden Batı Karadeniz, doğudan Kızılırmak, güneyden Akarçay, batıdan Susurluk havzaları ile çevrilidir (Şekil 1.1.). Çalışma alanı 1/100.000 ölçekli Adapazarı- G24, G25, H24, ve H25 paftaları içerisinde yer almaktadır.



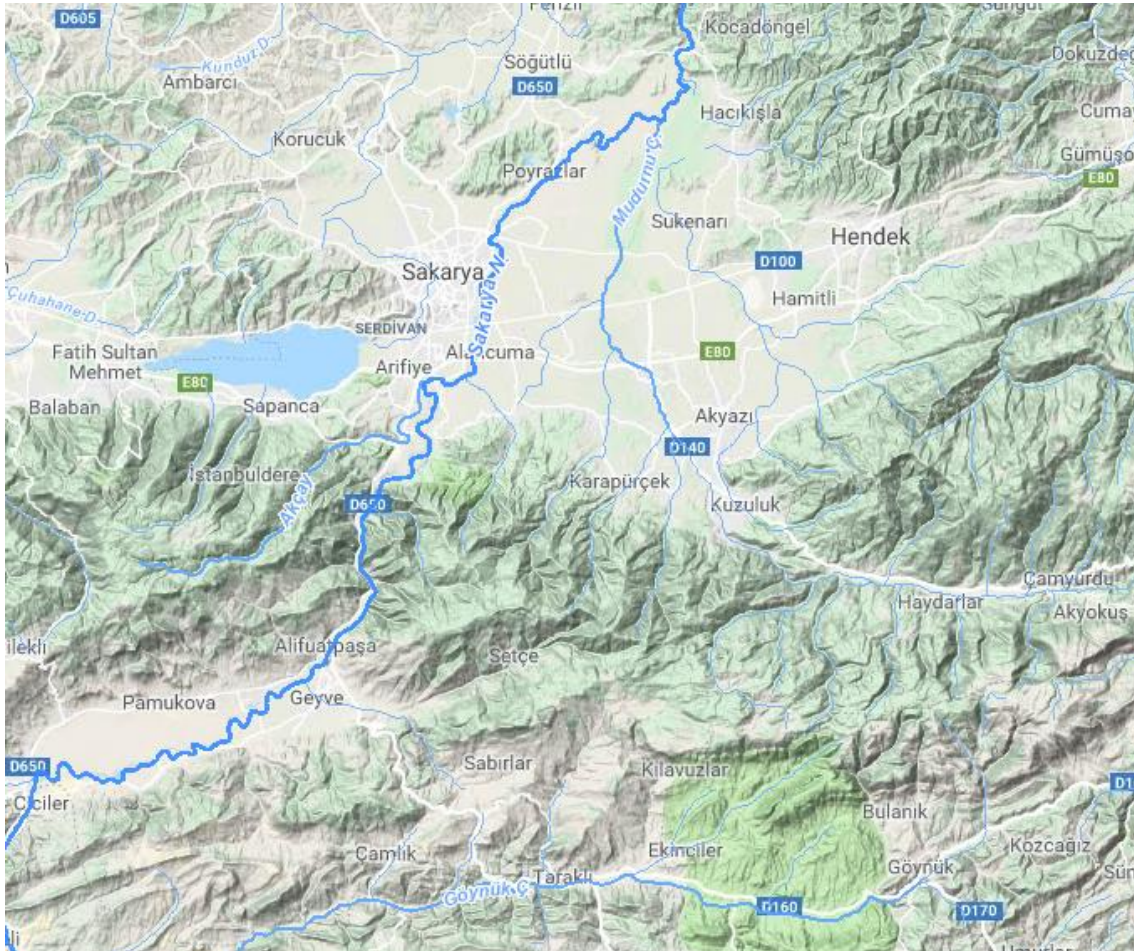


Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

### 1.3. Coğrafi Konum ve Morfoloji

İnceleme alanının toplam yüzölçümünün %44'ünü yaylalar, %34'ünü dağlar ve %22'si ovalarla kaplıdır. Genel olarak dağlık alanları güneyde ve doğuda toplanır. Karadeniz kıyılarına doğru kuzey kesimlerde dağlık alanlar azalır. Bölgenin geneli Sakarya Vadisi boyunca uzanan ortalama yükseltileri 500-1000 m arasında değişen düzlüklerden oluşur. Ortalama yükseltisi 800 m olan Çamdağı üzerinde Uzunçarşı Tepe (237 m), Sivritepe (239 m), Keltepe (550 m), Fındıklı Tepe (990 m) başlıca yükseltilerdir. Pamukova, Adapazarı (Akova) ve Söğütlü başlıca ova düzlükleridir.

Sakarya Irmağının yaklaşık 160 km'lik bölümü, Sakarya il sınırları içerisinde akar. Sakarya Irmağı'na Sapanca Gölü'nün fazla sularını boşaltan Çark Suyu (45 km), gölün doğusundan çıkar. Elmalı Deresi, Sögüt Deresi, Kocadere ile birleşir. Dokurcun yöresinden giren Mudurnu Çayı da (65 km) Sakarya Irmağı'na eklenir. Hendek İlçesi'nden Dinsiz Çayı doğmaktadır. Çay, Sögüt Deresi, Balıklı, Gürcü, Bıçkı ve Gürcü derelerini alır ve Mudurnu Çayı ile birleşir. İlin bir diğer önemli suları; Sapanca, Poyrazlar, Taşkıyık, Gökçeeren, Küçük ve Büyük Akgül, Acarlar gölleridir. İnceleme alanının yükseklik modeli Şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2. İnceleme alanının yeri ve yükseklik modeli (T.O.B., 2018)

### 1.3.1. Depremsellik

Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı'nın 2019 yılı başında hazırlamış olduğu deprem haritasında, inceleme alanının 1. Dereceden tehlikeli deprem bölgesi olarak belirlenmiştir. Zeminin genç nehir çökellerinden oluşması ve yeraltı suyunun yüksekte bulunması, deprem şiddetini artırmakta büyük rol oynamaktadır.

Bilinen tarihi depremler;

a) 20.06.1943 M = 6.3 ; Adapazarı-Hendek: Kuzey bölgesinde bulunan yapılar güney bölgsindeki yapılardan daha fazla hasar görmüştür. 1000 yakın bina yıkılmış, 318 kişi hayatını kaybetmiştir. Hendekte binaların %25, Adapazarı'ndaki binaların ise % 20'si tamamen yıkılmıştır.

b) 22.07.1967 M = 7.2 Adapazarı-Mudurnu 89 kişi hayatını kaybetmiştir. Deprem sonrasında 7. ve 8. aylarda 20'den fazla M= 4.3 büyüklüğünde artçı deprem meydana gelmiştir.

c) 17.08.1999 M = 7.4 Adapazarı-Gölcük depreminde; 20000 kişi hayatını kaybetmiş, binlerce yaralı, bir çok hane yıkık ve ağır hasar oluşmuştur. Depremden sonra artçı sarsıntılar devam etmiştir ve halen de zaman zaman ufak sarsıntılar olmaktadır.

#### **1.4. İklim ve Bitki Örtüsü**

Sakarya, kuzeyden Karadeniz ve Marmara iklim bölgelerinin etkisi altındadır. Karadeniz iklimi gösteren bölgelerde, yaz ile kış dönemi arasındaki sıcaklık farkı fazla olmayıp, yazları nispeten serin, kışları ise kıyı kesimlerinde ılık, yüksek kesimlerde karlı ve soğuk geçer. Marmara ikliminin hakim olduğu bölgelerde karadeniz iklimi kadar yağışlı olmayıp, Akdeniz iklimi kadar kışları ılık geçmez, karasal iklim gibi de yazları kurak, kışları soğuk geçmez. Genelde ılıman deniz etkisi egemen olup, karasal iklim etkileri çok azdır. İl topraklarının % 40,7'si orman örtüsüyle kaplıdır. Kuzeyde kestane, ıhlamur, gürgen, akçaağaç, karışık ormanların yerinde güney yamaçlarda ve iç kesimlerde meşenin egemen olduğu ormanlara bırakır. Sakarya Boğazı'nın güneyi kesimlerinde Akdeniz iklimi etkisi altında daha kurakçıl bitki örtüsü olan kızılçam ormanları, maki türleri görülür. Dünyada örneğine az rastlanır, saf dişbudak ormanları il merkezi ile Hendek İlçesi arasındaki görülür.

#### **1.5. Çalışma Yöntemleri**

##### **1.5.1. Literatür çalışmaları**

Sakarya İli ve çevresinde bu güne kadar yapılan başlıca jeolojik çalışmalar web of sciences taramasına göre, Lucius (1929) Stchepinsky (1940), Erk (1942), Rupprecht (1955), Abdüsselamoğlu (1956), Ürgün (1956), Bistritschan (1957), Abdüsselamoğlu (1959), Ambraseys ve Zatopek (1969), Altınlı (1973), Saner (1977), Erol (1981),

Yılmaz ve ark. (1982), Şengör ve ark. (1983), Sentürk ve Demirel (1987), Kaya ve Birenheide (1988) Okay (1989) yapmışlardır. Güncel çalışmalar ise;

**Besbelli (1991)**, Göynük civarında 3 adet 1/25000'lik paftanın ayrıntılı jeoloji haritalarını hazırlamıştır.

**Şeker ve Kesgin (1991)** ise Mudurnu ve Seben civarını incelemişler, çok sayıda stratigrafik kesit ölçerek, bunlar üzerinde ayrıntılı biyostratigrafi çalışmaları yapmışlardır.

**Altınar ve ark. (1991)**'de Mudurnu, Nallıhan ve Bilecik dolaylarının Jura – Erken Kretase stratigrafisine odaklanmıştır. Bu çalışmada ölçülü kesitler ile oldukça ayrıntılı ammonit, nannoplankton ve planktonik foraminifer stratigrafisi ortaya koymuştur.

**Kocayigit ve ark. (1991)** ise bölgenin Jura – Erken Kretase boyunca tektonik evrimini ortaya çıkartmıştır.

**Schindler (1993)**, Marmara Poly projesi ile kuzey batı Türkiye'de uzay jeodezisi ile ortaya çıkan tektonik ve son hareketler ve bunların yeraltı suları ısı akışı ve sismisite sikülasyonu ile etkileşimlerini inceleyen bir araştırma yapmıştır.

**Okay ve ark. (1994)**, Karadeniz'in açılışının kinematığı ve çevresindeki bölgeler üzerindeki etkisini araştırmışlardır.

**Pfister (1995)**, Türkiye'nin kuzey batısında yapmış olduğu tez çalışmasında jeotermal alanları karakterize eden tektonik aktiviteler ile ısı akışı arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

**Pehlivan (1996)**, Kuzuluk (Akyazı) termomineral, kaynağı çevresinin ayrıntılı jeolojisi ve ilişkili hidrotermal anomalileri açısından irdelediği çalışmada, Kuzuluktaki sıcak suyunun çevre kayalarda oluşturduğu anomaliler ile güncel birikimlerdeki element zenginleşmelerinin türlerin, belirlemeye çalışmıştır.

**Greber (1992), (1994) ve (1996)**' da yaptığı çalışmalarda Mudurnu Vadisinin batısında Kuzuluk kaplıcaları civarında yürüttüğü çalışmalar sonucunda bölge stratigrafisini çalışarak volkanizmanın Intrapontid veya İzmir- Ankara okyanusunun kapanmasıyla var olmasına, soru işaretiyle yaklaşmaktadır.

**Tschudi (1997)**, Kuzuluk'ta yapılan iki jeotermal kuyuya kurulan piezometreler ile aktif bir hidrotermal sistemdeki basınç değişimlerini izlemiştir. Her biri 80 °C sıcaklığa sahip olan her iki kuyu, sırasıyla 2.5 bar ve 6 bar ile basınçlandırılarak oluşan depremleri kaydedilip hidro-termal sistemdeki basınç değişimleri üzerindeki tektonik etkileri tespit etmiştir. Kuzuluk Bölgesinde yapılan

sondaajlarda Kuzey Anadolu Fay Zonu'ndaki hidrotermal sistem hala aktif ve tektonik olduğu sonucuna varılmıştır.

**Göncüoğlu ve ark. (2000)**, Mudurnu – Göynük Havzası güneyinde yer alan ve bazıları havzanın temelini oluşturan ofiolitik ve metamorfik temel kayaçları incelemişlerdir. Araştırmacılar bölgenin Variskan, Kimmerid ve Alpin olayların etkisini taşıdığını, havzanın Kampaniyen – Mastrohtiyen boyunca bir yay önu havza, erken Paleojen'de ise molas havzası niteliğinde olduğunu ileri sürmüşlerdir.

**Bayhan ve ark. (2001)**, Kuzey Anadolu Fay Zonu içinde kalan Adapazarı-Bolu (Batı Karadeniz) yöresinde Geç Paleosen-Eosen yaşlı sedimanter kayaçları incelemiş ve sedimanter istiflerde en bol bulunan kil minerali simektit grubu mineraller olduğu belirlemişlerdir.

**Doğan (2004)**, Sakarya havzasının güneyinde, Arifiye ile Geyve Boğazı arasında kalan bölgede havzanın Holosen dolgulanma süreçleri ve tektonizmanın akarsu süreçleri üzerindeki etkisi açıklamaya çalışmış ve depolanma merkezinin Holosen'de yer değiştirmesine göre havzanın açılma mekanizmasına bir yaklaşımda bulunmuştur.

**Tari ve Tuysuz (2007)**, yapılan çalışmada İzmit Körfezi ve çevresinin morfotektoniği incelenmiştir.

**Alkan (2007)**, “Sakarya Baseninin Sismik Tomografisinin Çıkarılması” adlı yüksek lisans tezinde SIMULPS14 algoritması kullanılarak yapılan yinelemeli ardışık ters çözümler sonucunda, bölgenin 20 km derinliğe kadar olan sismik hız yapısı ve önemli yapısal unsurları ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

**Çelik ve ark. (2009)**, Kuzeybatı Türkiye'de Geyve Boğazı'nda ve Pamukova'nın kuzey bölümlerinde yüzlek veren metamorfik kayaçları incelemişler ve Granitoyit kökenli kayaçların REE ve MORB'a göre normalize edilmiş çoklu element desenleri ile birlikte tektonomagmatik ayırım diyagramları, bu kayaçların volkanik yay ortam koşullarında oluştuklarını ortaya koymuşlardır.

**Akbayram (2011)**, Bu tez kapsamında Pontid'lerin parçaları olan İstanbul ve Sakarya Zonları'nı birbirinden ayıran Pontid-İçi Kenedi'nin stratigrafik ve jeokronolojik evrimi çalışılmıştır.

**Ateş (2012)**, Akyazı-Kuzuluk jeotermal bölge ısıtma sistemi'nin teknik analizi ve bu analizin değerlendirmesi yapılmıştır. Teknik fizibiliteye göre sistem tasarım yükü 751.716.964,94 kWh olarak hesaplanmıştır. Sistemin ısı ihtiyacını sağlamak için saniyede 99,98 l değerindeki jeotermal akışkan debisinin uygun olduğunu ön görmüştür.

**Akbayram ve ark. (2013)**, Istranca Masifi ile birlikte Pontidleri oluşturan, İstanbul Zonu ile Sakarya Zonlarının birbirinden ayıran İç Pontid Sütürünün oluşumu ve İstanbul Zonu ile Sakarya Zonunun Erken Kretase’de çarpışmalarına işaret eden yeni izotopik ve stratigrafik veriler elde etmişlerdir.

**Sipahi (2013)**, “Sakarya İli Akyazı İlçesi Kuzuluk Mevkii’nin düşey elektrik sondajı verileri ile jeotermal potansiyelinin araştırılması” Yüksek Lisans tezinde, Schlumberger elektrot dizilim yöntemini kullanılarak var olan sondajlar ile çalışmanın doğruluğunu belirlemiştir.

**Kaya (2014)**, “Sakarya Zonu’ndaki Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kayaların Paleomağnetik sonuçları” adlı yüksek lisans tezinde Sakarya Zonu’nun elde edilen paleoenlem sonuçlarına göre Alt-Orta Jura ve Üst Jura-Alt Kretase’de Avrasya’nın bir parçası olduğu saptamıştır.

**Akın (2017)**, “Taşkısığı ve Çaltıçak köyleri (Adapazarı) yeraltı sularının kirlenme potansiyelinin değerlendirilmesi” adlı yapmış olduğu yüksek lisans tezinde enerji santralinden kaynaklanan herhangi bir iyon kirlilik tespit edememiştir. Ancak kireç sanayi tesisi tarafından çıkan kaya tozlarının yüzey sularının pH değerinin yüksek olmasında etkili olduğu, santralde kullanılan soğutma suyunun da göl suyunu ısıttığı ortaya konmuştur.

Buraya kadar özetlenen ve değerlendirilen önceki çalışmalardan anlaşılacağı gibi, Aşağı Sakarya Havzasında jeotermal açıdan çalışmaların olmadığı ya da Kuzuluk ve Taraklı bölgelerinde bölgesel olarak irdelendiği görülmektedir. Bu çalışmada formasyonların yanıl düşey geçişleri irdelenmesi, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan modellemeler ve analizler yapılarak jeotermal açıdan değerlendirilmesi yapılacaktır.

### **1.5.2. Arazi çalışmaları**

Arazi çalışmaları kapsamında 1/100.000 lik jeolojik harita kullanılmıştır (G24, G25,H24 ve H25). Örnekleme yapılacak su noktaları belirlenmiş ve bu lokasyonların arazide GPS cihazı ile koordinatları belirlenmiştir. Çalışma alanındaki kuyu ve kaynaklardan kimyasal ve izotopik analizler için örnekleme yapılmıştır.

### **1.5.3. Laboratuvar alışmaları**

İnceleme alanındaki su noktalarından alınan su örneklerinin kimyasal analizleri (Anyon-Katyon analizleri) Dokuz Eylül Üniversitesi Jeotermal Araştırma ve Uygulama Merkezi Kimya Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Suların Oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $\delta^2\text{H}$ ) izotopları DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarında yaptırılmıştır.

### **1.5.4 Büro alışmaları**

İnceleme alanı literatür çalışmalarının yanı sıra Google Earth topoğrafik haritası Surfer 8 kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan haritalar yardımıyla inceleme alanının su akım yönü ve eş yükselti modeli ile yeraltı su hareket yönü oluşturulmuştur. Örnekleme yapılan su noktaları koordinat bilgileri haritalar üzerine işlenmiştir. Kimyasal analizlerden elde edilen sonuçlar Watch 2010 (Bjarnason, 1994) , CorelDraw 15X ve çeşitli Excel programları ile yorumlanmıştır.

## 2. ÖRNEKLEME VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

### 2.1. Örnekleme Yöntemi

Arazi çalışmasında alınan numunelerde bazı parametreler yerinde ölçülmüştür. Laboratuvar standartları göz önünde bulundurularak arazide alınan su örneklerinde fiziksel ve kimyasal özellikler önem arz etmektedir. Bu sebeplerden dolayı alınan örneklerde hidrojeokimyasal analiz etmek için 500 ml alınmış ve şişeler en az iki kere çalkalayıp 0,45µ geçirgenlikteki filtrelerden geçirilerek ayrı ayrı kation ve anyon olarak alınıp etiketlenmiştir. Alınan numunelerde hava kalmaması için ağzına kadar su doldurularak kapatılmıştır. Kation analizleri için alınan su örneklerinde derişik HNO<sub>3</sub> konularak pH değeri 2.0 ile 3.0 arasına getirilir, bunun nedeni bazı maddelerin çökelp reaksiyon göstermesini önlemek içindir. İzotop analizleri için 100 ml örnekleme yapılmış ve 0,45µ geçirgenlikteki filtrelerden geçirilmiştir.

### 2.2. Ölçüm Yöntemi

Su analizlerinde örnekler fiziksel parametrelerini uzun süre koruyamazlar, bu nedenle bazı ölçümlerin arazide yapılması gerekmektedir. araziye çıkmadan önce fiziksel parametreleri ölçen cihazın kalibrasyonları yapılmıştır

Arazide Sıcaklık, pH, EC ve TDS değerlerinin ölçümlerini WTW 340i multi parameter cihazı ile Silika ölçümleri ise Hach DR 900 spektrofotometri cihazı ile yapmıştır.

### 2.3. Laboratuvar Ölçüm Yöntemi

#### 2.3.1. ICP-MS yöntemi ile suların kimyasal analizleri

ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) endüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometrisi kullanılmıştır. Elementlerin hızlı, ucuz, hassas ve doğru biçimde, niteliksel, niceliksel ya da yarı-niceliksel olarak ölçülmesine olanak sağlayan ileri teknoloji ürünü bir analiz tekniğidir. Teknik elektromanyetik indüksiyonla örneği iyonize ederek 10,000 ° K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir detektör tarafından ölçülmesi aşamalarını içerir. Numunelerden alınan örneklerin tüm elementlerin derişimleri 1 ile 2 dakika arasında ölçülür. ICP-MS ölçüm tekniğinde sıvı örnekler çözelti ICP-MS, katı örnekler ise çözeltiye alınarak



çözelti ICP-MS ya da doğrudan Lazer Aşındırma (LA-ICP-MS) teknikleri ile ölçülebilirler. Lazer aşındırma (laser ablation) yönteminin en önemli avantajı bilinmeyen örneklerin kompozisyonu hakkında bilgi vermesidir.

### 2.3.2. Gravimetri (Çöktürme) yöntemi ile sülfat analizi

Dokuz Eylül Üniversitesi Jeokimya Laboratuvarı'nda, gravimetri (çöktürme) yöntemi ile sülfat analizleri yapılmaktadır. Bu yöntem, baryum sülfatın ( $BaSO_4$ ) kükürt türevlerini  $SO_4$  'a yükseltgeyip çözeltiliye  $BaCl_2$  ilave ederek çöktürme şeklindedir. Analiz yapılacak suyun  $SO_4^{-2}$  içeriğine göre 50–100 ml örnekten kullanılır. 1 mg  $BaSO_4$  'da, 0,4115 mg  $SO_4^{-2}$  vardır. Buna göre,  $SO_4^{-2}$  değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$SO_4^{-2}$  (mg/l) = 0,4115 x 1000 x mg  $BaSO_4$  / ml olarak alınan numune hacmi standart sapması %4,7 ve relatif hatası ise %19'dur. Ölçüm alt limiti ise 0,1mg/l'dir.

### 2.3.3. İzotop analiz yöntemi

Suların Oksijen ( $\delta^{18}O$ ) ve Döteryum ( $\delta^2H$ ) izotopları DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarında yaptırılmıştır. Bu laboratuvarda kullanılan yöntem kısaca şöyledir:

Anali yapılacak numuneler elementer analiz cihazında  $\delta^2H$  için 1070 °C ve  $^{18}O$  için 1230 °C ısıtılarak pirolize uğrar ve hidrojen ve karbon monoksit gazına dönüşür. Ölçüm sırasında cihaza referans olması için  $\delta$  bilinen  $^2H$  için hidrojen ve  $^{18}O$  için karbon monoksit gazları verilir. Piroliz sonucu açığa çıkan gazlar ile referans gazı karşılaştırılarak su örnekleri için  $^2H$  ve  $^{18}O$  izotop değerleri bulunmuş olur.

### 3. JEOLojİ

İnceleme alanı Sakarya kıtası ve Rodop-Pontid (İstanbul-Zonguldak Zonu) fragmentinin, birbirlerine yaklaşması sonucu oluşan metamorfizma ve bölgede oluşan Kuzey Anadolu Fayı çalışma alanının evrimsel jeolojisini ortaya koymaktadır (Doğan, 1998).

Kuzey Anadolu Fayı, Karadenize paralel olarak uzanan, Anadolu'yu D-B doğrultusunda boydan boya kesen, batıda Sakarya nehri ile doğuda Van Gölü arasında kalan ve uzunluğu yaklaşık olarak 1100 km olan, Ege denizi ile İran sınırı arasında, uzantıları ile birlikte, 1600 kilometredir (Ketin, 1976).

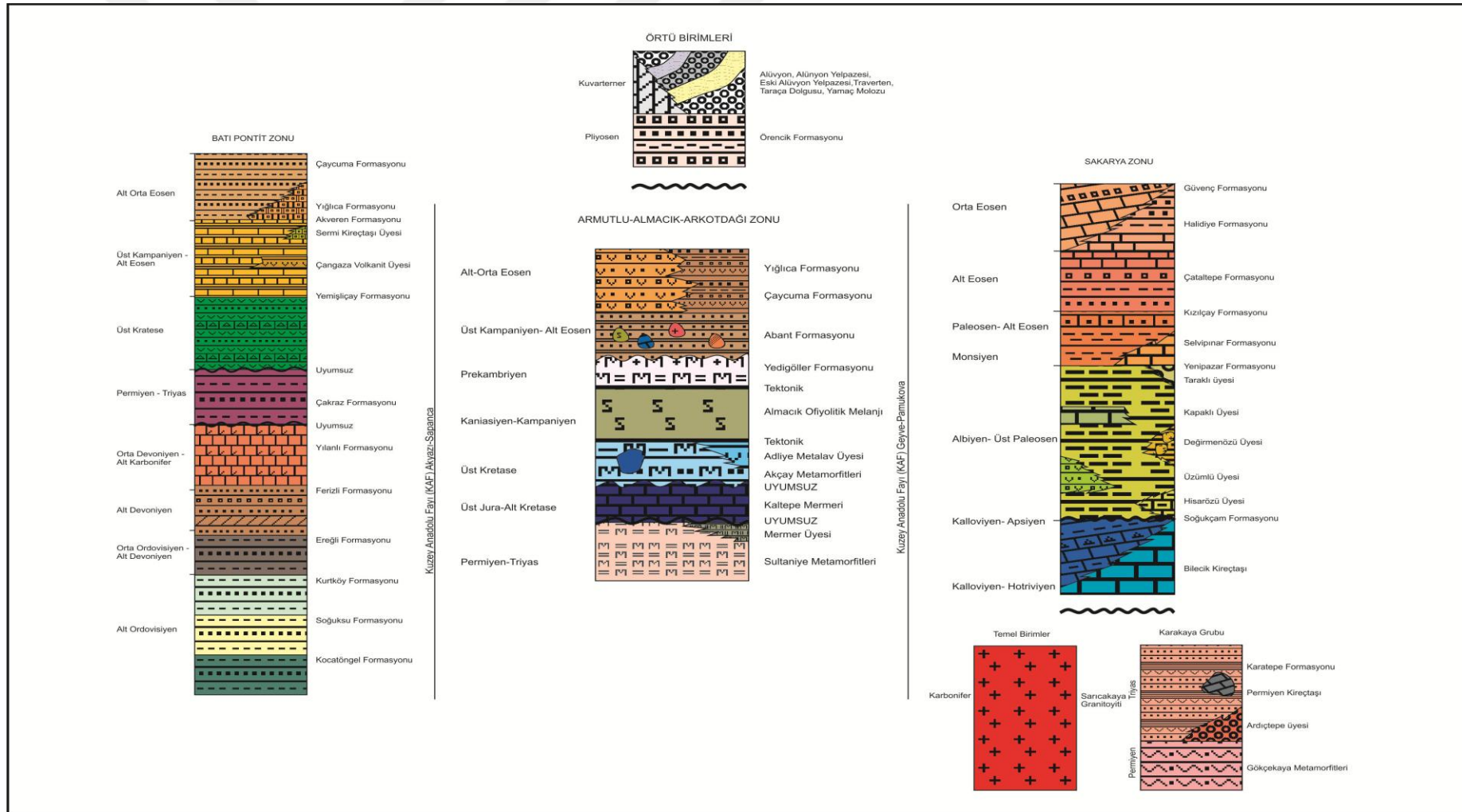
#### 3.1. Stratigrafi

İnceleme alanındaki kaya birimleri, Batı Pontid Zonu, Armutlu-Almacık-Arkotdağı Zonu, Sakarya Zonu ve Örtü Birimleri adı ile dört ana başlık altında incelenmiştir (Gedik ve Aksay (2002), Temur ve Aksay (2002), İ.Gedik ve Aksay (2002), Duru ve ark. (2002)).

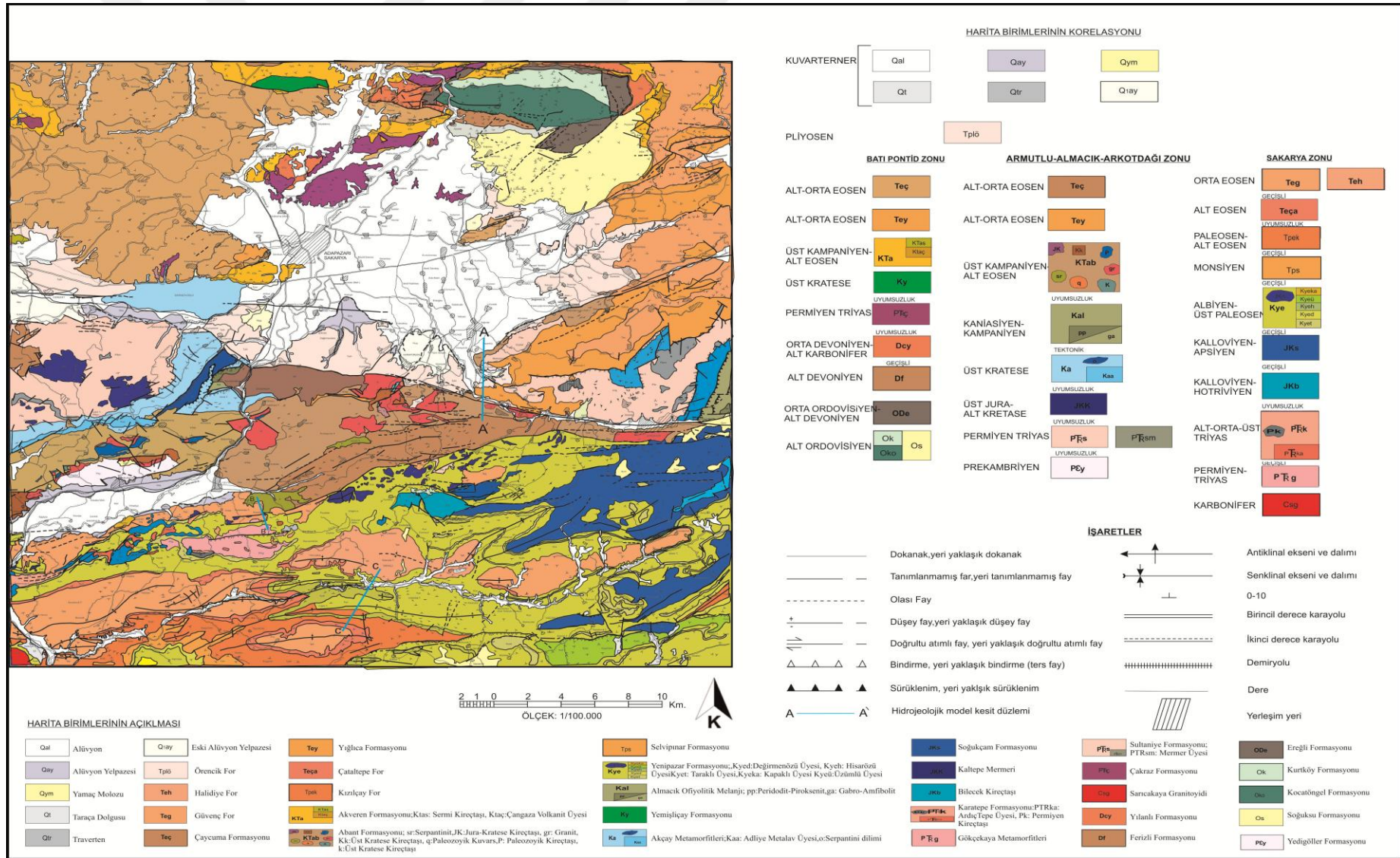
Batı Pontid Zonu alttan üste doğru Kocatöngel formasyonu, Soğuksu formasyonu, Kurtköy formasyonu, Ereğli formasyonu, Ferizli formasyonu, Yılanlı formasyonu, Çakraz formasyonu, Yemişliçay formasyonu, Akveren formasyonu, Yığılca formasyonu, Çaycuma formasyonu ile temsil edilir.

Armutlu-Almacık-Arkotdağı Zonu Yedigöller formasyonu, Sultaniye Metamorfitleri, bu birim içinde mermer üyesi, Keltepe mermeri, Akçay Metamorfitleri, bu birim içinde Adliye metalav üyesi, Almacık Ofiyolitik melanji ve Abant formasyonu ile Çaycuma formasyonu temsil edilir.

Sakarya Zonu Sarıcakaya formasyonu, Gökçekaya Metamorfitleri, Karatepe formasyonu, Bilecik Kireçtaşı, Soğukçam formasyonu, Yenipazar formasyonu, Selvipınar formasyonu, Kızılçay formasyonu, Çataltepe formasyonu, Güveç formasyonu ve Halidiye formasyonlarından oluşur.



**Şekil 3.1.** İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Temur ve Aksay (2002), Gedik ve Aksay (2002), İ.Gedik ve Aksay (2002), Duru ve ark. (2002)' den değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 3.2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Temur ve Aksay, 2002), (Gedik ve Aksay, 2002), (İ.Gedik ve Aksay, 2002) (Duru ve ark., 2002) değiştirilerek alınmıştır.

### **3.1.1. Batı Pontid Zonu**

#### **3.1.1.1. Soğuksu Formasyonu (Os)**

Kaya (1982) tarafından adlandırılan birim, kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşur. Kumtaşların alt bölümünü orta-kalın tabakalıdır ve birim içerisinde paralel ve dalgalı laminalar gelişmiştir. Birimde kuruma çatlakları gözlenir (Gedik ve Önalın, 2001). Tabanı inceleme alanında görülemeyen birim, üstte Ferizli formasyonu ile tedrici olarak geçişlidir. Formasyonun yaşı Erken Ordovisiyendir (Gedik ve Aksay, 2002). Birimin alt seviyeleri şelf ile temsil edilirken, orta-üst seviyeleri gelgit etkili bir delta ortamını temsil edilir (Gedik ve Önalın, 2001).

#### **3.1.1.2. Kocatöngel Formasyonu (Oko)**

Birim, Kaya (1982) tarafından adlandırılmıştır. Formasyonun alt seviyeleri yeşil renkli, laminalı sert şeyller ve aynı renkli kumtaşlarının ardalanmasından oluşur. Birimin özelliklerinden bir tanesinde paralel ve dalgalı laminalanmadır. Birimde üstte doğru gittikçe kumtaşı oranı artarken şeyl oranı azalmalar görülür. Genel anlamda birim üst kesimlerinde pembemsi mor ve grimsi yeşil renkli, ince orta tabakalı kumtaşı-şeyl ardalanması ile oluşur. Tabanı inceleme alanında görülemeyen birim üstte tarafta Kurtköy formasyonu ile tedrici olarak geçişlidir (Gedik ve Aksay, 2002).

Kocatöngel formasyonunun yaşı Erken Ordovisiyendir (Gedik ve Aksay, 2002). Birim alt bölümü şelf, üst bölümü ise olası delta ortamında çökelmiştir (Gedik ve Önalın, 2001).

#### **3.1.1.3. Kurtköy Formasyonu (Ok)**

Birimin adını Önalın (1982) Kurtköy formasyonu olarak adlandırmıştır. Uçuk mor renkli, ince-kalın, çapraz tabakalı, yer yer som görünlü, merceksel konglomeralar ile litarenit ve arkozlar ve bordo renkli şeyl ardalanmasıyla oluşur. Kumtaşları içerisinde yer yer çamurtaşı-şeyl içermekte olup, taban kısımları aşınma yüzeylidir. Birim altta kısmında Kocatöngel, üst kısmında ise Aydos formasyonu ile tedrici geçişlidir (Gedik ve Aksay, 2002).

Formasyonun yaşı Erken Ordovisiyendir (Gedik ve Aksay, 2002). Birimin çökelme ortamı akarsudur. (Gedik ve Önalın, 2001).

#### **3.1.1.4. Ereğli Formasyonu (ODe)**

Birim Yazman ve Çokuğraş (1983) tarafından adlandırılmıştır. Birim kuzey kısımlarında şeyl ağırlıklıdır. şeyller gelen anlamda yeşilimsi gri, gri ve siyah renkli olup ince-orta tabakalanma özelliktedir ve paralel laminalıdır. Birim orta kesimlerde siyah renkli olup, Orthoceras'lı merceksel kireçtaşları yer alır. Bu seviyelerdeki şeyller yaprağımsı ayrılmalı ve bol Monograptus içerir. Güney kesimlerindeki Ereğli formasyonu ise kumtaşı-şeyl ardalanmasından oluşur. Birimin rengi genel anlamda yeşilimsi gri-gri renklidir ve ince orta tabakalı, laminalı şeyl ve kumtaşı ardalanmasından oluşur. Alt seviyelerdeki kumtaşları ise beyaz renklidir. Birim orta kesimlerinde baskın olarak gri renlidir ve şistoziteli, Monograptus'lu ve yer yer karbonatlı şeyller ile temsil edilir (Gedik ve Aksay, 2002).

Ereğli formasyonunun yaşı Orta Ordovisiyen-Erken Devoniyendir. Ereğli formasyonu derinden sığ'a doğru bir şelf ortamında okelmiştir. (Gedik ve Aksay, 2002).

#### **3.1.1.5. Ferizli Formasyonu (Df)**

Gedik ve Aksay (2002) tarafından adlandırılan birim, dolomit, kumtaşı, oolitli ve algli demirtaşı seviyelerinden oluşur. Çapraz tabakalanma gstren yerlerde kuvars zengin kumtaşları yer almaktadır. Kalınlığı 100 m olan birim alttan Ereğli formasyonu ile stten Yılanlı formasyonu ile geçişlidir. Formasyonun yaşı Alt Devoniyendir (Temur ve Aksay, 2002). Birim orta-yüksek enerjili (alkantılı) sığ bir deniz ortamında okelmiştir (Gedik ve nalın, 2001).

#### **3.1.1.6. Yılanlı Formasyonu (DCy)**

İlk kez Saner (1980) tarafından adlandırılan birim kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitten oluşur. Birimin alt seviyelerindeki kalınlığı 70-100 m. Olaşan birim, şeyl, silttaşı ve yumrulu kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birimin daha üstteki kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit ardalanmasından oluşan bölümünde kalınlığı yaklaşık 1000 m. kadar ulaşır. Formasyonun yaşı Aydın ve ark. (1987) tarafından Orta-st Devoniyen-Alt Karbonifer olarak belirlenmiştir. Birim, alttan kısmında Ferizli formasyonu ile geçişli, üstte kısmında ise akraz formasyonu ile açısal uyumsuzdur. Birimin alt kısımları şelf-yamaç, st kısımları ise şelf ortamını temsil eder (Gedik ve nalın, 2001).

### 3.1.1.7. Çakraz Formasyonu (PTRç)

Konglomera, silttaşı, kiltası, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan birim, kırmızı ve mor renkli, masif ve orta-kalın tabakalı, kuruma çatlaklı, çapraz tabakalanmalı ve yağmur izli görünüme sahiptir. Birimin üst kısımları marn, kiltası, silttaşı ardalanması ile yeşilimsi sarı rengilidir. Kalınlığı 200 m. Yaklaşan birim, Yılanlı formasyonu ile alttan, Akveren formasyonu ile de üstten açılal uyumsuzluk gösterir. Formasyonun yaşı Permien-Triyas'tır (Temur ve Aksay, 2002). Formasyonun üst seviyeleri gölsel, alt seviyeleri ise karasal ortamın çökelleri ile temsil edilir (Alisan ve Derman, 1995).

### 3.1.1.8. Yemişliçay Formasyonu (Ky)

Formasyonun adını Ketin ve Gümüş (1963) tarafından Sinop yöresindeki çalışmalarında vermiştir. Formasyon genel olarak tuf, tüfit, kumtaşı, mikrit, şeyl, aglomera, konglomera ve volkanitlerden oluşur. Genellikler rengi bordo, yeşil ve sarımsı gridir. Kumtaşlarında soğan kabuğu şeklindeki ayrışması hakimdir. Formasyonun alt dokanağı Çakraz formasyonu ile uyumsuz; üst kısmı ise Akveren formasyonu ile geçişlidir. Kalınlığı 2000 m ye ulaşan formasyon, güney bölümlerinde daha incedir. Aydın ve ark. (1987) formasyonun yaşını Üst Kretase olarak belirlemişlerdir. Formasyon yay volkanizmasının ürünü olarak ortaya çıkmış ve volkano-sedimanter bir istif oluşturmuştur. Oluşan istif sığ denizelden ortamdand derin denizel ortama kadar değişik ortam şartlarında oluşmuş çökelleri kapsar (Temur ve Aksay, 2002).

### 3.1.1.9. Akveren Formasyonu (KTa)

Formasyonun adını Ketin ve Gümüş (1963) tarafından Sinop-Ayancık dolayında adlandırılmıştır. Formasyon, altta kumlu karbonatlar ile temsil edilirken, üstte killi kireçtaşı, Rudistli kireçtaşı, çamurtaşı, marn ve volkanitlerle temsil edilir.

