

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İLİCA (ŞAVŞAT-ARTVİN) JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOKİMYASAL VE  
İZOTOPIK İNCELENMESİ**



**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Burhan Melih SUBAŞI**

**NİSAN-2019  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İLİCA (ŞAVŞAT-ARTVİN) JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOKİMYASAL VE  
İZOTOPIK İNCELENMESİ**

**Jeoloji Mühendisi Burhan Melih SUBAŞI**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“JEOLOJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :12.03.2019**

**Tezin Savunma Tarihi :12.04.2019**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fatma GÜLTEKİN**

**Trabzon-2019**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Burhan Melih SUBAŞI Tarafından Hazırlanan**

**İLİCA (ŞAŞAT-ARTVİN) JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOKİMYASAL VE  
İZOTOPIK İNCELENMESİ**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 26 / 03 / 2019 gün ve 1797 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Fatma GÜLTEKİN**

**Üye : Doç. Dr. Arzu FIRAT ERSOY**

**Üye : Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ**



**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU  
Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada Ilıca (Şavşat-Artvin) jeotermal sahasında sıcak su dolaşım sistemini açıklamak amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada jeotermal alanda yer alan sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrokimyasal ve izotopik özellikleri belirlenmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde önemli maddi destek sağlayan 115Y142 nolu proje için TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Bu çalışmayı bana öneren ve beni yönlendiren, çalışmanın başlangıcından sonuna kadar bilgi, deneyim ve tecrübeleri ile yol gösteren, maddi manevi desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Fatma GÜLTEKİN' e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışma esnasında bilgi, tecrübe, görüş ve önerilerinden yararlandığım, değerli hocalarım Prof. Dr. M. Ziya Kırmacı'ya, Doç. Dr. Arzu FIRAT ERSOY' a, Yrd. Doç. Dr. Esra HATİPOĞLU TEMİZEL' e, Arş. Gör. Murat KARAHAN' a ve Arş. Gör. Merve ÖZYURT' a şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmada benden yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Baransel BASANK' a, Mahamadou KONARÉ' ye, Ahmet Niyazi APAYDIN' a ve Erhan ŞEPHANELİOĞLU' na teşekkür ederim.

Hayatımın en değerlileri olan ve öğrenim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve eşim Mehtap SUBAŞI' ya şükranlarımı bir borç bilirim.

Burhan Melih SUBAŞI

Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ilıca (Şavşat-Artvin) Jeotermal Sularının Hidrojeokimyasal Ve İzotopik İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Fatma GÜLTEKİN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 12/04/2019

Burhan Melih SUBAŞI

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ .....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ .....	XII
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	2
1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Morfolojisi .....	2
1.4. Akarsular.....	3
1.5. İklim ve Bitki Örtüsü .....	5
1.6. Önceki Çalışmalar .....	8
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
2.1. Arazi Çalışmaları .....	9
2.2. Laboratuvar Çalışmaları .....	10
2.2.1. Petrografik Çalışmalar .....	10
2.2.2. Analiz Çalışmaları .....	11
2.3. Büro Çalışmaları.....	11
3. BULGULAR.....	12
3.1. Genel Jeoloji .....	12
3.1.1. Giriş .....	12
3.1.2. Kızılkaya Formasyonu.....	15
3.1.3. Ardanuç Formasyonu.....	15
3.1.4. Kabaköy Formasyonu.....	16
3.1.5. Şavşat Formasyonu.....	19
3.1.6. Pınarlı Formasyonu.....	20
3.1.7. Bülbülan Formasyonu.....	22
3.1.8. Alüvyon .....	24
3.2. Yapısal Jeoloji .....	24
3.3. Su Noktaları .....	28
3.3.1. Akarsular.....	28
3.3.2. Soğuk Su Kaynakları .....	28
3.3.3. Sıcak Su Kaynağı.....	30

3.4.	Suların Hidrokimyasal Özellikleri.....	31
3.4.1.	Suların Yerinde Ölçülen Parametreleri.....	34
3.4.1.1.	Sıcaklık (°C).....	34
3.4.1.2.	Hidrojen İyon Aktivitesi (pH) .....	35
3.4.1.3.	Elektriksel İletkenlik (EC).....	36
3.4.1.4.	Toplam Çözünmüş Madde (TDS) Miktarı .....	37
3.4.1.5.	Çözünmüş Oksijen (DO) .....	37
3.4.2.	Suların Majör İyon İçerikleri .....	38
3.4.2.1.	Kalsiyum (Ca <sup>+2</sup> ) ve Magnezyum (Mg <sup>+2</sup> ).....	39
3.5.2.2.	Sodyum (Na <sup>+</sup> ) ve Potasyum (K <sup>+</sup> ).....	39
3.5.2.3.	Bikarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) ve Karbonat (CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> ).....	40
3.5.2.4.	Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) .....	41
3.5.2.5.	Klorür (Cl <sup>-</sup> ) ve Florür (F <sup>-</sup> ).....	41
3.5.3.	Suların İz Element İçerikleri.....	42
3.5.3.1.	Alüminyum (Al) .....	45
3.5.3.2.	Demir (Fe) ve Mangan (Mn) .....	45
3.5.3.3.	Çinko (Zn) .....	46
3.5.3.4.	Nikel (Ni).....	46
3.5.3.5.	Arsenik (As).....	47
3.5.3.6.	Baryum (Ba) .....	47
3.5.3.7.	Stronsiyum (Sr).....	48
3.5.3.8.	Kurşun (Pb).....	48
3.5.3.9.	Bor (B).....	48
3.5.3.10.	Lityum (Li) .....	49
3.5.4.	Kirlilik Analizleri.....	50
3.5.4.1.	Amonyum (NH <sub>4</sub> ) .....	50
3.5.4.2.	Nitrit (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) .....	51
3.5.4.3.	Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) .....	52
3.5.4.4.	Fosfat (PO <sub>4</sub> ) .....	53
3.6.	Çalışma Alanındaki Suların Sınıflandırılması .....	53
3.6.1.	Piper Diyagramı Değerlendirilmesi .....	55
3.6.2.	Schoeller Diyagramı Değerlendirmesi .....	56
3.7.	Suların Mineral Doygunlukları.....	56
3.8.	Jeotermometre Uygulamaları.....	60

3.8.1.	Çözünürlüğe Dayalı Jeotermometreler .....	61
3.8.1.1.	Silis Jeotermometreleri .....	61
3.8.2.	İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler .....	63
3.8.2.1.	Na/K Jeotermometreleri.....	64
3.9.	Karışım Modelleri.....	65
3.10.	Doğal İzotop Hidrolojisi .....	67
3.10.1.	Oksijen 18 ( <sup>18</sup> O) - Döteryum ( <sup>2</sup> H) İlişkisi .....	68
3.10.2.	Oksijen- 18 ( <sup>18</sup> O)- Sıcaklık İlişkisi .....	69
3.10.3.	Tritiyum-EC ve Tritiyum- Sıcaklık İlişkisi.....	70
3.10.4.	Karbon İzotopu ( <sup>13</sup> C) .....	72
3.10.5.	Kükürt İzotopu ( <sup>34</sup> S) .....	73
3.11.	Radyoaktivite .....	74
3.11.1.	Sulardaki Radyoaktivitenin Kaynağı .....	75
3.12.	Su-Kayaç Etkileşimi .....	77
3.12.1.	Kayaç Jeokimyası .....	77
3.12.2.	Hidrojeokimya .....	82
3.12.3.	Su-Kayaç İlişkisi.....	82
4.	TARTIŞMA .....	87
4.1.	Giriş .....	87
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	92
6.	KAYNAKLAR .....	95
	ÖZGEÇMİŞ .....	102



## ÖZET

### ILICA (ŞAVŞAT-ARTVİN) JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK İNCELENMESİ

Burhan Melih SUBAŞI  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Fatma Gültekin

2019, 101 Sayfa

Ilıca Jeotermal sahası Artvin İli, Şavşat ilçesi, Ilıca Köyü'nde yer almaktadır. Çalışma alanında, Geç Kretase ile Pliyosen zaman aralığında oluşmuş volkanik, volkanoklastik kayalar ile fliş türü tortul kayalar yüzeylenmektedir.

Sahada jeotermal aktivitenin belirtisi olan sıcak su kuyusunun boşalım sıcaklığı yaklaşık 39°C, pH'ı 6.9, elektriksel iletkenlik (EI) değeri 6207 µS/cm, toplam çözünmüş madde (TDS) miktarı 3224 mg/l'dir. Çalışmada jeotermal sistemi tanımlamak, suların hidrokimyasal özelliklerini belirlemek, rezervuar sıcaklıklarını tespit etmek ve alanının hidrojeolojik kavramsal modelini oluşturmak amaçlanmıştır. Na-HCO<sub>3</sub>-Cl tipinde olan jeotermal suların kökenleri, beslenme yükselteleri ve temas ettikleri kayalar türleri <sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H, <sup>3</sup>H, <sup>13</sup>C ve <sup>34</sup>S izotop içerikleri ile incelenmiştir. δ<sup>18</sup>O-δ<sup>2</sup>H ilişkisine göre jeotermal sular Doğu Karadeniz Meteorik Su Doğrusuna (DKMD) yakın konumdadır, ancak jeotermal sularda daha pozitif δ<sup>18</sup>O değerleri gözlenmiştir. Çözünmüş inorganik karbon üzerinde analiz edilen δ<sup>13</sup>C<sub>VPDB</sub> değeri Ilıca jeotermal suyunda pozitif iken (%0.431-%0.770) Soğuk Su Kaynağı'nda (%0-12.36), Çermik Deresi'nde (%0-13.82-%0-7.79) negatif değerlerdedir. Bu değerlere göre Ilıca jeotermal sularındaki karbon, tatlı su karbonatlarından ve metamorfik CO<sub>2</sub>'den kaynaklanmaktadır. δ<sup>34</sup>S<sub>CDT</sub> değeri Ilıca jeotermal suyunda yaklaşık %10, soğuk sularda %3-10 arasında değişmektedir. Jeotermal sulardaki kükürtün volkanik sülfür ve Senozoyik yaşlı CaSO<sub>4</sub>'dan kaynaklandığı düşünülmektedir. Düşük sıcaklıklı jeotermal sistem sınıfına giren Ilıca jeotermal sahasında hazne kaya sıcaklığı silis jeotermometresi ile 100-150°C olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Şavşat Jeotermal Sahası, Hidrojeokimya, Çevresel İzotoplar, ArcGIS

## SUMMARY

### HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPIC INVESTIGATION OF ILICA (ŞAVŞAT-ARTVİN) GEOTHERMAL WATER

Burhan Melih SUBAŞI  
Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geology Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Fatma Gültekin  
2019, 101 Pages

Ilica Geothermal Field is located in Ilica Village, Savsat District of Artvin Province. In the study area, volcanic, volcanoclastic and flysch sedimentary rocks formed during the Late Cretaceous and Pliocene time are exposed.

The temperature of the hot water well, which is a sign of geothermal activity in the field, is approximately 39°C, pH is 6.9, electrical conductivity (EC) is 6207 µS/cm, total dissolved solid (TDS) is 3224 mg/l. In this study, it is aimed to define the geothermal system, to determine the hydrochemical properties of the water, to determine reservoir temperatures and to create a hydrogeological conceptual model of the area. The origins of Na-HCO<sub>3</sub>-Cl geothermal waters, their recharge elevation and the contact types of the rocks were investigated with <sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H, <sup>3</sup>H, <sup>13</sup>C and <sup>34</sup>S isotope contents. According to the relationship of δ<sup>18</sup>O-δ<sup>2</sup>H, the geothermal waters are close to the Eastern Black Sea Meteoric Water Line (EBMW), but more positive δ<sup>18</sup>O values were observed in geothermal waters. The δ<sup>13</sup>C<sub>VPDB</sub> value analyzed on the dissolved inorganic carbon was negative in Ilica geothermal water (4.31‰ - 7.70‰) in the Cold Water Source (-12.36‰), in the Çermik Creek (-13.82‰ - -7.79‰). According to these values, carbon in Ilica geothermal waters originates from fresh water carbonates and metamorphic CO<sub>2</sub>. δ<sup>34</sup>S<sub>CDT</sub> value varies between about 10‰ in Ilica geothermal water and 3-10‰ in cold waters. It is thought to be caused by sulfur volcanic sulfate and Cenozoic CaSO<sub>4</sub> in geothermal waters. In the Ilica geothermal field, which is classified as low temperature geothermal system, the reservoir rock temperature is calculated as 100-150 °C by silica geothermometer.