Formasyonun rengi açık gri, krem, bej ve pembe renkler ile temsil edilir. Tabaka kalınlıkları ise ince-orta-kalın şeklinde kireçtaşlarından oluşmaktadır. Çökeltme ortamının derinliğine göre fasiyelerde değişmektedir. Sığ kesimlerde çökeltme ortamındaki yapıları ince-orta tabakalı ve kırıntılı oluşumlar gösterirken, derin kesimlerdeki çökeltme ortamlarındaki oluşumlar mikritik, killi ve kalkarenitik kireçtaşları ile temsil edilir. Türbiditik kesimlerde ise genellikle kalkarenit-mam ardalanması şeklinde gözlenmektedir. Volkanit isimlere yakın olan kireçtaşları pembe renkli mikritik kireçtaşları ve rudistlidir. Kireçtaşları

yer yer çört içermektedir. Yer yer formasyon kalın marn seviyeleri içerir ve yeşil renkli, baklava şeklinde dilinimli ve şeyl görünümlüdür. Formasyonun üst seviyelerine doğru iri çakıltaşları çökelmiştir. Çakıllar, orta-iyi yuvarlanmış, çakılcık boyutundan blok boyutuna kadar değişik boyuttadır. Çakıllar, kırıntılı kireçtaşı matrisi içerisinde yer almakla birlikte, genelde kireçtaşı ve çörtlerden oluşur (Temur ve Aksay, 2002).

Formasyonunun kalınlığı 500-750 m arasında değişmektedir. Formasyon, Çakraz formasyonu ve Yılanlı formasyonu üzerinde açısız uyumsuzlukla gelmesine karşın, Yemişliçay formasyonu ile dereceli geçişlidir. Formasyon üst kısımlara doğru gidildikçe Çaycuma formasyonuna dereceli olarak geçer. Formasyonun yaşı Üst Kampaniyen-Alt Eosen'dir. Formasyonu sığ ve derin denizel ortamlarda çökelmiştir (Temur ve Aksay, 2002) .

#### **3.1.1.10. Çaycuma Formasyonu (Teç)**

Formasyonun adı Tokay (1954) tarafından verilmiştir. Kumtaşı, silttaşı, kiltası aralanması ile oluşan birimin ara seviyelerinde kireçtaşı, aglomera, tüfit ve marn yer almaktadır. İnce-orta tabakalı olan kumtaşları sarımsı, açık yeşil renklidir. Silttaşı ve kiltaları ise ince orta tabakalı açık yeşilimsi, gri renklerde dir. Volkanik malzemenin arttığı yanal kesimlerde Yığılca formasyonuna geçmektedir. Formasyonu tabanda Abant formasyonunu ile uyumsuzdur. Kalınlığı birimin 600 m civarındadır. Formasyonun yaşı Alt-Orta Eosen'dir. Formasyon yamaç çökellerinden oluşmuştur (Temur ve Aksay, 2002).

#### **3.1.1.11. Yığılca Formasyonu (Tey)**

Kaya ve ark. (1986) tarafından Yığılca formasyonu adı verilmiştir. Birimin aglomera ve tüf düzeyleri masif ve kalın katmanlıdır. Renleri koyu gri, kahverengimsi gri, açık yeşil ve kırmızıdır. Yer yer yeniden işleme dolayısıyla gelişen volkanojenik kumtaşlarında taneler kötü boylanmalı ve katmanlar orta kalınlıktadır. Lavların egemen olduğu ısımlarda yaygın kaya türü andezittir.

Formasyon yanal ve düşeyde Çaycuma formasyonu ile geçiş gösterir. 100-150 m. kalınlığındadır. Formasyonun yaşı Alt-Orta Eosen'dir. Volkanik kayalardan aşınan ve taşınan malzemeler ile yer yer volkanik aktiviteninde olduğu zamanlarda havzaya patlamalar ile ulaşan malzemeler zamanla bu istif meydana getirmişlerdir (Temur ve Aksay, 2002).



### 3.1.2. Armutlu-Almacık-Arkotdağı Zonu

#### 3.1.2.1. Yedigöller Formasyonu (Pfy)

Formasyon Serdar ve Demir (1983), tarafından adlandırılmıştır. Formasyon amfibolit, migmatit, gnays, mermer, şist, metagranit, metavolkanit, vb. kaya türlerinden oluşmaktadır. Birim, amfibolit ve gnays ardalanması şeklinde ve yeşilşist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış granit ve lavlardan, volkanoklastik, kırıntılı ve karbonatlı kayalardan oluşmaktadır. Formasyon inceleme alanında Pamukovanın kuzeyinde gözlenir. Kalınlığı hakkında bir bilgi yoktur. Formasyonun yaşı Prekambriyendir (Temur ve Aksay, 2002).

#### 3.1.2.2. Sultaniye Metamorfitleri (PTRs)

Formasyonun yaşı Permo-Triyastır. Şist, fillat, kuvarşşist, kuvarsit, mermer, kalkşist gibi metasedimanter kayalar oluşur. Birimin adı Sultaniye metamorfitleri olarak adlandırılmıştır (Temur ve Aksay, 2002). Formasyonun üst kısımlarında yer alan mermerler, Mermer üyesi olarak ayrı gösterilmiştir. Formasyon, gri, beyazımsı gri, yeşilimsi gri, koyu gri renklerde olup düşük derecede metamorfizma geçirmiş sedimanter ile volkanik ve volkanoklastik kökenli kayaları temsil eden şist, fillat, mermer, kuvarsit gibi metasedimanterlerden (Temur ve Aksay, 2002).

*Mermer Üyesi (PTRsm):* Sultaniye metamorfitlerinin üst kısımlarında gözlenen mermerler, Mermer üyesi olarak ayrılmıştır. Birimin tabanını şistlerle ardalanmış ve pembe ve mor renkli metaçamurtaşlarından oluşur. İstifin en üst kesiminde, kalınlığı 100 m.'yi aşan, alt kesimlerinde seyrek ve ince taneli mermer ara dolgulu ve orta kalın tabakalı, beyaz mermerler ile rekristalize kireçtaşları yer alır. Birimin alt kesimi Sultaniye metamorfitleri metadetritikleri ile geçişlidir. Keltepe mermeri, birimi açısız uyumsuzlukla örter. Birimin yaşı Permiyen-Triyas'tır (Temur ve Aksay, 2002).

#### 3.1.2.3. Keltepe Mermeri (JKk)

Birimin mermeri alt kesimlerde ince-orta tabakalı olup yer yer killi-kumlu ile temsil edilirken, beyaz, gri, sarımsı gri, siyahımsı gri, bordo renkli karakterdedir. Üstte kısımlarında orta-kalın tabakalı olup, en üstte çörtlü mermerlerle sonlanır. Allta Sultaniye metamorfitleri ile üstte Akçay metamorfitleri ile uyumsuzdur. Üst Jura-Alt Kretase yaşlı birim düşük derecede metamorfizma geçirmiştir (Temur ve Aksay, 2002).

### 3.1.2.4. Akçay Metamorfitleri (Ka)

Birim Üst Kretase yaşlıdır (Temur ve Aksay, 2002). Birim metakumtaşı, metaçamurtaşı, metakonglomera, metatüf, metabazalt, kuvarsit, bol kuvarslı şist, rekristalize kireçtaşı ve mermer ile temsil edilir. Gri, yeşilimsi gri, kırmızı, kahverengi, renklerdeki metaçamurtaşı, metakumtaşı, ve metaçakıltaşları içerisinde laminalanma ve yaygın olarak gözlenmektedir. Mermerler ve rekristalize kireçtaşı ince-kalın tabakalı, masif ve koyu gri renklidir. Birim içerisindeki konglomeralarda, metaserpantinit, andezit ve çört blokları izlenir. Formasyon içerisindeki serpantinit dilimleri (o) ayrı haritalanmıştır. Yer yer grimsi yeşil ve kahverengi olan tüfler, üst düzeylere bazaltik tüfler ve kırmızı renkli çamurtaşı ile radyolarit gibi çökel ara katkıları kapsar (Temur ve Aksay, 2002)

*Adliye Metalav Üyesi (Kaa):* Yılmaz ve ark. (1990) tarafından Adliye metalavı adı ile tanımlanmıştır. Birim, metavolkanit ve volkanoklastik kayalardan oluşur. Birim Mor ve yeşil renklidir, altere olmuş kesimlerde sarı, kahverengi renklerde veyer yer ilksel dokusu korunmuştur. Birim genellikle düşük metamorfizma geçirmiş alt düzeyi tuf kökenli, üst kısımları ise bazaltik lav kökenlidir. Adliye metalav üyesi ile Akçay metamorfitlerini oluşturan şistler yanal ve düşey yönde ilişkili olup, üstte birim şistler ile örtülmektedir.

Akçay metamorfitlerinin alt dokanakığı Sultaniye metamorfitleri ve Keltepe mermeri ile uyumsuz, üstte ise Adliye metalav üyesi ile düşey yönde ilişkilidir (Temur ve Aksay, 2002).

### 3.1.2.5. Almacık Ofiyolitik Melanjı (Ka)

Birim Koniasiyen-Kampaniyen yaşlıdır (Temur ve Aksay, 2002). Tektonik karmaşık ile temsil edilen ofiyolitik kayaçlar ve bunlar arasında yer alan amfibolit, gnays, şist ve mikalı kuvarsitlerden oluşur. Ultramafik kayalar serpantinitler ve peridotitten, mafik kayalar ise amfibolit ve gabrolardan oluşur. Bunlarla birlikte yer yer birim içinde diyorit ve granite yer alır. Ayrıca anateksi olarak gelişen granitleri de kapsar. Almacık ofiyolitik melanjı içerisinde geniş yer kapsayan bazı litolojiler ayrıca haritalanmış olup, gabro-amfibolitler (ga) olarak simgelenmiştir. Almacık ofiyolitik melanjı, Akçay metamorfitleri üzerine tektonik olarak yer alır. Ayrıca formasyon, Abant formasyonu ile uyumsuz olarak örtülür (Temur ve Aksay, 2002).

### **3.1.2.6. Abant Formasyonu (KTab)**

Temur ve Aksay (2002) yaptıkları çalışmada birimin adını Abant formasyonu, yaşını da Üst Kampaniyen-Alt Eosen olarak belirlemişlerdir. Sarımsı gri, kırmızı, mor, kahverengi, yeşilimsi gri, açık-koyu gri, renklerde kaya türlerinden oluşan birim, düzgün fliş istifli özelliği gösteren, olistostromal, kırıntılı ve karbonatlı kayalardan ve karasal-sığ deniz fasiyeslerindeki çökel paketlerinden oluşur. Formasyon içerisinde ayırtılanan, Jura-Kretase yaşlı (JK), Paleozoyik yaşlı kireçtaşı ve mermerler (p), Paleozoyik kuvarsit (q), serpantinitle (sr), granitler (gr), Üst Kratese kireçtaşı (k) simgesi ile haritalanmıştır. Olistostromlar, çeşitli cins, köken ve yaşta bloklar içeren türbiditik çökeller ile moloz akma süreçleriyle oluşan çökeller ve mikrit, marnlar ve pelajik çamurtaşlarından oluşur. Çökellerde akma, kayma yapıları gözlenir. Konglomeralarda, kırmızı mitrik ve kumtaşları, çamurtaşları, marnlar ve çeşitli tür ve boyutlarda bloklar yer alır. Birimi granit damar, dayk ve stoklar halinde kesmiştir (Temur ve Aksay, 2002).

### **3.1.3. Sakarya Zonu**

#### **3.1.3.1. Sarıcakaya Formasyonu (Csg)**

Duru ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada birimin adını formasyon mertebesinde Sarıcakaya formasyonu olarak adlandırmışlardır. Sarıcakaya granitoyidi, granodiyorit ve granit kompleksinden oluşur. Egemen kaya türü granodiyorit olan birimde daha az olarak migmatit, aplit, diyorit ve pegmatit içerir. Duru ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada Sarıcakaya granitoyitinin yaşını Karbonifer olarak belirlemişlerdir.

Göncüoğlu ve ark. (2000) Sarıcakaya granitoyidinin volkanik yay ürünü olabileceği belirtilmektedir.

#### **3.1.3.2. Gökçekaya Metamorfitle (PTrg)**

Duru ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada birimin adını Gökçekaya metamorfitle yaşını da Permo Triyas olarak belirlemiştir. Merceksel mermer içerikli meta-kırıntılı ve meta-bazik volkanitlerle temsil edilen birim, siyah renkli sleyt, gri renkli meta-konglomeralar, meta-kumtaşları, metasilttaşları, meta-bazik lavlar, meta-tüfler ve radyolaritli rekristalize pelajik kireçtaşları ile siyah, gri ve kahve renkli rekristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. İstifin üst düzeylerinde bordo, koyu yeşil renkli yer yer çok iyi yapraklanmalı, bazı

düzeylerinde ise masif lav ve tüflerden oluşan bazik meta-volkanik kayalar ile diğer kaya türleri arasında arabantlar şeklinde yer yer almaktadır. Gökçekaya metamorfizmaları yer yer diyabaz daykaları ile de kesilmektedir.

Derin denizde çökelmeye başlayan birim, üste doğru yamaç ve şelf ortamına geçmiş olmalıdır (Duru ve ark., 2002).

### **3.1.3.3. Karatepe Formasyonu (PTRk)**

Hafif metamorfizma geçirmiş yer yer kireçtaşı blokları içeren kumtaşı, şeyl, tuf, aglomera ve spilitik bazalt aralanmasından oluşan birim Triyas yaşlıdır (Duru ve ark., 2002). Bu birimler birbirleriyle yanal ve düşey yönde geçişlidir. İstif içerisinde olistostrom seviyelerinde ve bunlar içinde Permiyen yaşlı, değişik boyutlarda kireçtaşı blokları bulunmaktadır. Tektonik hareketlerden etkilenmiş olan birimde yer yer metamorfizma etkileri görülmektedir. Formasyonun alt kısımlarında bej, pembemsi, sarı renkli arkoz ve kuvars arenitler bulunmaktadır. Bu birimler Ardıçtepe üyesi (PTRka) olarak ayrılmış ve haritalanmıştır. Ardıçtepe üyesi üzerinde boz, gri ve kahve renkli volkanit-sedimandan oluşan kaya türü topluluğu yer alır. Kıvrımlı ve kırıklı, ince-kalın tabakalı sediman topluluğu çamurtaşı, kumtaşı, kiltası, radyolarit ve pelajik kireçtaşı içermektedir. İstifte yer yer yastık yapılı spilit, bazalt, tuf ve aglomeralar ara düzeyleri oluşturmaktadır. Birimin bu seviyelerinde yer alan Permiyen yaşlı kireçtaşı (Pk) blokları ayırtılarak haritalanmıştır. Karatepe formasyonu üst kısımlara doğru kumtaşı, şeyl, konglomera ve kireçtaşı aralanması şeklinde devam etmektedir. Bu bölümde türbidit fasiyeslerini temsil eden sedimenter yapılar daha yaygındır (Duru ve ark., 2002).

İnceleme alanındaki kireçtaşı blokları ve çevre kayalar arasındaki dokanağın genellikle sedimenter özellikler göstermektedir. Birim, volkanik faaliyetlerinin de etkili olduğu, yamaç-havza fasiyesinde çökelmiştir. Sedimentasyon esnasında Karbonifer ve Permiyen yaşlı yabancı kireçtaşı blokları havzaya olistolitler şeklinde yerleşmiştir (Duru ve ark., 2002).

### **3.1.3.4. Bilecik Kireçtaşı (JKb)**

Granit ve Tintant (1960) tarafından adlandırılan formasyon tek düze kireçtaşından oluşmuştur. Bölgede çalışan birçok araştırmacı tarafından Bilecik kireçtaşı olarak incelenmiştir

Birimin yaşı Kalloviyen-Hoteriviye'dir (Duru ve ark., 2002). Birimin genel özellikleri beyaz, krem, gri ve pembemsi renklerde olup, orta-kalın tabakalı, yer yer masif

yapılı kireçtaşlarından oluşmaktadır. İstifin alt kısımları kumlu kireçtaşı, orta kısımlarında mercanlı ve yoğun algerin görüldüğü resifal karakterli, daha üst kısımlarda ise ince taneli mikritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birim, karstik yapıların ve mostra yüzeylerinde günlenme ve erime boşluklarının yoğun olduğu, dik yamaçlı sert ve bol kırıklı yapılar şeklinde oluşmaktadır. Yanal ve düşey yönde Soğukçam formasyonu ile geçişlidir. Kalınlığı 250- 300 m civarındadır. Birim yer yer lagün ve yer yer resifal ortamda çökelmiş platform tipi karbonatlardır (Duru ve ark., 2002).

### **3.1.3.5. Soğukçam Formasyonu (JKs)**

Formasyonun yaşı Kalloviyen-Apsiyendir (Duru ve ark., 2002). Birim beyazımsı, krem, pembemsi renkli, porselen görünümlü, çört, kil ara katmanlı, yarı pelajik kireçtaşlarından oluşur. Saner (1980) ve Göncüoğlu ve ark. (2000) Soğukçam formasyonu adı altında incelemişlerdir.

Çört, yumru ve ara bantları bulunan birim midye kabuğu şeklinde kırılım gösterir. İstifin alt seviyelerindeki dokanakta olistostrom ve kayma yapıları yaygın olarak görülmektedir ve kalsitürbidit ara bantları yer almaktadır. Formasyonun üst kısımlarında kil oranı artmaktadır bu sebepten ötürü birim killi kireçtaşı, marn araldanmasına şekindedir. Formasyonun alt kesimi Bilecik kireçtaşı ile yanal ve düşey yönde geçişlidir. Üst sınır dokanağında ise Yenipazar formasyonu ile uyumsuzdur. Birim çökeltme ortamı yamaç-havzadır (Duru ve ark., 2002).

### **3.1.3.6. Yenipazar Formasyonu (Kye)**

Birimin adını Saner (1980) yaptığı çalışmada Yenipazar formasyonu olarak belirlemiştir. Volkanit birimli, bloklu, kumtaşı-şeyl araldanmasından oluşan fliş fasiyesindeki çökel istifinde genişletilerek Duru ve ark. (2002) tarafındanda kullanılmıştır. Birim genel olarak grimsi yeşil renkli, ince-orta tabakalı, kumtaşı-şeyl araldanması ile yeşil ve kahverenkli volkanit, yeşil renkli marn ve beyaz, bej, kırmızı, pembe renkli, ince tabakalı mikritik (pelajik-yarı pelajik) kireçtaşı ve az miktarda konglomeralardan oluşmaktadır. Formasyon içerisine Bilecik kireçtaşı olistolitleri (JKk) ile bu kireçtaşı gerecinden oluşma olistostromlar, ve serpantin blokları ile ofiyolitten oluşmuş olistostrom birimi içeren Kapaklı üyesi (Kyeka), yer alır. Bu kaya türlerinden beyaz, bej, kırmızı renkli mikritik kireçtaşları, Değirmenözü üyesi (Kyed), en üstte kumtaşı, konglomera ve marnlar Taraklı üyesi (Kyet) olarak ayırtlanmıştır.

Yenipazar formasyonu alt kısmından Soğukçam formasyonu ile tedrici geçişlidir. Formasyon Çataltepe formasyonunun yer aldığı istiflerde Albiyen-Üst Paleosen yaşındadır. Formasyon yamaç-havza ortamlarında çökelmeye başlamış, şelf ortamların sona ermiştir (Duru ve ark., 2002).

### **3.1.3.7. Selvipınar Formasyonu (Tps)**

Duru ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada birimin adını Selvipınar formasyonu yaşını da önceki çalışmaları da ele alarak Monsiyen olarak belirlemişlerdir. Birim sarımsı beyaz, bej, yer yer kırmızımsı, pembemsi renkli, ince-kalın tabakalı, sert yapılı, biyomitrik ve biyosparit özellikli, mercan ve algli resifal kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyon sınırlarında kuvars çakılcıkları içeren birimin tabanında, yer yer kumlu-çakıllı kireçtaşı ile karbonat çimentolu konglomeralar yer almaktadır.

Altta Yenipazar formasyonunun Taraklı üyesi ile tedrici geçişli olan birim, üstte Kızılçay formasyonu ile yanal düşey geçişlidir. Resif ve resif kırıntularından oluşması, karasal Kızılçay formasyonu ile olan ilişkisi, birimin şelfte kıyı resifi olarak oluştuğunu göstermektedir (Duru ve ark., 2002).

### **3.1.3.8. Kızılçay Formasyonu (Tpek)**

Eroskay (1965) tarafından adlandırılan birim genel olarak kırmızı, ince-kalın tabakalı, kötü boylanmalı konglomera ile kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Birimde yer yer ince seviyeler şeklinde kömür ve jipsler içerir.

Duru ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada birimin yaşı Üst Paleosen ve gölsel ortamda çökeldiğini saptamışlardır.

### **3.1.3.9. Çataltepe Formasyonu (Teça)**

Birim Saner (1977) tarafından adlandırılmıştır. Kumtaşı, konglomera, marn ve kireçtaşı litolojilerinden oluşan birim içindeki kumtaşları alt kısımlarda çok kalın, sarımsı-boz renkte, lamelli, sert sparit çimentolu gastropod kavkı parçalı ve yer yer kömür kırıntılıdır. Üste kısımlara doğru sarı-boz renkli, marnlı kumtaşları halinde devam eder. Altta akma, üstte ripple mark yapıları görülür. Resifal kireçtaşları sarımsı, boz renkte olup, masif kırık yapılı, mercanlı ve alglidir. Formasyon altta Yenipazar formasyonu ile uyumsuz üstte Halidiye

formasyonu ile uyumludur. Kalınlığı 250 m kadar vardır. Formasyonun yaşı Alt Eosen'dir (Saner, 1977). Birim sığ denizel ortamda çökelmiştir (Duru ve ark., 2002).

### **3.1.3.10. Halidiye Formasyonu (Teh)**

Birim Saner (1977) tarafından adlandırılmıştır. Kilitaşları, kumtaşı ve şeyl araldanmasından oluşur. Kilitaşları boz renkli, ince tabakalı olup laminalıdır. Birimin üst kısımlarında tane boyu irileşerek sarımsı, boz renkte kalın tabakalı kumtaşlarına geçiş gösterir. Tabakanın tabanlarında akma, oygu ve dolgu gibi sedimenter yapıları oluşmuştur. Bu yapılarda büyük ölçekli, çapraz ve yatay laminalanmalar görülür. Kumtaşların Nummulites fosilleri yer alır. Üst kısımlarında kahve ve boz renkli, çok sert, fosilli, kumlu kireçtaşları yer almaktadır. Birim altta Çataltepe formasyonu ile geçişli olup üstte kısmında aşınma yüzeylidir. Yaklaşık 500 m kalınlık gösterir. Formasyonun yaşı Alt-Orta Eosen'dir. Birim sığ denizel ortamda çökelmiştir (Duru ve ark., 2002).

### **3.1.4. Örtü birimi**

#### **3.1.4.1. Örencik Formasyonu (Tplö)**

Aydin ve ark. (1987) tarafından adlandırılan birim bölgenin en genç çökellerini oluşturur. Örencik formasyonu, kırmızımsı, sarımsı-kırmızı, kahve renkli konglomeralar ile kumtaşı ve çamurtaşı araldanmasıyla oluşur. Orta-kalın tabakalanma gösteren birim çok az tutturulmuştur. Tabakalanması yer yer belirsizdir. Konglomeralar, kötü boylanmış ve çakılları yuvarlak-az yuvarlaktır. Üste kısımlarına doğru kumtaşları ve çamurtaşları derecelenme gösterir. Kumtaşları sarımsı-kırmızı renkli, ince- orta-kaba tanelidirler. Tabakalarında paralel ve çapraz lamina sıkça gözlenir. Formasyonun yaşı Pliyosendir (Duru ve ark., 2002).

#### **3.1.4.2. Taraça Dolgusu (Qt)**

Eski alüviyal çökellerini oluşturan birim, yamaç yüntilerinin başladığı yerlerde kum, çakıl, kilden oluşur (Duru ve ark., 2002).

#### **3.1.4.3. Traverten (Otr)**

Genellikle fay hatlarındaki su çıkışlarına bağlı olarak gelişen karbonatlı birimlerdir (Duru ve ark., 2002).

#### **3.1.4.4. Yamaç Molozu (Oym)**

Tutturulmamış veya az tutturulmuş, blok ve çakıllar, dağ yamaçlarında veya eteklerinde birikintiler halinde yer alır. (Duru ve ark., 2002).

#### **3.1.4.5. Eski Alüvyon Yelpazezi (Q1ay)**

Eski akarsu kenarlarında ve ovalarda görülen birim, çakıl, kum, çamur birikintilerinden oluşur (Temur ve Aksay, 2002).

#### **3.1.4.6. Alüvyon Yelpazesini (Oay)**

Akarsu kenarları ve ovalarda görülen birim, çakıl, kum, çamur birikintilerinden oluşur (Temur ve Aksay, 2002).

#### **3.1.4.7. Alüvyon (Qal)**

Akarsu yataklarında ve eski çukurluklar üzerine gelişmiş düzlüklerdeki çakıl, kum, çamur çökcelleridir (Temur ve Aksay, 2002).

### **3.2. Yapısal Jeoloji**

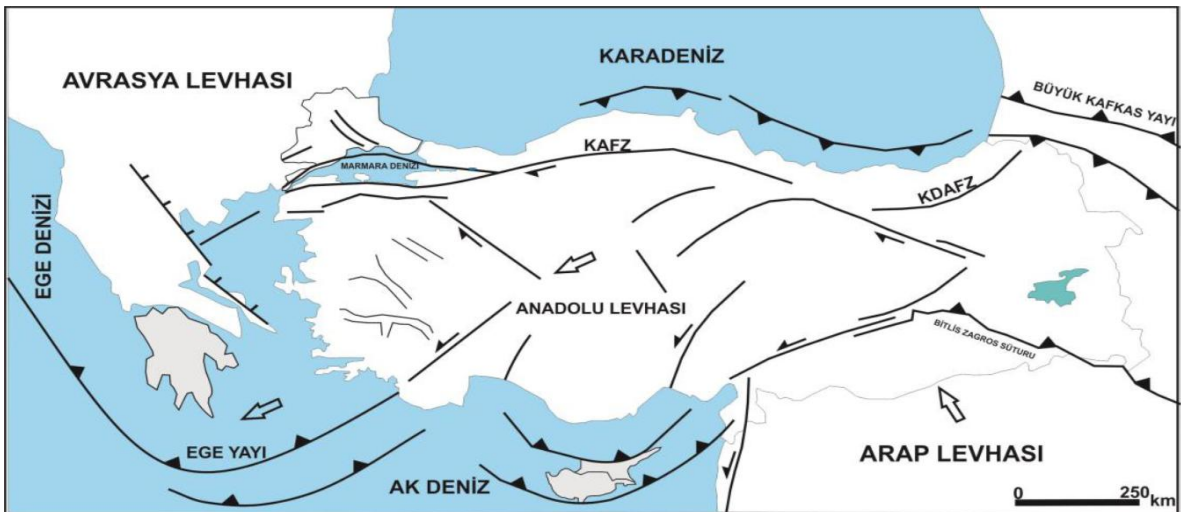
Pontid kuşağının batı kesiminde yer alan inceleme alanı, temelinde Devoniyen öncesi ve Devoniyen birimleri görülmektedir. Bu birimler Kretase birimleri ile örtülmektedir. Orojenik hareketlerin etkisi ile, değişik tipte kıvrımlanmalar meydana gelmiştir (Şekil 3.3). Bölgede üst Miyosene kadar geçen dönem Paleotektonik, Üst Miyosen'den günümüze kadar olan dönem ise Neotektonik olarak adlandırılmaktadır. Bindirmeler Üst Kretase- Üst Miyosen'de sıkışma sonucu oluşmuştur (Yılmaz ve ark., 1981). Üst Miyosen'den günümüze kadar Kuzey Anadolu Fay Zonuna bağlı olarak gelişen doğrultu atımlı faylar ve bunlarla ilgili yapısal birimler gelişmiştir. Bölgede Paleotektonik bindirmeler ve Neotektonik döneme ait Kuzey Anadolu Fay Zonu başlıca yapısal unsurlardır. Neotektonik dönem ile ilişkili yapısal unsurlar güncel olarak egemendir.





Şekil 3.3. Kuzeybatı Türkiye'nin paleotektonik dönem haritası (Gündüz, 2015).

Türkiye ve yakın çevresinin güncel tektoniği Afrika, Avrasya (Avrupa-Asya), Arabistan ve Ege-Anadolu levhalarının birbirlerine göre hareketleri ile açıklanabilmektedir (Şekil 3.4). Afrika levhası kuzeye doğru hareket etmesi sonucu Ege-Anadolu bloğunun (levhasının) altına dalmaktadır. Türkiye ve çevresindeki genç tektonik hareketler, Arabistan levhasının kuzeye doğru hareket ederek Avrasya levhası ile çarpışması sonucu oluşmuştur. Çarpışma günümüzde de devam etmektedir. Çarpışma sonucu Avrasya levhası ile Arabistan levhası arasında sıkışmış olan Anadolu bloğu batıya doğru hareket etmeye çalışır. Son yıllarda yapılan çalışmalar Ege-Anadolu bloğunun bütün halinde batıya doğru kaydığını göstermektedir.



Şekil 3.4. Türkiye ve yakın dolayının neotektonik haritası. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, KDAFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu (Gündüz, 2015).

Kuzey Anadolu Fay Zonu Ege-Anadolu levhasının kuzey sınırını oluşturmaktadır. Zon doğuda Karlıova'dan başlar batıda Ege denizine kadar uzanır. Yapılan araştırmalar sonucunda fay zonunun toplam uzunluğunun 1500-1600 km'yi bulmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu Karlıova ile Adapazarı arasında iyi bir rift morfolojisi gösterir. Fayın etkisiyle ile oluşmuş tepecikler, sırtlar, gölcükler, ötelenmiş dere yatakları ve sıcak su kaynakları bulunmaktadır.



## 4. HİDROLOJİ

### 4.1. Giriş

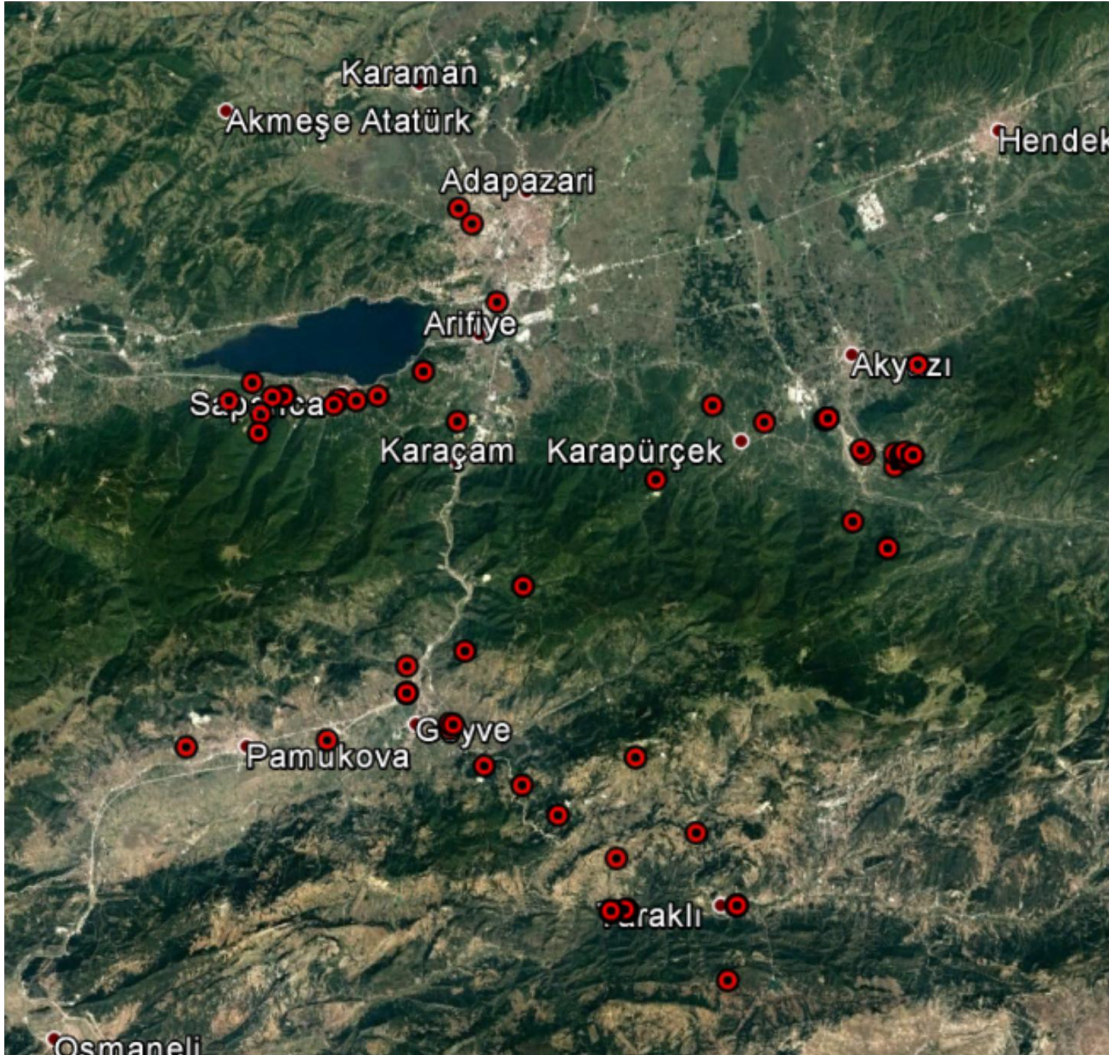
Bu çalışma kapsamında jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanı içerisindeki mevcut soğuk su kuyularının yeraltı seviye ölçümleri kullanılarak yeraltı suyu akım yönü belirlenmiştir. Meteorolojik veriler ışığında bölgeye düşen yıllık yağışlar değerlendirilmiş ve bölgede meteorolojik su bütçesi yapılmıştır.

### 4.2. Su Noktaları

İnceleme alanındaki soğuksu kuyuları, kaynaklar ve sıcak su kuyularının koordinatları Tablo 4.1’de verilmekte ve "Google Maps" uygulaması görünümü Şekil 4.1’de verilmektedir.

Tablo 4.1. Çalışma alanındaki su noktalarının konumu

Kuyu No	Koordinatlar		Zemin Kotu (m)	Statik Seviye (m)	Kuyu No	Koordinatlar		Zemin Kotu (m)	Statik Su Seviye (m)
	X	Y				X	Y		
1	270810	4507792	52	5	46	288264	4474934	34	4.5
3	264499	4508552	65	11	48	286404	4479539	20	5
5	297432	4502982	52	5	51	290718	4504631	3	8
6	277758	4517321	80	5	52	266221	4506524	38	15
7	278650	4512450	32	10	58	298073	4496620	378	15
8	269498	4507670	47	8	66	299382	4500582	6	15
9	265282	4508527	47	8	67	297510	4502988	5	10
11	265196	4508510	46	3	69	268494	4507856	9	19
12	263741	4507579	116	12	70	274129	4491964	04	15
13	263530	4506456	15	15	71	278114	4495327	68	15
14	261894	4508659	71	12	72	274354	4485034	91	8
15	272547	4487452	99	10	75	287122	4470733	09	18
16	268150	4507583	61	16	78	283419	4484536	483	18
17	297300	4502936	56	8	79	277088	4518351	5	5
22	299225	4500839	76	10	80	299748	4494775	30	23
23	288213	4474942	436	5,5	81	270242	4489915	0	2
26	275376	4505639	73	3	82	293673	4503229	1	7
27	272576	4487767	99	5,5	83	263401	4509569	4	5
28	270474	4491516	164	37	Ahibaba Kaynagi	276487	4483643	08	Kaynak
29	265127	4487718	75	3	AKZ1	303280	4505459	06	Artezyen
31	256697	4488410	104	28	İhlas3	301745	4500086	24	13
32	281514	4478695	658	4	Kil Hamami	281695	4475422	19	Kaynak
42	272787	4487678	101	9	Kuzuluk Sodasi	301075	4499600	11	Çeşme-Kaynak
43	286751	4500630	214	4	SPC1	273733	4508870	26	15
44	270233	4489912	70	3	Tarakli Termal	281774	4475407	18	32



Şekil 4.1. Su noktalarının Google Earth görüntüsü

### 4.3. Kayaçları Hidrojeolojik Özellikleri

#### 4.3.1. Örtü Birimleri

##### 4.3.1.1. Taraça, traverten, alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu

Kum, mil, kil ve kumdan oluşan birim, genellikle tutturulmamış olması sebebiyle oldukça iyi akifer özellik gösterir.

##### 4.3.1.2. Örencik Formasyonu (Tplö)

Yuvarlak-yarı yuvarlak, kötü boylanmalı, gevşek tutturulmuş çakıl taşları, kumtaşları ve çamur taşlarından oluşan birim, taneli gözenekliliğe sahip olup akifer özelliktedir. Çamurtaşı düzeyleri geçirimsiz olup örtü kayayı oluşturur.

#### **4.3.1.3. Halidiye Formasyonu (Teh)**

Kiltaşı, kumtaşı ve şeyl aralanmasından oluşan birim üste doğru tane boyu irileşerek sarımsı, boz renkli kalın tabakalı kumtaşlarına geçerek akifer özelliği kazanır. Genel anlamda örtü kaya özelliğindedir.

#### **4.3.1.4. Çaycuma Formasyonu (Teç)**

Nummulitesli kırıntılı kireçtaşı, çamurtaşı, kumtaşı, marn, volkanik kaya, volkanoklastit ara düzeyli ve çakıltaşından oluşan birim, kırıntılı kireçtaşı düzeyleri dışında genellikle geçirimsiz olup örtü kaya özelliğindedir.

#### **4.3.1.5. Yığılca Formasyonu (Tey)**

Andezit ve bazalt içeren piroklastik kayalar, genel olarak akifer özellikte olmayıp örtü kaya niteliğindedir. Yersel olarak akifer özelliği sadece aglomeralar ve faylardan etkilenmiş andezitler gösterebilir.

#### **4.3.1.6. Çataltepe Formasyonu (Teça)**

Kumtaşı, marn, konglomera kireçtaşı litolojilerinden oluşan formasyon iyi bir rezervuar yapısına sahiptir.

#### **4.3.1.7. Yenipazar Formasyonu (Kye)**

Formasyon genel olarak grimsi yeşil renklerde, ince-orta tabakalı olup, kumtaşı-şeyl aralanmasıyla yeşil ve kahverenkli volkanit, yeşil renkli marnlar ve beyaz, bej, kırmızımsı, pembemsi renklerde, ince tabakalı pelajik-yarı pelajik kireçtaşı ve az oranlarda konglomeralardan oluşmaktadır. Yer yer rezervuar özelliği gösterir ancak genel anlamda formasyon örtü birimidir.

#### **4.3.1.8. Soğuksu Formasyonu (Os)**

Kumtaşı-şeyl aralanmasından oluşan birim, bölgesel olarak akifer özelliği göstermektedirler.

#### **4.3.1.9. Almacık Ofiyolitik Melanjı (Kal)**

Amfibolit, şist gnays, kuvarsit, Peridotid ve gabro gibi değişik kayaç türlerinin oluşturduğu istif genel olarak geçirimsizdir. Kireçtaşı blokları yayılımlarına bağlı olarak yer yer rezervuar özellik gösterirler.

#### **4.3.1.10. Akçay Metamorfikleri (Ka)**

Kuvarsit, kuvarslı şist, metakonglomera, metakumtaşı, metaçamurtaşı, metaşeyl, metabazalt, metatüf, vb. kaya türlerinden oluşan birim akifer özellik sunmaz. Örtü kaya özelliği sunan formasyon fayların etkisiyle yerresel olarak geçirimsizlik kazanır.

#### **4.3.1.11. Yedigöller Formasyonu (Pfy)**

Gnays, amfibolit, metagranit, metavolkanit, migmatit, mermer, şist vb. kaya türlerinden oluşan birim, kırıklı karbonatlı birimler haricinde geçirimsizdir.

### **4.3.2. Rezervuar Kayaçlar**

#### **4.3.2.1. Soğukçam Formasyonu (JKs)**

Egemen kaya türü beyazımsı, krem, pembemsi renkli, porselen görünümlü, ince-orta tabakalı, kıvrımlı yarı pelajik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Uygun ortam koşullarında yüzeyde soğuk sulara, derinlerde ise sıcak sulara iyi bir rezervuar olma özelliği sunar.

#### **4.3.2.2. Bilecik Kireçtaşı (JKb)**

Kireçtaşından oluşan birim, beyazımsı, krem, gri ve pembemsi renklere, orta-kalın tabakalı, masif görünümlü kireçtaşlarından oluşur. Uygun ortam koşullarında yüzeyde soğuk sulara, derinlerde ise sıcak sulara iyi bir rezervuar olma özelliği sunar.

#### **4.3.2.3. Karatepe Formasyonu (PTRk)**

Değişik boyutlarda kireçtaşı blokları içeren birim, tektonik hareketlerinde etkisiyle iyi bir rezervuar özelliği sunmaktadır.

#### **4.3.2.4. Akveren Formasyonu (KTa)**

Formasyon krem, bej, açık gri, pembemsi renklerde olup, ince-orta-kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kalınlığı 500-750 m arasında değişen birim, kırıklı yapıları ve erime boşlukları ile iyi bir rezervuar özelliği sunar.

#### **4.3.2.5. Yemişliçay Formasyonu (Ky)**

Formasyon genel olarak tuf, tüfit, aglomera, konglomera, şeyl, kumtaşı, mikrit, ve volkanitlerden oluşur. Kalınlığı 2000 m'ye ulaşan birim kendi içerisinde örtü ve rezervuar özelliği sunmaktadır.

#### **4.3.2.6. Çakraz Formasyonu (PTRç)**

Kırmızı, mor renkli, masif yapı ve orta-kalın tabakalı, kuruma çatlaklı, yer yer yağmur izli ve çapraz tabakalanmalı kiltası, silttaşı, çamurtaşı, kumtaşı ve konglomera, arduanmasından oluşmaktadır. İyi bir akifer özelliği sunan formasyon derinlerde sıcak sular için rezervuar özelliği gösterebilir.

#### **4.3.2.7. Yılanlı Formasyonu (DCy)**

Rekristalize kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı iyi akifer özelliktedir. Uygun koşullarda sıcak sulara rezervuar oluşturur.

#### **4.3.2.8. Ferizli Formasyonu (Df)**

Algli demirtaşı, dolomit, kumtaşı ve oolitli seviyelerinden oluşan birim genelde rezervuar özelliği taşımaz ancak kuvarsça zengin kumtaşı seviyelerinde akifer özelliği gösterir.

#### **4.3.2.9. Abant Formasyonu (KTab)**

Formasyon türbitik kumtaşı, mikritik, olistotromal çakıltası, yer yer blok içeren pelajik çamurtaşı, kumtaşı, marn, silttaşı, mermer, rekrystalize kireçtaşı ve kuvarsitten oluşmaktadır. Bol kırık ve çatlaklı olan birim yer yer erime boşluklu kireçtaşı ve mermer seviyelerinde yüzeye yakın yerlerde soğuk sulara derinlerde sıcak sulara rezervuar oluşturur.



#### **4.3.2.10. Mermer Üyesi (PTRsm)**

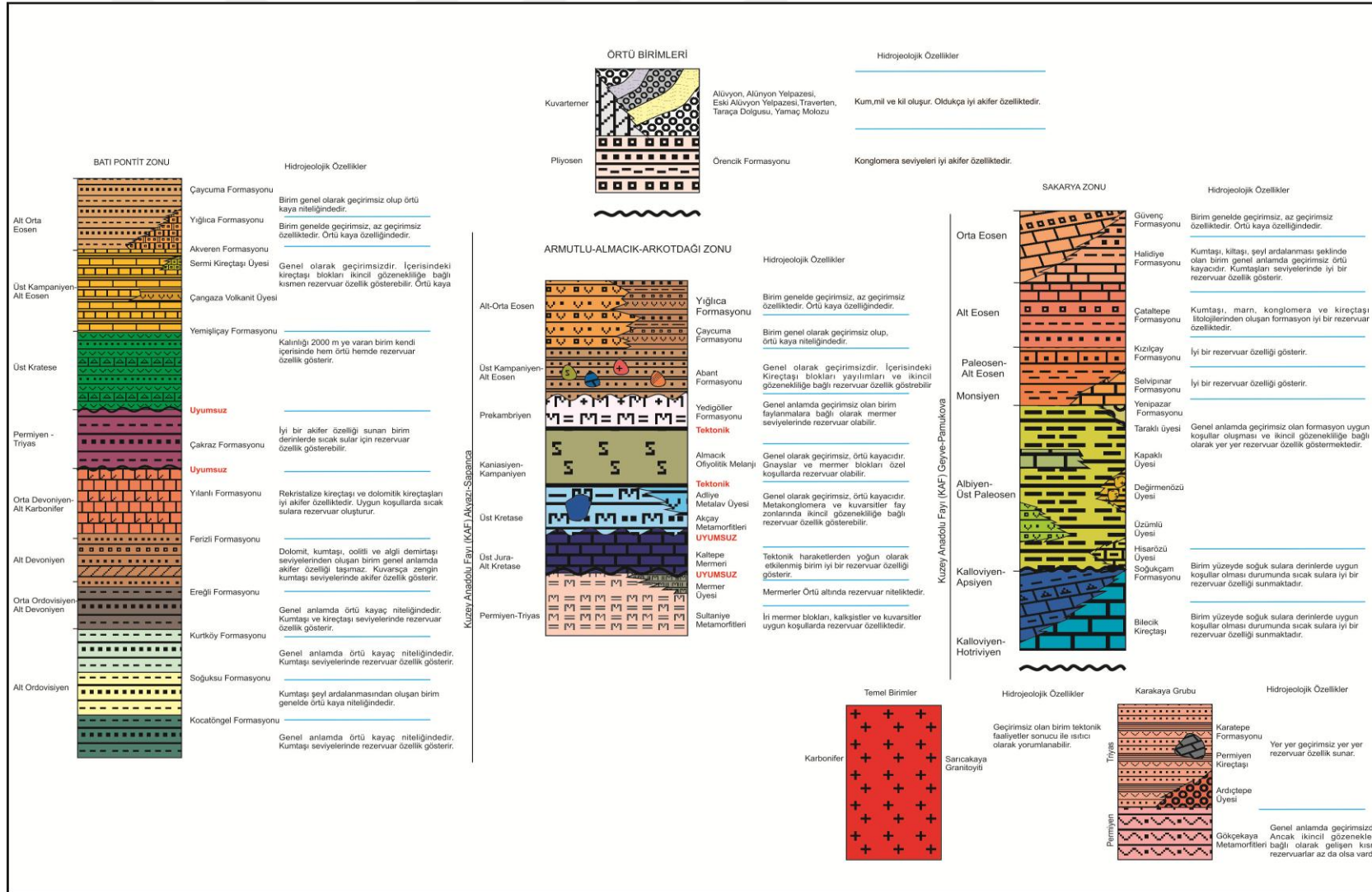
Kuzey Anadolu fayından oldukça etkilenmiş olan birimin üst düzeylerinde gözlenen kırıklı çatlaklı erime boşluklu yapısı ile yüzeleştiği yerlerde soğuk sulara, derinlerde ise sıcak sulara rezervuar oluşturur.

#### **4.3.2.11. Sultaniye Metamorfikleri (PTRs)**

Düşük derecede metamorfizma geçirmiş fillat, şist, mermer ve kuvarsitten oluşan birim, fayların etkisi ile iyi akifer özellik göstermektedir. Şistler ve fillatlar genelde geçirimsizdir. Üzerinde örtü bulunan derinlerdeki geçirimli seviyeler sıcak suların rezervuarını oluşturmaktadır.

#### **4.3.3 Isıtıcı Kaya**

Eosen yaşlı volkanik kayalar oluşturulan Yığılca Formasyonu yaşı itibarı ile ısıtıcı olamaz. Granitler Abant formasyonunda blok konumunda olduğu ısıtıcı olması beklenemez. Geriye kalan tek senaryo ısıtıcı kayaların KAF'ına bağlı, kabuk içine kadar etkinliği olan magmatik sokulumlar olmasıdır. Jeotermal sistem fayların yapısına göre yerin derinliklerine kadar süzülen meteorik suların, derinlerdeki magmatik sokulumların etkisiyle ısınarak oluşmasıdır. Derinlerde rezervuar nitelikli kayalar içerisinde süzelen ve depolanan sular sıcaklığın etkisiyle ısınarak tekrar sıcaklık ve basınç yardımı ile yüzeye çıkmaktadırlar. Kuzey Anadolu Fayı doğrultu atımlı fay olduğundan burada jeotermal akışkanı genel olarak yüzeye taşıyan sistem sıkışma rejimine bağlı gelişmiş açılma çatlaklarıdır (ÇSB, 2019)



**Şekil 4.2.** İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (Temur ve Aksay (2002), Gedik ve Aksay (2002), İ.Gedik ve Aksay (2002), Duru ve ark. (2002)' den değiştirilerek alınmıştır).

#### 4.4. Meteoreolojik Su Bütçesi

Sakarya İli 1950–2017 yılları arasındaki meteorolojik verilere göre (MGM, 2018) yıllık ortalama toplam yağışı 838.3 mm'dir (Tablo 4.2). En az yağış Ağustos (45.9 mm), en fazla yağış ise Aralık (107.7 mm) aylarında olmaktadır. 1950–2017 yılları arasındaki meteorolojik verilere göre yıllık ortalama sıcaklık 14.5 °C' dir. Temmuz ayları en sıcak (23.4°C), aralık ayları en soğuk (2.8°C) aylardır.



**Tablo 4.2.** Sakarya ilinin 1950-2017 yılları arası ölçülen meteorolojik veriler

SAKARYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
	<b>Ölçüm Periyodu ( 1950 - 2017)</b>												
<b>Ortalama Sıcaklık (°C)</b>	6.0	6.7	8.6	12.9	17.4	21.5	23.4	23.2	19.6	15.	11.5	8.2	14.5
<b>Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)</b>	9.7	11.0	13.7	18.8	23.4	27.5	29.3	29.4	26.2	21.2	16.6	11.8	19.9
<b>Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)</b>	2.8	3.2	4.5	8.1	12.2	15.7	17.8	17.9	14.3	10.9	7.4	4.9	10.0
<b>Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)</b>	2.4	3.1	3.9	5.2	6.5	8.2	8.9	8.3	6.9	4.5	3.3	2.5	63.7
<b>Ortalama Yağışlı Gün Sayısı</b>	15.5	14.2	13.8	11.6	10.1	8.4	5.8	5.9	7.5	11.1	11.9	15.6	131.4
<b>Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)</b>	94.4	75.4	75.5	59.3	50.9	70.8	48.3	45.9	53.5	79.3	77.3	107.7	838.3
	<b>Ölçüm Periyodu ( 1950 - 2017)</b>												
<b>En Yüksek Sıcaklık (°C)</b>	25.8	28.7	31.9	35.8	38.0	40.4	44.0	41.8	40.7	38.6	30.2	27.7	44.0
<b>En Düşük Sıcaklık (°C)</b>	-14.5	-13.5	-7.3	-2.4	2.0	6.1	8.7	7.8	5.4	-0.2	-6.6	-9.1	-14.5

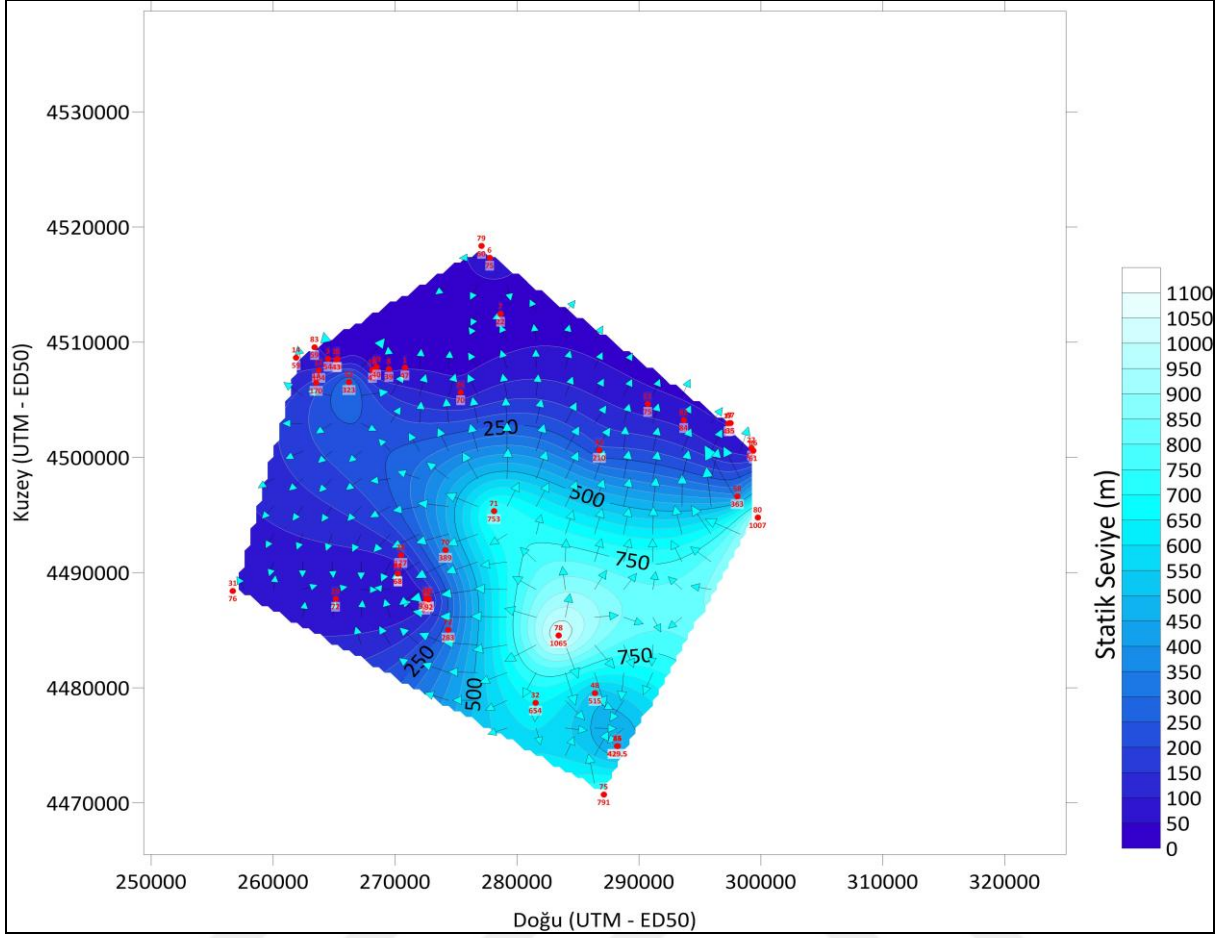
Bu veriler ışığında Meteoroloji Genel Müdürlüğü iklim sınıflandırılması yapmıştır. Akdeniz iklim sınıflandırmasına göre kuraklık katsayısı 0.34 hesaplanmış ve iklim tipi nemli olarak belirlenmiştir. Erinç iklim sınıflandırmasına göre Yağış Etkinlik indeksi 42.71 ve iklim tipi nemli olarak belirlenmiştir. Demaotonne iklim sınıflandırmasına göre kuraklık indisi 25.28 iklim tipi yarı nemli olarak tespit edilmiştir. Trewartha iklim sınıflandırılmasına göre kış mevsimi için kışları serin, yaz mevsimi için sıcak olarak belirlenmiştir. Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre yarı nemli, 2. Derece mezotermal, su noksanı yaz mevsiminde orta derece olan ve yaz buharlaşma oranı %50.9 olarak belirtilmiştir. Yani buradan da anlaşıldığı üzere yıllık 838.3 mm olan yağışın 411.6 mm'si yeraltına süzüldüğü hesaplanabilir.

#### **4.5. Yeraltı Su Seviyesi**

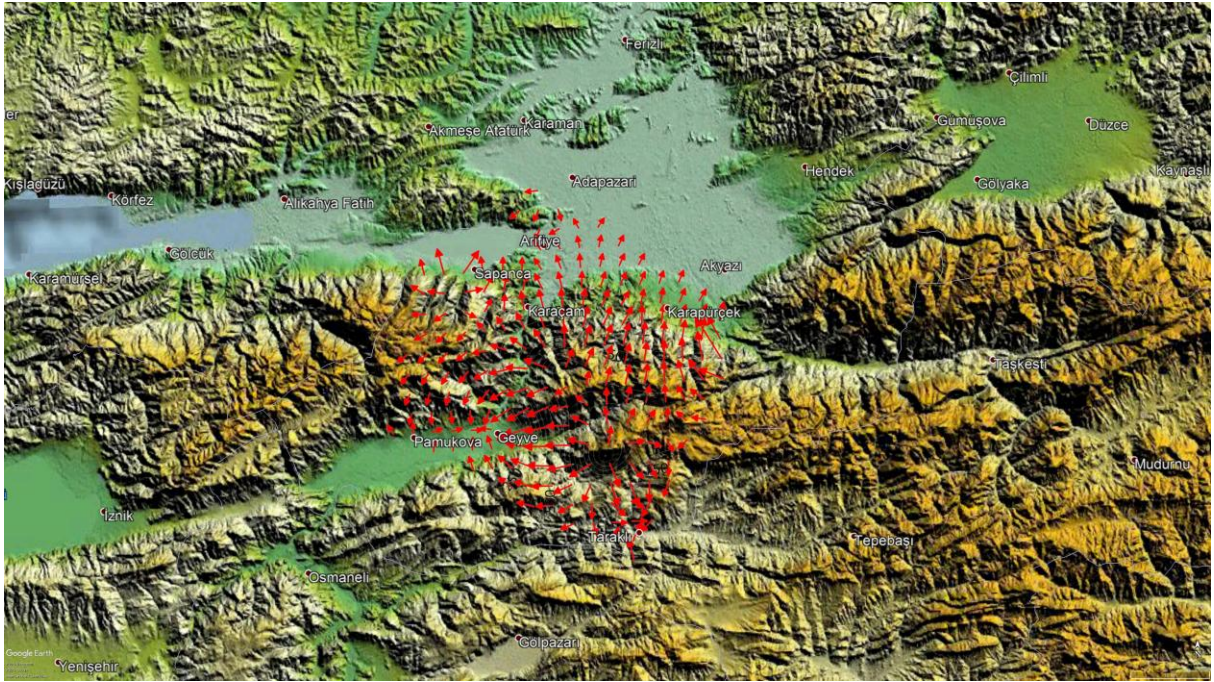
İnceleme alanında özel şahıslara ait sulama amaçlı açılan bazı kuyuların kuyu yeri koordinatları, kotları ve statik su seviye (h) bilgileri (Tablo 4.3), Surfer 8 ve MapInfo 5.5 programlarına girilerek inceleme alanının yeraltı su seviye haritası ve su akım yönü belirlenmiştir (Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

**Tablo 4.3.** Yeraltı su seviye haritasının oluşturulmasında kullanılan soğuk su kuyuları ve kuyu bilgileri

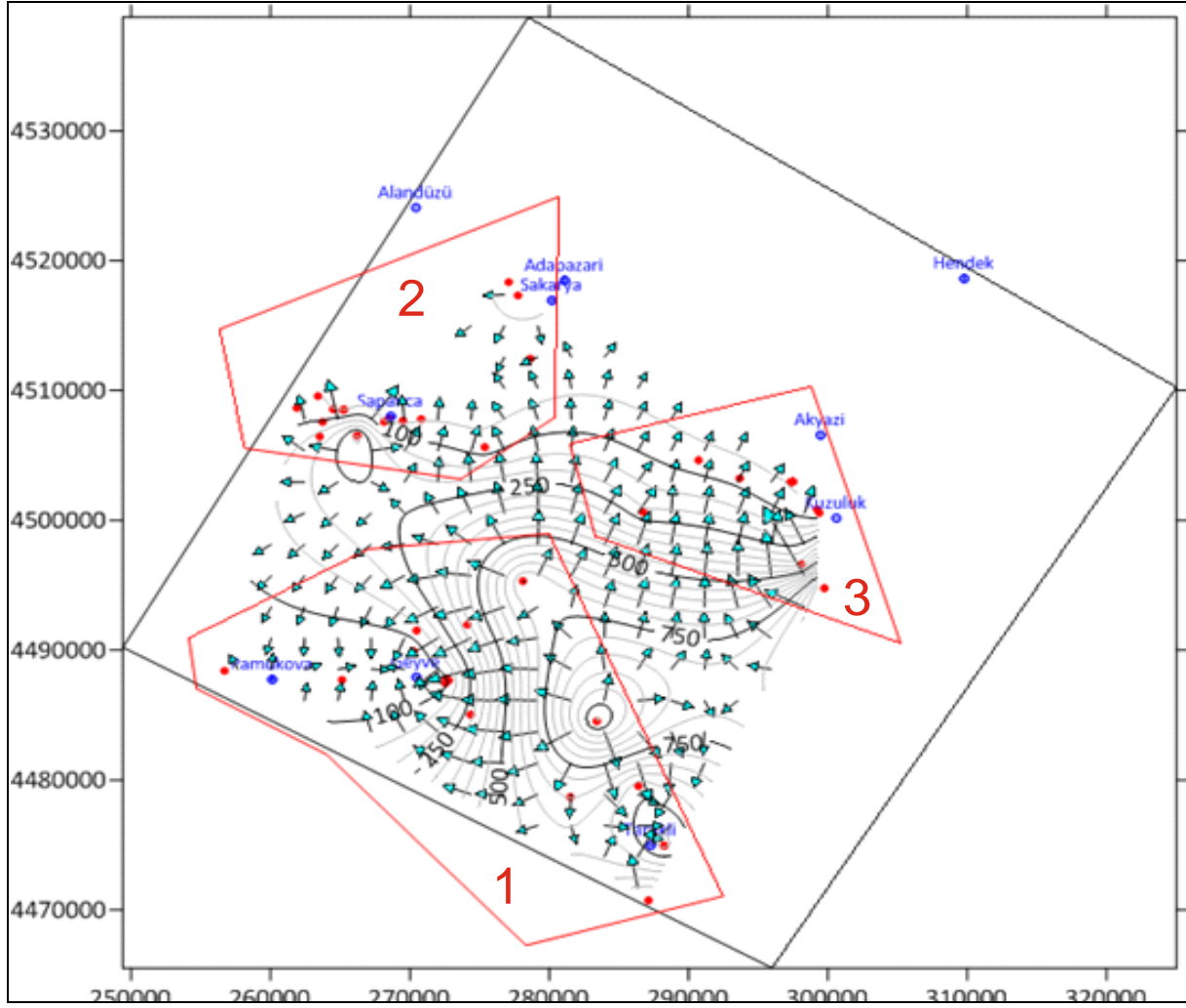
Kuyu No	Koordinatlar		Zemin Kotu (m)	Statik Seviye (m)	Kuyu No	Koordinatlar		Zemin Kotu (m)	Statik Su Seviyesi (m)
	X	Y				X	Y		
1	270810	4507792	52	5	42	272787	4487678	101	9
3	264499	4508552	65	11	43	286751	4500630	214	4
5	297432	4502982	52	5	44	270233	4489912	70	3
6	277758	4517321	80	5	46	288264	4474934	434	4,5
7	278650	4512450	32	10	48	286404	4479539	520	5
8	269498	4507670	47	8	51	290718	4504631	83	8
9	265282	4508527	47	8	52	266221	4506524	338	15
11	265196	4508510	46	3	58	298073	4496620	378	15
12	263741	4507579	116	12	66	299382	4500582	76	15
13	263530	4506456	185	15	67	297510	4502988	45	10
14	261894	4508659	71	12	69	268494	4507856	59	19
15	272547	4487452	99	10	70	274129	4491964	404	15
16	268150	4507583	61	16	71	278114	4495327	768	15
17	297300	4502936	56	8	72	274354	4485034	291	8
22	299225	4500839	76	10	75	287122	4470733	809	18
23	288213	4474942	436	5,5	78	283419	4484536	1483	18
26	275376	4505639	73	3	79	277088	4518351	65	5
27	272576	4487767	99	5,5	80	299748	4494775	1030	23
28	270474	4491516	164	37	81	270242	4489915	70	2
29	265127	4487718	75	3	82	293673	4503229	91	7
31	256697	4488410	104	28	83	263401	4509569	64	5
32	281514	4478695	658	4					



Şekil 4.3. Soğuk su sondajlarından belirlenen yeraltı su akım yönünü ve statik seviye haritası



Şekil 4.4. 3D modelleme ile yeraltı su hareket yönü



Şekil 4.5. Soğuk su sondajlarından belirlenen yeraltı su akım yönünü ve eş yükselti eğrileri

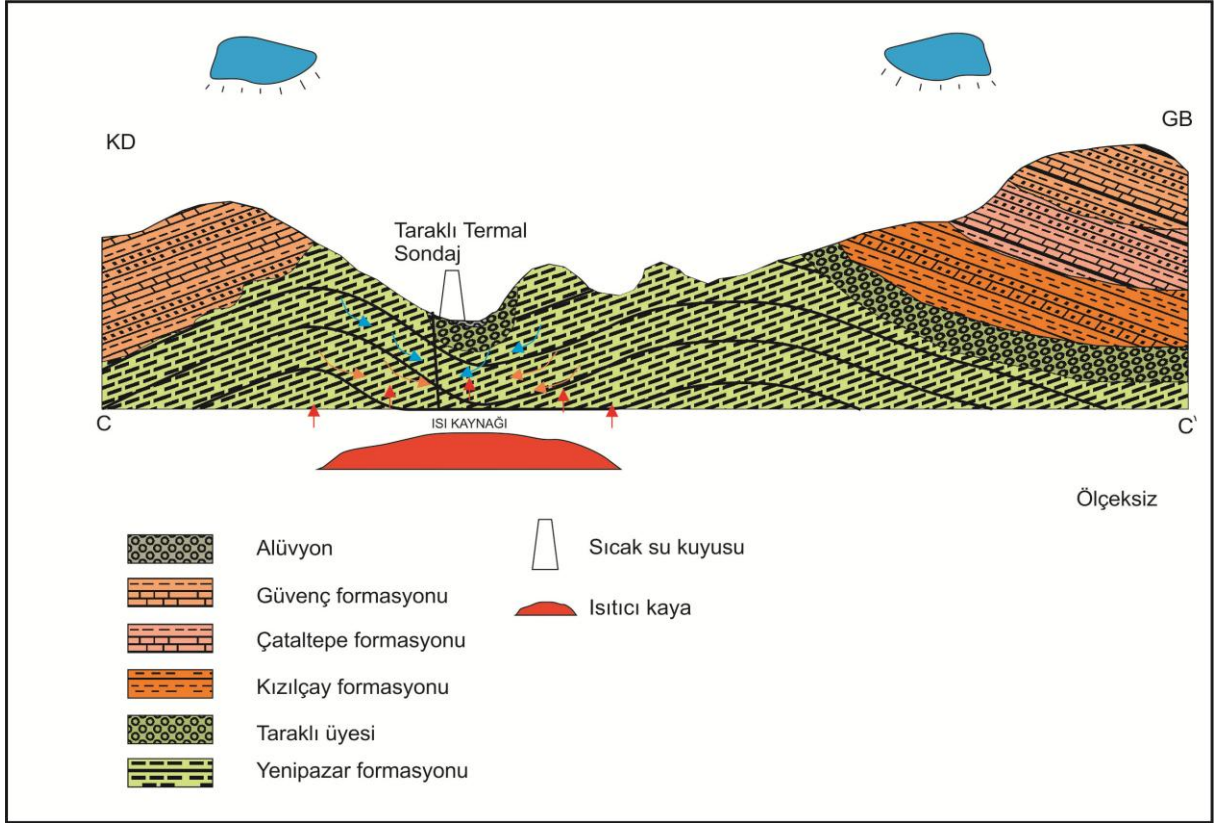
İnceleme alanı sarp arazi olması sebebiyle ve arazide ölçüm yapılabilen sondajlara göre 3 bölge olarak incelenmiştir.

1. Bölge; Yeraltı suları Pamukova havzasına doğru bir akım yönündedir.
2. Bölge; Yeraltı suları Sapanca Gölü havzasına doğru bir akım yönü izlemektedirler.
3. Bölge; Yeraltı suları G-K yönelimlidir.

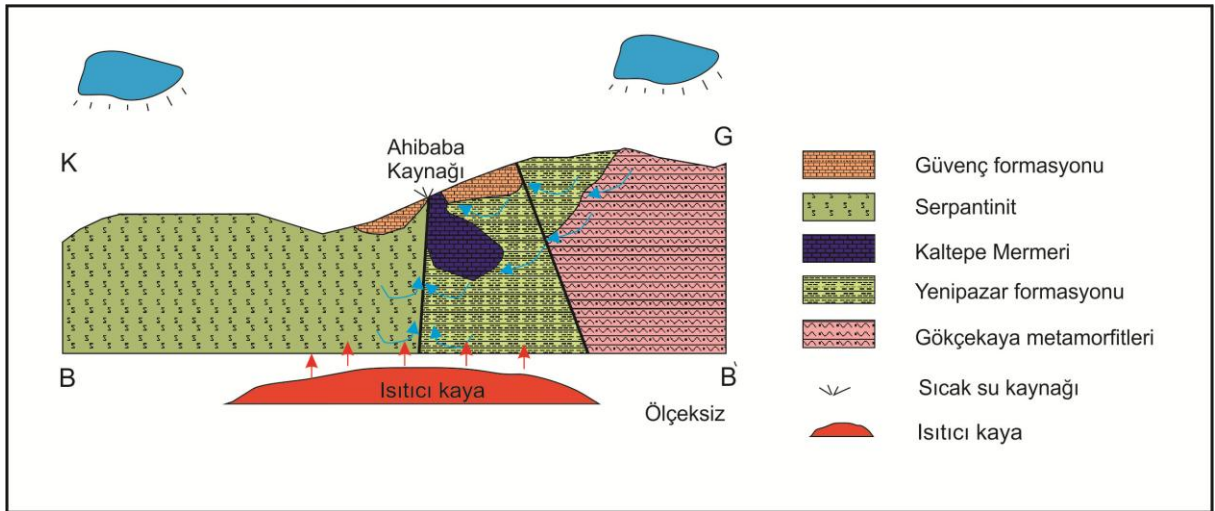
Bölgedeki jeolojik durum, tektonizma ve yeraltı su hareketleri sonucu bölgesel olarak jeotermal alanların hidrojeolojik modelleri oluşturulmuştur. Bunlar;

- Taraklı bölgesi (Şekil 4.5),
- Ahibaba Bölgesi (Şekil 4.6),
- Kuzuluk Bölgesi (Şekil 4.7).

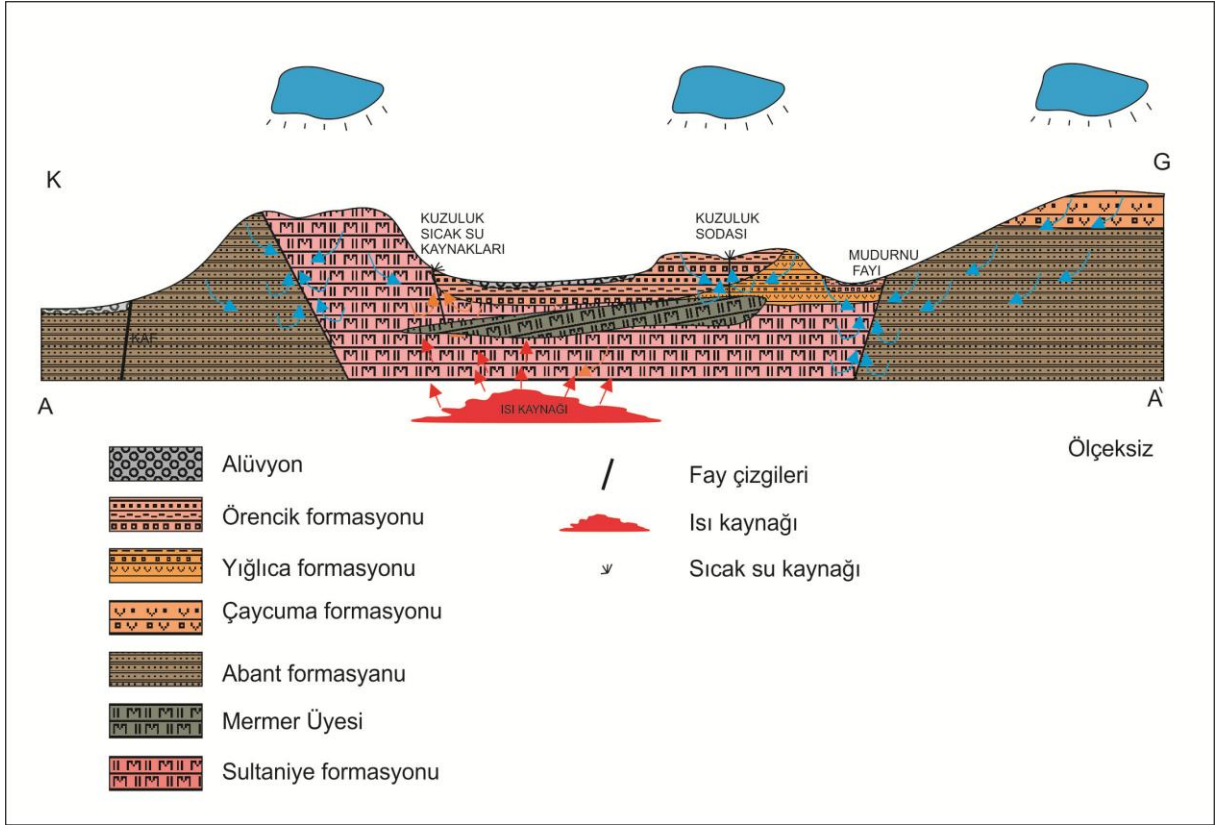




Şekil 4.6. Taraklı jeotermal alanının taslak hidrojeolojik modeli



Şekil 4.7. Ahibaba jeotermal alanının taslak hidrojeolojik modeli



Şekil 4.8. Kuzuluk jeotermal alanının taslak hidrojeolojik modeli

## 5. HİDROJEOKİMYA

### 5.1. Giriş

Çalışma alanındaki termal ve mineralli su kaynaklarından kimyasal analiz için 7 farklı su noktasından örnekleme yapılmıştır. Kimyasal analizler sonucu, jeotermal alanlardaki suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi, yeraltı suyu ile birlikte geçirdikleri fizikokimyasal süreçleri incelemeye çalışılmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularının kimyasal analiz sonuçlarını değerlendirebilmek için çeşitli Excel programları ve Watch (2010) (Bjarnason, 1994) programları kullanılmış ve düzenlemeleri CorelDraw 15X ile yapılmıştır (Tablo 5.1).

Jeotermal akışkanlar, hazne kayacın bileşiminden etkilenerek hidrojeokimyasal kompozisyon kazanır. Çalışma alanındaki rezervlerin neredeyse tamamına yakını, bölgeye düşen yağışlarla beslenir. Bu yağışlar bölgedeki faylar ile yerkabuğunun geçirgenliği yüksek olan birimler sayesinde derinlere doğru ilerler. Yeraltına süzülen sular süzildükleri kayacın kimyasından etkilenir ve çeşitli iyon alışverişinde bulunurlar. Basınçın ve sıcaklığın etkisiyle mineral içeriği artan sular yeni bir hidrokimyasal özellik kazanırlar ve bunun neticesinde sular jeotermal akışkan hale gelir.

**Tablo 5.1.** Aşağı Sakarya Havzası jeotermal alanlarından alınan suların kimyasal analiz sonuçları

Numune Adı	pH	Elektriksel İletkenlik (20°C)	Toplam Çözülmüş Katı Madde	Parametreler (mg/L)															
				Na	K	Mg	Ca	As	*Si	B	Fe	Ba	Li	Sr	Cl	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	F	SO <sub>4</sub>
AKZ-1	8.84 (19,3°C)	600 µS/cm	386	170,80	4,32	3,49	6,36	< 0,1	14,00	2,36	0,56	0,22	<0,1	0,66	89,00	18,00	195,00	3,20	58,00
Ahi Baba	6.63 (19,4°C)	1996 µS/cm	1442	310,50	23,20	55,24	188,10	0,53	29,00	3,07	1,01	0,11	0,51	1,55	36,00	-	1482,00	1,80	230,00
İhlas K3	7.73 (19,5°C)	3,11 mS/cm	2290	694,80	51,73	15,84	101,60	0,68	128,00	26,50	0,18	0,40	3,32	0,97	385,00	-	1623,00	5,10	130,00
Taraklı Termal	6.98 (19,4°C)	792 µS/cm	535	36,90	6,04	24,57	129,60	< 0,1	52,00	0,71	0,36	0,50	< 0,1	0,87	< 30	-	561,00	1,30	55,00
SPC-1	7.96 (19,4°C)	2,49 mS/cm	1588	531,40	6,14	8,25	24,88	< 0,1	24,00	9,44	13,21	0,47	0,13	0,44	707,00	-	439,00	1,70	58,00
Kuzuluk Sodası	7.23 (19,5°C)	5,78 mS/cm	4272	1609,00	88,50	41,78	80,45	< 0,1	32,00	31,92	1,75	2,02	3,44	4,01	630,00	-	3538,00	2,40	143,00
Kil Hamamı	7.15 (19,5°C)	761 µS/cm	501	35,33	5,78	23,01	122,30	< 0,1	46,00	0,68	1,43	0,56	< 0,1	0,79	< 30	-	537,00	1,70	49,00

\*İşareti ile gösterilen analiz sonuçları arazide hach DR 900 marka masa tipi spektrofotometre ile yerinde ölçüm yapılmıştır.

## 5.2. İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş Birincil (Majör) İyonlar

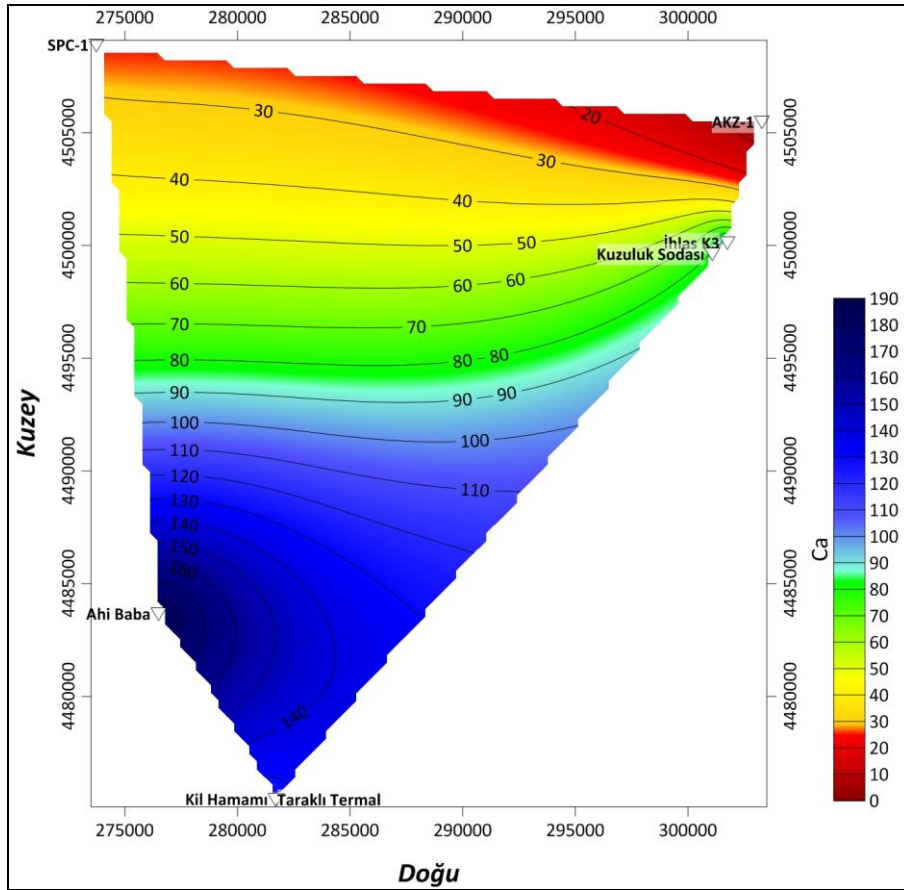
Jeotermal alanlarda elde edilen akışkanlarda bulunan başlıca birincil iyonlar  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Si}^{+4}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$  ve  $\text{CO}_3^{=}$  iyonlarıdır. Bu iyonlar, sayesinde jeotermal akışkanlar hakkında bir çok bilgi elde edilir. İnceleme alanındaki kimyasal analizlerinden elde edilen birincil iyonlar;  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  iyonları ve  $\text{SiO}_2$  bileşenidir.  $\text{SiO}_2$  iyonunu arazide 1/10 oranında seyrelterek Hach DR900 marka Sipektirofotometri aleti ile alınmıştır. Çalışma alanına ait numunelerde bulunan, birincil (major) iyonlar hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

### 5.2.1. Kalsiyum ( $\text{Ca}^{++}$ )

Kalsiyumun kökeni yeraltısularında kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jipstir. Bunlara ek olarak, magmatik ve metamorfik kayalarda bulunan apatit, flüorit, vollastonit, amfibol ve piroksen gruplarıyla birlikte bazı feldspatların bozunma sonucu ortaya çıkan kalsiyum iyonları yeraltısularına geçer (Tarcan, 2015).