**Key Words:** The Şavşat Geothermal Field, Hydrogeochemistry, Environmental Isotopes, ArcGIS

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası .....	3
Şekil 2.	DSİ'nin Çoruh Havzası'na bağlı Mansurat Deresi üzerinde bulunan akım gözlem istasyonunun 1920-2011 yıllarına ait ortalama akım değerleri.....	4
Şekil 3.	Çalışma alanının yükseklik modeli.....	5
Şekil 4.	YSI çoklu parametre ölçer (a), gaz ölçüm aleti ve gaz ölçümü (b). .....	9
Şekil 5.	İlıca (Şavşat-Artvin) jeotermal alanının kolon kesiti.....	13
Şekil 6.	İlıca (Şavşat-Artvin) alanının jeoloji haritası ve A-A' kesiti (Erendil vd, 1989 ve Konak vd, 1998'den sadeleştirilmiştir.) .....	14
Şekil 7.	İlıca Köyü civarındaki Kabaköy Formasyonu'na ait volkaniklastikler.....	16
Şekil 8.	Demirkapı Köyü civarında mostra veren andezitler .....	17
Şekil 9.	Kabaköy Formasyonu'dan alınan volkanik kayalara ait örneklerden yapılan ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b): Çift nikol görüntüsü (plj: plajioklas, opak: opak mineraller) .....	18
Şekil 10.	Kabaköy Formasyonu'dan alınan tortul kayalara ait örneklerden yapılan ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b): Çift nikol görüntüsü. (litik: litik tane, Q: kuvars, otk: ortoklas, plj: plajioklas) .....	18
Şekil 11.	Çoraklı Köy civarındaki kumtaşı, silttaşı ve marn ardalanması .....	19
Şekil 12.	Şavşat Formasyonu'ndan alınan tortul kayalara ait örneklerden yapılan ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b): Çift nikol görüntüsü (Q: kuvars, otk: ortaklaş, litik: litik tane, snd: sanidin).....	20
Şekil 13.	Pınarlı Formasyonu'na ait birim ve meydana gelmiş olan bir heyelan .....	21
Şekil 14.	Pınarlı Formasyonu'na ait tortul birimin örneklerden yapılan ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b): Çift nikol görüntüsü (Q: kuvars, litik: litik tane, plj: plajioklas) .....	21
Şekil 15.	Görizil Tepe eteklerinde Bülbülan Formasyonu'na ait trakiandezitler .....	22
Şekil 16.	Trakibazaltlara ait ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b): Çift nikol görüntüsü (snd: sanidin, opak: opak mineral) .....	23
Şekil 17.	Trakiandezitlere ait ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b) Çift nikol görüntüsü (opak: opak mineral, snd: sanidin, plj: plajioklas) .....	24
Şekil 18.	Artvin-Şavşat jeotermal sahasının içerisinde bulunduğu Akdamla havzası'na ait hidrojeoloji haritası .....	27

Şekil 19. İnceleme alanınınnda yer alan Çermik Dere .....	28
Şekil 20. Ceylan Mahallesi'nde örnekleme yapılan soğuk su kaynağı (ŞSSK) .....	29
Şekil 21. Ölçüm ve örnekleme yapılan sıcak su kuyusu (ILICAS) .....	30
Şekil 22. Sıcak su kaynaklarının eski çıkış noktaları çevresindeki traverten çökelimleri .....	31
Şekil 23. İnceleme alanındaki suların pH değerleri. ....	35
Şekil 24. İncelenen suların elektriksel iletkenlik (EC) değerleri .....	36
Şekil 25. Çalışma alanındaki suların toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) değerleri.....	37
Şekil 26. Çalışma alanındaki suların çözünmüş oksijen (DO) değerleri. ....	38
Şekil 27. Çalışma alanındaki su örneklerine ait piper diyagramı .....	55
Şekil 28. İncelenen suların Schoeller Diyagramı'ndaki konumları .....	56
Şekil 29. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait mineral doygunluk indisi (SI) değerleri .....	60
Şekil 30. İnceleme alanındaki sulara ait Giggenbach diyagramı .....	65
Şekil 31. Şavşat-İlica jeotermal alanındaki sıcak suların entalpi-silis diyagramı.....	66
Şekil 32. Şavşat- İlica sahası sularında $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi. (DMD: Dünya Meteorik Su Doğrusu, DKMD: Doğu Karadeniz Meteorik Su Doğrusu) .....	69
Şekil 33. Çalışma alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ ve sıcaklık ilişkisi .....	70
Şekil 34. Çalışma alanında bulunan suların $^3\text{H}$ ve EC ilişkisi .....	71
Şekil 35. Çalışma alanına ait suların $^3\text{H}$ ve sıcaklık ilişkileri .....	72
Şekil 36. Farklı doğal ortamlardaki $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değerinin değişim aralığı .....	73
Şekil 37. Farklı malzeme ve ortamlarda kükürt ve kükürt bileşiklerinin $^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ değerleri (Krouse, 1980) .....	74
Şekil 38. Kayaçlarda bulunan iz element konsantrasyonları .....	79
Şekil 39. Çalışma alanındaki kayaçlarda (Haskin vd., 1968) kondrite göre normalize edilmiş NTE dağılımları .....	81
Şekil 40. Çalışma alanındaki sularda (Evens vd., 1978) kondrite göre normalize edilmiş NTE dağılımları .....	81
Şekil 41. Su ve kayaçların iz element dağılımları.....	86
Şekil 42. İlica (Şavşat- Artvin) jeotermal sahasının hidrojeolojik kavramsal modeli .....	91

## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Artvin Şavşat İlçesi ortalama sıcaklık ve yağış değerleri (MGM, 2013-2017) ve Thornthwaite yöntemine göre hazırlanmış hidrolojik bilanço (Yükselti:1125 m, Enlem 41° 24K, Boylam: 42° 32D) (*: Kar yağışı değerleri eklenmiş veriler) .....	7
Tablo 2. Ilıca (Şavşat) Jeotermal Sahasında örnekleme yapılan noktaların koordinatları ve kotları .....	31
Tablo 3. Şavşat jeotermal sahasındaki suların ait fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	33
Tablo 4. Şavşat jeotermal alanındaki sularda bulunan eser elementler (ppb).....	43
Tablo 5. Çalışma alanında örnekleme yapılan noktaları kirlilik analiz değerleri .....	51
Tablo 6. Ilıca (Şavşat) jeotermal sahasındaki suların IAH (1979)'a göre sınıflaması .....	54
Tablo 7. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait SI değerleri .....	59
Tablo 8. Şavşat-Ilıca jeotermal alanındaki sıcak su kaynağına ait silis jeotermometre uygulamaları (ILICAS: SiO <sub>2</sub> = 125.8 mg/l).....	63
Tablo 9. Şavşat-Ilıca jeotermal sahasında silis-entalpi karışım modeline göre hesaplanan hazne kaya sıcaklığı ve karışım oranı .....	67
Tablo 10. Çalışma alanında bulunan sulara ait izotop verileri.....	68
Tablo 11. İçme suyunda izin verilen radyoaktivite konsantrasyonları .....	76
Tablo 12. İnceleme alanından alınan su örneklerinde radyoaktivite düzeyleri.....	76
Tablo 13. Kayaç örneklerine ait ana oksit değerleri (değerler % olarak verilmiştir).....	77
Tablo 14. Kayaç ve su örneklerine ait iz element analiz sonuçları .....	78
Tablo 15. Su ve kayaçlara ait nadir toprak element analiz sonuçları (kayaç örnekleri ppm, su örnekleri ppb olarak verilmiştir) .....	80
Tablo 16. Su-kayaç etkileşimine bağlı olarak belirlenen sonuçlar (Hounslow, 1995'den düzenlenmiştir) .....	83
Tablo 17. Katyon, anyon ve kalsit doygunluk indeksi değerleri (Hounslow, 1995) .....	84
Tablo 18. Katyon ve anyon değişimine bağlı olarak kayaç-su etkileşimi ve kalsit doygunluk indeksine göre kimyasal olaylar (Hounslow, 1995) .....	85
Tablo 19. Jeotermal sahaların akışkan sıcaklıklarına göre sınıflandırılması .....	88

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Dünyada enerji, sürekli ve artan bir ihtiyaçtır. Bu ihtiyaç doğalgaz, kömür, petrol, hidroelektrik ve nükleer santraller gibi enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Ancak bu tür enerji kaynakları çevreye verdikleri zararlardan ve tükenebilir enerji kaynağı olduklarından dolayı araştırmacılar çevreye daha az zarar veren ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak jeotermal, rüzgâr, su, güneş, deniz akıntıları ve dalga enerjileri kullanılmaktadır (Lund ve Freeston, 2001).

İnsanoğlu ilk çağlardan başlayıp yakın geçmişe kadar jeotermal enerjiyi sadece tedavi amaçlı kullanmıştır. Ancak günümüzde jeotermal enerji doğrudan veya dönüştürülerek çeşitli enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. 20. yüzyıl başına kadar sağlık ve yiyecekleri pişirme amacı ile yararlanılan jeotermal kaynakların kullanım alanları gelişen teknolojiye bağlı olarak günümüzde çok yaygınlaşmış ve çeşitlenmiştir. Bunların başında elektrik üretimi, ısıtmacılık, soğutmacılık, kurutmacılık ve endüstrideki çeşitli kullanımlar gelmektedir (URL-1).

Sıcaklığı 20-70°C arasında değişen düşük sıcaklık sahaları endüstride, kimyasal madde üretiminde ve ısıtmacılıkta kullanılmaktadır. Sıcaklığı 70-150°C arasında değişen orta sıcaklıklı sahalar ve sıcaklığı 150°C'den yüksek olan yüksek sıcaklıklı sahalar sanayide kurutma, ısıtma ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır.

Ülkemizin jeolojik ve tektonik yapısındaki çeşitliliğin fazlalığına bakıldığında termal sular bakımından oldukça zengindir. Ülkemizde açılan jeotermal kuyuların sayısı 1500'den fazladır (Yılmaz, 2013). Ülkemizdeki jeotermal enerji kaynağının %79'u Batı Anadolu'da, %8,5'i Orta Anadolu'da, %7,5'i Marmara Bölgesinde, %4,5'i Doğu Anadolu'da ve %0,5'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal kaynaklarımızın %94'ü düşük ve orta sıcaklıklı olup, doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, mineral eldesi vs.) için uygun olup, %6'sı ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur (URL-2).

Ülkemizde son zamanlarda sondajlar ile jeotermal sistemlerin araştırılması ve tespit edilmesi için birçok yatırım yapılmaktadır. Şavşat (Artvin) jeotermal Sahası da bu bölgeler içerisinde yer almakta ve işletilmeye açılmasıyla bölgeye hem turizm hem de ekonomik açıdan katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Şavşat Jeotermal Sahası'nda, jeotermal aktivite belirtisi olarak geçmiş yıllarda boşalımı olan ve yaklaşık 38°C sıcaklıklı kaynak grubunun olduğu belirtilmektedir (Akkuş ve diğ., 2005). 2016 yılında alanda özel bir firma tarafından yaklaşık 120 m derinlikte kuyu açılmış ve 40°C sıcak su elde edilmiştir, ancak mevcut sıcak su kaynakları kurumuştur. Bu çalışmanın amacı Şavşat Jeotermal Sahası'nda suların hidrokimyasal özelliklerini, köken ve beslenme yükselticilerini belirlemek, sıcak suların oluşum mekanizmasını açıklamak ve sistemin hidrojeolojik kavramsal modelini oluşturmaktır.

Bu amaç doğrultusunda öncelikle alanın amaca uygun jeoloji ve hidrojeoloji haritaları hazırlanmıştır. Bunun için alanda daha önce yapılmış 1/500 000 ve 1/25 000 ölçekli jeoloji haritaları arazi çalışmaları ile revize edilmiş ve çalışmanın amacına uygun olarak yeniden düzenlenmiştir.

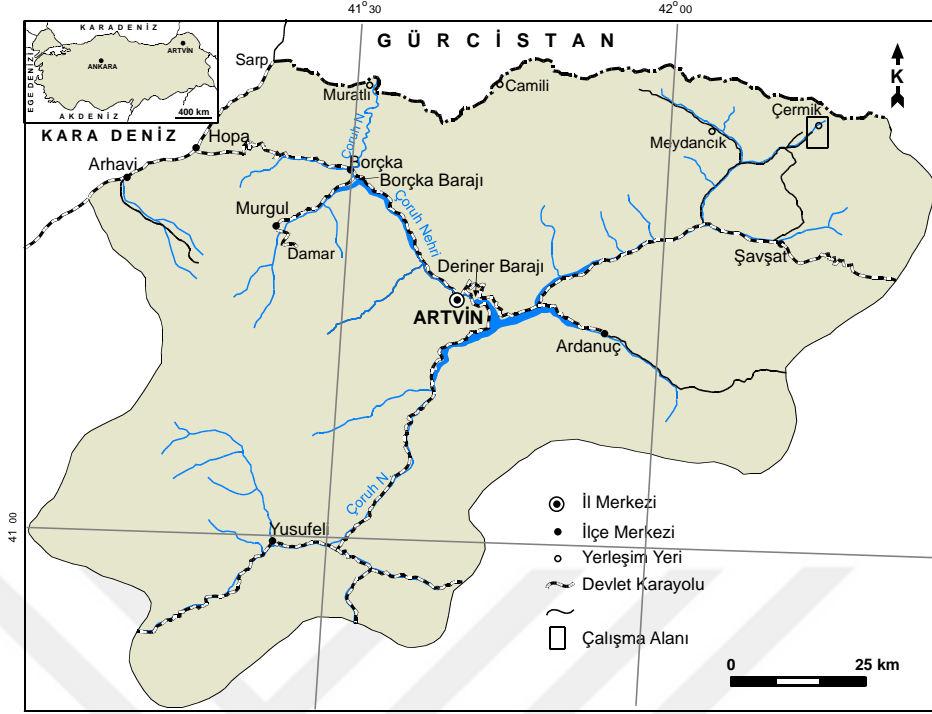
Hidrokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi için çalışma alanında yer alan sıcak sulardan, maden suyu kaynağından, yeraltı sularını temsilen soğuk kaynak suyundan ve yüzey suyundan, yağışlı, kurak ve ara dönem olmak üzere dört dönemde su örnekleri alınmıştır. Jeotermal sistemin beslenme- boşalma bölgelerinin ve suların kökenlerinin belirlenmesi için jeotermal, soğuk kaynak ve yüzey sularından oksijen-18, döteryum, karbon-13, kükürt-34 izotop analizleri yapılmıştır.