$\text{H}^+$  iyonu kalsiyumun eritilmesini kolaylaştırır. Atmosferde basınc ve sıcaklığın artmasıyla, sudaki kalsiyum miktarı artar. Genelde yeraltısularında  $\text{Ca}^{++}$  miktarı 10-100 mg/l arasındadır, bazen de bu miktarın 500 - 1000 mg/l' ye ulaştığı görülebilir (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu kalsiyum mineralin güney kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.1).



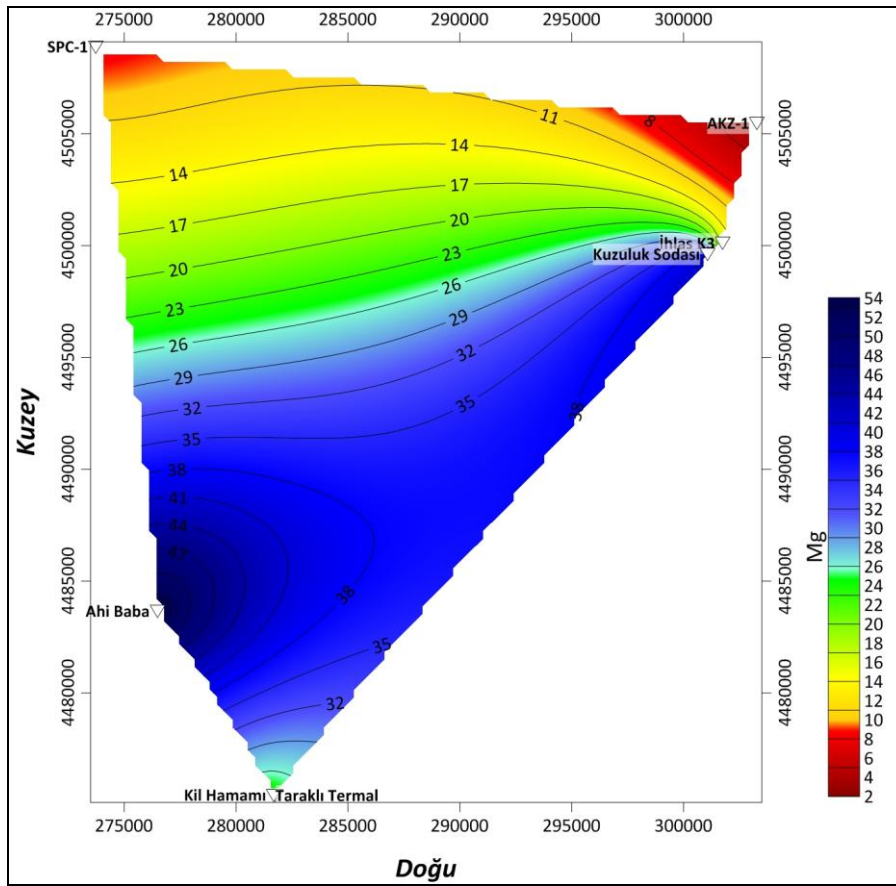
Şekil 5.1. Analiz sonuçlarına göre kalsiyum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.

### 5.2.2. Magnezyum ( $Mg^{++}$ )

Kalsiyumdan iyonundan sonra yeraltısularında en fazla rastlanan ikinci katyondur. Yeraltısularında, magnezyum kaynağı dolomit, evaporit ile magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend) ve metamorfik kayalarda bulunan (serpantin, talk, tremolit) mineralleridir (Tarcan, 2015).

Deniz sularında  $Mg^{++}$  iyonu  $Ca^{++}$  iyonuna göre , normal sulara istinaden 5 kat daha fazladır. Mg iyonu genellikle, yeraltı sularında 10-100 mg/l arasında bulunur eğer 125 mg/l 'den fazla bulunması halinde ise sularda acılaşma görülmektedir. Suda magnezyum iyonlarının bulunuşu, sodyum tehlikesini azaltır (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu magnezyum mineralin güneybatı ve doğu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.2).

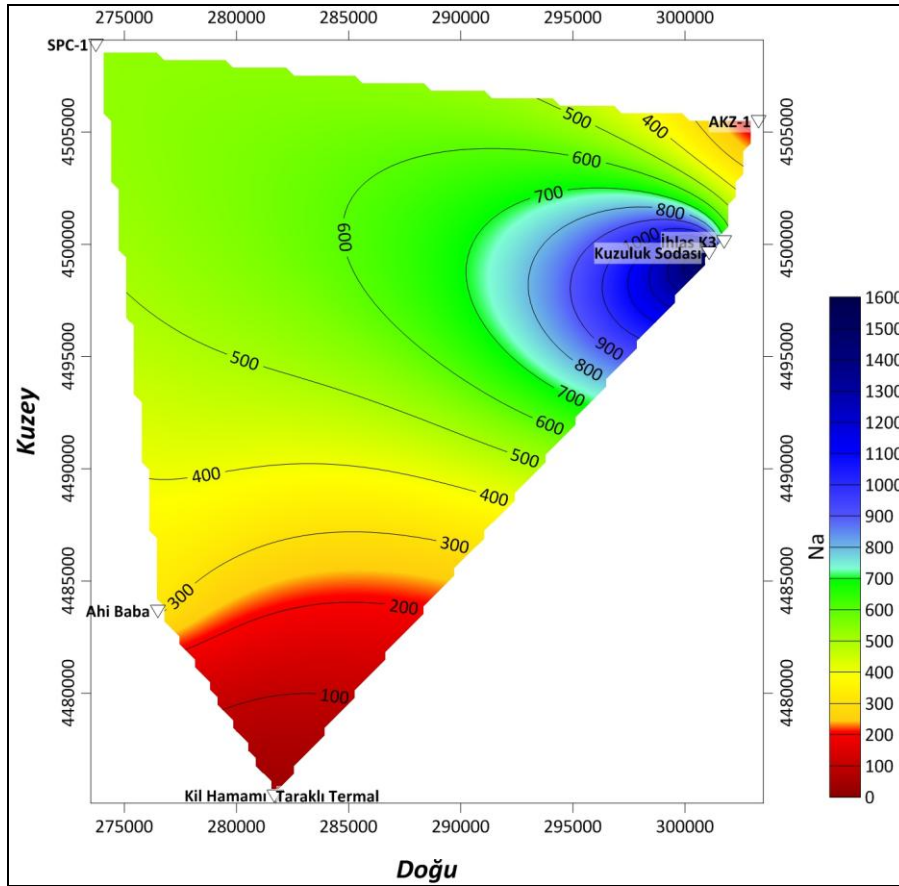


Şekil 5.2. Analiz sonuçlarına göre magnezyum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.

### 5.2.3. Sodyum ( $\text{Na}^+$ )

Sodyum en fazla deniz suyunda bulunur ve  $\text{NaCl}$  şeklindedir. Genellikle yeraltı sularına karışma şekli, plajiyoklazların ayrışması ve kil minerallerinin değişimi sonucudur. Magmatik ve metamorfik kayalar içinden çıkan kaynaklarda 1-20 mg/l sodyum bulunurken, deniz suyunda bu miktar 10.000 mg/l civarına kadar yükselir (Tarcan, 2015). Yeraltısularındaki sodyumun bulunuşu akım hızına, bozunma süresine, mineral cinsine ve miktarına pH'a, yapay ve doğal kirlenme ile ortamdaki kalsiyum iyon derişimine bağlıdır. Sulama amaçlı kullanılan yeraltısularında sodyum miktarı özellikle killi topraklar için çok önemlidir (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu sodyum mineralin doğu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.3).



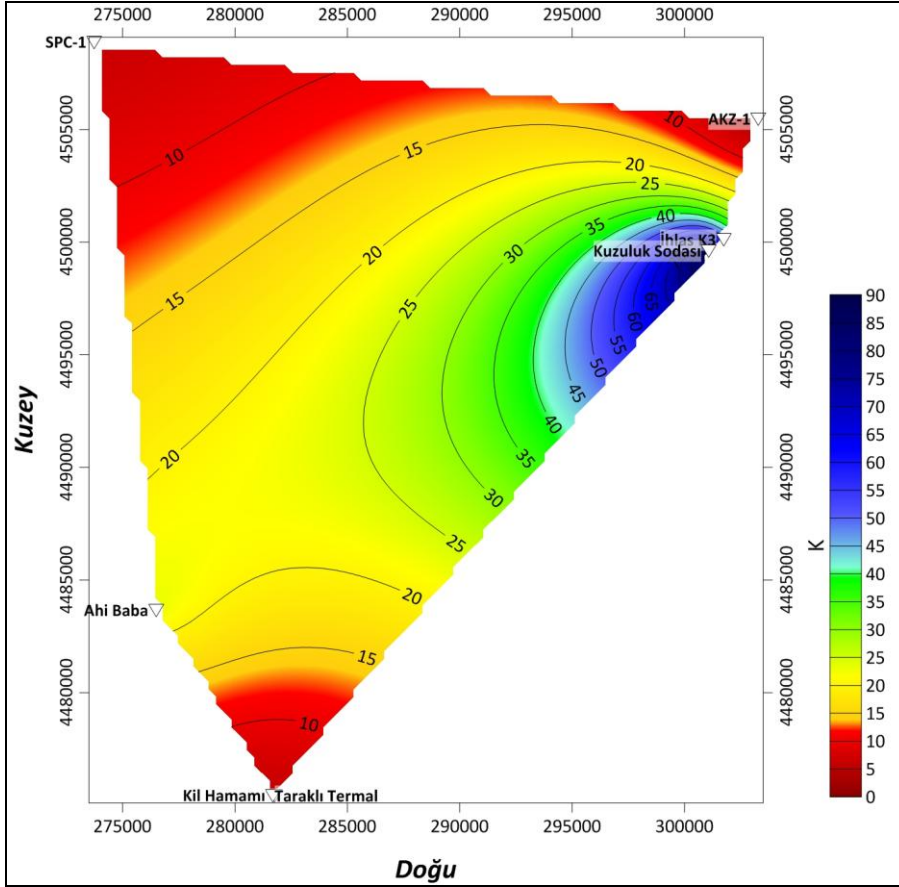
Şekil 5.3. Analiz sonuçlarına göre sodyum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.

#### 5.2.4. Potasyum ( $K^+$ )

Potasyum ve sodyum iyonu yer kabuğunda yaklaşık olarak eşit bulunurlar. Çökel kayalarda potasyum, magmatik kayalarda sodyum egemendir. Sularda ise sodyum potasyumdan daha fazla bulunur. Soğuk sulardaki K iyonu genellikle Na miktarının 1/10'u kadardır. Bunun nedeni ise sodyumun suda daha çok çözünebilir olmasıdır. Deniz suyundaki sodyum, potasyumun neredeyse 28 katıdır. Yer kabuğunda potasyum iyonunun büyük bir kısmı feldspatlarda (Ortoklaz, mikroklin gibi) bulunur (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu potasyum mineralin doğu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.4).



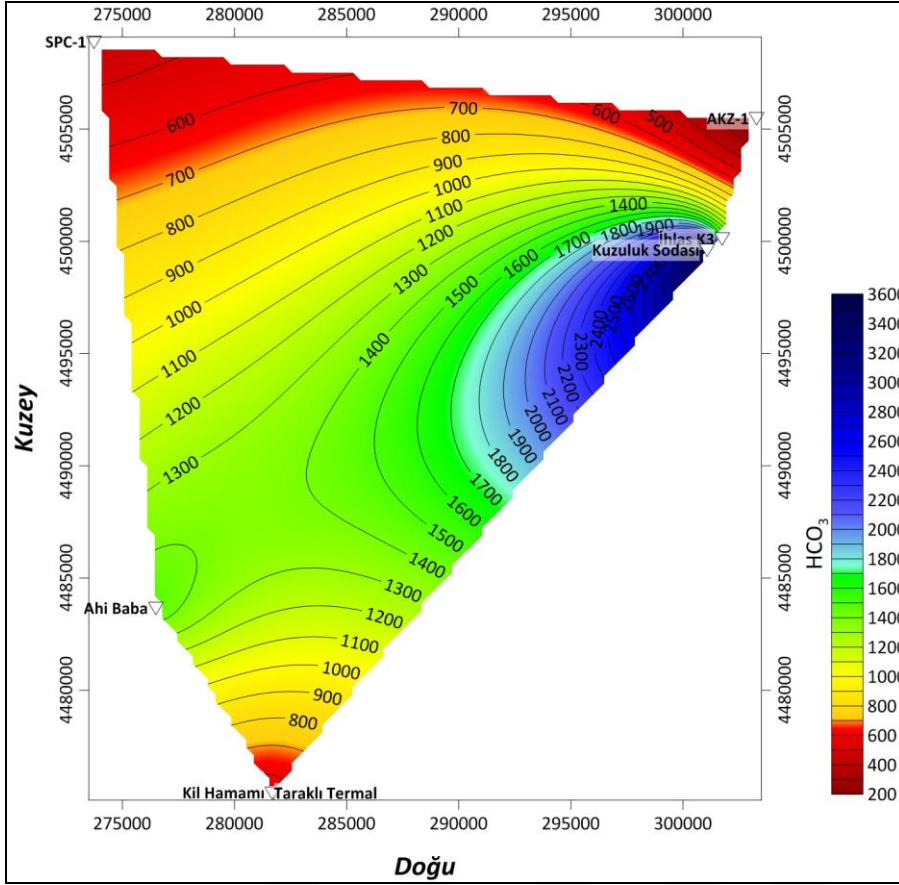


Şekil 5.4. Analiz sonuçlarına göre potasyum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.

### 5.2.5. Karbonat ( $\text{CO}_3$ ) ve bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ )

Yeraltısularındaki karbonat ve bikarbonatların çoğu doğadaki  $\text{CO}_2$ ' den ve karbonatlı kütlelerin erimesiyle oluşmaktadır. Bu nedenle karbonat ve bikarbonatların miktarı  $\text{CO}_2$  miktarına ve suyun pH 'ına bağlıdır. Yeraltı sularındaki bikarbonatların miktarı genelde 10-800 mg/l aralığında değişse de, ender olarak 400 mg/l'yi aşmaktadır (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu karbonat ve bi karbonat iyonlarının doğu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.5).

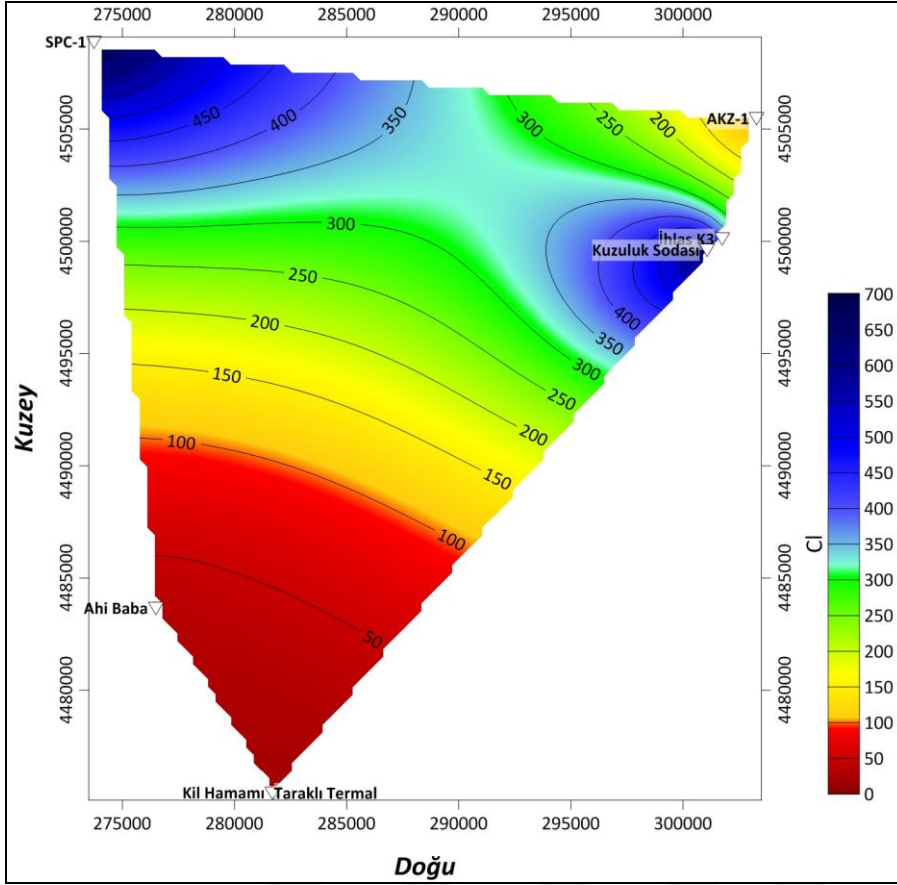


Şekil 5.5. Analiz sonuçlarına göre karbonat ve bikarbonat iyonlarının inceleme alanındaki dağılımı.

### 5.2.6. Klorür (Cl<sup>-</sup>)

Yeraltı sularındaki klorür, yağmur ve kar suyundan, deniz suyundan, evaporitlerden, yada atmosferden gelebilir. Yeraltı sularına en fazla klorür veren kaynak deniz suyudur. Bu bakımdan kıyılardan iç kısımlara doğru gidildikçe yeraltı sularındaki klorür miktarı azalır. Yağmur suyunda 1 mg/l olan klorür, deniz suyunda 20.000 mg/l ye kadar yükselebilir. Yaygın olarak yeraltı sularındaki klorürler yağışlı bölgelerde az, kurak bölgelerde ise çoktur (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu klorür iyonunun doğu ve kuzey batı kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.6).

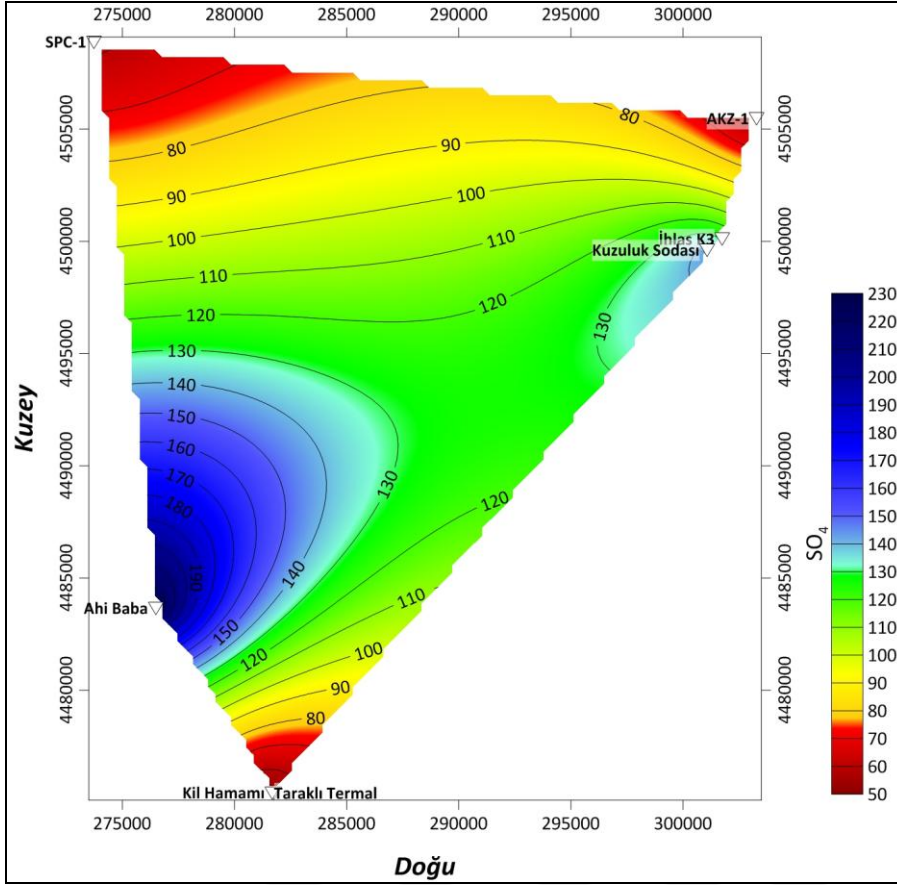


Şekil 5.6. Analiz sonuçlarına göre klorür iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.

### 5.2.7. Sülfat ( $SO_4^{2-}$ )

Yeraltısularında bulunan sülfatın çoğunluğu jips ve anhidritten kaynaklanır. Bunların dışında az bir oranda piritin oksidasyonu ile oluşan demir sülfat, magnezyum ve sodyum sülfattan da gelebilir (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu sülfat iyonunun doğu ve güney batı kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.7).

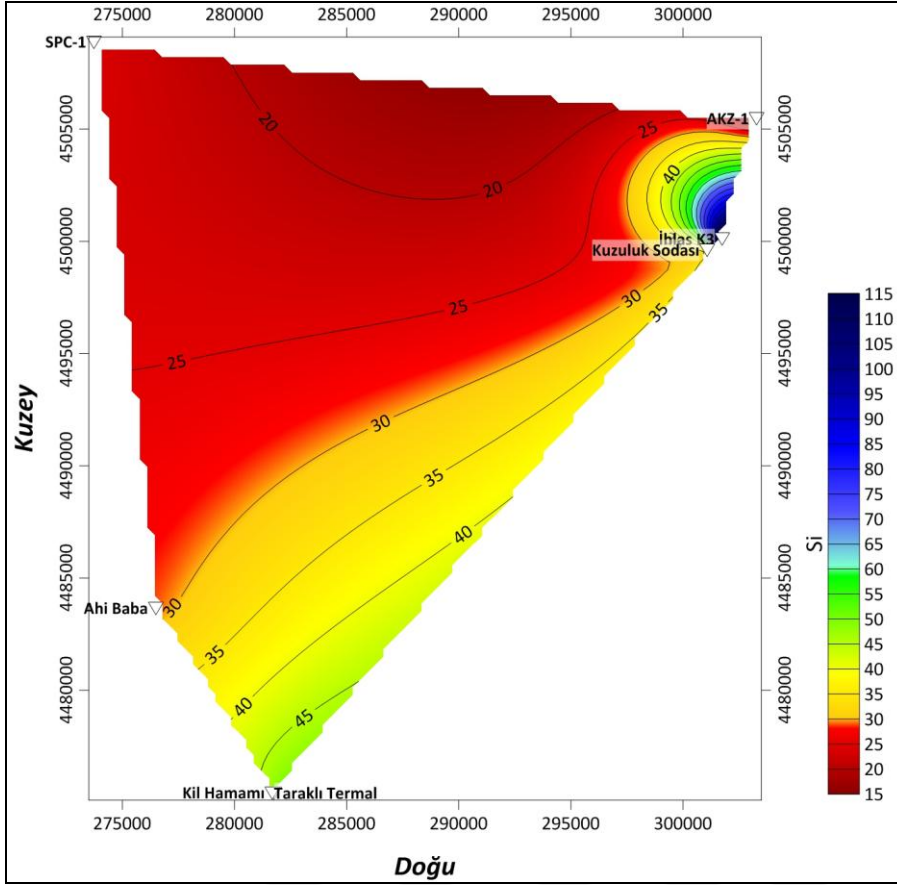


Şekil 5.7. Analiz sonuçlarına göre sülfat iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.

### 5.2.8. Silisyum (Si)

Silis” anlamı  $\text{SiO}_2$ ’dir ve doğal sularda silisyumun (Si) yerine kullanılır; ancak  $\text{SiO}_2$   $\text{Si(OH)}_4$  veya hidratlaşmış halde  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  şeklindedir. Doğal sulardaki çözülmüş silisin kaynağı silikat minerallerinin bozunumundan gelmektedir. Doğal sularda silis miktarı, genellikle 1-30 mg/l arasında iken yüzey sularında ortalama 14 mg/l, yeraltı sularında ise 17 mg/l’dir. Silisin çözünürlüğünü etkileyen bir diğer faktörde pH’dır. Silis asittik ortamda çok az çözünür. pH’ın yükselmesi silisin çözünürlüğünü artırır. pH 9’un üzerinde silis önemli miktarda çözünür. Yeraltısularında 10-30 ppm  $\text{SiO}_2$  bulunurken, deniz sularında 6-15 ppm olarak bulunur. Bunun sebebi deniz sularında canlılar tarafından kullanılmasıdır (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu silisyum iyonunun doğu ve güney kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Analiz sonuçlarına göre silis iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.

### 5.3. İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözülmüş İkincil İyonlar

Jeotermal sahalardan alınan numuneler genellikle 0,01-10 mg/l arasında değişirken,  $Fe^{+2}$  (nadiren  $Fe^{+3}$ ),  $B^{+3}$ ,  $Al^{+3}$ ,  $As^{+}$ ,  $Zn^{+2}$ ,  $Pb^{+2}$  (nadiren  $Pb^{+4}$ ), Cd, yeraltısularının yeraltındaki hazne kayalarından beslenimi sırasında süzülen çeşitli kayalarla etkileşime geçen iyonlardır. İnceleme alanı içerisindeki akışkanlar üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen ikincil iyonlar  $Li^{+}$ ,  $Sr^{+2}$ ,  $B^{+3}$ ,  $Ba^{+2}$ , As, Fe, F iyonlarıdır.

#### 5.3.1. Demir ( $Fe^{+3}$ )

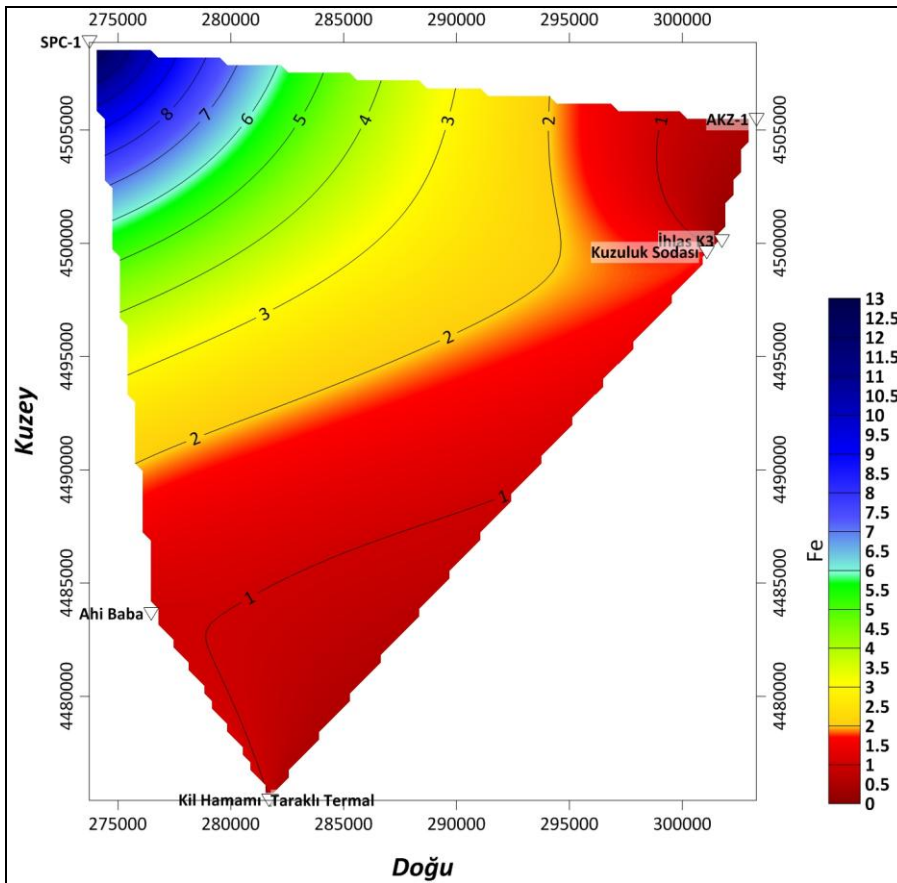
Demirin ferro ve ferri olarak (2 ve 3 değerli) türleri vardır. Demir, özellikle piroksen, amfibol, pirit, biyotit, magnetit, ve granat gibi minerallerin bozulmasından ortaya çıkar. Sulardaki bulunan demir, genellikle 2 değerli demirin oksidasyonu sonucu 3 değerli hale geçmiş halidir.

Suyun içinde değişik şekillerde bulunan demir miktarı, analiz sonuçlarına, toplam demir miktarı olarak mg/l cinsinden verilir. Demir içme ve endüstride kullanılacak sular için 0,3 mg/l 'den fazla olmaması istenir. Yeraltısularında 0,5 mg/l 'den fazla demir bulunması

halinde sondaj kuyularındaki filtreler ve su borularının da tıkanmaya sebep olur. Bu olayda demir bakterilerin önemi büyüktür (Tarcan, 2015).

Yeraltı sularında hidroksit şeklinde bulunan manganezin etkisi demire benzer ve 0.1 mg/l den fazla olması durumunda suya siyah – kahverengi bir renk verir. İçme ve kullanma sularında 0.1 mg/l 'den fazla olmaması istenir (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu demir iyonunun kuzey batı kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.9).



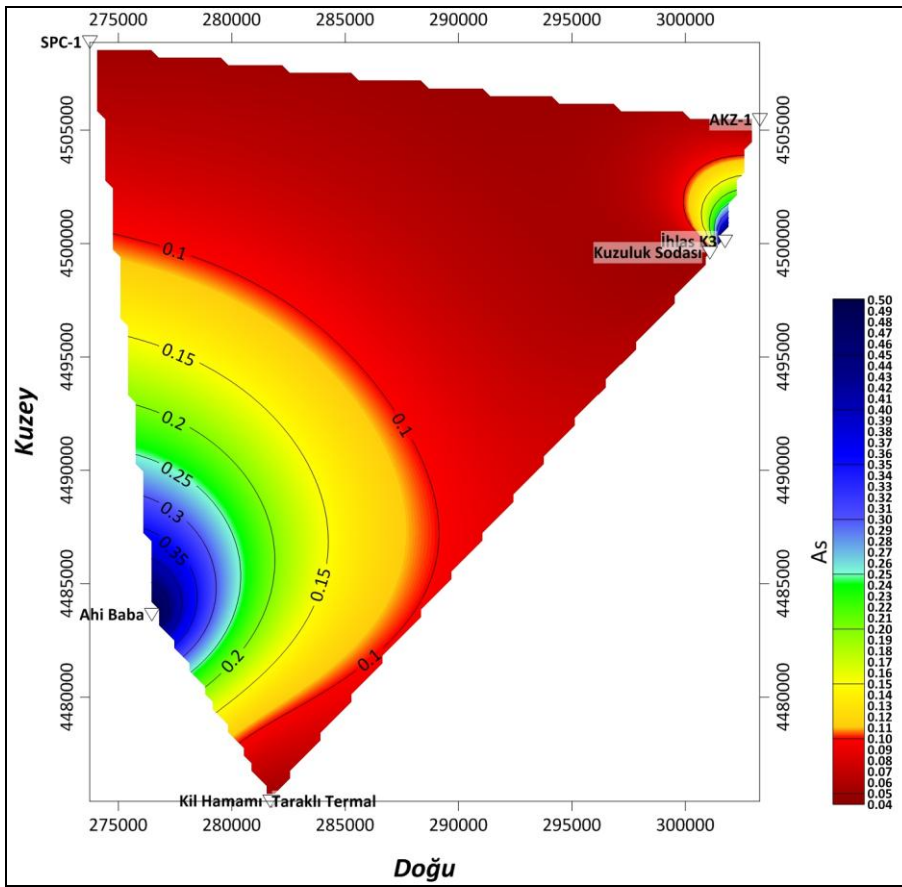
Şekil 5.9. Analiz sonuçlarına göre demir iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.

### 5.3.2. Arsenik (As)

Arsenik hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni ve Co gibi elementler ile birlikte, Ni - Cu sülfat yataklarındaki fosfatlı kayalarda, bakırlı şeyl ve kumtaşlarında ve oksitlerde izlenir. İlmenit ve magnetitlerde arsenik boldur. Bazalt ve diyabazlarda ortalama 2 ppm, granitlerde 1.5 ppm, gabrolarda 1.4 ppm, nötr kayalarda 2.1 ppm, arsenik bulunur. Açık deniz çökeltilerinde, karbonlu maddelerde arsenik bol bulunur (Tarcan, 2015).

Arsenik kil ve şeylde 13 ppm, çörtlerde, kumtaşlarında, karbonat ve dolomitlerde 1 ppm, fosfatlı kayalarda 21 ppm, denizel pelajik ortamlardaki kırmızı çamurtaşlarında 11 ppm, göl çökellerinde ise 15 ppm kadardır. Çok zehirli olan arsenik elementinin içme ve kullanma sularında 0.05 mg/l' ye kadar kullanılmasına izin verilebilirken , 2005 yılından sonra bu değer T.S.E. (2005) 266' ya göre 0.01 mg/l' ye düşürülmüştür (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu silisyum iyonunun doğu ve güney batı kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Analiz sonuçlarına göre arsenik iyonunun inceleme alanındaki dağılımı

### 5.3.3. Bor (B)

Bor, mika ve serpantinlerde boldur. Silikatlara göre fillosilikatlar daha fazla bor içerirler. Özellikle muskovit, serizit, illit, paragonit, montmorillonit ve serpantin borca zengindir. Gnays ve şistler ise borca fakirdir. Killer (çamur, şeyl) tortul kayalar içerisinde en fazla bor içeren birimlerdir (Tarcan, 2015).

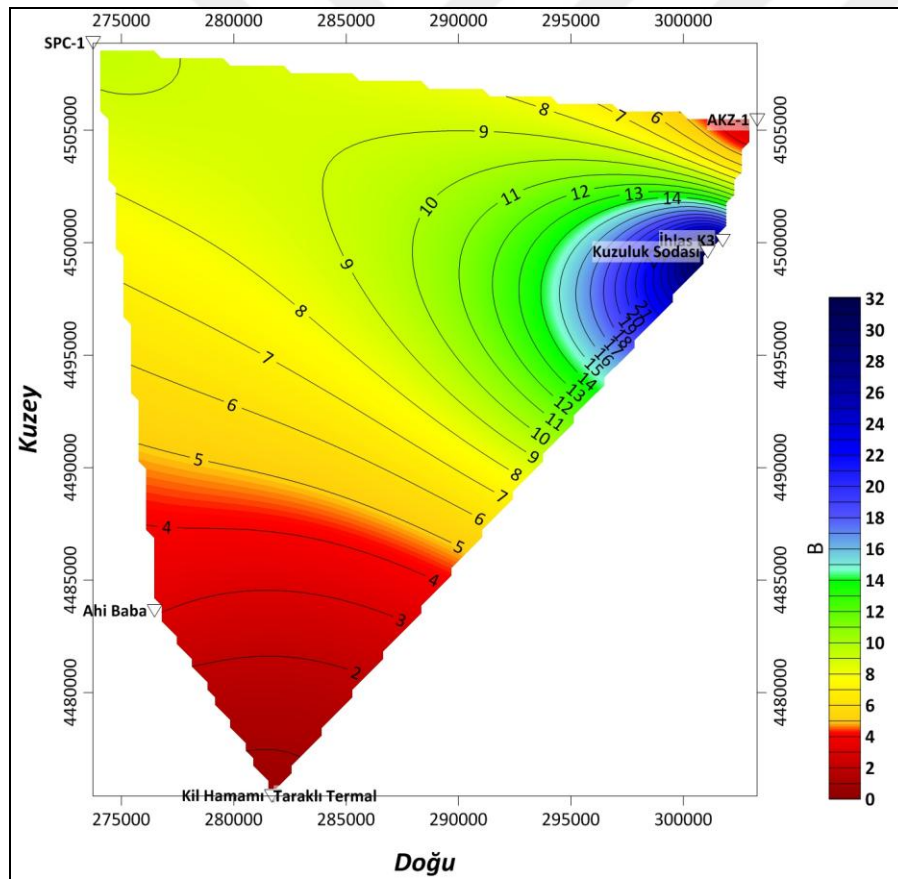
Akarsular denizlere nazaran 400 kat daha fazla bor içerir. Göllerde bor miktarı değişkendir. Bor en fazla sodalı, en az  $\text{CaCl}_2$  ve magnezyumlu göl sularındadır. Yeraltı

sularında bor miktarı suyun tuz içeriğine ve içinde bulunduğu ana kayacın kimyasal yapısına bağlıdır. Özellikle sodalı yeraltı sularında bor çok fazladır (Tarcan, 2015). Ca-Mg ve klorürlü sularda ise bor çok azdır.

Sıcak kayalarda yüksek oranda bulunan bor, genellikle suyun geçtiği ana kayaktan gelmektedir. Okyanus sularında genellikle 4.45 ppm kadar bor bulunur. Kurak iklimlerdeki akarsuların bor miktarı nemli iklimlerdeki akarsulara göre daha fazladır (Tarcan, 2015).

Bitkilerin önemli beslenme elementi olan bor, sulama sularında 2.0 mg/l' den fazla olması istenmez aksi takdirde bitkilere zarar verir. Bazı bitkiler 1.0 mg/l hatta daha düşük konsantrasyonlardaki bordan bile zarar görürler. Deniz suyu ortalama 5 mg/l bor içerir. İçme sularında ise bor miktarının 1.0 mg/l' nin altında olması istenir (Tarcan, 2015).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu bor iyonunun doğu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.11).



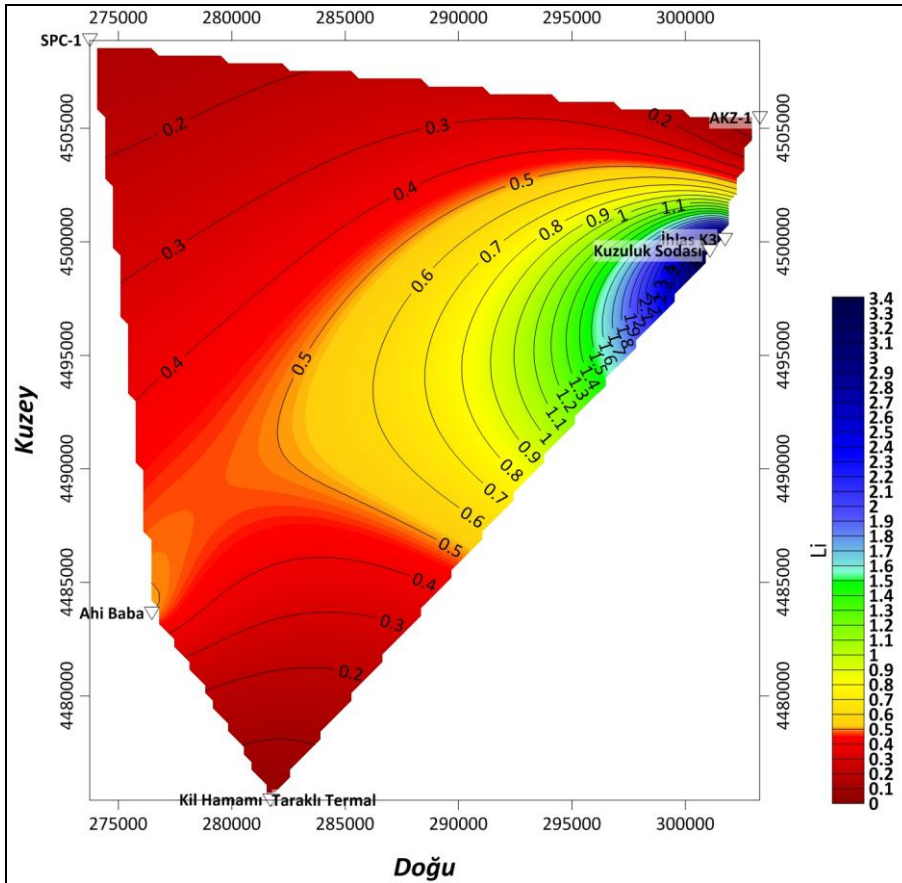
Şekil 5.11. Analiz sonuçlarına göre bor iyonunun inceleme alanındaki dağılımı



### 5.3.4. Lityum ( $Li^+$ )

Yeraltı sularında düşük konsantrasyon da bulunması ve bünyesinde lityum içeren magmatik ve metamorfik kayalar lityumun kaynağını oluştururlar. Lityum insan sağlığına zararlı hatta zehirleyicidir, bu nedenle yüksek miktarlarda olması istenmez.

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu lityum iyonunun doğu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.12).

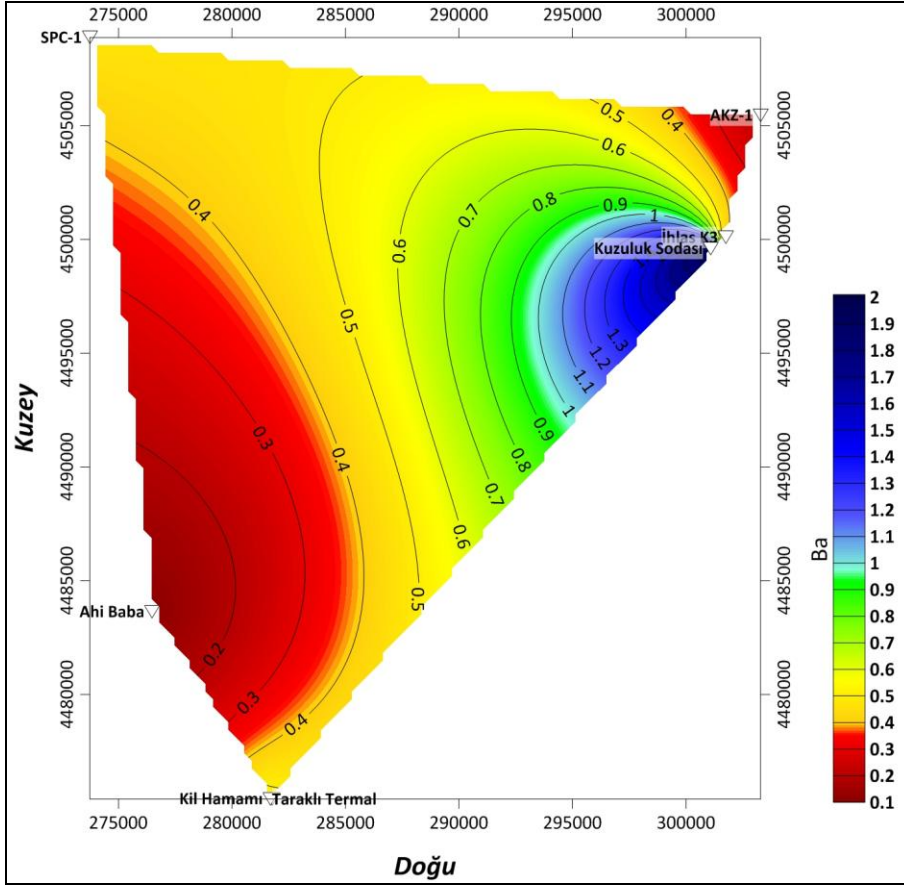


Şekil 5.12. Analiz sonuçlarına göre lityum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı

### 5.3.5. Baryum ( $Ba^{++}$ )

Baryum minerali genellikle magmatik kayalarda olmaz. Fakat birçok silikat minerallerde özellikle feldispatlarda ve mikalarda izomorfizmayla potasyum ve kalsiyumun yerine geçer. Magmatik kayalarda  $SiO_2$  oranına bağlı olarak artar.

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu lityum iyonunun doğu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.13).

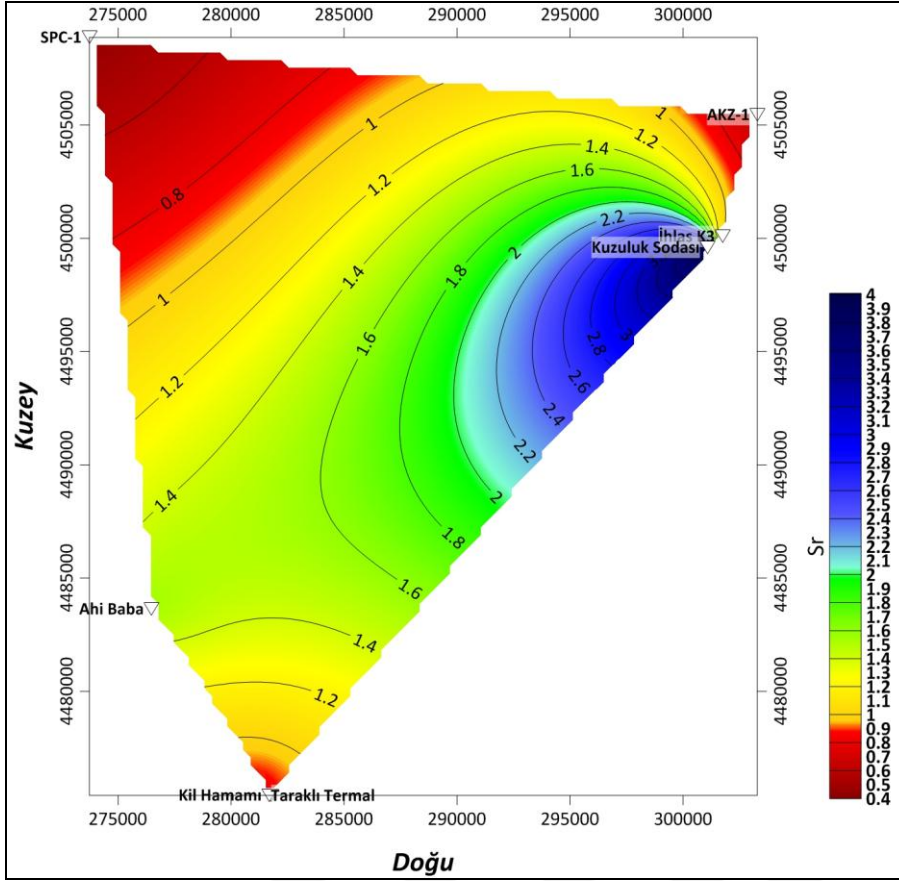


Şekil 5.13. Analiz sonuçlarına göre baryum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı

### 5.3.6. Stronsiyum'un (Sr)

Doğada serbest halde stronsiyum (Sr) bulunmaz. İki önemli minerali olan; %56.4 SrO içeren Selestit ( $SrSO_2$ ) ve % 70.1 SrO içeren Stronsiyonit ( $SrCO_3$ ). Bunlardan önemli olanı, bolluğu ve geniş yayılım göstermesi nedeniyle Selestitdir (MTA, 2018).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu stronsiyum iyonunun doğu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.14).

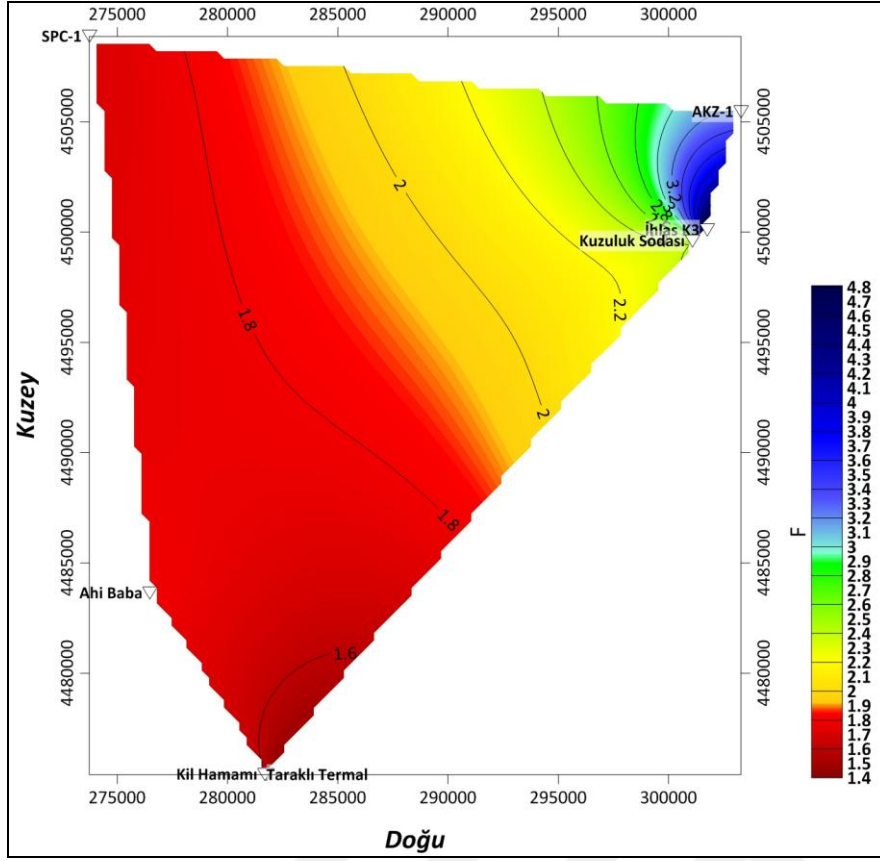


Şekil 5.14. Analiz sonuçlarına göre baryum iyonunun inceleme alanındaki dağılımı

### 5.3.7. Flor (F)

Flor'un, yeraltı sularındaki kaynağı magmatik kayalar ve killerdir, az miktarlarda da kumtaşları ve kireçtaşlarıdır. Yüzey sularında flor genellikle 1 mg/l'nin altındadır. Derin yeraltı suları veya sıcak kaynak sularında bulunan miktar ortalama 20-53 mg/l'ye kadar yükselmektedir (Atabey, 2010).

İnceleme alanında yapılan analizler sonucu flor iyonunun doğu kesimlerde daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Analiz sonuçlarına göre flor iyonunun inceleme alanındaki dağılımı.

#### 5.4. İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş Minör ve İz Bileşenler

Jeotermal sahalardan elde edilmiş analizler sonucunda genel olarak 0.0001–0.01 mg/l arasında bulunan iyonlar minor, 0001 mg/l daha küçük oranlarla ortaya çıkan iyonlara da iz bileşenler olarak adlandırılır (Tarcan, 2015).

#### 5.5. İnceleme Alanındaki Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri

İnceleme alanı içerisinde yer alan kuyulardan ve kaynaklardan alınan jeotermal sıcak suların içilebilme ve kullanılabilme özellikleri incelenmiştir.

##### 5.5.1. İnceleme Alanındaki Soğuk ve Sıcak Suların İçilebilme Özellikleri

Ülkemizde içme suları, “Türkiye İçme Suları Standardı” tablosuna göre değerlendirilir (Tablo 5.2). İnceleme alanından alınan numulerini aşağıda, “Türkiye İçme Suları Standardı” ndaki izin verilen azami miktarları gösterilmiştir (Tablo 5.2).

**Tablo 5.2.** Türk Standartları TS 266 ve Diğer Uluslararası İçme Suyu Standartları, Limit Değerleri

Parametre	Türk Standartları TS266	Dünya Sağlık Teşkilatı WHO	ABD Çevre Koruma Ajansı	Avrupa Birliği EC
Bulanıklık (NTU)	1	5	1	1
<b>BİRİNCİL STANDARTLAR (Mikrobiyolojik), kob /100mL</b>				
E.coli	0	0	0	0
Enterokok	0	0	0	0
Koliform Bakteri	0	0	0	0
<b>BİRİNCİL STANDARTLAR (Dezenfeksiyon Yan ürünleri), µg/L</b>				
Toplam Trihalometanlar	100	460	80	100
Bromat	3	10	10	10
<b>BİRİNCİL STANDARTLAR (İNORGANİK KİMYASALLAR), mg/L</b>				
Alüminyum	0,2	0,1	0,2	
Arsenik	0,01	0,01	0,01	
Bor	1	2,4	-	
Nikel	0,02	0,02	-	
Baryum	-	0,7	2	
Kadmiyum	0,005	0,003	0,005	0,005
Krom (Toplam)	0,05	0,05	0,1	0,05
Bromür	-	-	-	-
Florür	1,5	1,5	2	1,5
Siyanür	0,05	0,07	0,2	0,05
Kurşun	0,01	0,01	0,015	0,01
Civa	0,001	0,001	0,002	0,001
Nitrat	50	50	45	50
Selenyum	0,01	0,01	0,05	0,01
Gümüş	-	0,1	0,1	-
Antimon	0,005	0,02	0,006	0,005
Berilyum	-	-	0,004	-
<b>İKİNCİL STANDARTLAR (ESTETİK), mg/L</b>				
Klorür	250	250	250	250
Renk (PC Birimi)	20	15	15	-
Bakır	2	2	1	2
Demir	0,2	0,3	0,3	0,2
Mangan	0,05	0,1	0,05	0,05
Tat-Koku Yapan Geosmin Maddeler ng/L MIB	-	-	-	-
pH	6,5-9,5	6,5-8,0	6,5-8,5	6,5-9,5
Sülfat	250	500	250	250
Toplam Çözünmüş Madde	-	1000	500	-
Çinko	-	3	5	-

İLAVE PARAMETRELER,mg/L				
Kalsiyum	-	300	-	-
Sertlik (CaCO <sub>3</sub> olarak)	-	500	-	-
Magnezyum	-	-	-	-
Potasyum	-	-	-	-
Sodyum	200	200	-	200
Serbest Klor	-	5	4	-
Amonyum	0,5	1,5	-	0,5

İnceleme alanındaki numunelerin analiz sonuçlarına göre elde edilen veriler “Türkiye İçme Suları Standartları verileri Tablo 5.3’da görüldüğü üzere karşılaştırıldığında;

**Arsenik** Minelli bakımından incelendiğinde, Ahibaba ve İhlas K3 numuneleri,

**Bor** minerali bakımından incelendiğinde, AKZ-1, Ahibab, İhlas K3, Taraklı Termal, SPC-1, Kuzuluk Sodası ve Kil Hamamı,

**Baryum** minerali bakımından incelendiğinde, AKZ-1, Ahibab, İhlas K3, SPC-1, Kuzuluk Sodası

**Florür** minerali bakımından incelendiğinde, AKZ-1, Ahibab, İhlas K3, SPC-1, Kuzuluk Sodası ve Kil Hamamı,

**Klorür** minerali bakımından incelendiğinde, İhlas K3, SPC-1, Kuzuluk Sodası

**Demir** minerali bakımından incelendiğinde, AKZ-1, Ahibab, Taraklı Termal, SPC-1, Kuzuluk Sodası ve Kil Hamamı,

**Sodyum** minerali bakımından incelendiğinde, Ahibab, İhlas K3, SPC-1, Kuzuluk Sodası , yüksek bileşen içermeleri sebebiyle Türkiye İçme Suları Standartı gereğince içme sularına uygun değildir.

**Tablo 5.3.** İnceleme alanından alınan su örneklerinin kimyasal analizleri ile Türk Standartları, Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO),ABD Koruma Ajansı,Avrupa Birliği (EC) içme suyu kriterleri karşılaştırılması

Parametre	Türk Standartları TS266	Dünya Sağlık Teşkilatı WHO	ABD Çevre Koruma Ajansı	Avrupa Birliği EC	AKZ-1	Ahibaba	İhlas K3	Taraklı Termal	SPC-1	Kuzuluk Sodası	Kil Hamamı
Arsenik	0,01	0,01	0,01		< 0,1	<b>0,53</b>	0,68	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Bor	1	2,4	-		2,36	3,07	26,5	0,71	9,44	31,92	0,68
Baryum	-	0,7	2		0,22	0,11	0,4	0,5	0,47	2,02	0,56
Florür	1,5	1,5	2	1,5	3,2	1,8	5,1	1,3	1,7	2,4	1,7
<b>İKİNCİL STANDARTLAR (ESTETİK),mg/L</b>											
Klorür	250	250	250	250	89	36	385	< 30	707	630	< 30
Demir	0,2	0,3	0,3	0,2	0,56	1,01	0,18	0,36	13,21	1,75	1,43
pH	6,5-9,5	6,5-8,0	6,5-8,5	6,5-9,5	8,84	6,63	7,73	6,98	7,96	7,23	7,15
Sülfat	250	500	250	250	58	230	130	55	58	143	49
Toplam Çözünmüş Madde	-	1000	500	-	386	1442	2290	535	1588	4272	501
Kalsiyum	-	300	-	-	6,36	188,1	101,6	129,6	24,88	80,45	122,3
Magnezyum	-	-	-	-	3,49	55,24	15,84	24,57	8,25	41,78	23,01
Potasyum	-	-	-	-	4,32	23,2	51,73	6,04	6,14	88,5	5,78
Sodyum	200	200	-	200	170,8	310,5	694,8	36,9	531,4	1609	35,33

### 5.5.2. İnceleme Alanındaki Soğuk ve Sıcak Suların Wilcox Diyagramına Göre Kullanılabilirlik Özellikleri

Wilcox (1955) sulama sularını klorür, sülfat, % Na, bor ve elektriksel iletkenliğe karşı olan duyarlılıklarına göre sınıflar. Ayrıca diyagrama göre tarımsal amaçlı sulama suları sınıflandırılabilir (Tablo 5.4).

Wilcox diyagramında sulama sularının sınıflandırılmasında bileşenlerin miktarları, mek/l cinsinden alınarak kullanılır.

Sodyum yüzdesi hesaplaması,

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

formülü ile hesaplanır (Tarcan, 2015).

Wilcox sulama suları tablosu, Tablo 5.4’de verilmiştir. İnceleme alanından alınan su numuneler formüldeki gibi hesaplanıp Tablo 5.5 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.4’ de verilen bilgilere göre Tablo 5.5’ te verilen su numuneleri analiz sonuçları bor miktarlarına göre tarımsal amaçlı kullanım esnasındaki seçilmesi gereken bitki türleri hakkında da yorum yapılabilir.

**Tablo 5.4.** Wilcox sulama suları sınıflaması tablosu

Suyun Sınıfı	%Na	rCl	rSO4	Ec (µmho/cm)	Suda Bulunan Bor (mg/l)		
					Duraylı Bitkiler	Yarı Duraylı Bitkiler	Az Dayanıklı Bitkiler
<b>Çok İyi</b>	<20	<4	<4	<250	<0,33	<0,67	<1
<b>İyi</b>	20-40	4-7	4-7	250-750	0,33-0,67	0,67-1,33	1-2
<b>Kullanılabilir</b>	40-60	7-12	7-12	759-2000	0,67-1	1,33-2	2-3
<b>Şüpheli</b>	60-80	12-20	12-20	2000-3000	1-1,25	2-2,5	3-3,75
<b>Kullanılmaz</b>	>80	>20	>20	>3000	>1,25	>2,5	>3,75



**Tablo 5.5.** Wilcox sulama suları sınıflaması diyagramında kullanılmak üzere hesaplanmış % Na değerleri

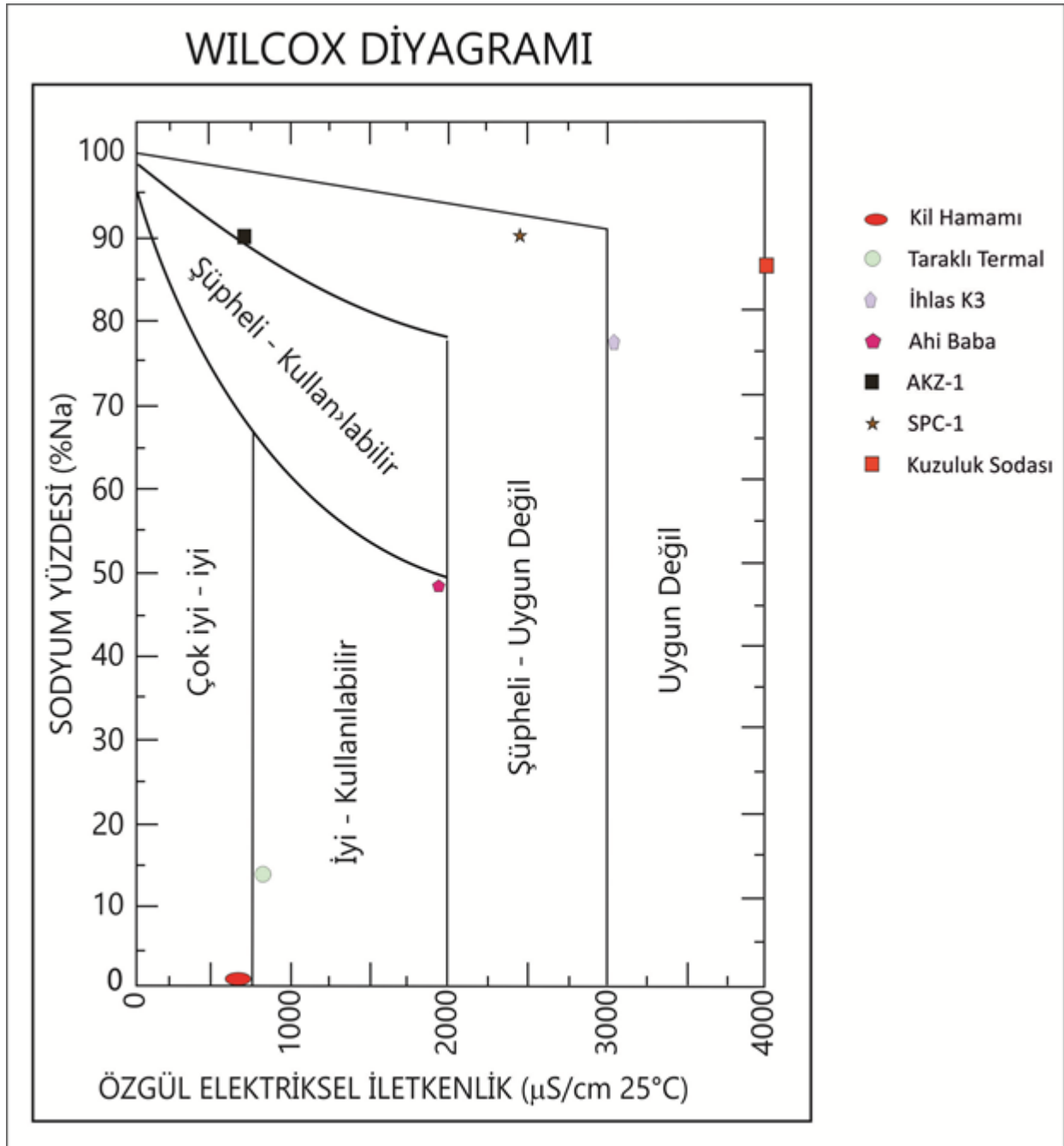
Numune Adı	rNa	rK	rCa	rMg	rCl	rSO <sup>4</sup>	%Na
<b>AKZ-1</b>	7,43	0,11	0,32	0,29	2,51	1,21	91,22
<b>Ahi Baba</b>	13,51	0,59	9,39	4,54	1,01	4,79	48,18
<b>İhlas K3</b>	30,22	1,33	5,07	1,30	10,85	26,61	79,70
<b>Taraklı Termal</b>	1,61	0,15	6,47	2,02	0,00	1,15	15,66
<b>SPC-1</b>	23,11	0,16	1,24	0,68	19,93	1,21	91,75
<b>Kuzuluk Sodası</b>	31,75	0,72	2,25	1,40	11,64	87,92	87,92
<b>Kil Hamamı</b>	1,54	0,15	6,10	1,89	0,01	1,02	15,88

Bu veriler ışığında, inceleme alanından temin edilen su numunelerinin bor içeriğine göre Taraklı Termal ve Kil hamamı duraylı bitkilerde kullanılmasına karşın diğer bitki türlerinde kullanılamamaktadır. Diğer su numuneleri ise yüksek bor miktarları nedeni ile en dayanıklı bitki türleri için dahi tarımsal amaçlı kullanımının mümkün olmadığı görülmektedir.

Sularda bulunan rCl iyonuna göre suların sınıfı; Kil hamamı, Taraklı Termal, Ahibaba ve AKZ-1 çok iyi, İhlas K3 kullanılabilir, SPC-1 ve Kuzuluk sodası şüpheli sınıfa girmektedirler.

rSO<sup>4</sup> iyonuna göre; Kil hamamı, Taraklı Termal, İhlas K3, AKZ-1, SPC-1 ve Kuzuluk sodası çok iyi, Ahibaba iyi, sınıfa girmektedirler.

Su numuneleri iletkenlik durumlarına göre; AKZ-1 iyi, Ahibaba, Taraklı Termal, Kil Hamamı kullanılabilir, SPC-1 şüpheli, Kuzuluk Sodası ve İhlas K3 kullanılamaz sınıfa girmektedir.



**Şekil 5.16.** İnceleme alanından alınan su numunelerinin Wilcox grafiği üzerinde dağılımı

Wilcox sulama suları sınıflandırması tablosu analiz sonuçlarından hesaplanarak elde edilen veriler (Şekil 5.1), grafiğe işlenerek suların kullanılabilirliği yorumlanmıştır. Çıkan numune sonuçlara göre, Kil Hamamı çok iyi, Taraklı Termal ve Ahibaba iyi kullanılabilir, AKZ-1 ve SPC-1 şüpheli uygun değil, İhlas K3 ve Kuzuluk sodası uygun değil olarak sonuçlanmıştır.

### 5.5.3. İnceleme Alanındaki Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına Göre Kullanılabilirlik Özelliği

Sodyum miktarı sulama sularında önemli bir yer tutar. Sulamadan sonra toprağın yapısını bozar, geçirgenliğini azaltır, zeminin üst seviyelerinde kaymak şeklinde sert bir yapının oluşmasına sebep olur bu nedenle bitki köklerinin havalanması engellenir. Sodyum, bitkiler için zehirli bir ortamda yaratır. Cinsine bakılmaksızın, sodyumca doymuş topraklarda neredeyse bitkiler gelişmezler (Tarcan, 2015).

Sudaki sodyum miktarı % hesaplanması formülü;

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

veya;

$$\text{Sodyum Adsorption Ratio ( SAR )} = \text{ Na} / [ ( \text{ Ca} + \text{ Mg} ) / 2 ]^{0.5}$$

şeklindedir. Formülde iyonlar mek/L alınır. SAR'a göre sulama suları, Tablo 5.6' da verildiği gibi sınıflandırılır;

**Tablo 5.6.** Hesaplanan SAR değerlerine göre sulama sularının niteliği

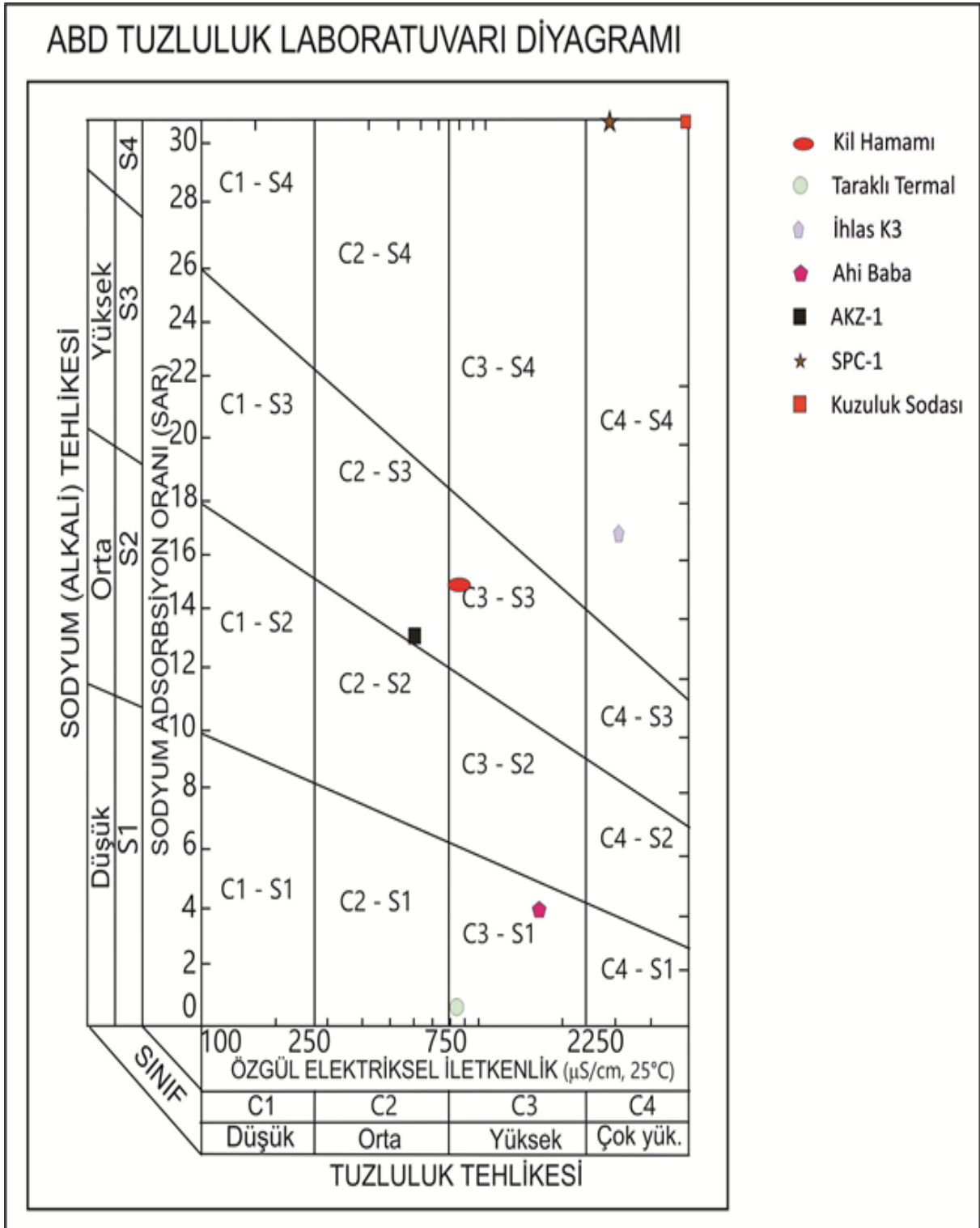
Suyun Niteliği	SAR (%)
Çok İyi Özellikte Sulama Suları	< 10
İyi Özellikte Sulama Suları	10- 18
Orta Özellikte Sulama Suları	18- 26
Kötü Özellikte Sulama Suları	26 >

Çalışma alanından alınan su numunelerinin Sodyum Absorbsiyon Oranı hesaplanarak Tablo 5.7. verilmiştir.

**Tablo 5.7.** İnceleme alanına ait su numunesi analizlerinin SAR değerleri hesaplamaları

Numune Adı	SAR
<b>AKZ-1</b>	13.51
<b>Ahi Baba</b>	5.12
<b>İhlas K3</b>	16.93
<b>Taraklı Termal</b>	0.78
<b>SPC-1</b>	23.59
<b>Kuzuluk Sodası</b>	36.26
<b>Kil Hamamı</b>	0.77

Yapılan hesaplamaların sonuçları ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerine görsel olarak ifade edebilmek için yerleştirilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.17. Numunelerin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerinde gösterimi

Bu diyagramın genel yorumu;

### **Genel Tuzluluk Özellikleri**

C1 (EC 250  $\mu\text{mho/cm}$ 'den veya  $\mu\text{S/cm}$ 'den az), az tuzlu sular : Her toprakta, tüm bitkilerin sulamasına uygundur.

C2 (EC 250-750  $\mu\text{mho/cm}$  veya  $\mu\text{S/cm}$  arası), orta tuzlu sular : Orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.

C3 (EC 750-2250  $\mu\text{mho/cm}$  veya  $\mu\text{S/cm}$  arası), tuzlu sular : Akaçlaması kötü olan arazilerde sulamada kullanılmaz. Tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir.

C4 (EC 2250  $\mu\text{mho/cm}$ 'den veya  $\mu\text{S/cm}$ 'den büyük), çok tuzlu sular : Geçirgenliği ve akaçlaması çok iyi topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlamak için bol su verilmelidir.

### **Genel Sodyum Tehlikesi Özellikleri**

S1, (az sodyumlu sular): Tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir.

S2, (orta sodyumlu sular): Geçirgen veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir.

S3,(yüksek sodyumlu sular): Birçok toprak cinsinde sodyum tehlikesi yaratabilir.

S4, (çok yüksek sodyumlu sular): Genel olarak sulama için uygun değildir. Ancak suyun toplam tuz miktarı düşük ise, sulamada kullanılabilir.

Böylece C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> her türlü sulamada, C<sub>4</sub>-S<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>-S<sub>2</sub> bazı özel koşullarda kullanılabilir. C<sub>4</sub>-S<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>-S<sub>3</sub> sulamada kullanılmaz. Sulama suyunun pH 'ı 9 u geçmemelidir.

### **Grafiğe yerleştirilen su numunelerinin hesaplanan SAR değeri ve iletkenliklerine göre;**

-İhlas K3, SPC-1 ve Kuzuluk Sodası numuneleri S4C4 bölgesinde yer alarak sulamaya uygun değildirler.

-Taraklı Termal ve Ahibaba numuneleri S1C3 bölgesinde yer alarak sodyum tehlikesi olmamasına rağmen ancak tuza dayanıklı bitkilerde sulama suyu olarak kullanılabilir.

-Kil Hamamı numunesi S3C3 bölgesinde yer alarak, birçok toprak cinsinde sodyum tehlikesi yaratacağı gibi sadece tuza dayanıklı bitkilerde sulama suyu olarak kullanılabilir.

-AKZ-1 numunesi S4C3 bölgesinde yer alarak, çok yüksek sodyum içerdiğinden hernekadarda tuzluluk açısından tuza dayanıklı bitkilerde kullanılabilir olsa da genel anlamda sulama suyu olarak kullanılmaz.

## **5.6. Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflandırması**

### **5.6.1. Sertliğine Göre Su Sınıflaması**

Suyun içerisinde çözülmüş halde olan Ca ve Mg iyonlarının bileşiklerinden meydana gelen bir özelliktir. Bu bileşikler genellikle Ca ve Mg iyonlarının oluşturduğu bikarbonatlar,

klorürler, sülfatlar, ve nitratlardır. Ca ve Mg bikarbonattan meydana gelen sertlikler, suların ısıtılması sonucunda  $MgCO_3$  ve  $CaCO_3$  olarak çöktürülmesi ile sistemden uzaklaştırılmış olur. Bu sebepten Ca ve Mg iyonlarının bikarbonatlardan meydana gelen bileşikler sonucu oluşan sertliklere “geçici sertlik” adı verilir. Suyun ısıtılması yüksek maliyet içermesinden dolayı suya çeşitli kimyasal eklenmesi yoluna gidilir. Geçici sertliğe neden olan bileşikler suya amonyak ve sonmuş kireç eklendiğinde karbonat tuzları biçiminde çökelir (Tarcan, 2015).

Su içerisindeki Ca ve Mg bikarbonatların ısıtılma yöntemi ile uzaklaştırılmıyorsa, bu tür sertliklere ise “kalıcı sertlik” denir. Bu tür sertliklerin düşürülmesi için suya  $Na_2CO_3$  eklenir. Kalıcı ve geçici sertliklerin toplamına “toplam sertlik” denir (Tarcan, 2015).

Suların sertliği, “Toplam Fransız Sertliği” olarak tanımlanmıştır ve Fransız Sertliği tablosuna göre suların sertlik sınıflaması yapılabilir (Tablo 5.8). Hesaplamalarda iyonlar mek/l olarak kullanılır. Toplam sertlik aşağıdaki formül ile hesaplanır (Tarcan, 2015).

$$\text{Toplam Sertlik} = 5 \times (rCa^{++} + rMg^{++}) \text{ (Tarcan, 2015)}$$

**Tablo 5.8.** Fransız Toplam Sertlik tablosu

Su Sınıflaması	Fransız Sertliği
Çok Yumuşak	<7.2
Yumuşak	7.2-14.5
Az Sert	14.5-21.5
Oldukça Sert	21.5-32.5
Sert	32.5-54
Çok sert	>54

İnceleme alanından alınandan örnekler Fransız toplam sertlik verileri ile değerlendirilerek Tablo 5.9’da gösterilmiştir

**Tablo 5.9.** İnceleme alanına ait su numunelerindeki Fransız Sertlik değerleri ve numune sertlik sınıflamaları

Numune Adı	Sertlik	Sertlik Su Sınıfları
Kil Hamamı	39.98	Sert Su
TaraklıTermal	42.44	Sert Su
İhlas K3	31.86	Oldukça Sert Su
Ahi Baba	69.64	Çok sert Su
AKZ-1	3.02	Çok Yumuşak Su
SPC-1	9.60	Yumuşak Su

Kuzuluk Sodası	37.25	Sert Su
----------------	-------	---------

### 5.6.2. pH Değerlerine Göre Su Sınıflaması

pH kavramı, sudaki H<sup>+</sup> iyonu miktarına karşılık gelmektedir. pH değerlerinin tanımlanması, 1 ile 7 arasındaki değerler “asidik”, 7 ile 14 arasındaki değerler ise “bazik” olarak nitelendirilir. pH değerinin 7’ e eşit olma durumu ise “notr” diye adlandırılır.

İnceleme alanındaki numunelerin pH’larına (Tablo 5.1) göre, Ahibaba ve Taraklı Termal asitik diğer numunelere ise bazik özellikte olduğu gözlenmiştir.

### 5.6.3. Elektriksel İletkenlik Değerlerine Göre Su Sınıflaması

Elektriksel iletkenlik, cisimlerin elektriği iletebilme özelliklerine karşılık gelmektedir. Sulardaki elektriksel iletkenlik değeri; iyonların cinsine, derişimlerine ve suyun sıcaklığına göre farklılık gösterir. İnceleme alanındaki numunelerin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri, Tablo 5.1’de sunulmuştur. Buna göre; su numuneleri iletkenlik durumlarına göre; AKZ-1 iyi, Ahibaba, Taraklı Termal, Kil Hamamı kullanılabilir, SPC-1 şüpheli, Kuzuluk Sodası ve İhlas K3 kullanılamaz sınıfına girmektedir.

### 5.6.4. Suda Çözünmüş Toplam İyon Miktarına Göre Su Sınıflaması

Çeşitli suların, bir diğer sınıflama şeklide çözünmüş toplam iyon miktarına göre sınıflamadır. İnceleme alanındaki sıcak su numunelerindeki verilerinin çözünmüş toplam iyon miktarına göre sınıflaması Tablo 5.10 verilmiştir. İnceleme alanından elde edilen suların Kil Hamamı, Taraklı Termal ve AKZ-1 numuneleri “Tatlı Su”, diğer numuneler ise "Hafif Tuzlu Su" olarak belirtilmiştir (Tablo 5.10).

**Tablo 5.10.** İnceleme alanına ait su numunelerinin toplam iyon miktarına göre su sınıflamaları

Numune Adı	Toplam İyon Miktarı (mg/l)	Suyun Sınıfı
Kil Hamamı	772.72	Tatlı Su
TaraklıTermal	813.31	Tatlı Su
İhlas K3	3001.97	Hafif Tuzlu Su
Ahi Baba	2325.04	Hafif Tuzlu Su
AKZ-1	544.97	Tatlı Su
SPC-1	1774.67	Hafif Tuzlu Su
Kuzuluk Sodası	6130.73	Hafif Tuzlu Su

### 5.6.5. Suların Hidrojeokimyasal Fasiyes Kavramına Göre Sınıflaması

Suların hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Sularda fasiyes tipini belirlemek için, suda çözülmüş iyonlar ayrı ayrı anyon ve katyon iyonları meq/l cinsinden %50 den fazla olan hidrokimyasal fasiyes tipini oluşturmaktadır. Eğer iyonlar miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979), Sıcak ve Mineralli Sular Komisyon raporunda belirtilen sınıflamada meq/l cinsinden olmak üzere suda % 20' den fazla çözülmüş bulunan iyonlar (anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere) su tipini belirtmektedir. Sınıflama, önce katyonlar sonra anyonlar sırasıyla yazılarak yapılır. İnceleme alanındaki suların hidrokimyasal fasiyes kavramına göre sınıflamasında IAH (1979) sınıflaması dikkate alınmıştır (Tablo 5.11).

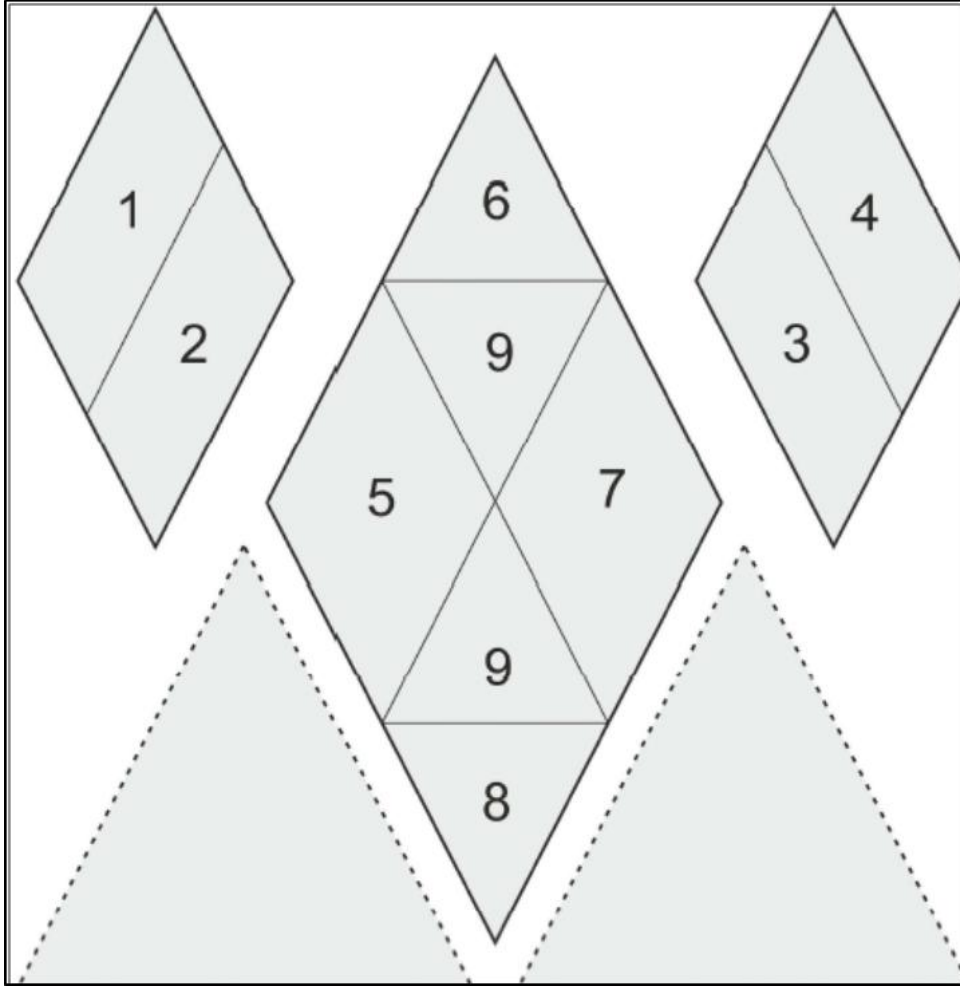
**Tablo 5.11.** İnceleme alanındaki termal suların IAH (1979)'ya göre su tipi sınıflaması

Numune Adı	Fasiyes Tipleri
Kil Hamamı	Ca-HCO <sub>3</sub>
TaraklıTermal	Ca-HCO <sub>3</sub>
İhlas K3	Na-HCO <sub>3</sub>
Ahi Baba	Na- Ca-HCO <sub>3</sub>
AKZ-1	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
SPC-1	Na-Cl
Kuzuluk Sodası	Na-HCO <sub>3</sub>

### 5.6.6. Piper Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması

Piper (Üçgen) diyagramı (Piper, 1953) iyonların hep beraber tek bir diyagramda görüntüleme ve karşılaştırma kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardan biridir. Diyagram anyon ve katyonların (% meq/l cinsinden) ayrı bir şekilde gösterildiği iki ayrı üçgen ile tüm iyonların beraber gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır (Şekil 5.3). Üçgen diyagramlar suların fasiyes tipleri, dörtgen olan kısım ise suların sınıflamada ve karşılaştırmada kolaylık sağlamaktadır.