Ayrıca jeotermal suların temas ettiği kayaç türlerini belirlemek amacıyla, sahada yüzeylenen kayaçların da tüm kayaç analizleri yaptırılarak su-kayaç ilişkisi incelenmiştir.

Çalışmalar sırasında elde edilen haritalar ArcGIS (ArcMap 10.3) ortamında sayısallaştırılmıştır.

## 1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Morfolojisi

Çalışma alanı, Artvin İli'nin yaklaşık 80 km doğusunda Şavşat İlçesi sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanını kapsayan hidrolojik havza 1/25 000 ölçekli F48b1, F48b2, F48b3, F48b4 ve F49a1 paftaları içerisinde yer almakta ve yaklaşık 139 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Şavşat ilçesinin kuzeyinde Gürcistan, doğusunda Ardahan, güneybatısında Ardanuç ve kuzeybatısında ise Borçka ilçesi vardır. Engebeli bir morfolojiye sahip olan çalışma alanında denizden yükseklik 850 m ile 3150 m arasında değişmektedir. (Şekil 3). Havzadaki yükseltileri 2630 m ile Görizil Tepe, 2169 m ile Pisdahale Tepesi oluşturur.

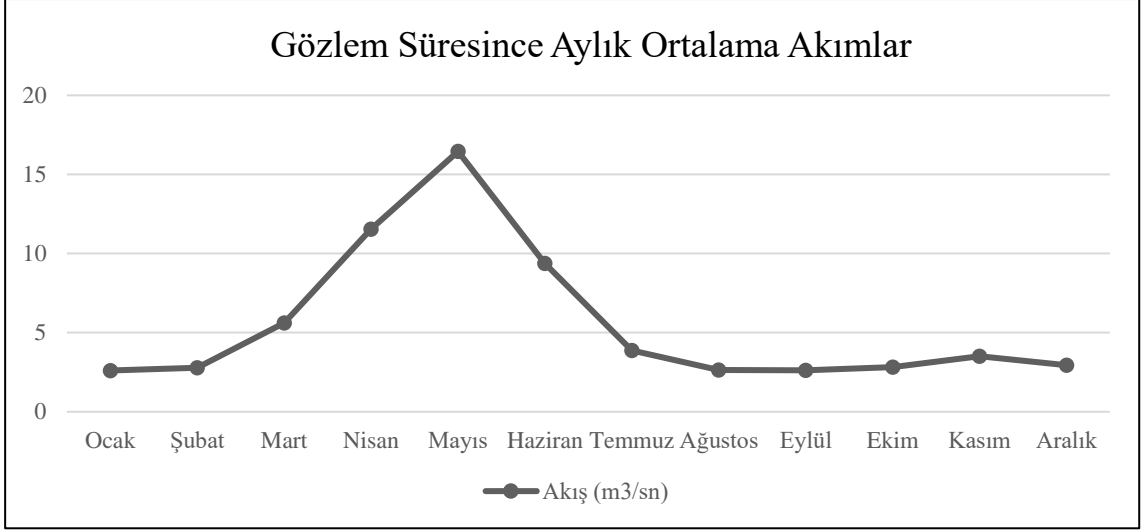
#### 1.4. Akarsular

Çalışma alanındaki akarsulara ait akım değerlerinin ölçümü DSİ 24. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılmaktadır.

Havzanın ana akarsuyu KD-GB yönünde havzayı drene eden Akdamla Deresi'dir. Çermik Dere, Arsiyan Dere ve Fındıklı Dere ise yan kolları oluşturur. Havzadaki nispeten düzlük alanlarda köy ve yayla yerleşimleri mevcuttur.

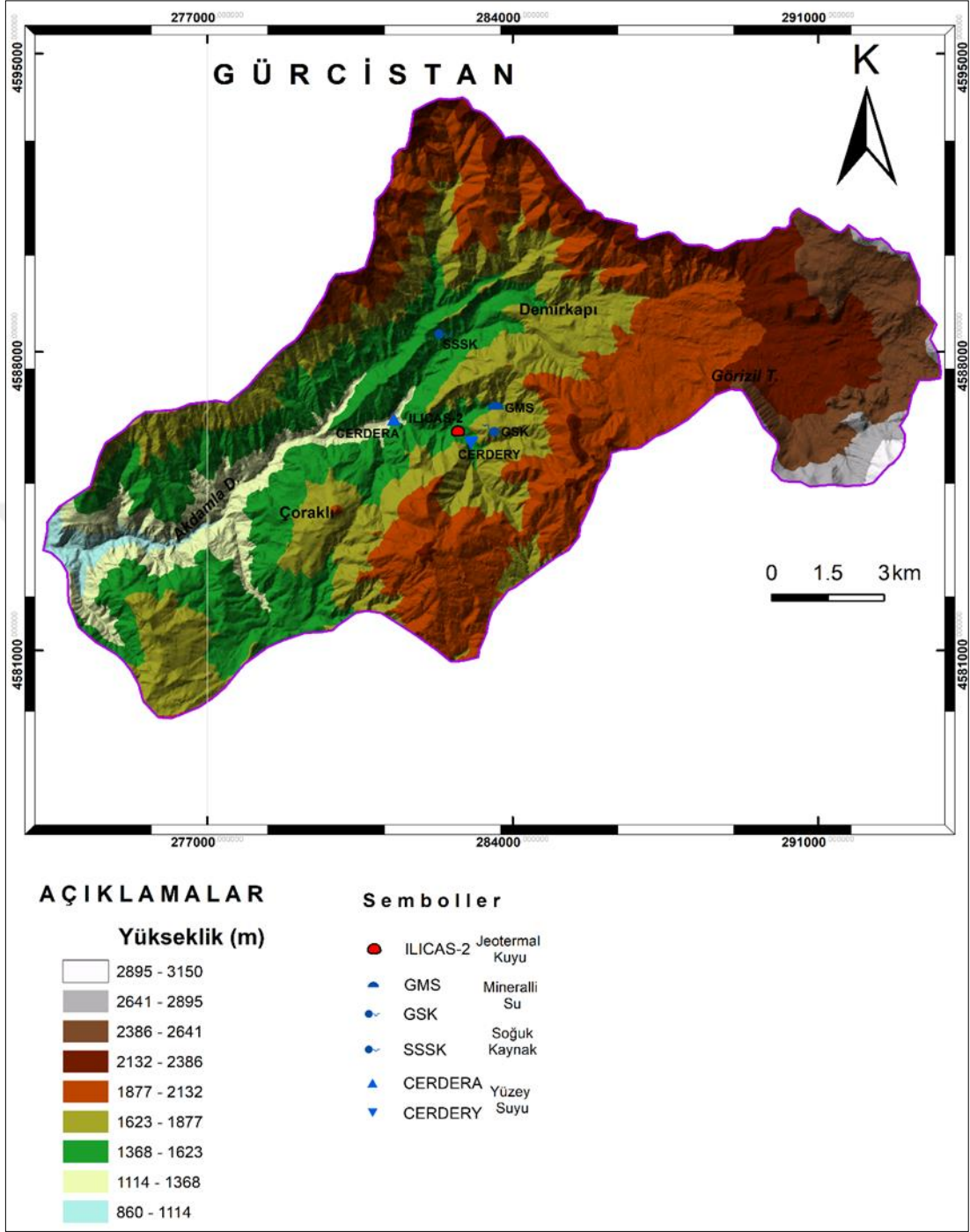
Şavşat İlçesi'nde bulunan 830 m. yükseklikte ve 367.5 km<sup>2</sup> lik yağış alanına sahip Mansurat Deresi kolu üzerinde bulunan Şavşat istasyonuna ait 1990-2011 yılları arasında ölçülmüş ortalama akım değerleri Şekil 2'de görülmektedir.





Şekil 2. DSİ'nin Çoruh Havzası'na bağlı Mansurat Deresi üzerinde bulunan akım gözlem istasyonunun 1920-2011 yıllarına ait ortalama akım değerleri

Grafik incelendiğinde Mansurat Deresi'nde ortalama akım değerlerinin en yüksek olduğu ay 16.45 m<sup>3</sup>/s ile Mayıs ayı, en düşük olduğu ay ise 2.61 m<sup>3</sup>/s ile Eylül ayıdır.



Şekil 3. Çalışma alanının yükseklik modeli

### 1.5. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanında her mevsim yağışlı, yazlar serin, kışları kıyılarda ılık, yükseklerde soğuk ve kar yağışlı olan Karadeniz İklimi hüküm sürmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan son on yılın ortalamalarına göre Şavşat İlçesinde yıllık ortalama yağış

(yağmur + kar) 899.3 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise 9.8°C'dir. Çalışma alanın bulunduğu bölgede en sıcak ay ortalama 22.1°C ile Ağustos ayıdır. En soğuk ay ise ortalama -2.26°C ile Aralık ayıdır. En yüksek yağış alan ay, kar ve yağmur yağışı ile birlikte 140.2 mm ile Şubat, en düşük yağış alan ay 38.5 mm ile Temmuz ayıdır. Şavşat Meteoroloji istasyonuna ait ortalama sıcaklık değerleri kullanılarak Thornthwaite Yöntemine göre aylık potansiyel buharlaşma-terleme değerleri hesaplanmıştır. Bu yöntemle göre aylık potansiyel (Etp) buharlaşma-terleme miktarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:

$$Etp=1,6*G*(10t/I)^a$$

Burada;

Etp: Aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (cm)

G: Aylık güneşleme faktörü

I: Yıllık sıcaklık indisi olup aşağıdaki formülle hesaplanmıştır;

$$I=\sum i$$

i: Aylık sıcaklık indisi olup aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır;

$$i=(t/5)^{1,514}$$

t: Aylık sıcaklık ortalaması (°C)

a: Yıllık sıcaklık indisine bağlı bir katsayı olup aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır;

$a=(6,75*10^{-7}*I^3) - (7,71*10^{-5}*I^2) + (1,79*10^{-2}*I) + 0,492$  Yağış ve hesaplanan potansiyel buharlaşma- terleme değerleri ile hidrolojik bilanço hazırlanmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Artvin Şavşat İlçesi ortalama sıcaklık ve yağış değerleri (MGM, 2013-2017) ve Thornthwaite yöntemine göre hazırlanmış hidrolojik bilanço (Yükselti: 1125 m, Enlem 41° 24K, Boylam: 42° 32D) (\*: Kar yağışı değerleri eklenmiş veriler)

	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	O	Ş	Yıllık
Ort Sıc (°C)	5.14	9.36	13.88	17.5	19.44	22.1	17.12	10.42	4.64	-2.62	-1.44	1.8	9.81
Yağış (mm)	45.8	59.4	96.1	91.3	38.5	76.4	54.3	58.9	57.1	55.6*	125.7*	140.2*	899.3
Pot. Buh. (mm)	20.4	44.3	78.6	104	119.5	129.1	84.3	43.5	14.6	0	0	4.8	643.1
Top Fay. Su Rezervi	100	100	100	87.3	6.3	0	0	15.4	57.9	100	100	100	
Ger. Buh.(m m)	20.4	44.3	78.6	104	119.5	82.7	54.3	43.5	14.6	0	0	4.8	566.7
Su Açığı (mm)	-	-	-	-	-	46.4	30	-	-	-	-	-	-
Su faz. (mm)	25.4	15.1	17.5	-	-	-	-	-	-	13.5	125.7	135.4	332.6
Yüz Akış (mm)	46.6	30.9	24.2	12.1	6.1	3.1	1.6	0.8	0.4	7	66.4	67.7	266.9

Hesaplamalar sonucunda Şavşat İlçesi'ndeki yıllık toplam potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 643,1 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) değeri ise 566,7 mm olarak bulunmuştur. Havzaya düşen yağışın yaklaşık %63'ü buharlaşma-terleme yoluyla tekrar atmosfere dönmektedir.

Hesaplanan bilanço incelendiğinde mart ayının sonuna kadar yağış, Etp'den fazladır. Bu yüzden bu aylarda su fazlası görülmektedir. Su fazlası topraktaki su rezervine eklenmektedir. Dolayısıyla Etr'nin meydana gelmesinde topraktaki faydalı su rezervi kullanılmıştır. Ağustos ve Eylül aylarında rezervde su bulunmamakla birlikte Eylül ayındaki gerçek buharlaşma-terleme değeri yağış değerlerine eşittir. Ekim ve Kasım aylarındaki yağış miktarları Etr'den fazla olup fazlalık olan su miktarı topraktaki rezervi tamamlamada kullanılmıştır.

Çalışma alanını çeşitli bitki örtüsüne ev sahipliği yapmaktadır ve bu çeşitlilik yüksekliğe göre değişim göstermektedir. Yüksek kesimlerde, 2000 m'li kotlarda yaylaların bulunduğu alanlar çimenlerle kaplı otlaklar mevcuttur. Çalışma alanının genelinde iğne yapraklı ormanlar mevcuttur. Daha alçak kotlarda ise yayvan yapraklı ormanlık alanlar ve yerleşim yerlerinde ise meyve ağaçlarından oluşan bitki örtüsü mevcuttur.

## 1.6. Önceki Çalışmalar

Karaköse, vd., (1994), söz konusu yörenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarını tamamlamak amacıyla başlatılmıştır. Ayrıca, çalışılan alandaki kayaların stratigrafisini belirlemek, yapısal özelliklerini ortaya çıkarmak, bölge volkanizmasının türü ve yaşı ile ilgili ayrıntıları olabildiğince açıklamaya çalışmak amaçlanmıştır.

Kara, (1997), Türkiye Termal ve Mineralli Sular Envanteri (Artvin) çalışmasında Ilıca (Şavşat-Artvin) sahasında Eosen yaşlı volkano-tortul kayalar içerisinde 36°C sıcaklıklı bir kaynağın boşaldığı ve kimyasal olarak sodyumlu, kalsiyumlu, bikarbonatlı sıcak sular sınıfında olduğunu belirtmiştir.

Konak vd., (1998) söz konusu bölgenin; genel jeoloji, jeomorfoloji, hidrojeoloji, su ve toprak kirliliği, kitle hareketleri, depremsellik, arazi kullanım potansiyeli, doğal kaynaklar, vb özelliklerin ayrıntılı olarak araştırılması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Akkuş vd, (2005), MTA'nın 2005 yılı Türkiye Jeotermal Envanterinde Çoraklı (Şavşat-Artvin) jeotermal alanı olarak adlandırılan sahada volkano-tortul seriler içerisinde D-B uzanımlı normal faya bağlı olarak yüzeye çıkan 36°C sıcaklıklı bir kaynağın bulunduğunu, kaynak civarında yüzeylenen kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı, tuf ve marn birimlerinden oluşan volkano-tortul serinin iyi bir rezervuar oluşturacağını belirtmişlerdir.

Tekkanat, (2013), Tepebaşı (Şavşat, Artvin) dasitlerinin çarpışma-sonrası ilerleyen ekstansiyonel bir ortamda yerleşmiş olup, egemen olarak mafik (eklojitik-amfibolitik) alt kıtasal kabuk türevli mağmalarla, zenginleşmiş litosferik manto türevli mağmaların karışımı sonucu oluştuğunu ve kısmi ergimeye neden olan kondaktif ısınma büyük olasılıkla astenosferik manto akışları ile ilişkili olduğunu belirtmiştir.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları, Nisan - Mayıs - Ekim 2016, Mart - Temmuz 2017 tarihlerinde jeolojik çalışmalar, yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları şeklinde yürütülmüştür. Çalışma alanının jeoloji haritasını hazırlamak için alana ait 1/25 000 ölçekli topoğrafik haritalar ve daha önce çeşitli araştırmacılar tarafından hazırlanmış 1/25 000 ve 1/100 000 ölçekli jeoloji haritaları kullanılmıştır. Eski çalışmalar arazide yerinde kontrol edilerek çalışma alanına ait 1/25 000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Jeolojik çalışmalar esnasında jeolojik birimleri temsilen kayaç örnekleri alınmıştır.

Arazi çalışmaları esnasında bölgenin jeolojik ve tektonik unsurları dikkate alınarak Şavşat Ilıca jeotermal alanında (Şekil 3) sıcak, soğuk ve yüzey su kaynaklarının yerleri tespit edilmiştir. Sıcak ve soğuk su kaynakları arasındaki mesafeler, morfolojik ve tektonik ilişkileri göz önünde bulundurularak örnekleme uygun noktalar belirlenmiştir.

Arazi çalışmaları sırasında yapılan ölçümler ile havzadaki sıcak su kaynağından, soğuk su kaynağından ve yüzey sularından pH, EC (elektriksel iletkenlik), T (sıcaklık), tuzluluk, TDS (Toplam Çözünmüş Madde Miktarı), DO (Çözünmüş Oksijen) ölçümleri yağışlı, ara dönem ve kurak dönemleri temsil etmek üzere dört defa YSI-556MPS model çoklu parametre ölçer ile yapılmıştır. Sıcak su kaynağından ise H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> gaz ölçümleri İbrid MX6 model portatif gazölçer ile yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. YSI çoklu parametre ölçer (a), gaz ölçüm aleti ve gaz ölçümü (b).

Ölçümler esnasında kullanılan probalar her ölçüm öncesi ve sonrası saf su ile temizlenerek korunmuştur. Her arazi çalışması öncesi tampon çözeltiler ile günlük kalibrasyon ayarı yapıldıktan sonra cihaz kullanılmıştır.

Su numuneleri polietilen özellikteki şişeler ile örneklenmişlerdir. Ağır metal analizleri için alınan su örneklerinde, örnek kabı içindeki elementlerin çökmesini veya kabın iç yüzeyine tutunmalarını önlemek için bu örneklere saf nitrik asit eklenerek pH değerinin 2'nin altına düşürülmesi sağlanmıştır.

İzotop analizleri ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  ve C-13) için 100 ml, majör anyon -kasyonlar, trityum ( $^3\text{H}$ ) ve S-34 analizleri için 500 ml ve radyoaktivite analizleri için de 1000 ml'lik polietilen numune kapları kullanılmıştır.

Arazi çalışmalarında hem çalışma yapılan bölgelerin hem de numune yerlerinin belirlemek amacıyla Android tabanlı GPS Durum programı kullanılmıştır. Numune alınan noktalar harita üzerinde işaretlenmiştir.

## **2.2. Laboratuvar Çalışmaları**

### **2.2.1. Petrografik Çalışmalar**

Laboratuvar çalışmaları, arazi çalışmalarından hemen sonra yapılmıştır. Çalışma alanını kapsayacak şekilde her bir formasyona ait araziden alınan yaklaşık 60 örnekten Karadeniz Teknik Üniversitesi İnce Kesit Laboratuvarı'nda ince kesitler hazırlanmıştır. İnce kesitlerden yararlanılarak jeolojik birimlerin mineralojik bileşimi ve dokusal özellikleri saptanmaya çalışılmıştır. İncelenen kesitler kayaç türlerine göre sınıflandırılmıştır. Bu kayaçlar da kendi içlerinde doku ve minerolojiye göre incelenmiştir. Bu incelemeler Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Nikon ECLİPSE E400 POL. marka polarizan mikroskopta yapılmıştır. Magmatik kayaçların sınıflandırılması, kayaç dokuları ve içerdiği minerallere göre yapılırken, sedimanter kayaçların sınıflandırılması ise mineral içeriklerine göre yapılmıştır. Alınan sedimanter örneklerde kumtaşı baskın bir şekilde gözlenmiştir. Bu yüzden Dott (1964)'e göre kumtaşı sınıflaması yapılmıştır. İncelenen ince kesitlerin fotoğrafları polarizan mikroskop yardımı ile çekilmiştir. Çekilen fotoğraflar bilgisayar ortamına taşınmış ve İmageJ adlı bilgisayar yazılımı yardımı ile tane sayımı işlemi yapılmıştır. Tane sayımı işlemi neticesinde kumtaşları içerdiği minerallere

göre sınıflandırılmıştır. Arazi çalışmalarında alınan kayaç numunelerine ait ince kesitlerin incelenmesi sonucunda elde edilen litolojik bilgiler ile jeoloji haritaları hazırlanmıştır.

### **2.2.2. Analiz Çalışmaları**

Çalışma bölgesinden alınan su örneklerinin majör anyon ve kation, iz element, izotop radyoaktivite analizleri yaptırılmıştır.

Alınan su örneklerinin kimyasal analizleri, Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü Su Kimyası Laboratuvarı'nda iyon kromatografi tekniği ve iz element analizleri ise İndüktif Eşlenik Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemi ile yaptırılmıştır. İzotop analizleri ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  ve C-13) ISO Analitik Laboratuvarı'da (İngiltere) İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (IRMS) tekniği ile yaptırılmıştır. Sıcak sularda bulunan sülfattaki S-34 ve  $\delta^{18}\text{O}$  analizleri ise İzotop Oranı Kütle Spektrometresi tekniği ile Isotope Tracer Technologies Inc. (Kanada) Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Tritiyum ( $^3\text{H}$ ) analizleri ise sıvı sintilasyon sayma tekniği ile Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü Kütle Analiz Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

Çalışma alanı ve çevresinden alınan kayaçların ana oksit ve iz element analizleri ise ACME Analitik Laboratuvarı'nda (Kanada) yaptırılmıştır.

### **2.3. Büro Çalışmaları**

Çalışma alanının mevcut 1/25 000 ölçekli topoğrafik haritaları ArcGIS (ArcMap 10.3) programından yararlanılarak sayısallaştırılmış ve elde edilen haritalar ile jeoloji haritaları ve sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur. Daha önceden koordinatları tespit edilen su örnekleme yerleri de oluşturulan haritalara işlenmiştir. Kimyasal analizler sonucu elde edilen veriler ise AquaChem 2012.1 programı yardımıyla yorumlanmıştır.





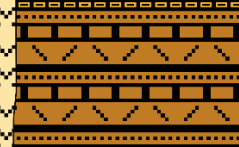
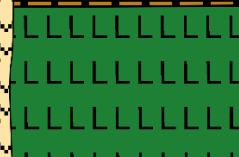


### **3. BULGULAR**

#### **3.1. Genel Jeoloji**

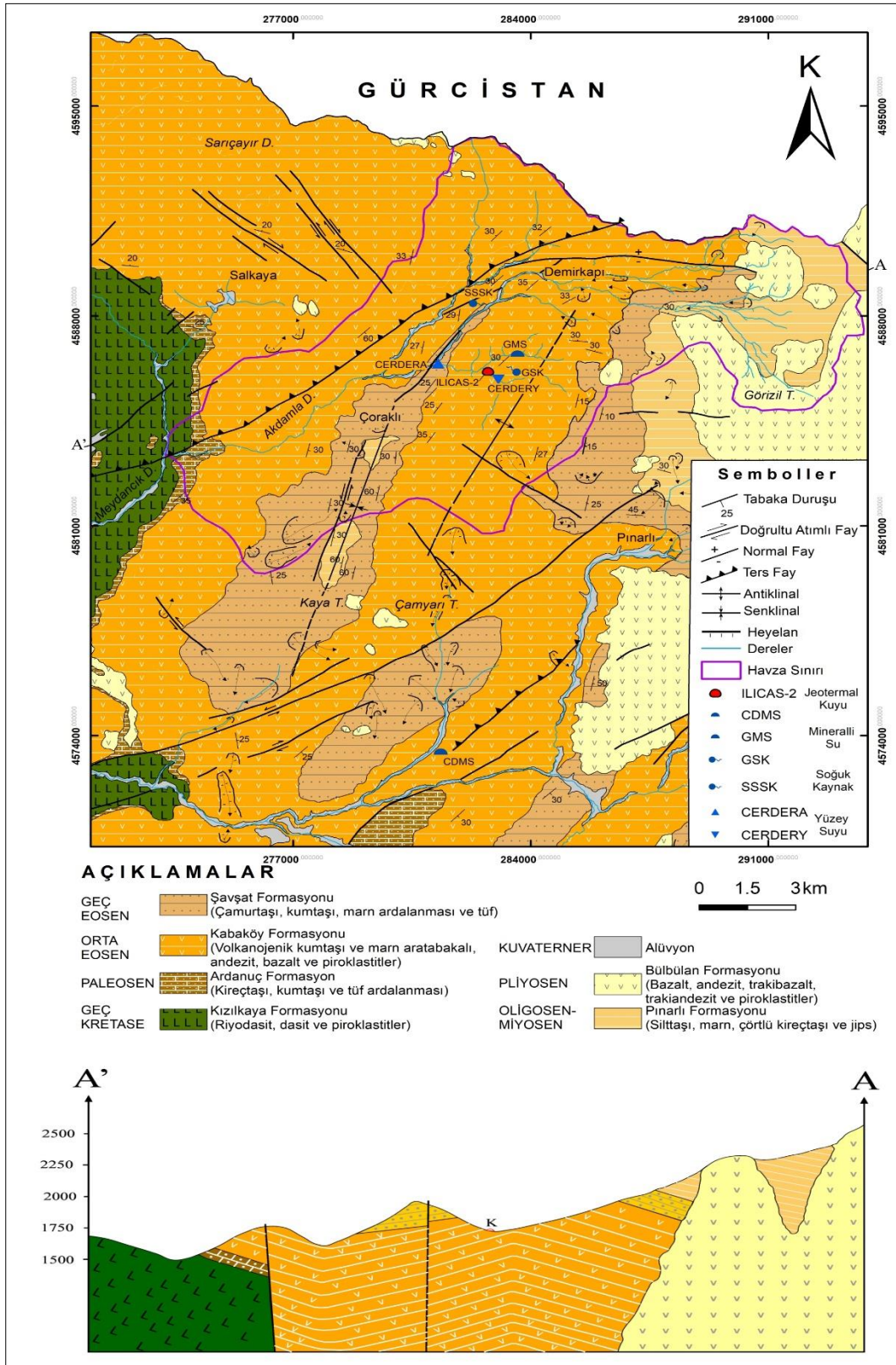
##### **3.1.1. Giriş**

İlica (Şavşat-Artvin) jeotermal alanında yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonu, Paleosen yaşlı Ardanuç Formasyonu, Orta Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu, Geç Eosen yaşlı Şavşat Formasyonu, Oligosen-Miyosen yaşlı Pınarlı Formasyonu, Pliyosen yaşlı Bülbülan Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyon yüzeylenmektedir (Şekil 5 ve Şekil 6).