Şekil 5.18. Piper Üçgen Diyagramı ve sınıflaması (Piper, 1953).

Dörtgen dokuz ayrı sınıflamaya ayrılmıştır;

1 no'lu alan; Alkali Toprak Elementler ( $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ) > Alkali Elementler ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ )

2 nolu alan; ( $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ) < ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ )

3 nolu alan; Zayıf Asit Kökleri ( $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^{=}$ ) > Güçlü Asit Kökleri ( $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}$ )

4 nolu alan; ( $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=}$ ) > ( $\text{CO}_3^{=} + \text{HCO}_3^{=}$ )

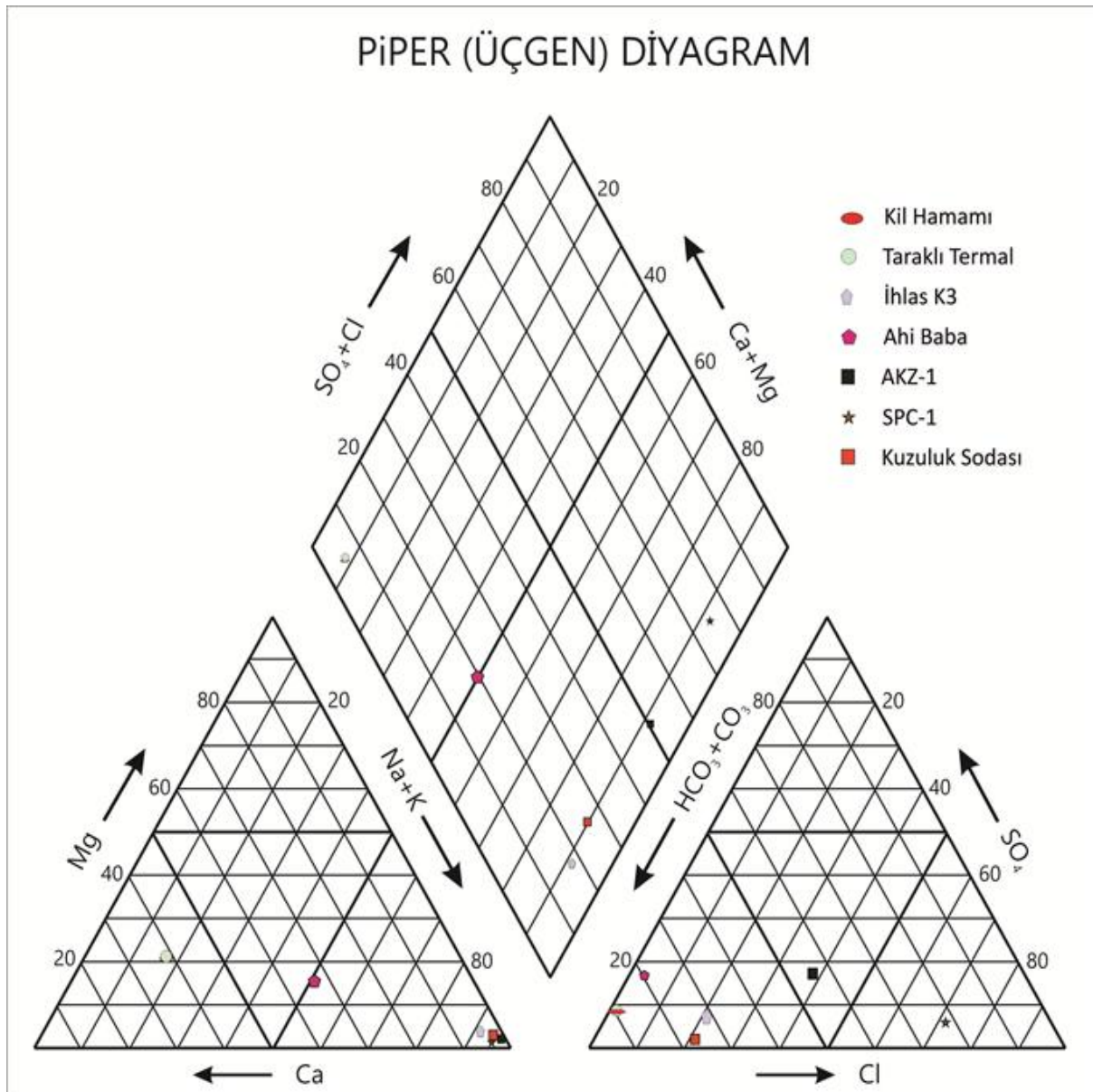
5 nolu alan; Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular;

6 nolu alan; Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular;

7 nolu alan; Karbonat olmayan alkalitesi %50'den fazla olan sular; NaCl, KCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır;

8 nolu alan; Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer;

9 nolu alan; İyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen, karışık sular bu alana girer.



**Şekil 5.19.** İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin analizlerinin Piper Diyagramı üzerindeki izdüşümleri

İnceleme alanından alınan su örneklerinin analiz yapıldıktan sonra elde edilen verilerin piper diyagramı üzerine yerleştirilmesi sonucu aşağıdaki sınıflandırmalar yapılabilmektedir (Şekil 5.4).

5 Numaralı Alan (bütün su numuneleri): Karbonat sertlikleri %50'den fazladır.

7 Numaralı Alan (bütün su numuneleri): Deniz ve çok acı suların da yer aldığı, karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan, ve  $NaCl$ ,  $KCl$ ,  $Na_2SO_4$ , alkaliler ve güçlü asitler egemendir.

8 Numaralı Alan (bütün su numuneleri): Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer.

### 5.6.7 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram'a Göre Su Sınıflaması

Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram kullanılırken, analiz sonuçlarının mek/l değerleri alınır ve diyagramın düşey ekseninde bulunan logaritmik kısmında ilgili numunenin ilgili bileşenin değerinde işaretlenir. Her numune için ayrı ayrı yapılan bu noktalama işaretleri sonucunda, aynı numunenin aynı noktaları çizgilerle birleştirilir. Bu işlem sonucunda her numune için ayrı bir grafik elde edilir ve bu sayede numunelerin birbirine göre durumları incelenebilir (Tarcan, 2015).

Diyagramda analiz sonuçlarına göre oluşan grafiklerdeki kırık çizgiler ile numunelerin kimyasal özellikleri belirlenmiş olur. Diyagram üzerinde oluşan çizgiselliklerde, benzer kırıklar çizen suların aynı kökenlere sahip olduğu söylenebilir. Yine diyagram üzerinde oluşan çizgiselliklerde benzer pik veren su numuneleri için, aynı hazne ve beslenme alanına sahip yorumu da yapılabilir. Böylelikle, diyagram üzerinde farklı kökenlere sahip sular kolaylıkla ayırt edilebilir (Tarcan, 2015).

Schoeller, aynı zamanda suları Klorür (Tablo 5.12), Sulfat (Tablo 5.13) ve Karbonat+Bikarbonat (Tablo 5.14) derişimlerine göre de sınıflandırmıştır. Bu sınıflamalarda da, analiz sonuçları mek/l ölçü biriminde çalışarak çeşitli tablolar hazırlamış ve bu tablolara göre su sınıflamasını yapmıştır.

**Tablo 5.12.** Schoeller'e göre suların klorür derişimine göre su sınıflama tablosu

Su Sınıfı	Klorür Miktarı (mek/L)
Hiper Klorürlü	> 700
Klorotalasik	420-700
Klorürce zengin	140-420
Orta Klorürlü	40-140
Oligoklorürlü	15-40
Olağan klorürlü	< 15

**Tablo 5.13.** Schoeller'e göre suların sülfat derişimine göre su sınıflama tablosu

Su Sınıfı	Sülfat (SO <sub>4</sub> ) Miktarı (mek/L)
Hiposülfatlı	> 58
Sülfatlı	24 - 58
Oligosülfatlı	6-24
Olağan Sülfatlı	< 6

**Tablo 5.14.** Schoeller'e göre suların karbonat ve bikarbonat derişimlerine göre su sınıflama tablosu

Su Sınıfı	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub> (mek/L)
Hiper Karbonatlı	> 7
Olağan Karbonatlı	2 – 7
Az Karbonatlı	< 2

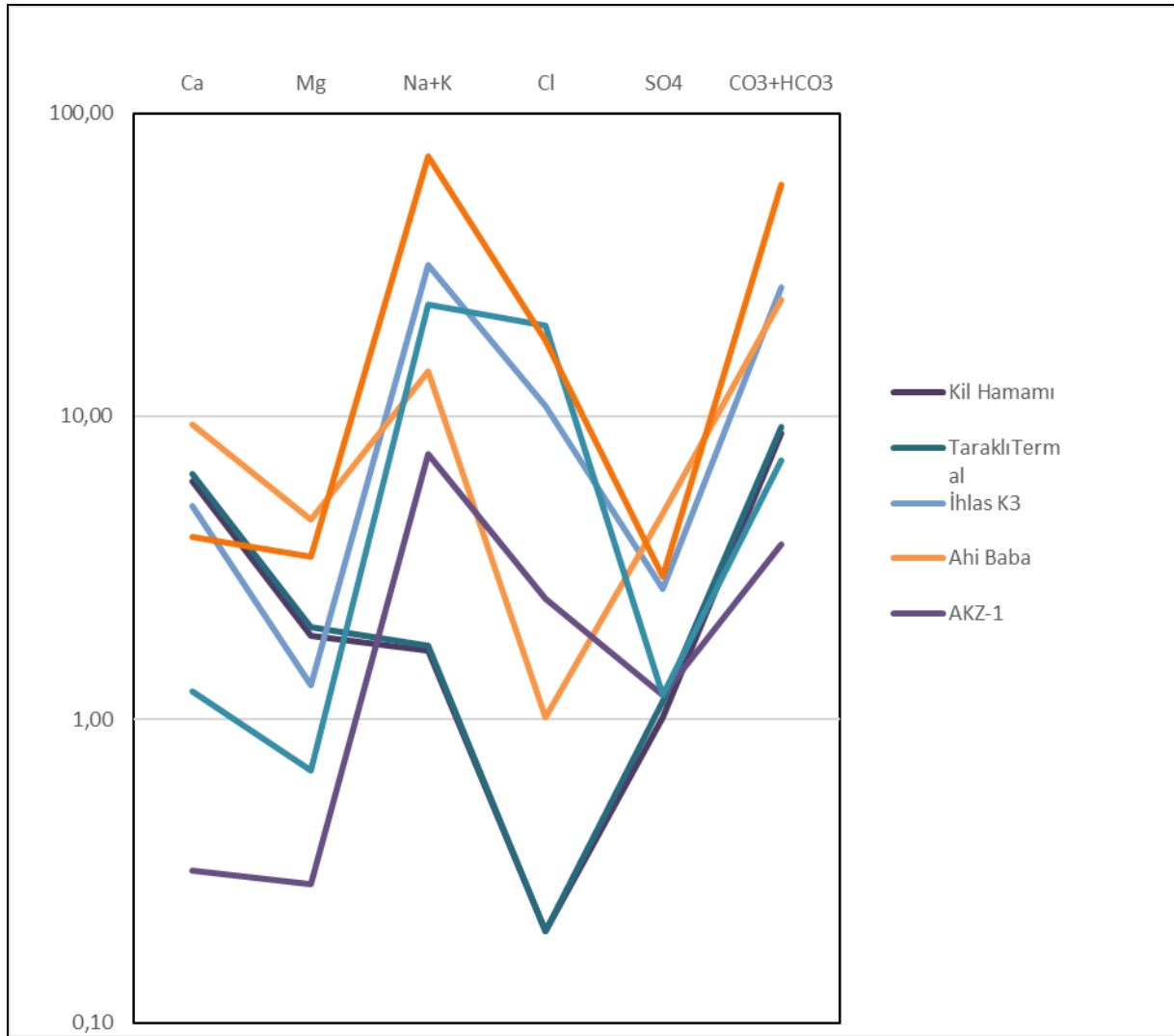
Çalışma alanından alınan su numunelerinin analiz sonuçlarının elde edilen verileri bu sınıflamalarda kullanılan mek/l değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Bu verileri kullanarak, numunelerin Schoeller'e göre sınıflandırmaları yapılmış ve aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 5.15).

**Tablo 5.15.** İnceleme alanından temin edilen sıcak su numunelerinin Schoeller'e göre su sınıflamaları

Numune Adı	Sülfat (SO <sub>4</sub> ) Miktarı (mek/L)	HCO <sub>3</sub> +CO <sub>3</sub> (mek/L)	Klorür Miktarı (mek/L)
Kil Hamamı	Olağan Sülfatlı	Hiper Karbonatlı	Olağan Klorlü
Taraklı Termal	Olağan Sülfatlı	Hiper Karbonatlı	Olağan Klorlü
İhlas K3	Olağan Sülfatlı	Hiper Karbonatlı	Olağan Klorlü
Ahi Baba	Olağan Sülfatlı	Hiper Karbonatlı	Olağan Klorlü
AKZ-1	Olağan Sülfatlı	Olağan Karbonatlı	Olağan Klorlü
SPC-1	Olağan Sülfatlı	Hiper Karbonatlı	Oligoklorürlü
Kuzuluk Sodası	Olağan Sülfatlı	Hiper Karbonatlı	Oligoklorürlü

İnceleme alanından alınan su numunelerinin Schoeller'e göre yapılan su sınıflamalarında, karbonat ve bikarbonat miktarına göre AKZ-1 numunesi "Olağan Karbonatlı" diğer bütün numuneler hepsi "Hiper Karbonatlı Sular", klorür miktarına göre SPC-1 ve Kuzuluk Sodası numunesi "Oligoklorlü Sular ", diğer bütün numuneler "Olağan Klorürlü Sular", sülfat miktarına göre bütün numuneler "Olağan Sülfatlı Sular", sınıfına dahil olduğu tespit edilmiştir.

İnceleme alanından alınan su numuneleri üzerinde yapılan analizlerin sonuçları, Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram üzerine düşürülmüştür (Şekil 5.5).



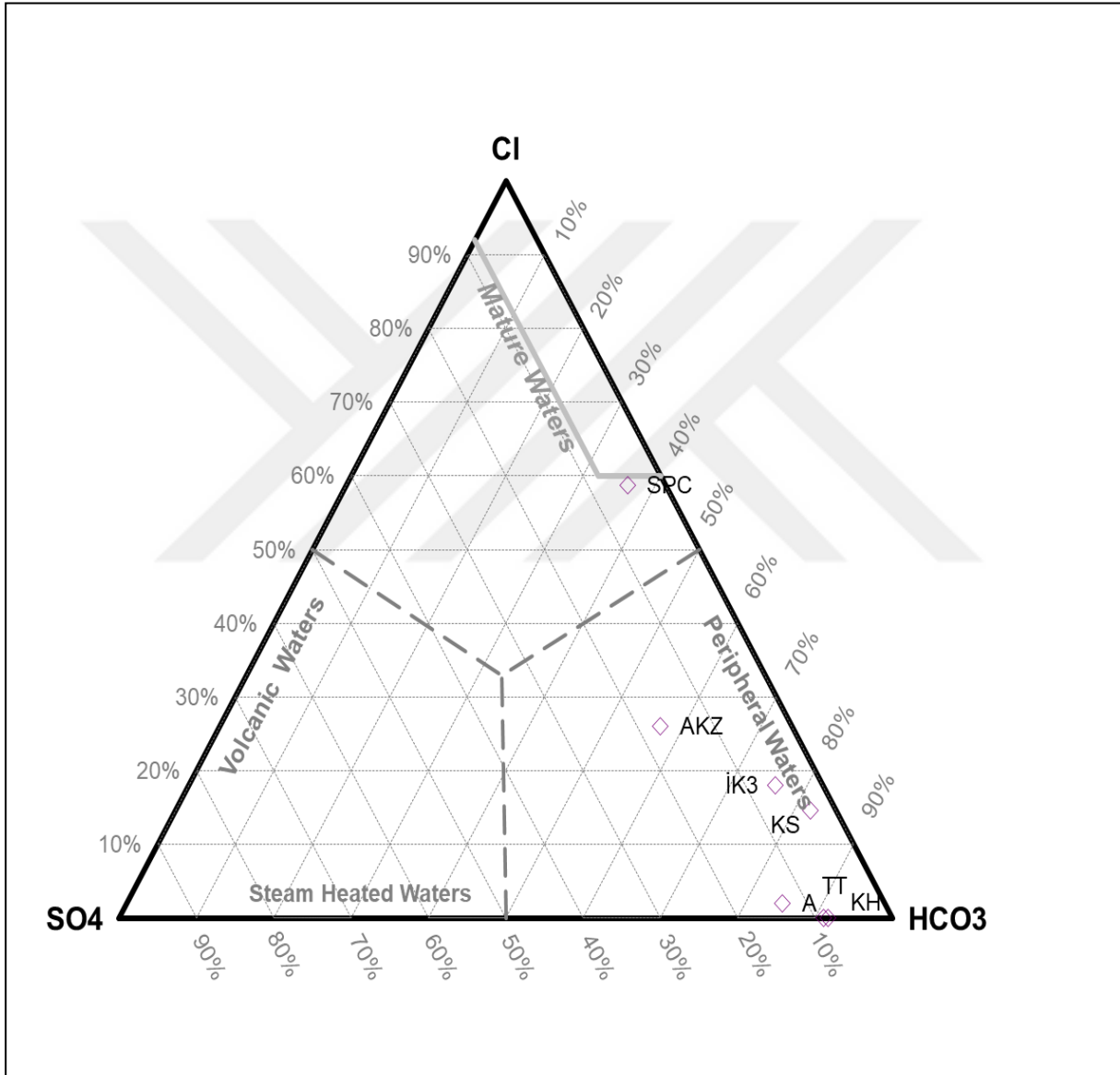
**Şekil 5.20.** İnceleme alanından alınan su numunelerinin analizlerinin Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram üzerindeki izdüşümleri

Schoeller diyagramı üzerine düşürülen inceleme alanına ait su numunelerinden Taraklı Termal ve Kil Hamamı yaklaşık olarak birbirine benzer pik çizmiştir. Diğer numunelerde kendi içlerinde birbirleriyle yaklaşık aynı pik çizmiştir. Böylelikle birbirlerine benzer pik çizen numuneler taşıdıkları iyon bakımından, benzer rezervuar kayaçlara sahip olduğu söylenebilir (Şekil 5.5).

### 5.6.8. Kökensele Sınıflama

Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramında suları kökensele bazda sınıflandırmaya yarayan bir başka grafikdir (Nicholson, 1993). Bu diyagram da diğer diyagramlar gibi örnekler arasında ilişkiyi hızlı bir şekilde yorumlamayı sağlamamıza yardımcı olur. Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramına göre (Şekil 5.6) inceleme alanındaki Sapanca numunesi suları olgun sular

ile çevresel sular arasında bir dağılım vermektedir. Bu jeotermal akışkanların olgun sular çizgisine yakın olması, akışkanların yüksek Cl değeri ile uyumludur. Akyazı, Kuzuluk Sodası ve İhlas K3 sularının  $\text{HCO}_3$  köşesinin yakınına düşmesi bu suların çevresel ya da sığ kökenli olabileceğini göstermektedir. Ahibaba, Taraklı Termal ve Kil Hamamı suları ise  $\text{HCO}_3$  ve  $\text{SO}_4$  köşeleri arasında dizilim göstermektedir. Bu suların nispeten yüksek  $\text{SO}_4$  konsantrasyonu diyagramda buharla ısınmış sular alanına yakın olması ile sonuçlanmıştır.



Şekil 5.21. İnceleme alanına ait jeotermal sularına ait Cl-SO<sub>4</sub> -HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramı

## 5.7. İzotop Analizi

Jeotermal akışkanlar çevresel izotop içeriklerini incelenmesi ile jeotermal sistemleri hakkında hidrojeolojik özelliklerinin yorumlanmasında yardımcı olurlar. İzotop oranlarının

sıcaklığa, su-kayaç etkileşimine ve diğer fizikokimyasal süreçlere duyarlı olmaları nedeniyle izotop teknikleri jeotermal araştırmalar için önemlidir. Oksijen ( $^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $^2\text{H}$ ) izotopları jeotermal akışkanın kökenlerini (meteorik, fosil, metamorfik) ve beslenme alanları ile akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığının belirlenmesinde kullanılır.

Hidrolojide kullanılan başlıca izotoplar oksijen ve hidrojenin izotoplarıdır. Ayrıca , klorür, azot, kükürt, asal gazlar, toryum ve uranyum gibi elementlerin izotopları da yüzey ve yeraltı sularında kirlenmelerin kökenlerinin belirlenmesi ve hareketinin saptanması gibi bir çok çalışmalarda etkin olarak kullanılmaktadır.

Kararlı izotop konsantrasyonu sabit olan okyanuslar izotopik çevrimde yeraltı suyunun en büyük kaynağı oluştururlar. Diğer tüm suların izotop değerleri,  $\delta$  değeri sıfır olarak kabul edilen SMOW (Standard Mean Ocean Water)'a göre ölçülmektedir. Numunenin ağır izotop içeriği  $\delta$  değeri ile gösterilir.

İzotopik içerikler aşağıdaki  $\delta$  notasyonu ile verilir.

$$\delta(^0/_{00}) = \left[ \frac{R_{\text{numune}} - R_{\text{standart}}}{R_{\text{standart}}} \right] \times 1000$$

Doğal sularda  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ve D/H izotopik oran değişimleri buharlaşma ve yoğunlaşma sonucu olur. Su, yoğunlaşma veya buharlaşma durumunda iken suyun farklı izotopik gruplarında hava içerisindeki difüzyon hızlarındaki farklılık nedeni ve buhar basınçları ile izotopik ayrışma meydana gelir. Yağışlardaki izotopik ayrışmayı sıcaklık kontrol eder. Su molekülünde bulunan oksijen ve hidrojen izotopları, küresel döngü içerisinde geçmişteki değişimleri hem de gelecekteki davranışları yorumlamak açısından önemli birer izleyicilerdir (Clark ve Fritz, 1997).

Troposferde meteorik suların izotopik kompozisyonundaki en önemli değişiklikleri gerçekleşir. Meteorik sulardaki kararlı izotop dağılımının bilinmesi yeraltı sularının incelenmesi yönünden çok önemlidir. Atmosferik buharın soğuması ve yoğunlaşması sonucu peş peşe meydana gelen yağışların ağır izotop içeriği, meydana geldiği buhar fazının ağır izotop içeriğine göre zenginleşmiştir fakat kendisinden önceki yağışın ağır izotop kompozisyonuna göre fakirleşmiştir. Sıcaklık faktörü buhar ve sıvı dönüşümleri esnasında oluşan izotopik ayrımın derecesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle izotopik kompozisyon ile sıcaklık arasında doğru bir oran vardır (Gat ve Gonfiantini, 1981).

Yağışların yoğunlaşma sıcaklığı ile izotopik kompozisyonu arasındaki durum ilk olarak Dansgaard (1964) tarafından ortaya konmuştur. Daha sonra bu modeli Rayleigh kullanarak geliştirmiş ve Craig ve Gordon tarafından şekillendirilmiştir. Yağışların döteryum

ve  $O^{18}$  içeriklerinin değişimi paralellik gösterir (Cifter ve Sayin, 2002). İzlenen korelasyon aşağıdaki bağıntı ile verilmektedir.

$$\delta D = A\delta^{18}O + B$$

Bu formülde B döteryum fazlalığı olarak tanımlanır ve yerel olarak değişim gösterir. Dünya Meteoroloji Organizasyonunun (WMO) ve Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) ortaklaşa çalışması ile yaklaşık 153 yağış istasyonundan 1969 yılından itibaren toplanan yağış numunelerinin izotop içerikleri belirlenmiştir (Cifter ve Sayin, 2002). Global Meteorik Su Doğrusu'nun (GMWL) denklemi;

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 10\text{‰} \text{ (SMOW)}$$

dir. Bu doğru buharlaşma olmayan sular için geçerlidir. Örneğin, Akdeniz'deki yağışlarda döteryum fazlalığı batıdan doğuya doğru artış gösterir. Nedeni bölgedeki yağışlar yüksek hızla buharlaşma etkisindeki Akdenizdeki atmosferik su buharından oluşmaktadır. Döteryum fazlalığı okyanus ve deniz kenarlarındaki atmosferik neme bağlıdır (Cifter ve Sayin, 2002). İzotop hidrolojisindeki yorumlar yeraltı sularının kararlı izotop içeriklerindeki değişimleri kullanılarak çizilen ve global meteorik su doğrusunda yer aldığı  $^2H$  ve  $^{18}O$  değişim grafiğinde yapılmaktadır. İzotopik içeriği en zengin olan sular deniz ve göl sularıdır. Jeotermal alanlardaki sıcak suların  $^{18}O$  değişimine karşılık  $^2H$ ' da belirli bir değişim olmaz.

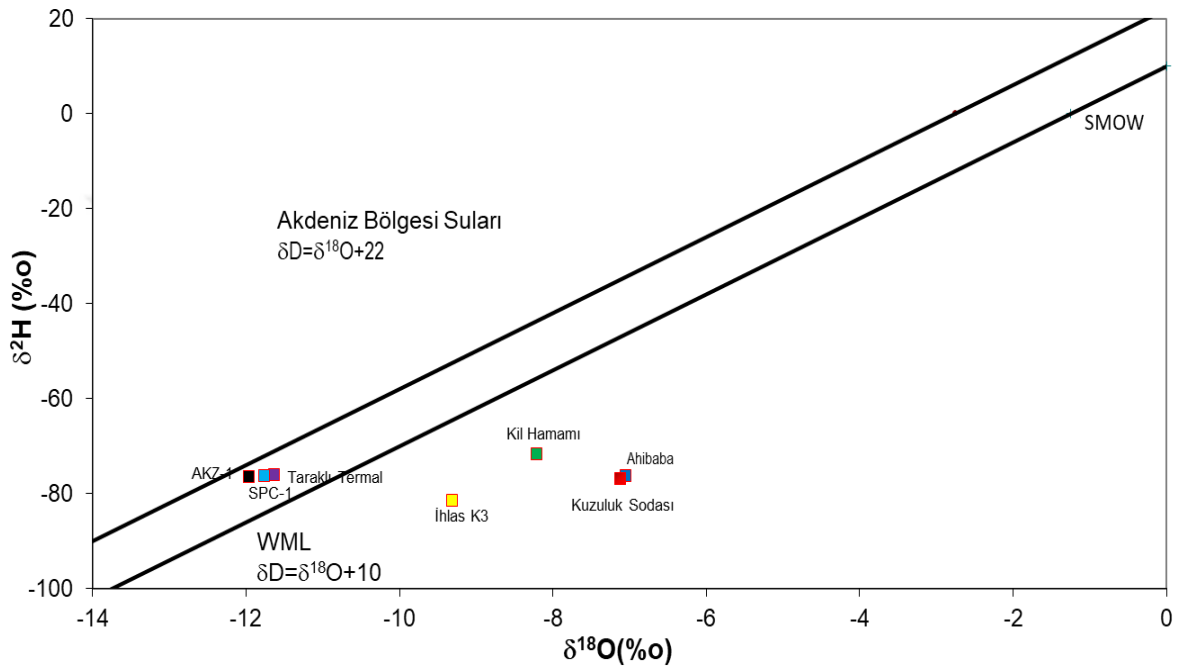
İnceleme alanından su numuneleri üzerinde izotop analizleri yapılmış ve bulunan sonuçlar tablo halinde sunulmuş ve yorumlanmıştır (Tablo 5.16).

**Tablo 5.16.** İnceleme alanından alınan bazı sıcak su numunelerinde yapılmış izotop analizi sonuçları

Örnek Adı	$\delta^2H$ (permil)	$\delta^2H$ Standart Sapma (permil)	$\delta^{18}O$ (permil)	$\delta^{18}O$ Standard Sapma (permil)
AHİBABA	-76,29	1,3	-7,05	0,13
İHLAS K3	-81,47	1,3	-9,31	0,13
KUZULUK SODASI	-76,85	1,3	-7,12	0,14
TARAKLI TERMAL	-76,02	1,3	-11,64	0,14
AKYAZI AKZ-1	-76,36	1,3	-11,97	0,13
SAPANCA SPC-1	-76,13	1,3	-11,77	0,13
KİL HAMAMI	-71,63	1,3	-8,21	0,13



İnceleme alanındaki suların  $\delta^2\text{H}$  değerleri  $-71.63$  ile  $-81.47$  arasında olup  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri  $-7.05$  ile  $-11.97$  değerleri arasında değişmektedir. Suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  izotop sonuçları Şekil 5.7’de , Craig (1961) tarafından önerilen  $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$  izotop değişim diyagramında Küresel Meteorik Su Doğrusu ile Akdeniz Meteorik Su Doğrusu’na (Gat ve Gonfiantini, 1981) göre değerlendirilmiştir.



**Şekil 5.22.** İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin izotop analizi sonuçlarının diyagram üzerinde gösterimi

Çalışma alanındaki suların bu diyagramdaki konumlarına bakıldığında, AKZ-1, SPC-1 ve Taraklı Termal meteorik su özelliğinde oldukları görülmektedir. Diyagramda İhlas K3, Kil Hamamı, Kuzuluk Sodası ve Ahibaba su kayaç etkileşimine bağlı olarak oksijence zenginleştiği ve bu sebepten ötürü meteorik su eğrilerinin sağında yer aldığı görülmektedir.

### 5.8. İnceleme Alanındaki Sıcak Sularının Doymuluk İndeksleri Değerleri

Reed ve Spycher (1984) jeotermal alanlarda hazne sıcaklığının belirlenebilmesi için yeni bir yöntem önermişler. Bu yöntem sıcaklıkla mineral doymuluklarının değişmesi esasına dayalıdır. Minerallerin denge sabitleri sıcaklık ve basınçla ilişkilidir. Ancak Arnorsson (1983) yaptığı çalışmalarda alterasyon minerallerinin denge sabitleri değişiminde basıncın etkisinin (0-200 bar arası) oldukça sınırlı olduğunu belirlemiştir. Bu çalışmaların sonuçlarından hareket

ederek; her bir su için sıcaklığın etkisiyle mineral ile denge durumları arasındaki ilişkileri değerlendirilmiş ve oluşturulan sıcaklık – mineral denge diyagramı geliştirilmiştir (Reed ve Spycher, 1984).

Özetle suyun kimyasal analizleri sonucunda yukarıda açıkladığı gibi çeşitli mineraller ile minerallerin her bir sıcaklık değerindeki ayrı ayrı doygunluk indekslerinin ( $SI = \log AP/Kt$ ) hesaplanarak bir doğru içeren mineral denge diyagramların çizilerek ve yorumlanması ilişkisine dayanır.

Bu yorumlamada, bir veya birkaç mineral doğrusu denge doğrusu ( $SI=0$  doğrusunu) ile belirli bir sıcaklıkta kesiyorsa, bu kesişim yerine karşılık gelen sıcaklık değeri en iyi akifer (hazne) sıcaklığını verir.

SI denge doğrusunun negatif kısmında (aşağısında) oluşan kesişmeler farklı sıcaklıktaki akışkanların karışımını ve aynı zamanda bu akışkanların sıcaklıklarını belirtebilir. Denge doğrusunun pozitif kısmında (yukarısında) oluşan kesişimler sudan buhar ayrılması ile farklı sıcaklık karışımlarını gösterebilir. Minerallerin doygunluk indeksi hesaplamaları için çeşitli bilgisayar programları bulunmaktadır örneğin; Solveq - Reed ve Spycher (1984), Watch3-Arnorsson ve ark. (1983) ve Bjarnason (1994), Solmineq.88-Kharaka ve Mariner (1989).

### 5.8.1. Doygunluk indeksi hesaplaması

Analizleri yapılmış numunelerin mineral doygunlukları, numune içerisinde bulunan iyonlar ve mineraller Gibbs serbest enerji ( $\Delta G^\circ$ ) ve iyon etkinliklerinin bilinmesi ile alakalıdır. Numunedeki kimyasal tepkimenin Gibbs serbest enerjisi ( $\Delta G^\circ$ ), tepkimedeki esnasındaki iyon ve bileşiklerin derişimleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi denklemlerle yazılabilir (Tarcan, 2015).

$$\Delta G^\circ = -R.T.\ln K$$

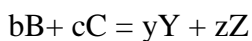
$\Delta G^\circ$ : Gibbs Serbest Enerjisi

R: Gazların Sabiti (0,001987 kcal/mol)

T: Sıcaklık Derecesi (Kelvin)

K: Tepkimenin Denge Sabiti

Standart koşullarda gerçekleşen herhangi bir kimyasal tepkime;



şeklinde yazılabilir. Tepkime bileşenlerinin derişimleri ve denge sabiti arasındaki ilişki; tepkimeye giren ve çıkan bileşenlerin iyon etkinlikleri incelendiğide aşağıdaki gibi gösterilebilir (Tarcan, 2015).

$$K = \frac{((ay)Y)^y \cdot ((az)Z)^z}{((ab)B)^b \cdot ((ac)C)^c}$$

K: Tepkime Denge Sabiti

a: İyon Etkinliği

Yukarıdaki formül ondalık logaritmaya cevrildiğinde aşağıdaki bağıntı elde edilir (Tarcan, 2015).

$$\log\left[\frac{((ay)Y)^y \cdot ((az)Z)^z}{((ab)B)^b \cdot ((ac)C)^c}\right] = -\Delta G^\circ / 1.3641$$

Denge durumunun değişmesi sonucunda ise eşitlik bozulur ve değeri yüksek olan taraf yönünde gelişir. Bu yonun bilinmesi, mineral doygunluğu hesaplamalarının temelini oluşturur (Tarcan, 2015).

Bunlardan yola çıkılarak doygunluk indeksi (SI) kavramı geliştirilmiş ve aşağıdaki formül ile gösterilmiştir (Tarcan, 2015).

$$SI = \log\left[\frac{((ay)Y)^y \cdot ((az)Z)^z}{((ab)B)^b \cdot ((ac)C)^c}\right] / -\Delta G^\circ / 1,3641 = \log(Q/K)$$

SI: Doygunluk İndeksi

Q: Tepkime Oranı

Tepkime esnasında mineraller katı faz durumundaysa bütün katıların iyon etkinlikleri “1” olarak kabul edilir ve denge sabiti;

$$K = \frac{((a)Y)^y}{((a)Z)^z}$$

olarak yazılacağından SI bağıntısı aşağıdaki şekilde düzenlenir (Tarcan, 2015).

$$SI = \log\left[\frac{((a)Y)^y}{((a)Z)^z}\right] / -\Delta G^\circ / 1,3641 = \log(IAP/K)$$

IAP: Tepkimedenden Çıkan Bileşenlerin İyon Etkinlikleri Toplamı

Her bir bileşen için ayrı ayrı doygunluk indeks değeri hesaplanır. Elde edilen değerlerin yorumu aşağıdaki gibidir.

$SI < 0$  : Numune ilgili mineral bakımından doymun değildir.

$SI = 0$  : Numune ilgili mineral bakımından doymundur.

$SI > 0$  : Numune ilgili mineral bakımından aşırı doymundur.

### 5.8.2. İnceleme alanındaki sıcak sularının doymunluk indeksleri değeri

Çalışma alanından alınan numuneler üzerindeki yapılan kimyasal analiz sonuçlarından elde edilen çeşitli mineraller baz alınarak doymunluk indeksi değeri hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar ve ölçülebilen minerallerin doymunluk değeri Tablo 5.17' de sunulmuştur.

**Tablo 5.17.** İnceleme alanına ait sulara saptanan minerallerin doymunlukları

Örnekler	Mineraller	log K	log Q	SI	AÇIKLAMALAR
<b>AHİBABA</b>	Kalsit	-8.45	-8.15	0.30	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Anhidrit	-4.34	-5.73	-1.39	Bu Mineral Doymun Değildir
	Aragonit	-8.30	-8.15	0.15	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Kalsedon	-3.62	-3.53	0.09	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Dolomit	-16.96	-16.62	0.34	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Jips	-4.58	-5.73	-1.15	Bu Mineral Doymun Değildir
	SiO2(a)	-2.76	-3.53	-0.77	Bu Mineral Doymun Değildir
<b>İHLAS K3</b>	Kalsit	-8.91	-7.41	1.49	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Anhidrit	-4.86	-6.39	-1.53	Bu Mineral Doymun Değildir
	Aragonit	-8.79	-7.41	1.38	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Kalsedon	-3.07	-2.64	0.43	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Dolomit	-18.05	-15.40	2.65	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Jips	-4.71	-6.39	-1.68	Bu Mineral Doymun Değildir
	SiO2(a)	-2.37	-2.64	-0.27	Bu Mineral Doymun Değildir
<b>KUZULUK SODASI</b>	Kalsit	-8.30	-7.70	0.75	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Anhidrit	-4.34	-6.51	-2.17	Bu Mineral Doymun Değildir
	Aragonit	-8.30	-7.70	0.61	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Kalsedon	-3.62	-3.40	0.21	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Dolomit	-16.96	-15.45	1.51	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Jips	-4.58	-6.51	-1.93	Bu Mineral Doymun Değildir
	SiO2(a)	-2.76	-3.40	-0.64	Bu Mineral Doymun Değildir
<b>TARAKLI TERMAL</b>	Kalsit	-8.45	-8.23	0.22	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Anhidrit	-4.34	-6.29	-1.95	Bu Mineral Doymun Değildir
	Aragonit	-8.31	-8.23	0.07	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Kalsedon	-3.61	-3.24	0.37	Bu Mineral Aşırı Doymun

	Dolomit	-16.97	-16.97	0.01	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Jips	-4.58	-6.29	-1.71	Bu Mineral Doymun Değildir
	SiO2(a)	-2.75	-3.24	-0.49	Bu Mneral Doymun Değildir
<b>AKYAZI AKZ-1</b>	Kalsit	-8.45	-8.15	0.31	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Anhidrit	-4.34	-7.42	-3.08	Bu Mineral Doymun Değildir
	Aragonit	-8.31	-8.15	0.16	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Kalsedon	-3.61	-3.83	-0.21	Bu Mineral Doymun Değildir
	Dolomit	-16.97	-16.32	0.65	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Jips	-4.58	-7.42	-2.84	Bu Mineral Doymun Değildir
	SiO2(a)	-2.75	-3.83	-1.07	Bu Mneral Doymun Değildir
<b>SAPANCA SPC-1</b>	Kalsit	-8.45	-8.16	0.29	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Anhidrit	-4.34	-7.04	-2.69	Bu Mineral Doymun Değildir
	Aragonit	-8.31	-8.16	0.14	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Kalsedon	-3.61	-3.73	-0.12	Bu Mineral Doymun Değildir
	Dolomit	-16.97	-16.58	0.39	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Jips	-4.58	-7.04	-2.46	Bu Mineral Doymun Değildir
	SiO2(a)	-2.75	-3.73	-0.97	Bu Mneral Doymun Değildir
<b>KİL HAMAMI</b>	Kalsit	-8.45	-8.10	0.35	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Anhidrit	-4.34	-6.35	-2.01	Bu Mineral Doymun Değildir
	Aragonit	-8.31	-8.10	0.21	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Kalsedon	-3.61	-3.22	0.39	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Dolomit	-16.97	-16.70	0.27	Bu Mineral Aşırı Doymun
	Jips	-4.58	-6.35	-1.77	Bu Mineral Doymun Değildir
	SiO2(a)	-2.75	-3.22	-0.47	Bu Mineral Doymun Değildir

Mineral doymunluk indeksleri hesaplamalarında, Watch-2005 programı kullanılarak kalsit, dolomit, aragonit, jips, anhidrit, kuvars ve kalsedon mineralleri saptanmıştır. Bütün numunelerin ortak özellikleri dolomit, kalsit ve aragonit minerallerinin aşırı doymun olması ile kuvars, jips ve anhidrit minerallerinin doymun olmamasıdır. Kil hamamı, Taraklı termal, Ahibaba, Kuzuluk Sodası ve İhlas K3 numunelerinde kalsedon minerali aşırı doymun olmalarına karşın, SPC-1 ve AKZ-1 numuneleri kalsedon mineraline doymun değildir.