DEVİR	DEVRE	ÇAĞ	FORMASYON	KALINLIK(m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
				0-10		Alüvyon
~ N E O J E N	P L I Y O S E N		B Ü L B Ü L A N	7 0 0		Bazalt, Andezit Trakibazalt, Trakiandezit ve piroklastlar
N	OLİGOCEN MİYOSEN		PINARLI	100-150		Kumtaşı, Silttaş, Marn ve Çörtlü Kireçtaş
	GEÇ EOSEN	ÜST LÜTESİYEN	Ş A V Ş A T	1 2 0 0		Kumtaşı, Silttaş, Marn, Çamurtaş ve Tüfler
P A L E O	ORTA EOSEN	LÜTESİYEN	K A B A K Ö Y	7 0 0 - 1 0 0 0		Andezit, Çamurtaş, Marn, Volkanojenik Kumtaş ve piroklastlar
	PALEOSEN		ARDANUÇ	2 0 0 ?		Kumtaş, Kireçtaş ve Tüf ar dalanması
KRETASE	GEÇ KRETASE	SANTONİYEN KAMPANIYEN	KIZILKAYA	~200		Riyodasit, Dasit ve Tüf ar dalanması

Ölçeksizdir

Şekil 5. Ilıca (Şavşat-Artvin) jeotermal alanının kolon kesiti



Şekil 6. Ilica (Şavşat-Artvin) alanının jeoloji haritası ve A-A' kesiti (Erendil vd, 1989 ve Konak vd, 1998'den sadeleştirilmiştir.)

### 3.1.2. Kızılkaya Formasyonu

Dasit, riyodasit türü volkanik kayalar ve piroklastları Espiye ilçesi Kızılkaya mevkiinde tipik olarak görülmüş ve Güven (1993) tarafından Kızılkaya Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanının kuzey batı kesiminde yüzeylenen dasit ve dasitik piroklastik kayalar için aynı adlama kullanılmıştır.

İnceleme alanında daha çok volkanojen silttaşı, kumtaşı, çakıltaşı araldanması ile temsil olunur. Kalın ve orta tabakalı olan bu bölümde kumtaşları kırmızımsı mor, silttaşları mavimsi yeşil renkte olup, çakıltaşları mor ve gri çakıllar kapsamaktadır. Bu bölüm volkanik kayaç ve piroklastikleri ile (tuf, aglomera) devam eder. Riyodasitler açık gri, çok sıkı ve sert görünümlüdür. Formasyonun üst kısmına doğru tuf ve tuf-breş özelliği gösteren kısımlar izlenir. Özellikle bu bölümlerde hidrotermal ayrışmalar yaygındır. Bu ayrışma türleri; silisleşme, serizitleşme, killeşme, limonitleşme ve kloritleşme şeklinde gelişmiştir. Birim içinde nadir olarak 1-10 m arasında değişen kalınlıkta kırmızı-bordo renkli çamurtaşları izlenmiştir.

Çalışma alanı dışında birimden alınan örneklerden belirlenen mikrofosillere dayanarak birime Senoniyen yaşı vermiştir (Güven,1993). Diğer taraftan Kızılkaya Formasyonu Kampaniyen-Maestrichtiyen yaşlı Çağlayan Formasyonu ile üstten uyumlu olarak örtülmektedir. Altta ise; Turoniyen-Santoniyen yaşlı Çatak Formasyonu izlenir. Bu sebeple Kızılkaya Formasyonu'nun yaşı, Santoniyen-Kampaniyen-Maestrichtiyen zaman aralığı olarak belirlenmiştir (Güven, 1993).

### 3.1.3. Ardanuç Formasyonu

Erendil vd, (1989) tarafından Ardanuç yöresindeki yüzeylenmelerine izafeten gri, beyaz renkli tortul birimler Ardanuç Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında filiş karakterinde yüzeylenen birim için aynı isim kullanılmıştır.

Birim gri, beyaz renkleriyle belirgin kireçtaşı, kumtaşı, tuf ve kıltaşı araldanmasından oluşmaktadır. Genellikle ince tabakalı olmalarına rağmen yer yer orta tabakalı olarak gözlenirler.

Paleontolojik ve stratigrafik bulgulara göre yaşları Paleosen olarak düşünülen ve eski çalışmalarda (Erendil vd, 1989) Ardanuç Formasyonu olarak isimlendirilen bu birimler,

Çalışma alanı dışında Geç Kretase yaşlı resifal kireçtaşları üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Erendil vd. (1989)'a göre yaşları Paleosen- Erken Eosen olarak belirtilen bu tortul seri üzerine Eosen yaşlı volkanik kayalar uyumsuz olarak gelmektedir.

### 3.1.4. Kabaköy Formasyonu

Güven (1993) Gümüşhane, Kabaköy yöresindeki kumtaşı-kumlu kireçtaşı ve marn ara seviyeleri içeren gri renkli andezit ve piroklastları ile yeşilimsi gri renkli andezit ve piroklastları ile yeşilimsi gri renkli, bol ojitli ve hornblendli bazalt ve piroklastları Kabaköy Formasyonu olarak adlandırmıştır. Benzer litolojik ve yaş özelliklerinden dolayı çalışma alanında gözlenen volkanoklastitler, ojit bazalt ve andezit türü kayalar da Kabaköy Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Birim Demirkapı Köyü civarında volkanojen kumtaşları ile başlar, piroklastiklerle devam eder. Alt kesimlerde volkanikler egemendir, ara katman olarak kalınca bir çamurtaşı düzeyi gözlenir. Bu seviyeden sonra yaklaşık 200 m kalınlığında andezit türü kayalar yüzeylenir (şekil 7 ve şekil 8).

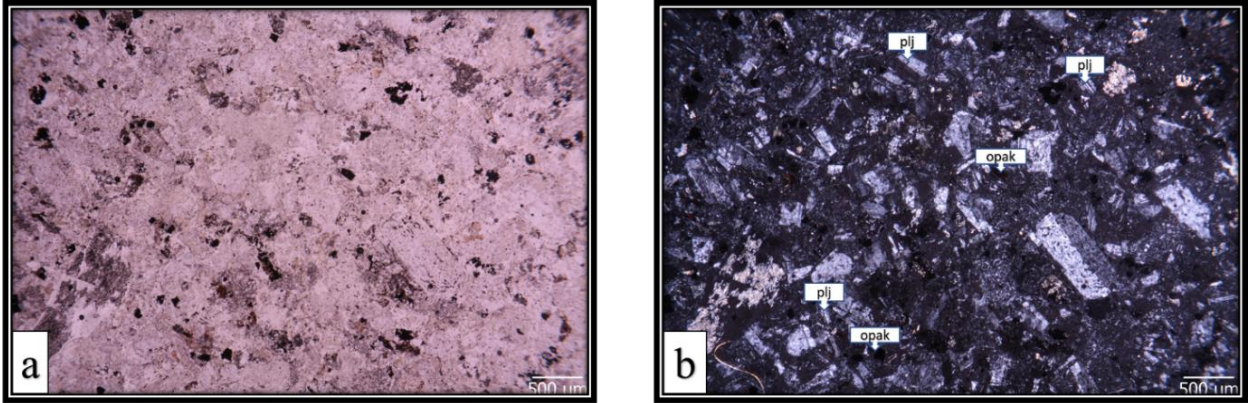


şekil 7. Ilıca Köyü civarındaki Kabaköy Formasyonu'na ait volkaniklastikler



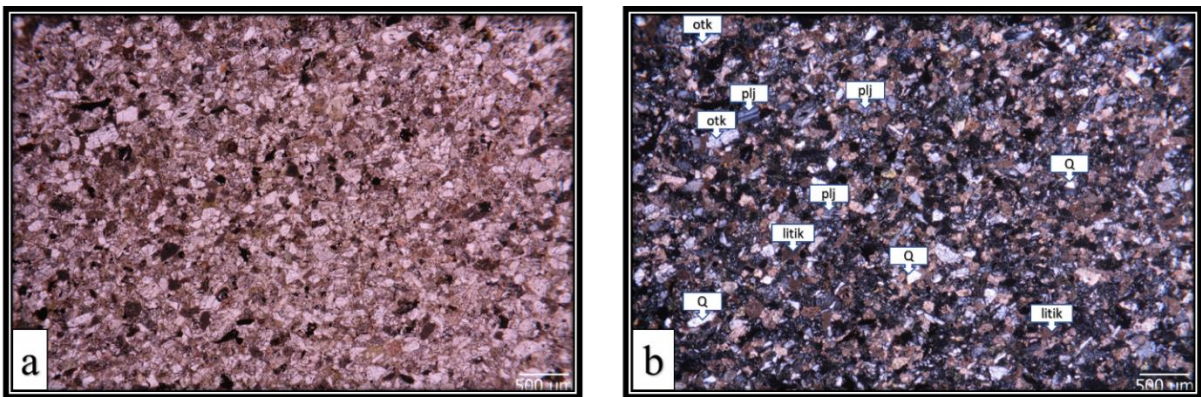
Şekil 8. Demirkapı Köyü civarında mostra veren andezitler

Birimin volkanik kayaçlarından alınan örneklerin mikroskobik incelemelerinde ojit bazalt oldukları belirlenmiştir. Genellikle mikrolitik porfirik ve hyalo-mikrolitik doku göstermektedirler. Kayaç içerisinde fenokristal olarak plajiyoklas, ojit ve opak mineral gözlenmektedir. İkincil mineral olarak bunlara kalsit ve klorit eşlik etmektedir. Plajiyoklas mineralleri genellikle fenokristal ve mikrolitler halinde bulunurlar. Çoğunlukla özşekilli, nadiren yarı özşekillidirler. Fenokristallerin çoğunda albit ikizi gözlenmektedir. Ayrıca karmaşık ikiz ve zonlanma gösteren plajiyoklas fenokristallerine rastlamak da mümkündür. Alterasyona maruz kalmış olanlarda daha çok serisitleşme hakimdir. Ojit fenokristal ve mikrofeno-kristalleri yarı özşekilliden özşekilsiz kadar değişmektedir. Bol olarak çatlaklı ve kırıklı yapıya sahip ojitler, opak mineral ve volkanik cam inklüzyonları içermektedir. Bazı ojitler tamamen kloritleşmişlerdir. Opak mineraller, çoğunlukla ferromagnezyen minerallerde kapanım, nadiren de hamur içerisinde köşeli ve yuvarlaklaşmış taneler halinde gözlenirler (Şekil 9).



Şekil 9. Kabaköy Formasyonu'dan alınan volkanik kayalara ait örneklerden yapılan ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b): Çift nikol görüntüsü (plj: plajioklas, opak: opak mineraller)

Kabaköy Formasyonu'na ait tortul kayalardan alınan örneklere göre bu formasyonda kumtaşları baskın bir şekilde yayılım göstermiştir. Alınan kayaç örneklerinin ince kesitleri hazırlanıp mikroskop altında hem tek nikol hem de çift nikol görüntüleri incelenmiştir. Aynı zamanda mineral içeriğine göre tane sayımı işlemi yapılmıştır. Tane sayımı neticesinde bu kayaç örneğinin içerdiği mineraller %44 feldspat %35 litik tane %16 kuvars ve içerdiği ve matriks içeriğinin ise %5'den düşük olduğu saptanmıştır. Tane boylarının ise 40-500µm arasında olduğu gözlenmiştir (Şekil 10). Dott (1964) sınıflamasına göre bu örneğin arkozik aranit olduğu belirlenmiştir.



Şekil 10. Kabaköy Formasyonu'dan alınan tortul kayalara ait örneklerden yapılan ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b): Çift nikol görüntüsü. (litik: litik tane, Q: kuvars, otk: ortoklas, plj: plajioklas)

### 3.1.5. Şavşat Formasyonu

Çamurtaşı, kumtaşı, çakıltaşı gibi kırıntılı kayalar, killi ve kumlu kireçtaşları, en yaygın tüfler olmak üzere piroklastik ve volkanik kayalardan oluşan istif en tipik ve yaygın yüzeylemelerinin Şavşat dolaylarında gözlenmesinden dolayı Şavşat Formasyonu olarak adlanmıştır (Erendil vd, 1989).

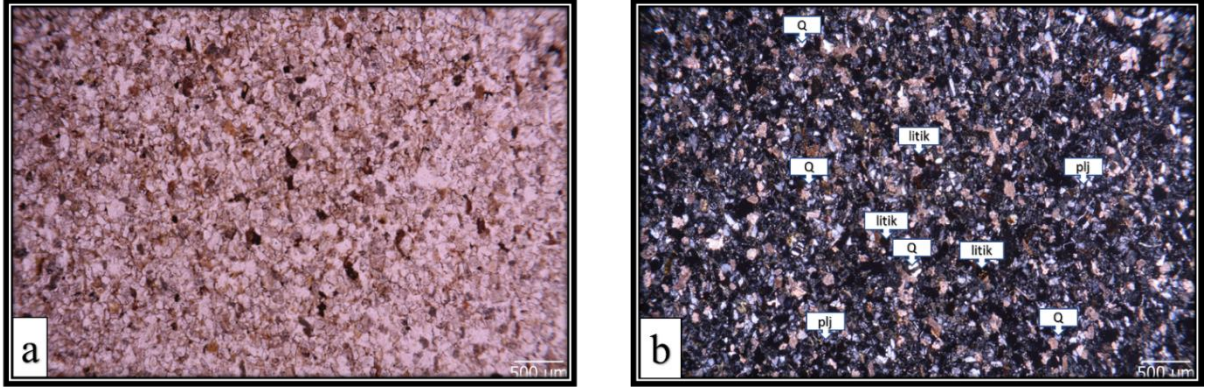
Şavşat Formasyonu çalışma alanında Çoraklı Köyü civarında çamurtaşı-silttaşı-kumtaşı ardalanması biçimindeki türbiditik özellikte yüzeyleme verir. Birim altta yuvarlak küçük çakıllar içerir, üst kesimlerinde sarımsı renkte kumtaşı, silttaşı ve marnlardan oluşur (Şekil 11).



Şekil 11. Çoraklı Köy civarındaki kumtaşı, silttaşı ve marn ardalanması

Şavşat Formasyonu'nun kumtaşlarına ait ince kesitlerin incelenmesi sonucunda bu kayaçların %54 feldspat, %23 litik tane, %19 kuvars içerdikleri ve matriks içeriğinin %5'den az olduğu anlaşılmıştır (Şekil 12). Bu bileşimlere göre, kumtaşı örneği Dott (1964) sınıflamasına göre arkozik aranit olduğu belirlenmiştir.





Şekil 12. Şavşat Formasyonu'ndan alınan tortul kayalara ait örneklerden yapılan ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b): Çift nikol görüntüsü (Q: kuvars, otk: ortaklaş, litik: litik tane, snd: sanidin)

Birimden alınan örneklerde saptanan *Cribozentrum coenurum* (ROTH), *Sphenolithus moriformis* (BRONNIMANN VE STRADNER), *Reticulofenestra umbilica* (LEVİN), *Reticulofenestra reticulata* (GARTNER), *Cyclicargolithus floridasnus* (ROTH VE HAY), *Coccolithus formosus* (KAMPTNER), *Ericsonia formosa* (KAMPTNER) fosillerine göre Üst Lütésiyan yaşı verilmiştir (Erendil vd, 1989).

Birimin alt seviyeleri çalışma alanı dışında ve güneyinde Konak vd. (1998) tarafından adlanan Bulanıkdere formasyonunun bir kesimiyle denestirilebilir.

### 3.1.6. Pınarlı Formasyonu

Başlıca kumtaşı ve silttaşı araldanmasından oluşan ve Şavşat Pınarlı Köyü yöresinde tipik yüzeylenmeler veren birim Karaköse vd, (1994) ve Konak vd, (1998) tarafından Pınarlı Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

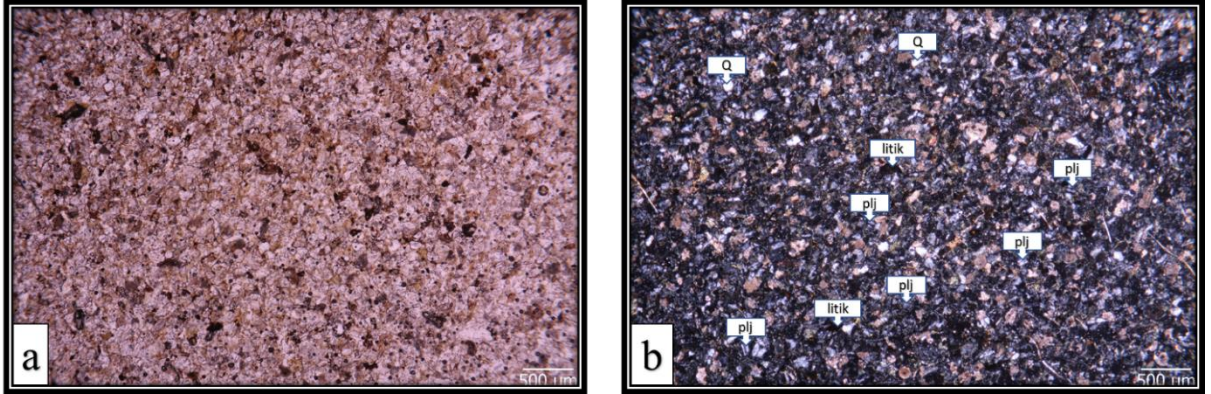
Çalışma alanında Pınarlı Köyü çevresinde ve kuzeyinde yüzeyleme veren birim, silttaşı, marn, gölsel çörtlü kireçtaşı ve jips merceklerinden oluşur. Birim içerisinde değişik boyutlarda heyelanlar gözlenir. Birimin egemen kaya türleri kumtaşı ve silttaşıdır. Genellikle gri renkli ve orta tabakalı olan bu kaya türleri arasında marn ve gölsel çörtlü kireçtaşı ara katkıları ve jips mercekleri gözlenir Birim arazide kırmızı, pembe ve yeşilimsi gri renkleriyle dikkat çekmektedir. Renklerinin karakteristik olmaları ve içerdikleri jipsten dolayı eski çalışmalarda Alacalı Jipsli Seri olarak tanımlanmıştır. Genellikle gevşek kum, kumtaşı, konglomera ve marn

ardalanmasından oluşan bu kayaçlar yer yer iyi tabakalanma gösterirler. Birimin karasal rejim özelliği gösterdiği ve moloz karakterinde olduğu belirtilmiştir (Konak vd, 1998) (Şekil 13).



Şekil 13. Pınarlı Formasyonu'na ait birim ve meydana gelmiş olan bir heyelan

Pınarlı Formasyonu'ndan alınan kayaç örneklerinden ince kesitler yaptırılmıştır. Yapılan ince kesitlerden kumtaşlarına ait olanlar mikroskop altında hem tek nikol hem de çift nikol görüntüleri incelenmiştir (Şekil 14). İncelenen bu kesit mineral tanelerine göre sayılarak kum taşı sınıflaması yapılmıştır. Bu sınıflama neticesinde bu örnekte %62 feldspat, %24 litik tane, %11 kuvars ve %5'in altında da matriks içeriği olduğu belirlenmiştir. Bu örnek Dott (1964) sınıflamasına göre bu örneğin arkozik aranit olduğu belirlenmiştir.



Şekil 14. Pınarlı Formasyonu'na ait tortul birimin örneklerden yapılan ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b): Çift nikol görüntüsü (Q: kuvars, litik: litik tane, plj: plajiyoklas)

Birim Orta Eosen yaşlı Şavşat Formasyonu üzerine açısal uyumsuzlukla gelmektedir (Erendil vd, 1989). Birimin yaşı Karaköse vd, (1994)'e göre Hipparion sp. fosil bulgusuna dayanarak Geç Miyosen olarak belirlenmiştir.

### 3.1.7. Bülbülan Formasyonu

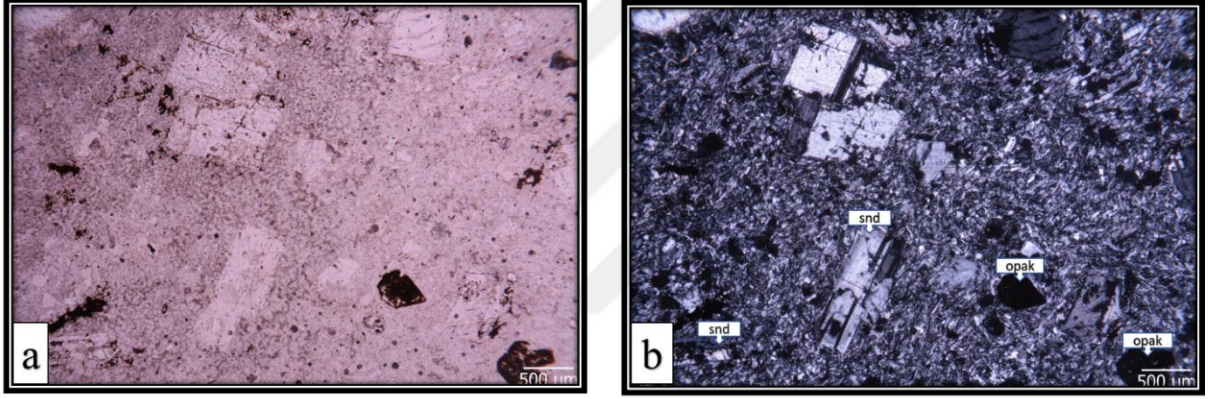
Genellikle andezit ve yer yer bazaltlardan ve bunlara ait tüf ve aglomeralardan oluşan birim Bülbülan Yayla Hanları dolaylarında tipik yüzeylemeleri görüldüğünden Erendil vd, (1989) tarafından Bülbülan Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında yüzeylenen trakibazalt, hornblend andezit ve piroklastik kayalar için aynı isim kullanılmıştır.

Çalışma alanında Görizil Tepe dolaylarında, Çamyarı ve Kaya Tepelerinde bazalt, andezit, trakibazalt, trakiandezit ve piroklastitler şeklinde yüzeyleme verir. Andezitler kırmızımsı gri, kahverengi, grimsi yeşil, açık koyu gri renklidirler. Aglomeralar gri ve alacalı, litik ve kristal tüfler ise açık gri, beyazımsı gri renklidir. Birime ait volkanik kayaların mikroskobik incelemelerinde volkanik kayaların trakibazalt, trakiandezit, hornblend andezit ve altere türlerinden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 15).



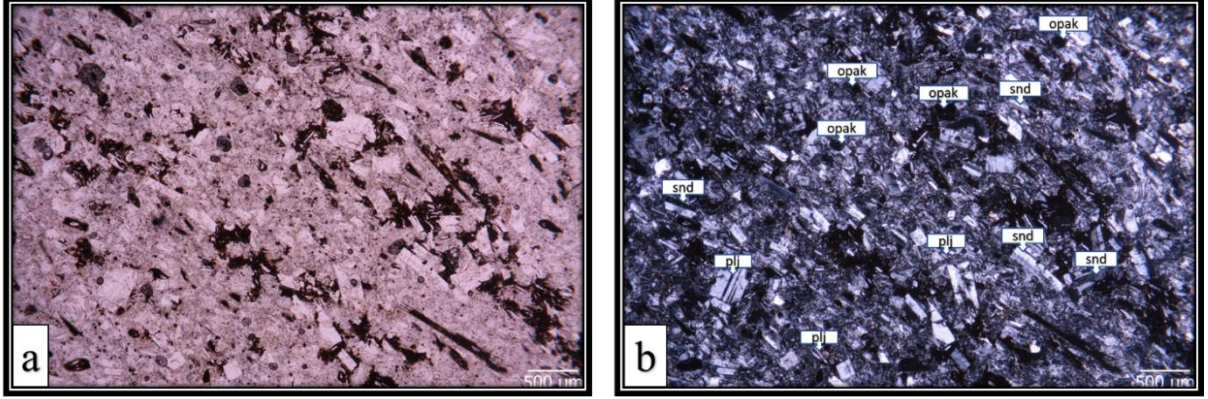
Şekil 15. Görizil Tepe eteklerinde Bülbülan Formasyonu'na ait trakiandezitler

Trakibazaltlar genelde mikrolitik, trakitik ve flüidal dokuya sahiptirler. Volkanik cam içeren hamur içerisinde çoğunlukla plajiyoklas mikrolitleri, daha az miktarda da ojit mikrokristalleri gözlenmektedir. İkincil mineral olarak kalsit bu minerallere eşlik etmektedir. Plajiyoklas kristalleri genellikle mikrolitler, nadiren de fenokristaller halinde gözlenmektedirler. Mikrofenokristaller daha çok kısa latalar şeklindedir. Hamurda bol olarak gözlenen plajiyoklas mikrolitleri flüidal doku oluştururlar. Ojit mineralleri yarı özşekilli ve özşekilsizdir. Daha çok hamurda kırılmış ve parçalanmış çok küçük mikrotaneler halinde, yer yer mikrofenokristaller halinde gözlenmektedir. Kalsit minerallerine ise çoğunlukla boşluk dolgusu şeklinde rastlanılmaktadır. Opak mineraller, genel olarak hamur içerisinde bol olarak çok küçük yuvarlaklaşmış taneler halinde gözlenirler.