### 5.9. Jeotermometre Hesaplamaları

Jeotermometreler yeraltındaki akışkan rezervuar sıcaklığının tahmin edilmesi için kullanılır. Derin rezervuarda bulunan sıcak sular yüzeye ulaşmaya kadar önemli ölçüde soğuyup ve yeraltı sularıyla değişik oranlarda karışırlar. Akışkanın derinlerdeki sıcaklığı yüzeylediği yerdeki sıcaklığa göre çok daha fazladır. Yapılacak olan sondajlar oldukça yüksek maliyet ve zaman gerektirir. Bu nedenle suların daha az maliyet ve zaman kullanılarak rezervuar sıcaklıkları tahmininde çeşitli jeotermometre yöntemleri kullanılır. Bunlardan

bazıları çevresel izotoplarla bazılarıda sığ ve derin kuyularda ölçülen sıcaklıklardan yararlanarak rezervuar sıcaklığının tahmini ve jeotermal alanlardaki görülen hidrotermal alterasyonlar sonucu oluşan kil minerallerinin incelenmesi ile kimyasal jeotermometreler gibi yöntemlerdir. Rezervuarların gerçek sıcaklığı ile diğer bilgilerini yapılacak sondajlar neticesinde bilinir. Ancak, sondajların pahalı olması veya zaman zaman elde olamayan sebeplerden ötürü rezervuar kayaça inilememesi, uzun zaman alması gibi sebeplerden dolayı diğer bilimsel incelemelerinde olumlu sonuç verdiği yerlerde açılmalıdır (Tarcan, 2015).

### 5.9.1. Kimyasal Jeotermometreler

Kimyasal analizlerin ucuz ve kısa zamanda yapılabilmesi, jeotermal araştırmalarda rezervuar sıcaklığının tahmininde kimyasal jeotermometrelerden çok yararlanır. Kimyasal jeotermometre değerlendirmeleri niteliksel (kalitatif) ve sayısal (kantitatif) olmak üzere iki bölümde incelenebilir (Tarcan, 2015).

#### 5.9.1.1. Niteliksel (Kalitatif) kimyasal jeotermometre değerlendirmeleri

Jeotermal akışkanlarda bulunan element, bileşik ve oranların sıcaklık hakkında verdikleri bilgiler aşağıda belirtilmiştir (Tarcan, 2015).

- **SiO<sub>2</sub>**: 180 °C de silis çökmesi başlar, sıcaklığın düşmesi ile hızla artar. Klorürce fakir, asittik sular 100 °C civarında kayalardaki silikatları bozundurarak amorf silisçe zenginleşebilir. 140 °C nin üzerinde olan sularda örtü kayalarda tıka malzemesi olarak genellikle kuvars ve kalsedon izlenmektedir. Eğer opal ve kristobalit örtü kaya oluşturmuşsa düşük rezervuar sıcaklığı belirler. Doğal çıkışların yüzeyinde amorf silis veya kristalleşmiş silis çökelleri varsa rezervuar sıcaklığının 180 °C veya daha fazla olabileceğini tahmin edilmesinde yardımcı olur (Tarcan, 2015).

- **Klorür**: Rezervuar sıcaklığı 150 °C nin üzerindeki akışkanlarda, genellikle 150 ppm, 200 °C den yüksek sıcaklıklı sistemlerde ise 40 ppm' in altındadır. Klorür, sıcak su ile buhar sistemini ayıran en önemli kriterdir. Birçok klorür tuzları sıcak sularda çözünür ve sıcak sistemlerde bol bulunur. Düşük basınçlı buhar sistemlerinde klorür azdır, genellikle derişimi 50 ppm ve üzeridir (Tarcan, 2015).

- **Hg, Cl, Na, K, Li, B, NH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, Rb, Cs, As**: Element ve bileşiklerin bir veya bir kaçının suda fazla oranda bulunması, rezervuar sıcaklığının yüksek olabileceğini gösterir (Tarcan, 2015).

- **Na/K oranı:** Oranın yüksekliği, genellikle rezervuar sıcaklığının yüksek olduğu hakkında bilgi verir. Özellikle bu oran, 20/1-8/1 arasında anlamlıdır. Bu oran ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı, akışkanın geldiği başlangıç derinliği veya yatay uzaklığının sıcaklığını tanımlar. Yüzeydeki sıcak suyun kimyasal analizlerine göre silis jeotermometresi ile hesaplaması ile rezervuar sıcaklık değeri, Na/K jeotermometresi ile bulunandan rezervuar sıcaklık değerinden küçük ise, suyun rezervuar kayaktan yüzeye gelişi esnasında soğuk sular ile karışmış olabileceği vurgular (Tarcan, 2015).

- **Traverten Çökelmeleri:** Akifer sıcaklığının yaklaşık 100 °C civarında gösterir. Ancak bu her zaman doğru değildir. Eğer bikarbonatlı sular yeraltında soğuduktan sonra kireçtaşlarından geçiyorsa, rezervuar sıcaklığı yüksek olabilir (Tarcan, 2015).

- **Cl/(HCO<sub>3</sub> + CO<sub>3</sub>):** Oran yüksek ise rezervuar sıcaklığı fazla olabilir (Tarcan, 2015).

- **Mg ve Mg/Ca Oranı:** Mg miktarı ve Mg/Ca oranı küçük ise rezervuar sıcaklığı yüksek olabilir (Tarcan, 2015).

- **Cl/SO<sub>4</sub> Oranı:** Oran yüksek ise rezervuar sıcaklığı yüksektir (Tarcan, 2015).

- **Cl/F Oranı:** Bu değer fazla ise rezervuar sıcaklığı da yüksek olabilir (Tarcan, 2015).

- **H<sub>2</sub> /Diğer Gazlar (Buhar Dışında) Oranı:** Oran yüksek ise rezervuar sıcaklığı fazladır. Sıcaklığın düşmesi ile hidrojen, diğer gazlara oranla azalır (Tarcan, 2015).

### 5.9.1.2. Sayısal (Kantitatif) kimyasal jeotermometreler değerlendirmeleri

Kantitatif kimyasal jeotermometrelerin kullanılması esnasında bazı varsayımlar göz önünde bulundurulur (Tarcan, 2015). Bunlar;

- Sıcak sulardaki kimyasal maddelerin oluşması kimyasal tepkimeler, rezervuar kayaç-su arasında gerçekleşir.

- Sıcaklık saptanmasında gerekli meteryallerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi rezervuar kayaçta boldur.

- Rezervuar sıcaklık ortamında kaya-su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.

- Rezervuardan yüzeye çıkan sıcak suyun, soğuma sonucunda kimyasal yapısı bozulmaz yada yeni bir kimyasal denge gerçekleşmez.

- Rezervuardan gelen sıcak sular, soğuk yeraltı ve yüzey suları ile bir karışım içinde değildir.

Bu kavramların ilk üç maddesi SiO<sub>2</sub> ve Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılır. Son iki kavram tam olarak gerçeği yansıtmaz. Çünkü rezervuardan yüzeye gelen sıcak suyun soğuması veya soğuk suları ile karışımı nedeniyle kimyasal yapısı değişebilir.

Aşağıda jeotermometrelerde kullanılan bağlantılar verilmiştir.

**1 Na-K (Truesdell, 1975)**

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{856}{0.857 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$$

**2 Na-K (Tonani, 1980)**

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{883}{0.780 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$$

**3 Na-K (Arnorsson, 1983)**

(25-250°C)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{933}{0.993 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$$

**4 Na-K (Arnorsson, 1983)**

(250-350°C)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1319}{1.699 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$$

**5 Na-K (Fournier, 1979)**

(>150°C)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1217}{1.483 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$$

**6 Na-K (Nieva ve Nieva, 1987)**

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1178}{1.470 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$$

**7 Na-K (Giggenbach ve ark., 1983)**

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1390}{1.750 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$$



**8 Na-Ca (Tonani, 1980)**

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1096.7}{3.080 + \log(\text{Na}/\sqrt{\text{Ca}})} - 273.15$$

**9 Na-K-Ca (Fournier ve Truesdell, 1973)**

$t < 100^{\circ}\text{C}$  ve  $\log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2.06 < 0 \Rightarrow \beta = 1/3$ ,  $t > 100^{\circ}\text{C}$  ve

$\log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2.06 > 0 \Rightarrow \beta = 4/3$

$$(0-300^{\circ}\text{C}) \quad t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\log(\text{Na}/\text{K}) + [\beta \log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2.06] + 2.47} - 273.15$$

**10 K-Mg (Fournier, 1992)**

$$\log(\text{K}^2/\text{Mg}) > 1.25 \quad t^{\circ}\text{C} = \frac{2330}{7.35 - \log(\text{K}^2/\text{Mg})} - 273.15$$

**10 K-Mg (Fournier, 1992)**

$$\log(\text{K}^2/\text{Mg}) < 1.25 \quad t^{\circ}\text{C} = \frac{1077}{4.033 + \log(\text{K}^2/\text{Mg})} - 273.15$$

**11 K-Mg (Giggenbach, 1988)**

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{4410}{14.00 - \log(\text{K}^2/\text{Mg})} - 273.15$$

**12 K-Ca (Tonani, 1980)**

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1930}{3.861 + \log(\text{K}/\sqrt{\text{Ca}})} - 273.15$$

**13 Li-Mg (Kharaka ve Mariner, 1989)**

$$(0-350^{\circ}\text{C}) \quad t^{\circ}\text{C} = \frac{2200}{5.470 - \log(\text{Li}/\sqrt{\text{Mg}})} - 273.15$$

**14 Li-Na (Kharaka ve Mariner, 1989)**

$$(0-350^{\circ}\text{C}) \quad t^{\circ}\text{C} = \frac{1590}{0.779 + \log(\text{Na}/\text{Li})} - 273.15$$

**15 Li-Na (Fouillac ve Michard, 1981)**

(Cl&lt;=0.3M) (20-340°C)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1000}{0.389 + \log(\text{Na} / \text{Li})} - 273.15$$

**15 Li-Na (Fouillac ve Michard, 1981)**

(Cl&gt;0.3M) (20-340°C)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1195}{0.130 + \log(\text{Na} / \text{Li})} - 273.15$$

**16 Kuvars (Fournier ve Potter, 1982)**

$$t^{\circ}\text{C} = C_1 + C_2S + C_3S^2 + C_4S^3 + C_5\log S$$

Burada:  $C_1 = -4.2198 \times 10^1$ ,  $C_2 = 2.8831 \times 10^{-1}$ ,  $C_3 = -3.6686 \times 10^{-4}$ ,  $C_4 = 3.1665 \times 10^{-7}$ ,  
 $C_5 = 7.7034 \times 10^1$  (S= SiO<sub>2</sub>, mg/l)

**17 Kuvars (Fournier, 1973)**

(Buhar Kaybı Yok) (0-250°C)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1309}{5.19 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$$

**18 Kuvars (Fournier, 1973)**

(100°C'de Max. Buhar Kaybı) (100-250°C)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1522}{5.75 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$$

**19 Kalsedon (Fournier, 1977)**

(Buhar Kaybı Yok) (0-250°C)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1032}{4.69 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$$

**20 Kalsedon (Fournier, 1977)**

(100 °C'de Max. Buhar Kaybı)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1182}{5.09 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$$

**21 Kalsedon (Arnorsson ve ark., 1983)**

(Buhar Kaybı Yok) (25-180°C)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1112}{4.91 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$$

**22 Kalsedon (Arnorsson ve ark., 1983)**

(100 °C'de Max. Buhar Kaybı) (100-180°C)

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1264}{5.31 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$$

**Tablo 5.18.** İnceleme alanından alınan su numuneleri ile yapılan jeotermometre hesaplamaları

	AKZ-1	Ahibaba	İhlas K3	Taraklı Termal	SPC-1	Kuzuluk Sodası	Kil Hamamı
<b>Na-K (Truesdell and Fournier, 1976)</b>	71	158	157	250	32	131	230
<b>Na-K (Tonani, 1980)</b>	93	189	188	294	51	159	270
<b>Na-K (Arnorsson, 1983)</b>	83	166	166	254	44	141	234
<b>Na-K (Arnorsson, 1983)</b>	123	193	192	259	89	172	245
<b>Na-K (Fournier, 1979)</b>	118	193	192	265	82	170	250
<b>Na-K (Nieva and Nieva, 1987)</b>	107	180	179	251	72	158	236
<b>Na-K (Giggenbach et al., 1983)</b>	138	210	209	277	103	188	262
<b>Na-C (Tonani, 1980)</b>	612	362	611	152	776	1056	152
<b>Na-K-Ca (Fournier and Truesdell, 1973)</b>	44	61	98	36	56	42	32
<b>K-Mg (Fournier, 1991)</b>	-47	-58	183	-17	-43	186	-8
<b>K-Mg (Giggenbach, 1988)</b>	59	66	102	46	57	103	43
<b>K-Ca (Tonani, 1980)</b>	256	258	338	193	238	400	186
<b>Li-Mg (Kharaka and Mariner,1988)</b>			121			106	
<b>Li-Na (Kharaka and Mariner,1988)</b>			233			180	
<b>Li-Na (Fouillac and Michard, 1981)</b>			90			48	
<b>Kuvars (Fournier and Potter, 1982)</b>	50	79	152	104	71	83	98
<b>Kuvars (Fournier, 1973)</b>	51	78	151	104	70	82	98
<b>Kuvars (Fournier, 1973)</b>	57	82	145	104	75	85	99
<b>Kalsedon (Fournier,1977)</b>	18	47	126	74	39	51	68
<b>Kalsedon (Fournier,1977)</b>	27	53	123	77	45	57	72
<b>Kalsedon (Arnorsson et al., 1983)</b>	22	49	124	75	42	53	69
<b>Kalsedon (Arnorsson et al., 1983)</b>	30	55	122	79	48	59	73

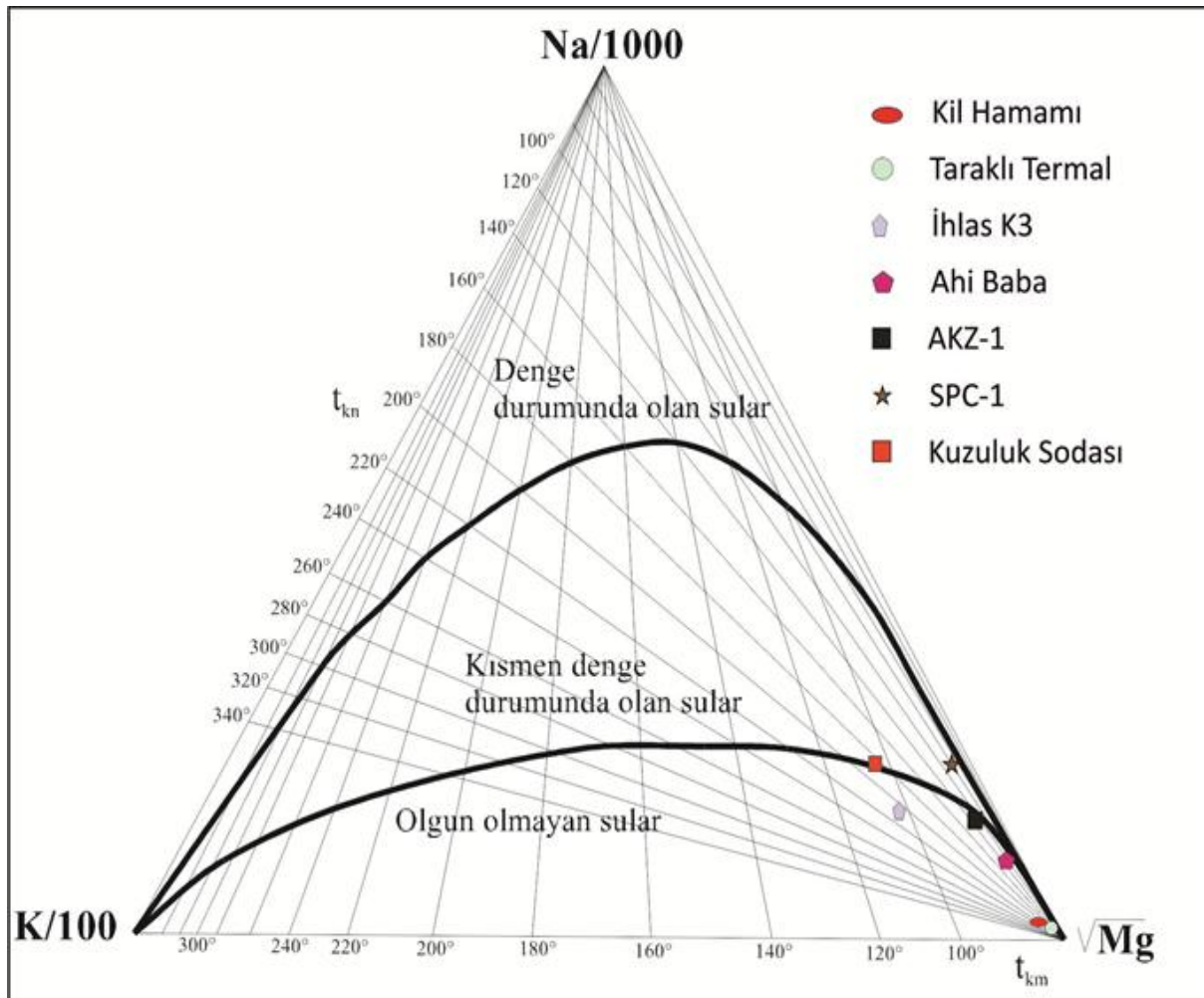
Oluşturulan tablolarda numuneler üstünde hesaplamalar yapılmıştır (Tablo 5.18). Bilinen kuyu dibi sıcaklıklarına ve kaynak başı sıcaklıkları SPC-1 numunesi hariç dikkate alındığında jeotermometre değerlerin Na-K jeotermometrelerinin çok farklı sonuçlar çıkardığı görülmüştür. Bu yüzden SiO<sub>2</sub> termometreleri daha bilinene yakın olması sebebiyle burada kullanılabilir. SPC-1 kuyusundan alınan numunede yapılan jeotermometre hesaplamalarında Na-K jeotermometreleri gerçeğe daha yakın bir veri verdiği için bu bölgede kullanılabilirler. İlerleyen bölümlerde görüleceği üzere olgun olmayan sulara Na-K termometrelerinin uygulanmaması gerektiğini, buradan çıkan sonuçlara göre de SPC-1 numunesi hariç bütün su numuneleri olgun olmayan sınıfa girdiklerinden Na-K kullanılması gerektiği dile getirilmiştir

### 5.9.2. Birleşik jeotermometreler

Sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının saptanması ve ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesinde kullanılan bir diğer yöntemse Giggenbach (1988), tarafından geliştirilerek Na-K-Mg birleştirilmiş jeotermometresidir. Bu üçgen diyagram ile hem sıcak suların rezervuar sıcaklığı hızlı olarak yorumlanmakta, hem de daha daha önceki bölümlerde belirtilen katyon jeotermometre uygulamalarının kullanılabilirliğini sınanmaktadır. Fournier (1992), bu diyagram üzerinde bazı yenilikler yaparak, sonuçların en güvenilir jeotermometre uygulaması bu üçgen diyagram olduğunu öne sürmüştür. Diyagram özetle, su kayaç ilişkisinin dengede olup olmadığını yada kısmen dengede olduğunu gösteren üç bölümden oluşur. Diyagramda kısmen dengede olan sular ile dengede olmayan suları birbirinden ayıran eğri “Olgunlaşma İndeksinin (MI=Maturity Index), MI=2.0 olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların bileşimiyle oluşmuştur (Tarcan, 2015).

İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumlarına bakıldığında (Şekil 5.8), AKZ-1, Taraklı Termal, Kil Hamamı, Kuzuluk Kaplıcası, İslas K3 ve Ahibaba kaynağı ham sular sınıfında yer aldığı görülmektedir.

SPC-1 kuyusunun Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumuna bakıldığında kısmen dengelenmiş sular kısmında yer almaktadırlar. Diğer taraftan üçgen diyagramda akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesinde kullanılan sıcaklık doğruları dikkate alındığında SPC-100°C doğrusu üzerinde yer almaktadırlar. Tablo 5.18'deki kimyasal jeotermometre sonuçları ile bu üçgen diyagramından elde edilen akifer sıcaklıkları karşılaştırıldığında katyon jeotermometreleri için her iki yöntemle hesaplanan akifer sıcaklıkları yaklaşık olarak birbirlerine yakındır. Giggenbach (1988)'e göre ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini belirtmektedir.



Şekil 5.23. İnceleme alanındaki termal suların Na-K-Mg Üçgen Diyagramı'ndaki konumları

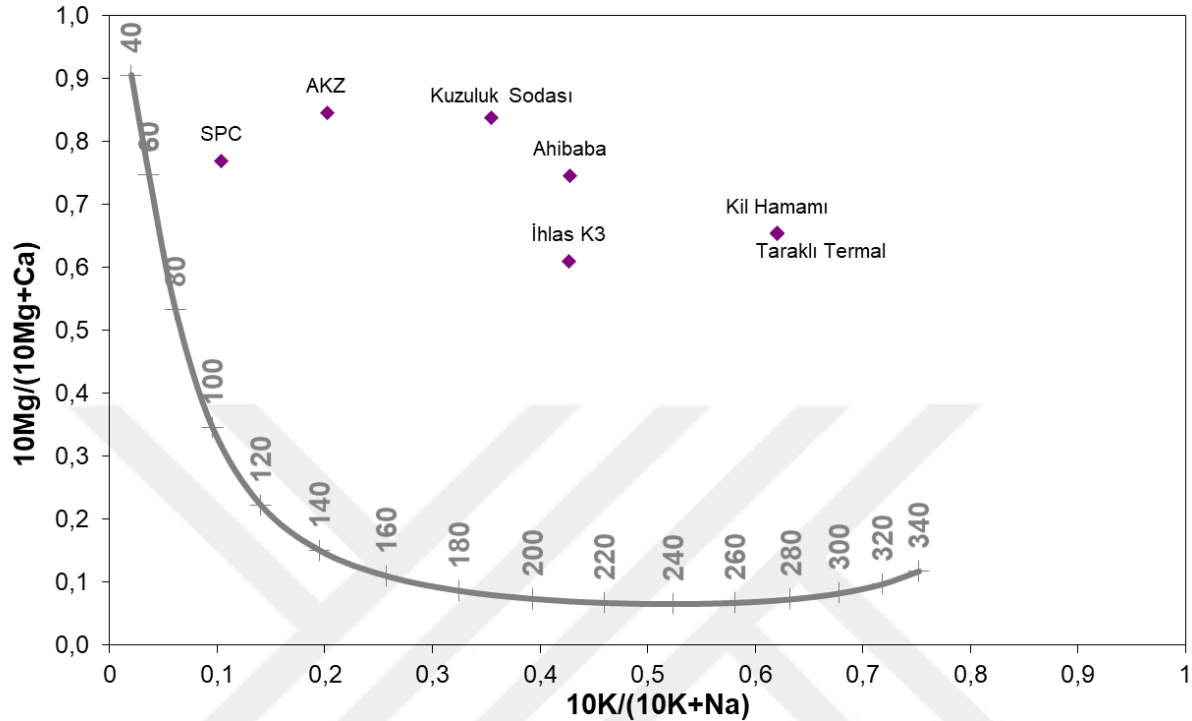
### 5.9.2.1. Giggenbach kare diyagramı

Giggenbach (1988) tarafından yapılan bir diğer diyagramda kare diyagramdır. Numunelerin analiz sonuçlarından elde edilen veriler ile başlıca katyonlar olan K, Na, Ca ve Mg bileşenlerinin mg/l cinsinden değerleri diyagram üzerinde işaretlenir. Bu diyagram kullanılarak katyon bileşenlerinin birbiri ile ilişkilerine göre analizi yapılan numunenin kimyasal durumu hakkında bilgi vererek jeotermometre hesaplamalarının uygulanabilir hakkında yorum yapılabilir.

Kare diyagramda bir sıcaklık eğrisi bulunur. Sıcak su numunelerinin analizi sonucu bu eğriye ne kadar yakınsa, jeotermal akışkan o denli dengede anlamına gelir ve jeotermometre hesaplamalarının uygulanabilirliği o denli artmaktadır.

İnceleme alanından alınan numuneler, analiz sonuçlarından elde edilen verilerin kullanılması ile Giggenbach Kare Diyagramı üzerinde yerleştirilmiştir (Şekil 5.9). Bu sonuçlara istinaden, numune alınan jeotermal akışkanlarda SPC numunesi yarı dengelenmiş

kimyasal yapıya sahip olduğu diğerlerinin eğriye çok uzak kaldığı için dengede olmadığı konusunda yorum yapılabilir.



Şekil 5.24. İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin Giggenbach Kare Diyagramı üzerinde gösterimi

İnceleme alanına ait sıcak su numunelerinin, Giggenbach Kare Diyagramı (Şekil 5.9) üzerindeki iz düşümlerinin konumları, diyagramdaki sıcaklık eğrisine yakınlıkları sebebi ile, ilgili sıcak su numunelerinin halen rezervuar kayaçlar ile etkileşimde oldukları bu yüzden SPC numunesi hariç diğer numunelerde jeotermometre hesaplananın yapılmasının mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.

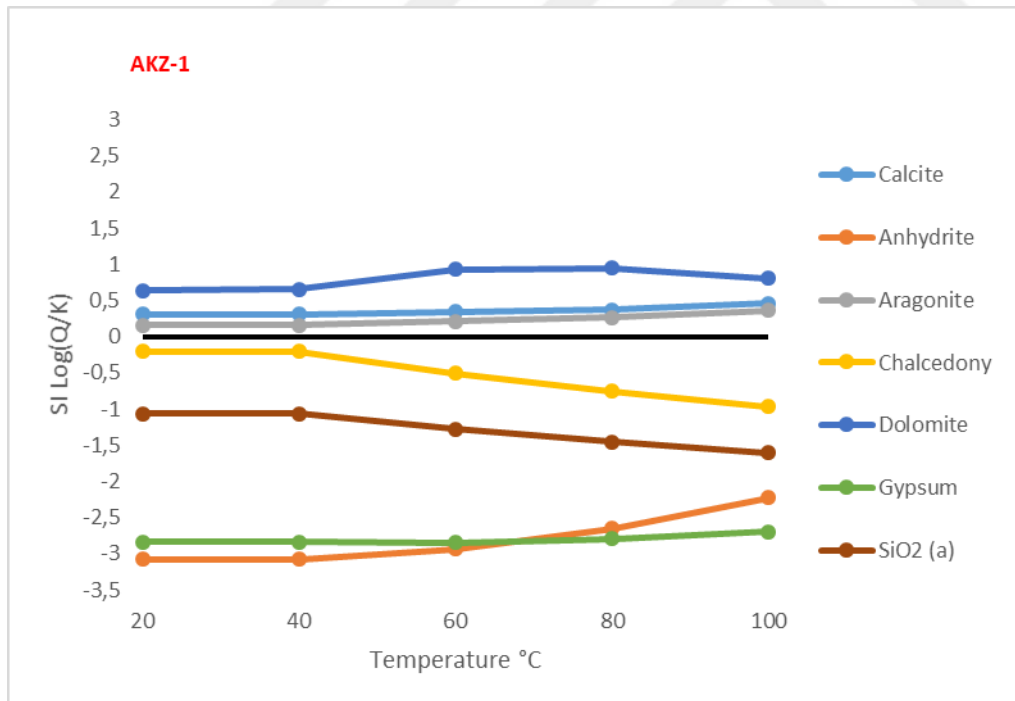
### 5.10. Kabuklaşma Analizi

Aşağı Sakarya Havzası jeotermal alanındaki jeotermal kuyuların ve kaynakların en yüksek verimle üretim yapabilmesi için hesaplamalar yapılmış ve diyagramlarda sunularak yorumlanmıştır. Reed ve Spycher (1984) yaptıkları çalışmada, minerallerin önceden belirlenen doygunluk indeksi değerlerini kullanıp, doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramları üzerine yerleştirmişler ve birden fazla mineralin aynı sıcaklık değerinde kesişmesiyle jeotermometre tahmini yapılabilmektedir.

Hazırlanan diyagramlarda düşey ekseninde doygunluk indeksi, yatay ekseninde ise hesaplanmış sıcaklık değerleri bulunmaktadır. Kabuklaşma gösteren veya kabuklaşma gösterebilecek minerallerin çökmesine sebep olan minerallerin doygunluk indeksinin işaretlenmesi ve minerale ait verilerin noktalarının birleştirilmesi sonucunda her bir mineral için bir eğri elde edilir. Bu eğrilerden birden fazlasının  $SI=0$  çizgisinde kesişmesi durumunda, eğrilerin kesiştiği noktaya “güvenli sıcaklık” olduğu yorumu yapılır. Güvenli sıcaklık terimi, jeotermal akışkanın üretim esnasındaki optimum üretim sıcaklığı anlamına gelir.

Tez kapsamında her bir numune için; 5 ayrı sıcaklıktaki mineral doygunluğu hesaplamaları Watch 2010 (Bjarnason, 1994) programı kullanılarak değerler elde edilmiş, hesaplanan mineral doygunluğu değerleri Microsoft Office Excel programı kullanılarak diyagramlara dönüştürülmüştür.

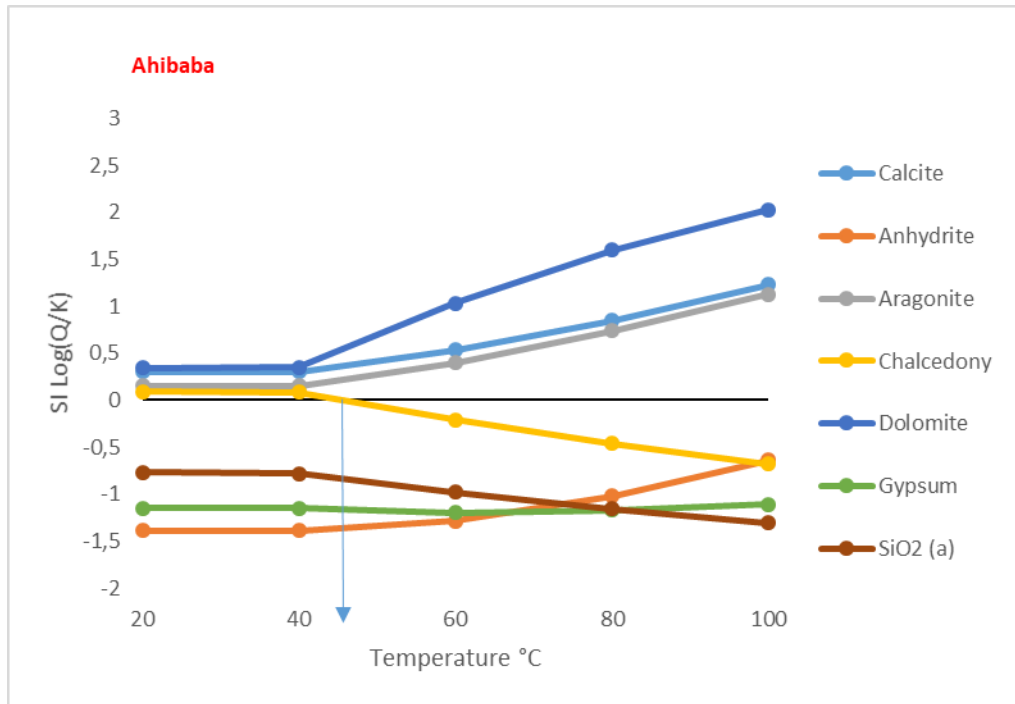
İnceleme alanından alınan her bir sıcak su numunesi için kabuklaşma analizi diyagramı hazırlanmış ve her bir diyagram için yorum yapılmıştır. Yapılan kabuklaşma analizlerine, kaynaklardan alınan numuneler de eklenmiş ve kabuklaşma oluşturma potansiyeli yorumlanmıştır.



Şekil 5.25. AKZ-1 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki AKZ-1 kuyusundan su numunesi alınmıştır. Alınan numunenin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı

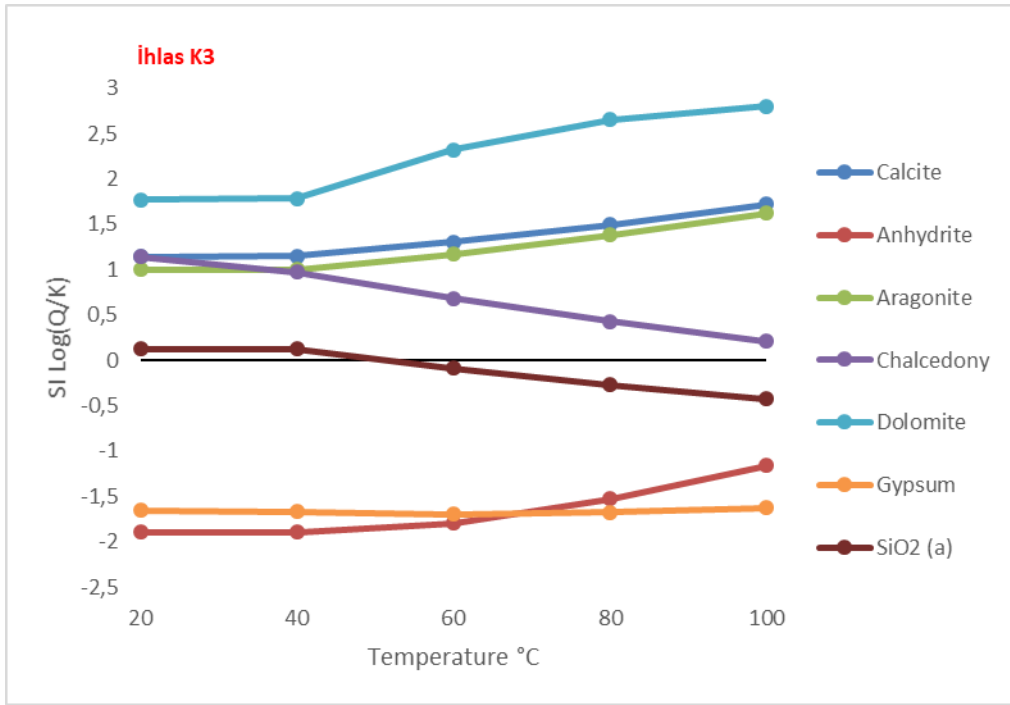
hazırlanmış ve Şekil 5.10' da sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Bulunan mineraller arasında kabuklaşma yapması beklenen minerallerden biri olan anhidrit, kalsedon, kuvars ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış, dolayısıyla herhangi bir kabuklaşma eğilimi göstermemiştir. Diğer minerallerden kalsit, dolomit, ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır.



Şekil 5.26. Ahibaba kaynağından alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

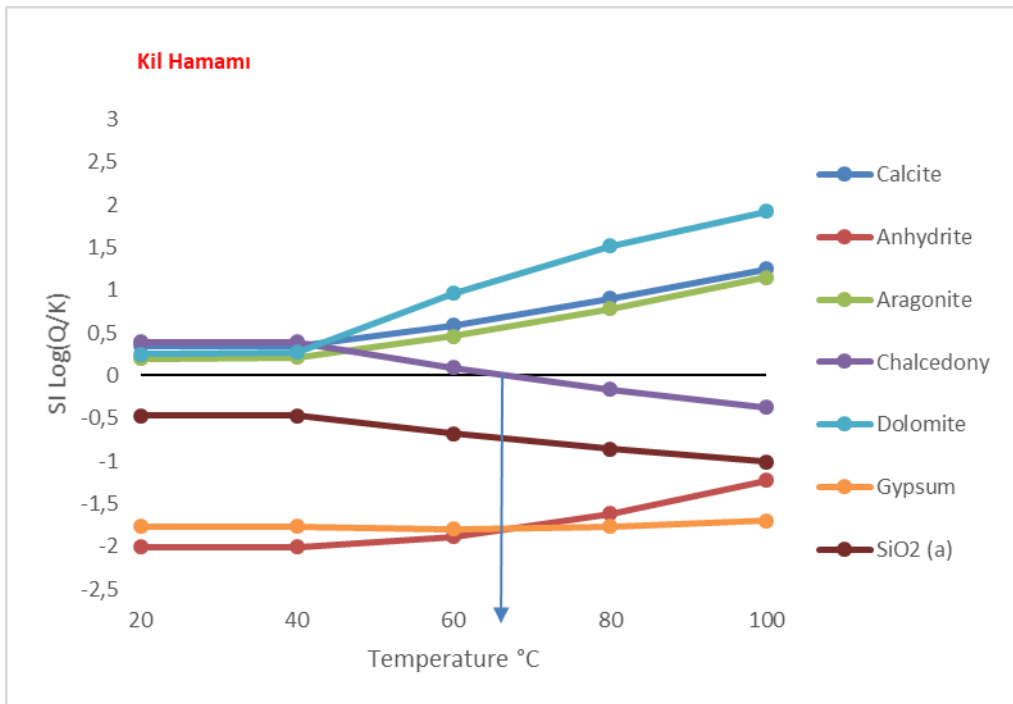
İnceleme alanındaki Ahibaba kaynağından su numunesi alınmıştır. Alınan numunenin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 11' de sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Bulunan mineraller arasında kabuklaşma yapması beklenen minerallerden biri olan anhidrit, kuvars ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış, dolayısıyla herhangi bir kabuklaşma eğilimi göstermemiştir. Diğer minerallerden kalsit, dolomit ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Saptanan mineraller arasında genel olarak kabuklaşma sorunu yaşatan minerallerden biri de kalsedon mineralidir. İlgili numune içerisinde kalsedon mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 46 °C civarında olduğu tespit edilmiştir.