Şekil 16. Trakibazaltlara ait ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b): Çift nikol görüntüsü (snd: sanidin, opak: opak mineral)

Trakiandezitler genelde mikrolitik porfirik, trakitik ve flüidal dokuya sahiptirler. Kayaç içerisinde fenokristal olarak plajiyoklas, sanidin, hornblend ve opak mineral gözlenmektedir. İkincil mineral olarak bunlara klorit eşlik etmektedir. Plajiyoklas kristalleri genellikle mikrolitler, nadiren de fenokristal ve mikrofenokristal halinde gözlenmektedirler. Mikrofenokristaller daha çok kısa latalar şeklindedir. Fenokristaller çoğunlukla çatlaklı ve kırıklı yapıya sahiptirler. Hamurda bol olarak gözlenen plajiyoklas mikrolitleri flüidal doku oluştururlar. Sanidinler, çoğunlukla özşekilli fenokristaller halinde olup, genelde enine çatlakları ile tipiktir. Hornblend mikrofenokristalleri yarı özşekilli olup, tamamen opaklaşmışlardır. Fenokristal halinde gözlenenler ise mızrak şekilli olup, çoğunlukla kenarlarından itibaren opaklaşmaya başlamışlardır. Yer yer hamurda mikrotaneler halinde de gözlenirler. Opak mineraller, genel olarak hamur içerisinde bol olarak çok küçük yuvarlaklaşmış taneler halinde gözlenirler.



Şekil 17. Trakiandezitlere ait ince kesit görüntüleri (a): Tek nikol görüntüsü, (b) Çift nikol görüntüsü (opak: opak mineral, snd: sanidin, plj: plajoklas)

Bülbülan Formasyonu kendisinden daha yaşlı birimler (Şavşat Formasyonu ve Pınarlı Formasyonu) üzerinde açısız uyumsuzlukla yer alırlar. Karaköse vd (1994)'ün Posof Volkanitleri, Ardahan Volkanitleri ve Ulgartepe Andeziti olarak tanımladıkları Geç Miyosen - Erken Pliyosen'den - Pleyistosen yaşlı kayalarla denştirilerek birimin yaşı Pliyosen - Pleyistosen olarak belirlenmiştir (Erendil vd, 1989).

### 3.1.8. Alüvyon

Çalışma alanında alüvyal çökeller Akdamla Deresi üzerinde ve yan kolu olan aynı zamanda sıcak su çıkış noktasının da bulunduğu Çermik Dere boyunca yayılım göstermektedir.

## 3.2. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanının da içinde bulunduğu Artvin bölgesi Doğu Pontid tektonik birliği içerisinde yer almaktadır. Bu bölgedeki kayalar Alp Orojenizinin etkisi altında kalmıştır Bu Orojenik faaliyetlere bağlı olarak dağ oluşumları meydana gelmiştir. Bu dağ oluşum hareketleri sonucunda bölgede uyumsuzluklar, kıvrımlı ve kırıklı yapılar, blok faylanmalar ve bindirmeler oluşmuştur. Bölgede etkili olan Alp Orojenezi nedeniyle, kıvrım ve kırık tektoniği iyi gelişmiştir. Bölgedeki kıvrımlı yapılar Paleosen yaşlı flişlerde ve Eosen yaşlı volkanotortul kayalarda belirgin olarak izlenmektedir. Yine aynı kuvvetin etkisiyle formasyonlar kırılmış ve faylanmıştır. Çalışma alanında bazı yörelerde izlenen bindirmeler bölgenin bir sıkışma etkisi altında kaldığını göstermektedir (Yılmaz vd, 1992).

Çalışma alanının tektoniğini etkileyen birbirine paralel KD-GB doğrultu 2 ana fay türü mevcuttur. Çalışma alanında kırılmaların daha çok yaygın olduğu, hemen her tür kayada kırık ve çatlakların gelişmesi ile belirgindir. Bu kırık ve çatlakların genel doğrultusu KB-GD ve D-B'dir. Ayrıca daha az olarak KD-GB ve K-G doğrultusunda gelişmiş kırıklar da izlenmektedir.

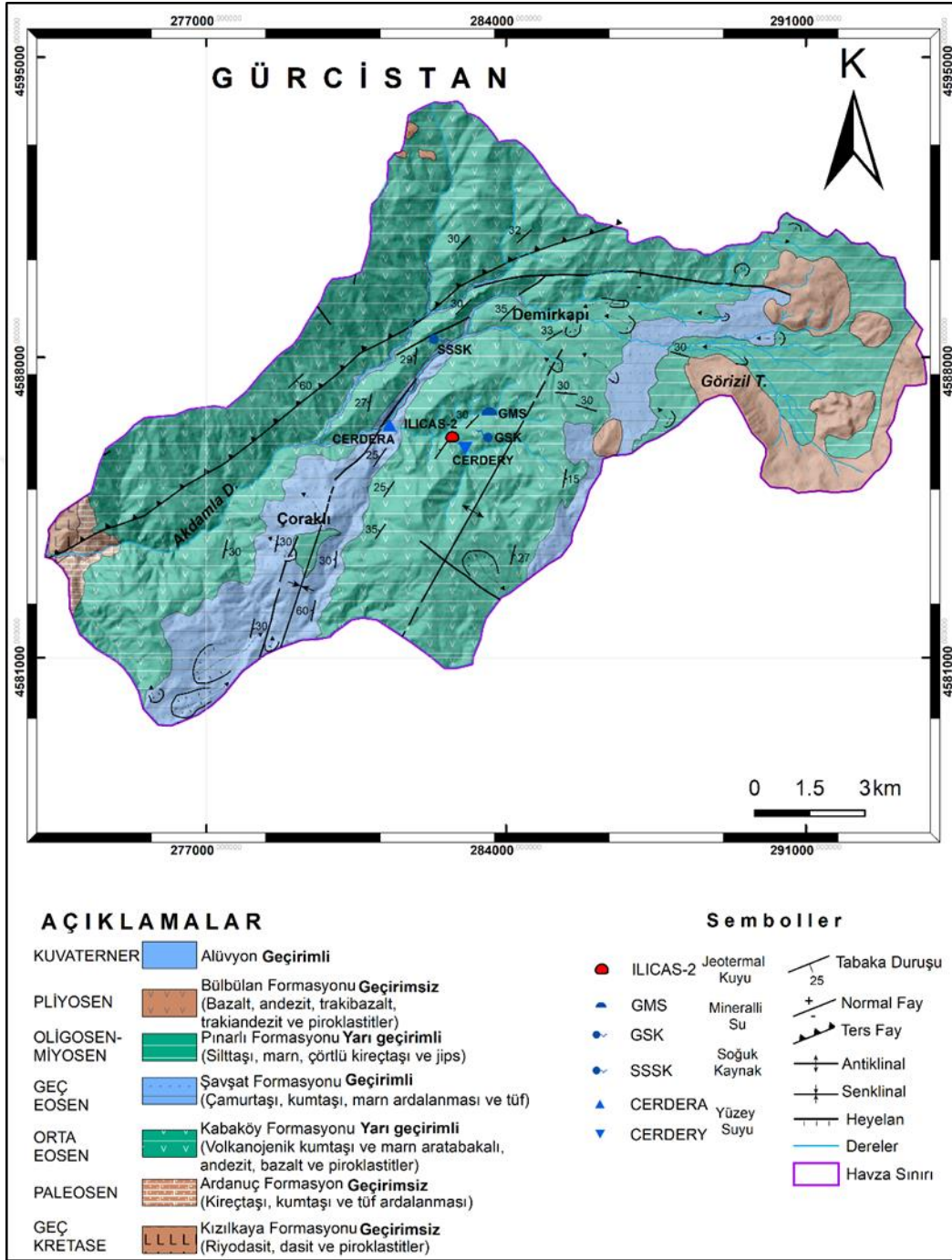
Tabakalaşmalar Şavşat Formasyonu, Kabaköy Formasyonu, Ardanuç Formasyonu ve Pınarlı Formasyonları içerisinde bulunan tortul kayalarda oldukça belirgindir. Kalınlıkları 10 cm ile 60 cm arasında değişmektedir. Bunların doğrultu ve eğimleri belirli yönlerle sınırlı değildir. Ancak bir genelleme yapmak gerekirse; doğrultuların KB-GD ve KD-GB yönlerinde, eğimlerin ise 20–60 derece arasında K-G yönünde olduğu söylenebilir. Çalışma alanında Kabaköy Formasyonu oldukça yaygın bulunmaktadır ve faylar, kırıklar, kıvrımlar ve çatlaklar bu formasyon içinde oldukça yoğun bulunmaktadır. Kabaköy Formasyonu içerisinde KB-GD doğrultulu doğrultu atımlı faylar yine aynı doğrultuya sahip Kabaköy Formasyonu ile Şavşat Formasyonu arasında bulunan normal faylar mevcuttur. Büyük bir bölümü Kabaköy Formasyonundan geçen ve aynı zamanda bölgenin ana tektoniğini etkileyen faylardan biri olan ve Ardanuç ve Kızılkaya Formasyonlarını kesen KD-GB doğrultulu bir bindirme fayı mevcuttur. Bölgenin ana tektoniğini etkileyen diğer fay ise KD-GB doğrultulu ve doğrultu atımlı olan bu fay Kabaköy, Kızılkaya ve Ardanuç Formasyonlarını kesmektedir.

Pınarlı ve Şavşat Formasyonlarını kesen yaklaşık K-G doğrultulu bir senklinal vardır. Ayrıca Pınarlı Formasyonu içerisinde kıvrımlar irili ufaklı oldukça fazla bulunmaktadır. Kabaköy Formasyonu içerisinde ise KD-GB doğrultulu bir antiklinal bulunmaktadır.

### 3.3. Hidrojeoloji

#### 3.3.1. Formasyonların Hidrojeolojik Özellikleri

Çalışma alanında genellikle kırıntılı tortul kayalar ve volkanik kayalar yüzeylemektedir. Birincil poroziteleri yüksek olan çakıltası, kumtaşı ve silttaşı gibi kayaların geçirimli olmaları çimentolanma derecelerine göre değişiklik gösterir. Volkanik kayaların birincil poroziteleri düşüktür ancak soğuma sırasında gelişmiş yapıları ve tektonik faaliyetler çatlaklı olmalarını sağlamıştır. İnceleme alanındaki Geç Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonuna ait tüfler geçirimli dasit ve riyodasit türü volkanik kayalar geçirimsizdir. Paleosen yaşlı Ardanuç Formasyonunun kumtaşı ve tüflü seviyeleri geçirimli iken kireçtaşı ve kiltası düzeyleri geçirimsiz özelliktedir. Geniş yüzlekler veren Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu hem kırıntılı hem de volkanik kayalarla temsil edilir. Volkanojenik kumtaşları ve piroklastik seviyeleri ve oldukça kırıklı yapıya sahip olan ve genellikle andezit ve bazalt türü kayalardan oluşan volkanitler geçirimlidirler. Çamurtaşı-silttaşı-kumtaşı ardalanması şeklinde yüzeyleyen Şavşat Formasyonu geçirimli özelliktedir. Pınarlı Formasyonunun kumtaşı, silttaşı kireçtaşı ve marn ardalanmasından oluşan birimin kumtaşı ve silttaşı düzeyleri geçirimlidir. Ancak marn ve jipsli seviyeler geçirimsiz düzeyleri oluşturur. Genellikle alandaki yükseltileri oluşturan Bülbülân Formasyonuna ait piroklastik birimler geçirimli iken, volkanik birimler çatlaklı oldukları alanlarda geçirimlidirler (Şekil 18).