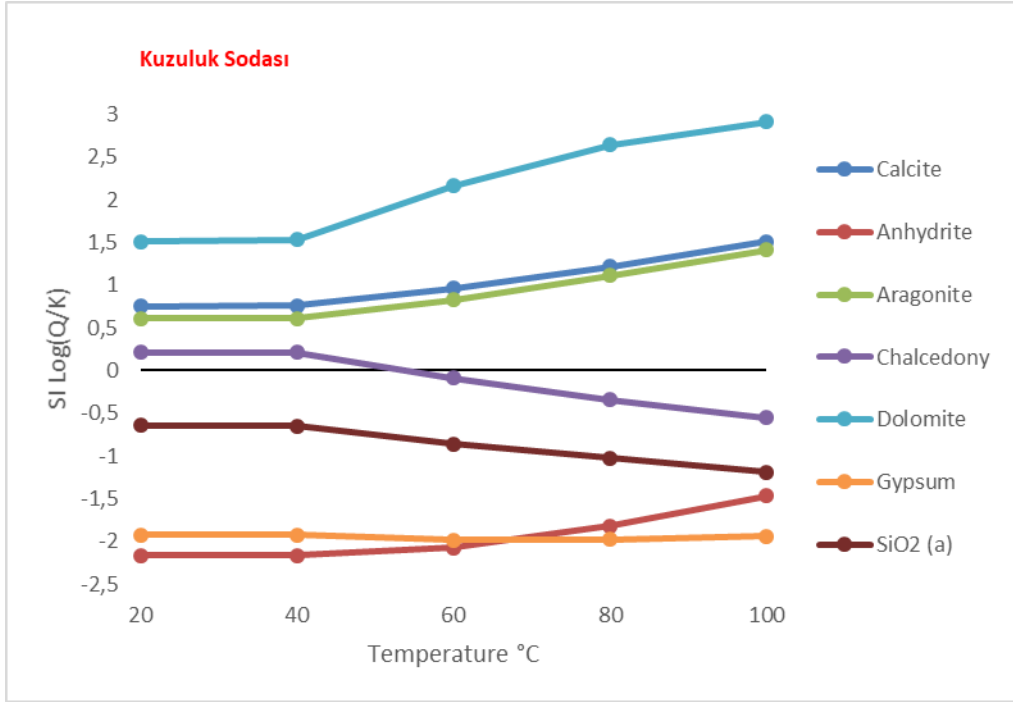
Şekil 5.27. İhlas K3 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki İhlas K3 kuyusundan su numunesi alınmıştır. Alınan numunenin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 12' de sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Bulunan mineraller arasında kabuklaşma yapması beklenen minerallerden biri olan anhidrit ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış, dolayısıyla herhangi bir kabuklaşma eğilimi göstermemiştir. Diğer minerallerden kalsit, dolomit, aragonit ve kalsedon tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Saptanan mineraller arasında genel olarak kabuklaşma sorunu yaşatan minerallerden biri de kuvars mineralidir. İlgili numune içerisinde kuvars mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 52 °C civarında olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucu olarak, üretim esnasında kuvars kabuklaşmasının kaçınılmaz olacağı görülmektedir. Kuvars mineraline göre belirlenebilecek güvenli sıcaklık seviyesi 52 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleridir



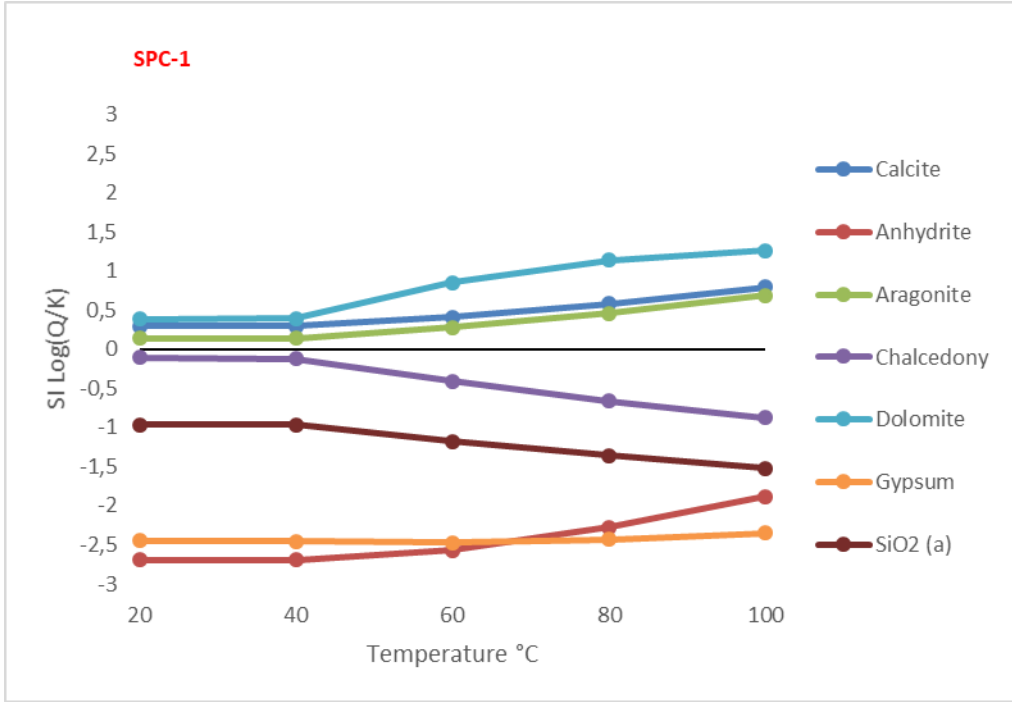
Şekil 5.28. Kıl Hamamı kaynağından alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki Kıl Hamamı kaynağından su numunesi alınmıştır. Alınan numunenin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 13' de sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Bulunan mineraller arasında kabuklaşma yapması beklenen minerallerden biri olan anhidrit, kuvars ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış, dolayısıyla herhangi bir kabuklaşma eğilimi göstermemiştir. Diğer minerallerden kalsit, dolomit ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Saptanan mineraller arasında genel olarak kabuklaşma sorunu yaşatan minerallerden biri de kalsedon mineralidir. İlgili numune içerisinde kalsedon mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 67 °C civarında olduğu tespit edilmiştir.



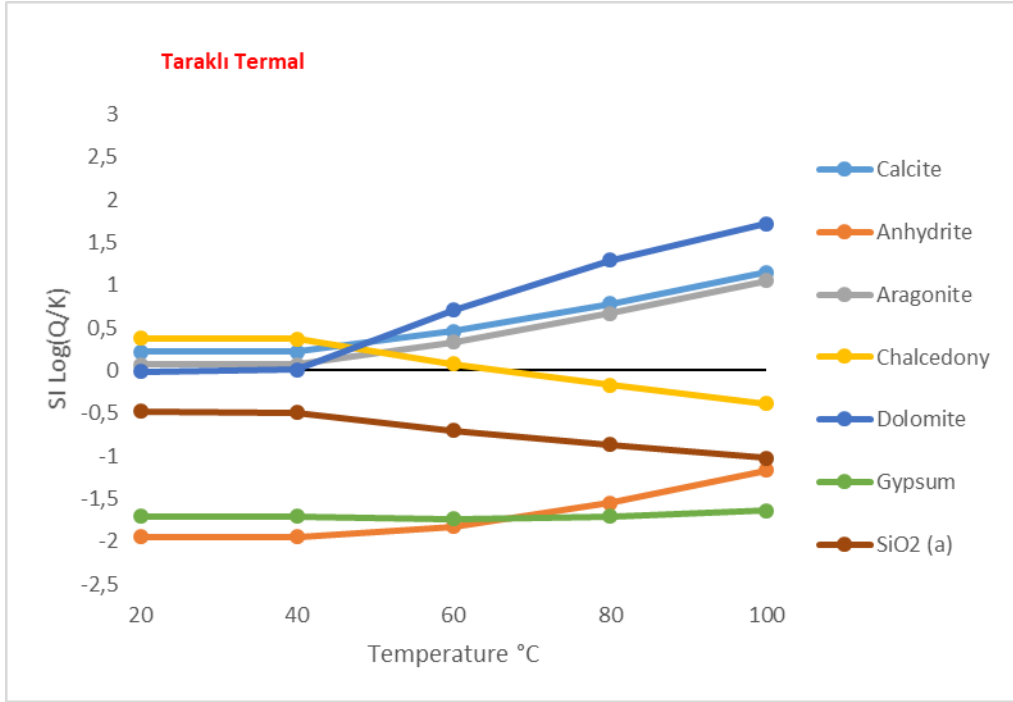
Şekil 5.29. Kuzuluk Sodası kaynağından alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki Kuzuluk Sodası kaynağından su numunesi alınmıştır. Alınan numunenin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 14' de sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Bulunan mineraller arasında kabuklaşma yapması beklenen minerallerden biri olan anhidrit, kuvars ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış, dolayısıyla herhangi bir kabuklaşma eğilimi göstermemiştir. Diğer minerallerden kalsit, dolomit ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Saptanan mineraller arasında genel olarak kabuklaşma sorunu yaşatan minerallerden biri de kalsedon mineralidir. İlgili numune içerisinde kalsedon mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 51 °C civarında olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.30. SPC-1 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doyumluk diyagramı

İnceleme alanındaki SPC-1 kuyusundan su numunesi alınmıştır. Alınan numunenin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doyumluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 15' de sunulmuştur. Bulunan minerallerin doyumluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Bulunan mineraller arasında kabuklaşma yapması beklenen minerallerden biri olan anhidrit, kalsedon, kuvars ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doyumluğa ulaşamamış, dolayısıyla herhangi bir kabuklaşma eğilimi göstermemiştir. Diğer minerallerden kalsit, dolomit, ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doyum durumdadır.



Şekil 5.31. Taraklı Termal kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki Taraklı Termal kuyusundan su numunesi alınmıştır. Alınan numunenin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.16' da sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Bulunan mineraller arasında kabuklaşma yapması beklenen minerallerden biri olan anhidrit, jips ve kuvars hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış, dolayısıyla herhangi bir kabuklaşma eğilimi göstermemiştir. Diğer minerallerden kalsit ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Saptanan mineraller arasında genel olarak kabuklaşma sorunu yaşatan minerallerden biri de kalsedon mineralidir. İlgili numune içerisinde kalsedon mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 77 °C civarında olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucu olarak, üretim esnasında kuvars kabuklaşmasının kaçınılmaz olacağı görülmektedir. Kuvars mineraline göre belirlenebilecek güvenli sıcaklık seviyesi 77 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleridir. Bir diğer kabuk sorunu olabilecek minerallerden dolomit minerali 40 °C'de doygun duruma gelmektedir. Dolomit mineraline göre belirlenecek güvenli sıcaklık seviyesi 40 °C ve altındaki sıcaklık değerleridir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanı Paleozoyik'te başlayan Alt Eosen'e kadar süren Sakarya kıtası ve Rodop-Pontid (İstanbul-Zonguldak Zonu) çarpışması ile ve daha sonra Miyosen-Pliyosen'de Kuzey Anadolu Fayı'nın gelişmesi ile jeolojik evrimini tamamlayan inceleme alanı dört ana başlıkta incelenmiştir. Bunlar, Batı Pontid Zonu, Armutlu-Almacık-Arkotdağı Zonu, Sakarya Zonu ve örtü birimleridir. Kuzey Anadolu Fayı doğrultu atımlı fay olduğundan burada jeotermal akışkanı genel olarak yüzeye taşıyan sistem sıkışma rejimine bağlı gelişmiş açılma çatlaklarıdır. Bunun sebebi Kuzey Anadolu Fayına bağlı olarak kabuk içine kadar etkin olası mağmatik sokulumlar ısıtıcı olarak düşünülebilir.

Sakarya İlini ait 1950–2017 yılları arası 67 yıllık uzun dönem “Yağış- Sıcaklık” verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından Thornthwaite Yöntemi 'ne göre değerlendirilmiştir. Thornthwaite yöntemiyle hesaplanan su bütçesi hesabına göre, yıllık yeraltı suyu beslenimi 411,6 mm (m<sup>2</sup>/kg)'dır. Yıllık yağışın % 49'i yeraltına süzülmemektedir.

İnceleme alanında açılmış kırk üç adet soğuk su sondajlarından elde edilen veriler ışığında eş yeraltı suyu seviye haritası çizilmiştir. Eş yeraltı suyu seviye haritası topoğrafyaya genel anlamda uyumlu çıkmış ve bölgesel olarak inceleme alanının en güneydeki kuyular Göynük Çayına, batıda olanlar Pamukova Grabenine, kuzey batı olanlar Sapanca Gölüne ve orta kısımda olan kuyuların verileri ise kuzeye yönelim göstermektedir.

Tez kapsamında, inceleme alanından alınmış ve incelenmiş üç adet kaynak (Kil Hamamı, Ahibaba ve Kuzuluk Sodası) ve dört adet jeotermal kuyulardan (SPC-1, AKZ-1, Taraklı Termal ve İhlas K3) alınmış jeotermal akışkan numuneleri de dahil olmak üzere 7 adet numune bulunmaktadır. Bu numunelerin kimyasal analizleri sonucunda elde edilen veriler Tablo 5.1 'de sunulmuştur. Ayrıca bu veriler Watch 2010 (Bjarnason, 1994) ve Microsoft Office Excel programları ile irdelenmiş ve kabuklaşma analizi amacı ile elde edilmiş mineral doygunluk diyagramları CoreIDRAW programı ile düzenlenerek teze eklenmiştir.

İnceleme alanından alınan numunelerin analizleri sonucu elde edilen verilerin ilgili kapsamlarda irdelenmesi sonucu, sıcak su numunesi olarak alınan su numunelerinin içme suyu olarak kullanılabilmesi, Tablo 5.3 üzerinde gösterilmiş bileşenlerin olması kabul edilebilir seviyelerin üzerinde olmasından dolayı mümkün olmadığı görülmüştür. İnceleme alanındaki analizi yapılan suların tarımsal amaçlı kullanımı, Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda, Wilcox sulama suları sınıflaması grafiğinde çıkan numune sonuçlara göre, Kil Hamamı çok iyi, Taraklı Termal ve

Ahibaba iyi kullanılabilir, AKZ-1 ve SPC-1 şüpheli uyum değil, İhlas K3 ve Kuzuluk sodası uygun değil olarak sonuçlanmıştır. ABD tuzluluk Laboratuvar diyagramlarına göre Taraklı Termal ve Ahibaba numuneleri sodyum tehlikesi olmamasına rağmen ancak tuza dayanıklı bitkilerde sulama suyu olarak kullanılabilir sonucu elde edilirken diğer numuneler sulama amaçlı kullanımı mümkün olmadığı saptanmıştır.

Alınan su numunelerinin analizleri sonucunda elde edilen verilere göre, Ahibaba ve Taraklı termal suları asitik karakterli, diğer suların bazik karakterli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca sertlik sınıfı olarak AKZ-1 Çok yumuşak su, SPC-1 Yumuşak su, Kil Hamamı, Taraklı Termal ve Kuzuluk Sodası sert su, Ahibaba çok sert su ve İhlas K3 suyu oldukça sert su su sınıfında olduğu saptanmıştır. Suların toplam iyon miktarlarına göre, Kil Hamamı, Taraklı Termal ve AKZ-1 suları tatlı su, diğer bütün sular hafif tuzlu su olarak saptanmıştır.

Analiz edilen su numunelerinin fasiyes tipleri de irdelenmiştir. Buna göre Kil Hamamı ve Taraklı Termal suları fasiyes tipleri Ca-  $\text{HCO}_3$  hesaplanmıştır. İhlas K3 ve Kuzuluk Sodası suları fasiyes tipleri Na- $\text{HCO}_3$  hesaplanmıştır. Ahibaba suyu fasiyes tipi Na- Ca- $\text{HCO}_3$ , AKZ-1 suyu fasiyes tipi Na-  $\text{HCO}_3$  -Cl ve SPC-1 suyu fasiyes tipi Na-Cl hesaplanmıştır.

İnceleme alanından temin edilen sular, Piper ve Schoeller diyagramları üzerinde yerleştirilerek incelenmiştir. Piper diyagramı üzerinde, Kuzuluk sodası ve İhlas K3 suların düştüğü bölgeye göre sıcak suların "doğada nadir bulunan aşırı yumuşak su" sınıfına girdikleri saptanmıştır. Diğer numunelerden SPC-1 ve AKZ-1 suları Deniz ve acı sularında yer aldığı karbonat olmayan alkalinitesi %50 den fazla olan sular sınıfına girdikleri saptanmıştır. Kil Hamamı, Taraklı termal ve Ahibaba suları karbonat sertliği %50 den fazla olan sular sınıfına girdikleri saptanmıştır. Schoeller diyagramı üzerine düşürülen sular ise bölgesel olarak birbirine yakın kimyasal özellik gösterir şekilde yerleşmişlerdir. Schoeller'e göre "klorür" miktarına, "sülfat" miktarına ve "karbonat ve bikarbonat" miktarına göre sınıflamalara da yer verilmiştir. Bu sınıflamalar sonucunda, su numunelerinin klorür miktarına göre SPC-1 ve Kuzuluk Sodası Oligoklorürlü diğer bütün sular "olağan klorürlü sular", sülfat miktarına göre bütün sular "olağan sülfatlı sular", karbonat ve bikarbonat miktarına göre AKZ-1 olağan karbonatlı sular diğer bütün sular ise "hiper karbonatlı sular" olduğu saptanmıştır. Sular ayrıca köken sınıflaması için Cl-  $\text{SO}_4$  -  $\text{HCO}_3$  üçgen diyagramı yerleştirilmiş ve Sapanca numunesi suları olgun sular sınıfına, Akyazı, Kuzuluk Sodası ve İhlas K3 sularının  $\text{HCO}_3$  köşesinin yakınına düşmesi bu suların çevresel ya da sığ kökenli sular sınıfına girdikleri saptanmıştır. Diğer Ahibaba, Taraklı termal ve Kil Hamamı suları ise

$\text{HCO}_3$  ve  $\text{SO}_4$  köşeleri arasında dizilim göstermekte ve buharla ısınmış sular sınıfına girdikleri saptanmıştır.

İnceleme alanından alınan su numunelerinin üzerinde izotop analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde  $^{18}\text{O}$  ve D-Döteryum ( $^2\text{H}$ ), izotopları kullanılmıştır.  $^{18}\text{O}$  - D izotopları diyagram üzerinde yerleştirilmiştir.  $^{18}\text{O}$  – D diyagramı sonucunda; D miktarının sabit kalmasına rağmen oksijen izotopunun artış göstermesi nedeniyle, sıcak suların rezervuar kayalar ile kimyasal etkileşimde olduğu sonucuna varılmıştır.

İnceleme alanından alınan sıcak sularda, saptanan minerallerin doygunlukları incelenmiştir. Numunelerde kalsit, dolomit, aragonit, jips, anhidrit, kuvars ve kalsedon mineraller saptanmıştır. Numunelerin ortak özellikleri dolomit, kalsit ve aragonit minerallerinin aşırı doygun olması ile kuvars, jips ve anhidrit minerallerinin doygun olmamasıdır. Kil hamamı, Taraklı termal, Ahibaba, Kuzuluk Sodası ve İhlas K3 numunelerinde kalsedon minerali aşırı doygun olmalarına karşın, SPC-1 ve AKZ-1 numuneleri kalsedon mineraline doygun değildir.

İnceleme alanından elde edilen sıcak su numuneleri akifer sıcaklığının tahmin edilmesi termal suların uygun şekilde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Çalışma alanındaki termal ve/veya termal özellik gösteren suların silis jeotermometrelerine göre hesaplanan genel olarak  $18\text{ }^\circ\text{C}$ -  $152\text{ }^\circ\text{C}$  arasında değişmektedir. Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan akifer sıcaklıkları ise  $32\text{ }^\circ\text{C}$  -  $338\text{ }^\circ\text{C}$  arasındadır. İnceleme alanında açılan jeotermal kuyu ve termal kaynakların  $20\text{ }^\circ\text{C}$  –  $89\text{ }^\circ\text{C}$  arasında değişen kaynak ve akifer sıcaklık değerleri dikkate alındığında bazı silis jeotermometrelerinin diğer silis ve katyon jeotermometrelerine göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Bunlara ek olarak sıcak sular üzerinde hesaplanan jeotermometre hesaplamalarının uygulanabilirliği kapsamında Giggenbach Üçgen diyagramı kullanılarak inceleme yapılmıştır. Çeşitli Excel programından faydalanılarak gerçekleştirilen ve Corel Draw programı ile düzenlemesi yapılmıştır. Giggenbach Üçgen diyagramı üzerinde sıcak su numunelerinden SPC-1 numunesi "kısmen denge durumunda olan sular" bölgesinde yer almış ve bunun sonucunda hesaplanan jeotermometre değerlerinin kullanılabilir olduğu ancak halen jeotermal akışkanların rezervuar kayalar ile kimyasal etkileşimini sürdürdüğü belirtilmiştir. Diğer numuneler ise olgun olmayan sular kısmına girmişler ve Giggenbach (1988), olgun olmayan sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini söylemiştir.

Hesaplamaları yapılarak gerçekleştirilen Giggenbach Kare diyagramında ise; iz düşümlerinin konumları, diyagramdaki sıcaklık eğrisine yakınlıkları sebebi ile, ilgili sıcak su



numunelerinin halen rezervuar kayaçlar ile etkileşimde oldukları bu yüzden SPC numunesi hariç diğer numunelerde jeotermometre hesaplanın yapılmasının mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.

İnceleme alanından temin edilen sıcak su numuneleri üzerinde, daha önce yapılmış saptanan minerallerin doygunluklarının araştırmasının yanı sıra, kabuklaşma analizi yapmak amacı ile bulunan minerallerden 20 °C ile 100 °C sıcaklıkları arasında doygunluğa ulaşan ve doygunluğa oldukça yakın olan mineraller mineral doygunluk diyagramları üzerinde gösterilmiştir. İnceleme alanındaki sıcak suların diyagramlar üzerindeki dengesizliği sebebiyle, bu diyagramlar kullanılarak jeotermometre hesaplamaları yapılamamıştır. Bunun yerine, her bir numune için mineral doygunluk diyagramı hazırlanmış ve her bir numunedeki kabuk yapma potansiyeline sahip olan anhidrit, kalsit, aragonit, kalsedon, dolomit, jips ve ve amorf silis mineralleri için güvenli sıcaklık tespiti yapılmaya çalışılmıştır. AKZ-1 Kuyusunda anhidrit, kalsedon, kuvars ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşmamıştır ancak minerallerden kalsit, dolomit, ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Ahibaba Kaynağında anhidrit, kuvars ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış ancak diğer minerallerden kalsit, dolomit ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun, kalsedon minerali ise doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 46 °C civarında olduğu tespit edilmiştir. İhlas K3 kuyusu anhidrit ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamıştır. Diğer minerallerden kalsit, dolomit, aragonit ve kalsedon tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Kuvars minerali ise doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 52 °C civarında olduğu tespit edilmiştir. Kuvars mineraline göre belirlenebilecek güvenli sıcaklık seviyesi 52 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleridir. Kil Hamamı Kaynağı anhidrit, kuvars ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamıştır. Diğer minerallerden kalsit, dolomit ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Kalsedon mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 67 °C civarında olduğu tespit edilmiştir. Kuzuluk Sodası anhidrit, kuvars ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamıştır. Diğer minerallerden kalsit, dolomit ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Kalsedon mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 51 °C civarında olduğu tespit edilmiştir. SPC-1 Kuyusu anhidrit, kalsedon, kuvars ve jips hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış, Diğer minerallerden kalsit, dolomit, ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Taraklı Termal anhidrit, jips ve kuvars hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamıştır. Diğer minerallerden kalsit ve aragonit tüm sıcaklıklarda aşırı doygun durumdadır. Kalsedon mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 77 °C civarında olduğu tespit edilmiştir. Kalsedon mineraline göre belirlenebilecek

güvenli sıcaklık seviyesi 77 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleridir. Bir diğer kabuk sorunu olabilecek minerallerden dolomit minerali 40 °C'de doymun duruma gelmektedir. Dolomit mineraline göre belirlenecek güvenli sıcaklık seviyesi 40 °C ve altındaki sıcaklık değerleridir.

SPC-1 ve AKZ-1 kuyuları, Kuzuluk Sodası Kaynağı ve İhlas K3 sondajı ile Taraklı Termal, Kil Hamamı ve Ahibaba Kaynağı genel anlamda kimyasal ve yapısal özellikleri ile birbirleri içerisinde benzerlik gösterir. Burdan oluşan sonuca göre Sakarya Zonu, Armutlu-Almacık-Arkotdağı Zonu ve Batı Pontitt Zonu içerisinde yer alan jeotermal alanların birbirleriyle uyumlu olduğu sptanmıştır.

Yapılan analiz sonuçları, bilinen kaynak ve jeotermal sondajların verilerine göre Aşağı Sakarya Havzasında enerji amaçlı jeotermal akışkanın olmadığı saptanmıştır.



## KAYNAKLAR

- Abdüselamoğlu, M. Ş., 1959, Almacık Dağı ile Mudurnu ve Göynük Civarının Jeolojisi, *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri*, Baha Maatbası, Sayfa 94.
- Abdüselamoğlu, M. Ş., 1956, Göynük, Mudurnu ve Beydili bölgesinin jeolojisi, *MTA Raporu* (2391).
- Akbayram, K., 2011, İstanbul ile Sakarya zonları arasındaki pontid-içi kenedinin Armutlu yarımadası doğusundaki evrimi / The geological evolution of the intra-pontide suture zone at the east of Armutlu peninsula: The boundary between İstanbul and Sakarya zones, Northwest Turkey, *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Akbayram, K., Okay, A. I. ve Satır, M., 2013, Early Cretaceous closure of the intra-Pontide Ocean in western Pontides (northwestern Turkey), *Journal of Geodynamics*, 65, 38-55.
- Akın, C., 2017, Taşkısığı ve Çaltıçak köyleri (Adapazarı) yeraltısularının kirlenme potansiyelinin değerlendirilmesi / Evaluation of pollution potential of undergroundwater at Taskısığı and Calticak village (Adapazarı) region, *İstanbul Teknik Üniversitesi*.
- Alisan, C. ve Derman, A., 1995, The first palynological age, sedimentological and stratigraphic data for the Çakraz Group (Triassic), western Black Sea, *Geology of The Black Sea Region: Proceedings of the International Symposium on the Geology of Black Sea Region*, 93-98.
- Alkan, M. A., 2007, Sakarya baseninin sismik tomografisinin çıkarılması / Seismic tomography of Sakarya basin, *Sakarya Üniversitesi*.
- Altın, D., Koçyiğit, A., Farinacci, A., Nicosia, U. ve Conti, M., 1991, Jurassic, Lower Cretaceous stratigraphy and paleogeographic evolution of the southern part of northwestern Anatolia, *Geologica Romana*, 28, 13-80.
- Altınlı, İ., 1973, Orta Sakarya jeolojisi [Geology of the Central Sakarya]. Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi: 159-190.
- Ambraseys, N. ve Zatopek, A., 1969, The Mudurnu Valley, West Anatolia, Turkey, earthquake of 22 July 1967, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 59 (2), 521-589.
- Arnorsson, S., 1983, Chemical equilibria in Icelandic geothermal systems—implications for chemical geothermometry investigations, *Geothermics*, 12 (2-3), 119-128.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. ve Svavarsson, H., 1983, The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47 (3), 567-577.
- Atabey, E., 2010, MTA Yerbilimleri ve Kültür Serisi, Türkiye’de İçme Suyunda Flor ve Etkileri.
- Ateş, G., 2012, Akyazı 'daki jeotermal enerjiden yararlanma ve ekonomiklik etüdü / Usage and economic analysis of jeothermal energy in Akyazı, *Sakarya Üniversitesi*
- Aydın, M., Serdar, H., Sahintürk, O., Yazman, M., Cokugras, R., Demir, O. ve Özcelik, Y., 1987, Camdag (Sakarya) Sunnicedag (Bolu) yoresinin jeolojisi: Türkiye Jeoloji Kurumu Bulteni, v. 30.
- Back, W., 1966, Hydrochemical facies and ground-water flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain, *US Government Printing Office*.
- Bayhan, E., Şahbaz, A., Görmüş, S., Yakupoğlu, T., Hasdiğen, S., Sarıkaya, M. A. ve Başara, B., 2001, Clay mineralogy of the Late Paleocene-Eocene sedimentary sequence at Adapazarı-Bolu (Western Black Sea) region, *Yerbilimleri Dergisi* (23), 145-158.
- Besbelli, B., 1991, Adapazarı H25 b1, b4, c1 Paftalarının Jeoloji ve Petrol Olanakları. , 54.
- Bistritschan, K., 1957, Sakarya vilayetindeki sıcak su ve maden suyu kaynakları.

- Bjarnason, J. O., 1994, The speciation program WATCH, version 2.1, *Orkustofnun, Reykjavik*, 7.
- Cifter, C. ve Sayin, M., 2002, Using Of Isotopes In Hydrology; Izotopların Hidrolojide Kullanılması.
- Clark, I. ve Fritz, P., 1997, Environmental Isotopes in Hydrogeology, 327.
- Craig, H. J. S., 1961, Isotopic variations in meteoric waters, 133 (3465), 1702-1703.
- Çelik, Ö., Gürer, Ö. ve İlknur, Ö., 2009, Geyve Boğazı ve Pamukova Arasında Yer alan Granitoyitik Kayaçların Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 8 (1), 61-75.
- ÇSB, 2019, Sakarya Büyükşehir Belediyesi Saska Genel Müdürlüğü Jeotermal Kaynak Arama Projesi Preje Tanıtım Dosyası, <http://eced.csb.gov.tr/ced/jsp/dosya/dosyaGoster.htm?id=124394>: [1 Mayıs 2019].
- Dansgaard, W., 1964, Stable isotopes in precipitation, 16 (4), 436-468.
- Doğan, A., 2004, Sakarya Havzası (Plio-Kuvaterner) Güney Kesimi Holosen İstifinin Sedimanter Özellikleri ve Jeolojik Evrimi (Sedimentary characteristic and geologic evolution of the south segment of Holocene stack of the Sakarya Basin (Pliocene–Quaternary)), *M. Sc. thesis, University of Ankara, Graduate School of Natural and Applied ...*
- Doğan, B., 1998, Yuvacık (İzmit)-Sapanca (Adapazarı) Arası Bölgenin Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi*.
- Duru, M., İ.Gedik ve Aksay, A., 2002, 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Adapazarı H24 paftası, *MTA YAYINLARI* (37).
- Erk, S., 1942, Etude geolpgique de la region entre Gemlik et Buna. MTA Rapor, B9.
- Erol, O., 1981, Neotectonic and geomorphological evolution of Turkey: Zeitschrift fur Geomorphologie, *Supplement Band*, 40, 193-211.
- Eroskay, S., 1965, Paşalar Boğazı-Gölpazarı Sahasının Jeolojisi, Fen Fakültesi Döner Sermaye Basımevi, p.
- Fouillac, C. ve Michard, G., 1981, Sodium/lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs, 10 (1), 55-70.
- Fournier, R. O., 1973, Silica in thermal waters: laboratory and field investigations, *Proc. Int. Symp. Hydrogeochemistry and Biogeochemistry, Tokyo, 1973*, 122-139.
- Fournier, R. O. ve Truesdell, A. H., 1973, An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37 (5), 1255-1275.
- Fournier, R. O., 1977, Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems, *Geothermics*, 5 (1-4), 41-50.
- Fournier, R. O., 1979, A revised equation for the Na/K geothermometer, *Transactions of the Geothermal Resources Council*, 3, 221-224.
- Fournier, R. O. ve Potter, R. W., 1982, Revised and expanded silica (quartz) geothermometer, *Geotherm. Resour. Counc.*, 11 (10).
- Fournier, R. O., 1992, Water geothermometers applied to geothermal energy, *Applications of geochemistry in geothermal reservoir development*, 37-69.
- Gat, J. R. ve Gonfiantini, R., 1981, Stable isotope hydrology. Deuterium and oxygen-18 in the water cycle.
- Gedik, İ. ve Önalın, M., 2001, Çamdağ (Sakarya İli) Paleozoyik stratigrafisine ait yeni gözlemler, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 14 (1-2).
- Gedik, İ. ve Aksay, A., 2002, 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Adapazarı H 25 Paftası, *MTA YAYINLARI* (38).
- Giggenbach, W., Gonfiantini, R., Jangi, B. ve Truesdell, A., 1983, Isotopic and chemical composition of Parbati valley geothermal discharges, north-west Himalaya, India, *Geothermics*, 12 (2-3), 199-222.

- Giggenbach, W. F., 1988, Geothermal solute equilibria. derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52 (12), 2749-2765.
- Göncüoğlu, M. C., Turhan, N., Şentürk, K., Özcan, A., Uysal, Ş. ve Yaliniz, M. K., 2000, A geotraverse across northwestern Turkey: tectonic units of the Central Sakarya region and their tectonic evolution, *Geological Society, London, Special Publications*, 173 (1), 139-161.
- Granit, Y. ve Tintant, H., 1960, Observations Préliminaires sur le Jurassique de la region de Bilecik (Turquie), *Comptes rendus hebdomadaires des seances del academie des sciences*, 251 (17), 1801-1803.
- Greber, E., 1992, Das Geothermalfeld von Kuzuluk/Adapazari: Geologie, aktive Tektonik, Hydrogeologie, Hydrochemie, Gase und Isotope, *ETH Zurich*.
- Greber, E., 1994, Deep circulation of CO<sub>2</sub>-rich palaeowaters in a seismically active zone (Kuzuluk/Adapazari, Northwestern Turkey), *Geothermics*, 23 (2), 151-174.
- Greber, E., 1996, Stratigraphic evolution and tectonics in an area of high seismicity: Akyazı/Adapazari (Pontides, Northwestern Turkey), *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5 (2), 63-79.
- Gündüz, Ö. C., 2015, Sapanca (Sakarya) Göl Havzasının Hidrojeoloji İncelemesi Ve Kavramsal Yeraltı Suyu Modellemesi, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi*.
- İ.Gedik ve Aksay, A., 2002, 1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Adapazari G25 Paftası Raporu, *MTA YAYINLARI* (32).
- IAH, 1979, Map of mineral ve thermal water of Europe. Scale 1:500.000:
- Kaya, N., 2014, Sakarya zonu'ndaki mesozoyik ve senozoyik yaşlı kayaların paleomağnetik sonuçları / Paleomagnetic results of mesozoic and cenozoic rocks in the Sakarya zone, *İstanbul Üniversitesi*.
- Kaya, O., 1982, Eregli, Yığılca, Bolu Kuzey, Mengen alanlarının stratigrafi ve yapı özellikleri, Ankara: TPAO Arama Gurubu Arsivi, Rapor.
- Kaya, O., Wiedmann, J. ve Kozur, H. J. Y., 1986, Preliminary report on the stratigraphy, age and structure of the so-called Late Paleozoic and/or Triassic “melange” or “suture zone complex” of north-western and western Turkey, 13, 1-16.
- Kaya, O. ve Birenheide, R., 1988, Adapazari çevresi orta devoniyen stratigrafisine yeni bir katkı
- Ketin, I. ve Gümüş, O., 1963, Sinop-Ayancik güneyinde üçüncü bölgeye dahil sahaların jeolojisi hakkında rapor, II. kısım Jura ve Kretase formasyonlarının etüdü: Unpublished: TPAO Rapor.
- Ketin, İ., 1976, San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 149-154.
- Kharaka, Y. K. ve Mariner, R. H., 1989, Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins, In: Thermal history of sedimentary basins, Eds: Springer, p. 99-117.
- Kocyigit, A., Altiner, D., Farinacci, A., Nicosia, U. ve Conti, M., 1991, Late Triassic–Aptian evolution of the Sakarya divergent margin: implications for the opening history of the Northern Neo-Tethys, in the North-Western Anatolia, Turkey, *Geologica Romana*, 27, 81-101.
- Lucius, M., 1929, Kuzuluk (Akyazı) termo mineral suları hakkında rapor, *MTA Rapor*.
- MGM, 2018, Sakarya İli Meteoroloji Değerleri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=SAKARYA>:
- MTA, 2018, Stronsiyum Özellikleri, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/stronsiyum>: [2 Ekim 2018].

- Nicholson, K., 1993, *Geothermal Fluids Chemistry & Exploration Technique* Springer Verlag, Inc. Berlin.
- Nieva, D. ve Nieva, R., 1987, Developments in geothermal energy in Mexico—part twelve. A cationic geothermometer for prospecting of geothermal resources, *Heat recovery systems chp* 7(3), 243-258.
- Okay, A., 1989, Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey, In: Tectonic evolution of the Tethyan region, Eds: Springer, p. 109-116.
- Okay, A. I., Celal Sengor, A. ve Görür, N., 1994, Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions, *Geology*, 22 (3), 267-270.
- Önalın, M., 1982, Pendik bölgesi ile adaların jeolojisi ve sedimenter özellikleri, *İstanbul Üniversitesi*, İstanbul.
- Pehlivan, R., 1996, Kuzuluk (Akyazı) termomineral kaynağı çevresinin ayrıntılı jeolojisi ve ilişkili h idi ot er ma I anomalileri, *Jeoloji Mühendisleri Odası*, 81-89.
- Pfister, M., 1995, Geothermische Untersuchungen in der Region Marmara (NW-Türkei): Kartierung des Wärmeflusses und hydrothermale Modellrechnungen, *ETH Zurich*.
- Piper, A. M., 1953, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis, 12, US Department of the Interior, Geological Survey, Water Resources Division, p.
- Reed, M. ve Sycher, N., 1984, Calculation of Ph and Mineral Equilibria in Hydrothermal Waters with Application to Geothermometry and Studies of Boiling and Dilution, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48 (7), 1479-1492.
- Rupprecht, K., 1955, Kuzuluk-Aziziye mevkii'nin Cemalbey Mahallesinde bulunan kaplıcaların jeolojik etüdü, *MTA Raporu*.
- Saner, S., 1977, Geyve–Osmaneli–Gölpazarı–Taraklı Alanının Jeolojisi; Eski Çökme Ortamları ve Çökmenin Evrimi, *MTA Enst. Derleme* (6306).
- Saner, S., 1980, Mudurnu-Göynük havzasının Jura ve sonrası çökme nitelikleriyle paleocoğrafya yorumlanması [Paleogeography and sedimentary environment of the Jurassic and younger sequences of the Mudurnu-Göynük basin], *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 23, 39-52.
- Schindler, C., 1993, The MARMARA Poly- Project: tectonics and recent crustal movements revealed by space- geodesy and their interaction with the circulation of groundwater, heat flow and seismicity in Northwestern Turkey, *Terra Nova*, 5 (2), 164-173.
- Sentürk, N. ve Demirel, Z., 1987, Akyazı (Sakarya) Kuzuluk kaplıcası hidrojeoloji incelemesi, *MTA Raporu*.
- Serdar, H. ve Demir, O., 1983, Mengen, Devrek dolayının Jeolojisi ve Petrol Olanakları, *Unpublished*.
- Sipahi, A., 2013, Sakarya İli Akyazı İlçesi Kuzuluk Mevkii'nin Düşey Elektrik Sondajı Verileri İle Jeotermal Potansiyelinin Araştırılması. , *Cumhuriyet Üniversitesi*.
- Stchepinsky, V., 1940, Göynük-Mudurlu-Nallıhan mntıkası cevher zenginlikleri hakkında rapor, *MTA Enstitüsü Raporu, Derleme* (1058).
- Şeker, H. ve Kesgin, Y., 1991, Nallıhan-Mudurnu-Seben-Beyazır arasında kalan bölgenin jeolojisi ve petrol olanakları.
- Şengör, A., Büyükaşikoğlu, S. ve Canitez, N., 1983, Neotectonics of the Pontides: implications for 'incompatible' structures along the North Anatolian fault, *Journal of Structural Geology*, 5 (2), 211-216.
- T.O.B., 2018, Tarım ve Orman Bakanlığı GeoData Uygulaması, <http://geodata.ormansu.gov.tr/> [12 Kasım 2018].
- T.S.E., 2005, İçme suları standartları.
- Tarcan, G., 2015, Jeotermal Enerji Araştırmalarında Kullanılan Su Kimyası Yöntemleri Kursu, *Jeoloji Mühendisleri Odası, İzmir*.

- Tari, U. ve Tuysuz, O., 2007, Morphotectonic in the Gulf of Izmit and Surroundings, *PhD Thesis, Istanbul Technical University, Turkey.*(in Turkish).
- Temur, E. ve Aksay, A., 2002, 1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Adapazarı G24 Paftası, *MTA YAYINLARI* (31).
- Tokay, M., 1954, Filyos Çayı Ağızı-Amasra-Bartın-Kozcağız-Çaycuma Bölgesinin jeolojisi, *MTA Degisi*, 46, 58-74.
- Tonani, F., 1980, Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration, In: *Advances in European Geothermal Research*, Eds: Springer, p. 428-443.
- Truesdell, A., 1975, Calculation of deep temperatures in geothermal systems from the chemistry of boiling spring waters of mixed origin, *Proceedings 2nd UN Symposium on development use of geothermal resources* 1, 837-844.
- Tschudi, S., 1997, Observed pressure variations and their causes in the geothermal field of Kuzuluk/NW Turkey, *Active tectonics of North Anatolia—the Marmara Poly Project*, 185-196.
- Ürgün, S., 1956, Gölpazarı-Geyve-Taraklı-Göynük civarının jeolojisi, *MTA Raporu* (2711).
- Wilcox, L., 1955, Classification and use of irrigation waters.
- Yazman, M. ve Çokuğraş, R., 1983, Adapazarı-Kandıra-Düzce-Akçakoca yerleşim merkezleriyle sınırlı alanın jeolojisi ve hidrokarbon olanakları (Geology and hydrocarbon potential of Adapazarı-Kandıra-Düzce-Akçakoca region).
- Yılmaz, Y., Gözübol, A. ve Tüysüz, O., 1982, Geology of an area in and around the Northern Anatolian Transform Fault Zone between Bolu and Akyazi, In: *Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction*, Eds: Springer, p. 45-65.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A. ve Yiğitbaş, E., 1981, Abant (Bolu)-Dokurcun (Adapazarı) arasındaki Kuzey Anadolu fay zonunun kuzeyinde ve güneyinde kalan birliklerin jeolojik evrimi, *İstanbul Yer bilimleri*, 2 (3-4), 239-261.
- Yılmaz, Y., Gürpınar, O., Genç, Ş., Bozcu, M., Yılmaz, K., Şeker, H., Yiğitbaş, E. ve Keskin, M., 1990, Armutlu yarımadası ve dolayının jeolojisi, *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı* 210.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Ertan GÖLLÜ  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Ankara 14.04.1983  
**Telefon** : 0505 502 66 56  
**Faks** : -  
**E-Posta** : ertangollu@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Arı Fen Lisesi,	Balgat,	ANKARA	2000
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu,		KONYA	2009
Yüksek Lisans:	Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu,		KONYA	2019

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010	Karizma Enerji	Jeoloji Mühendisi
2015	Bereket Enerji	Jeoloji Mühendisi
2016	Sis Enerji	Jeoloji Mühendisi
2018	Soyak Enerji	Rezervuar Mühendisi

**UZMANLIK ALANI** : Jeotermal Enerji

**YABANCI DİLLER** : İngilizce

### BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

**YAYINLAR** : Aşağı Sakarya Jeotermal Alanının Hidrojeokimyasal İncelenmesi (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)