Şekil 18. Artvin-Şavşat jeotermal sahasının içerisinde bulunduğu Akdamla havzası'na ait hidrojeoloji haritası



### 3.3. Su Noktaları

#### 3.3.1. Akarsular

Çalışma alanının en önemli akarsuları her mevsim su taşıyan Arsiyan ve Akdamla Dereleridir. Mevsimlere bağlı olarak derelerin debileri oldukça değişiklik göstermektedir. Arsiyan deresinin Çermik Dere gibi her mevsim ve mevsimlik su taşıyan çok sayıda kolları mevcuttur (Şekil 19).



Şekil 19. İnceleme alanınınında yer alan Çermik Dere

Arsiyan Deresi, Akdamla Deresi ile birleşerek alanın batı kesiminde Meydancık Deresi'ne eklenir. Yüzeysel su ölçüm ve örneklemeleri Çermik Dere'sinde jeotermal sondaj yerinden yukarı kotlarda (CERDERY) ve sondaj yerinden aşağı kotlarda (CERDERA) olmak üzere iki noktada yapılmıştır.

#### 3.3.2. Soğuk Su Kaynakları

Çalışma alanında yamaç eteklerinde değişik debilerde boşalım yapan çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Bunların bir kısmı yüksek kotlardaki kar erimelerine bağlı olarak yazın veya

sonbaharda kurumakta, bir kısmı ise her mevsim akışa sahiptir. Debileri yaklaşık 1 l/dak civarında ve sürekli akışa sahip olan kaynaklar çeşitli şekillerde kaptaj edilmiş ve köylerin ve mahallelerin içme-kullanma suyu olarak uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Pınarlı Formasyonu içerisinde boşalan kaynaklar yer yer küçük gölcükler oluşturmuştur. Bu kaynaklar birim içerisinde çok sayıda heyelan türü kütle hareketlerine de neden olmuştur. Soğuk kaynak suyu ölçüm ve örnekleme için Ceylan Mahallesi'nde her mevsim akışı olan bir çeşme (ŞSSK) ve Çermik deresi havzasında sıcak kaynak çıkışlarının üst kotlarında her mevsim akışı olan ancak bir kaptaj yapısı bulunmayan Gündoğdu mahallesindeki bir kaynak (GSK) seçilmiştir (Şekil 20).



Şekil 20. Ceylan Mahallesi'nde örnekleme yapılan soğuk su kaynağı (ŞSSK)

Çalışma alanında Cirirdüzü Köyü'nde bulunan ilkel kaptaj yapısına sahip mineralli su kaynağı (CDMS) ve sıcak kaynak çıkış noktasına yakın ve yüzey sularının kısmen karıştığı bir kaynak (GMS) maden suyu örnekleme noktaları olarak belirlenmiştir.

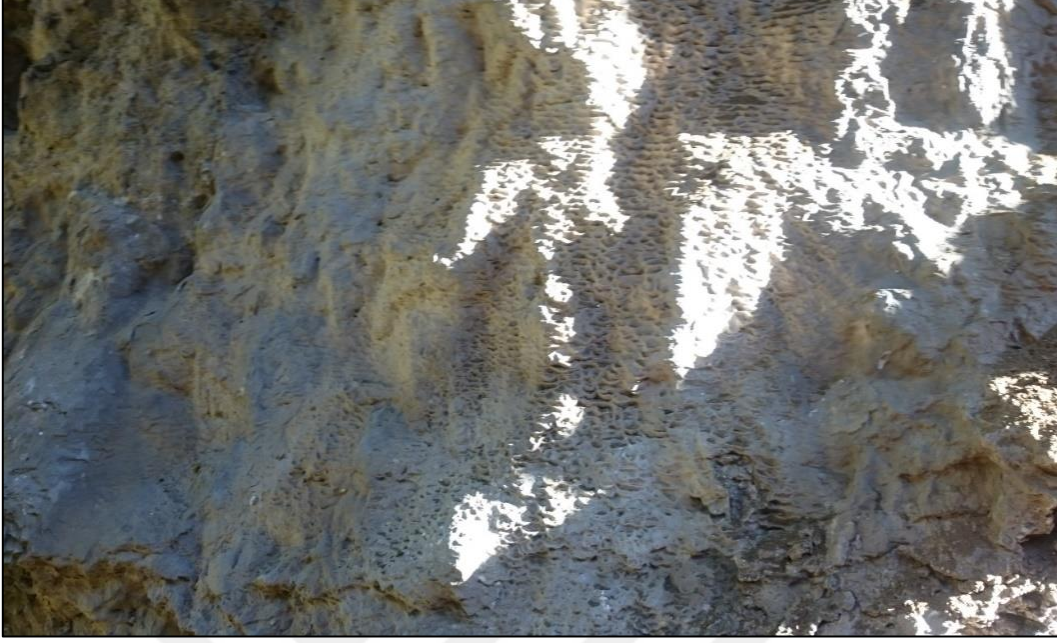
### 3.3.3. Sıcak Su Kaynağı

Çalışma alanında önceden yapılan çalışmalarda (Kara, 1997; Akkuş, 2005) yaklaşık 36°C sıcaklığında bir sıcak su kaynağının bulunduğu belirtilmiştir. Ancak arazi çalışmaları sırasında alanda 120 m derinlikte bir kuyunun bulunduğu, sıcak kaynakların kurduğu görülmüştür. Ölçüm ve örnekleme çalışmaları bu kuyudan (ILICAS) yapılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Ölçüm ve örnekleme yapılan sıcak su kuyusu (ILICAS)

Sıcak su kaynağının bulunduğu vadiye kaynak çevresinde traverten çökelimleri gözlenmektedir (Şekil 22). Vadi boyunca eski sıcak kaynak çıkış noktalarını gösteren yapılar ve eski-yeni travertenler yüzeylenmektedir.



Şekil 22. Sıcak su kaynaklarının eski çıkış noktaları çevresindeki traverten çökelimleri

### 3.4. Suların Hidrokimyasal Özellikleri

Kimyasal, izotop ve radyoaktivite özelliklerinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanlarındaki sıcak su kuyu ve kaynaklarından, soğuk kaynak sularından ve yüzey sularından örnekler alınmıştır. Alınan örnek noktalarının tanımlamaları, koordinatları ve kot değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Ilıca (Şavşat) Jeotermal Sahasında örnekleme yapılan noktaların koordinatları ve kotları

Örnek No	Örnek türü	Koordinatı (UTM)	Kotu (m)
ILICAS	Jeotermal Kuyu	0282740 - 4586153	1495
CDMS	Maden Suyu	0281351 - 4573470	1145
GMS	Maden Suyu	0283639 - 4586548	1600
ŞSSK	Kaynak suyu	0282628 - 4588250	1550
GSK	Kaynak Suyu	0283484 - 4586187	1712
CERDERY	Yüzey Suyu	0281280 - 4586418	1490
CERDERA	Yüzey Suyu	0282940 - 4585958	1496

Örnekleme yapılan su noktalarında pH, T, DO, EC ve TDS değerleri arazide yerinde ölçülmüştür. Yerinde yapılan ölçümler ve kimyasal analiz sonuçları ise Tablo 3'te verilmiştir.

Kimyasal analiz sonuçlarının hata oranlarının belirlenmesi için elektronötralite denklemi kullanılarak katyon-anyon dengesi (% e) hesaplamaları yapılmıştır. İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçlarında hata oranı (% e) -5 ile 5 arasında değişmektedir ve bu hata oranları kabul edilebilir düzeydedir.



Tablo 3. Şavşat jeotermal sahasındaki suların ait fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kaynak	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	TDS	DO (mg/l)	Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	F <sup>-</sup> (mg/l)	Li (mg/l)	Br (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	B (mg/l)
ILICAS	Mayıs16	39.30	6.64	6207.00	3224.00	0.47	293.34	39.73	1611.70	39.35	2511.00	0.00	190.00	1367.00	<0.01	<0.01	2.59	1.14	1.54	125.80	25.57
	Ekim16	38.80	6.90	5734.00	3044.00	2.19	288.00	46.35	1323.00	35.14	2621.00	0.00	166.00	1052.00	0.00	0.00	2.10	0.91	0.66	87.80	16.32
	Mart17	35.08	6.93	5414.00	2950.00	2.13	273.41	42.55	1432.70	36.36	2379.00	0.00	179.16	1184.50		0.00	2.65	0.90	0.00	96.74	18.40
	Tem17	36.60	6.85	5570.00	3002.00	1.70	281.00	49.60	1501.71	38.37	2571.56	0.00	155.36	1127.34	0.00	0.78	2.06	0.94	1.24	80.27	115.70
	<b>ort.</b>	<b>37.45</b>	<b>6.83</b>	<b>5731.25</b>	<b>3055.00</b>	<b>1.62</b>	<b>283.94</b>	<b>44.56</b>	<b>1467.28</b>	<b>37.31</b>	<b>2490.64</b>	<b>0.00</b>	<b>172.63</b>	<b>1182.71</b>	<b>0.00</b>	<b>0.26</b>	<b>2.35</b>	<b>0.97</b>	<b>0.86</b>	<b>97.65</b>	<b>44.00</b>
CDMS	Mayıs16	12.00	6.20	2741.00	2369.00	2.98	369.40	60.07	1003.50	22.28	2379.00	0.00	150.00	772.00	<0.01	0.75	0.63	0.27	1.59	117.00	22.93
	Mart17	10.60	6.57	2859.00	2562.00	3.00	440.35	62.38	920.51	30.67	2562.00	0.00	172.42	821.13		0.00	0.00	0.32	0.00	71.94	23.87
	Tem17	11.40	6.50	3985.00	2589.00	2.00	461.85	65.62	1030.24	31.57	2691.17	0.00	153.92	831.69	0.28	0.86	0.37	0.36	0.44	75.70	142.15
	<b>ort.</b>	<b>11.33</b>	<b>6.42</b>	<b>3195.00</b>	<b>2506.67</b>	<b>2.66</b>	<b>423.87</b>	<b>62.69</b>	<b>984.75</b>	<b>28.17</b>	<b>2544.06</b>	<b>0.00</b>	<b>158.78</b>	<b>808.27</b>	<b>0.28</b>	<b>0.54</b>	<b>0.33</b>	<b>0.32</b>	<b>0.68</b>	<b>88.21</b>	<b>62.98</b>
GMS	Tem17	13.00	7.58	522.00	341.00	1.50	74.71	41.75	62.68	2.79	550.19	0.00	7.35	3.19	0.02	0.19	0.98	0.02	0.02	26.40	<1
ŞSSK	Mayıs16	9.22	7.59	155.00	144.00	9.94	55.75	8.07	11.46	0.08	191.30	0.00	4.79	1.25	<0.01	0.98	0.06	<0.01	<0.01	8.91	<0.5
	Ekim16	9.00	8.14	171.00	156.00	10.50	54.72	8.77	11.63	0.14	195.00	12.00	7.59	1.56	0.00	1.07	0.06	0.00	0.00	12.30	0.69
	Mart17	8.00	8.14	174.00	165.00	8.80	52.81	8.41	13.11	0.12	189.10	12.00	11.34	2.38	0.00	1.11	0.09	0.00	0.00	11.15	<1
	Tem17	11.30	8.00	226.00	146.00	10.00	56.09	9.02	13.29	0.15	221.27	0.00	5.16	0.89	0.00	0.94	0.05	0.00	0.01	11.35	<1
	<b>ort.</b>	<b>9.38</b>	<b>7.97</b>	<b>181.50</b>	<b>152.75</b>	<b>9.81</b>	<b>54.84</b>	<b>8.57</b>	<b>12.37</b>	<b>0.12</b>	<b>199.17</b>	<b>6.00</b>	<b>7.22</b>	<b>1.52</b>	<b>0.00</b>	<b>1.03</b>	<b>0.07</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>10.93</b>	<b>0.69</b>
GSK	Tem17	8.04	7.87	274.00	178.00	10.00	56.38	13.84	20.99	0.06	269.12	0.00	3.68	0.89	0.02	0.88	0.04	0.00	0.02	40.80	<1
CERDERA	Mayıs16	13.80	8.53	411.00	340.00	9.37	50.90	9.07	116.46	2.91	251.00	0.00	17.68	83.69	0.05	0.05	0.27	<0.01	0.10	30.00	<0.5
	Ekim16	10.00	8.30	787.00	715.00	11.00	54.00	19.31	300.00	7.09	439.00	24.00	46.00	250.00	0.00	0.00	0.55	0.18	0.18	32.98	3.91
	Mart17	7.18	7.38	404.00	394.00	11.00	50.97	8.81	133.61	3.03	262.30	36.00	23.74	103.94		0.11	0.46	0.08	0.00	21.41	<1
	Tem17	18.50	8.32	875.00	569.00	8.00	70.80	18.90	203.72	4.81	370.80	23.53	32.43	191.70	0.00	0.18	0.35	0.10	0.20	27.61	3.01
	<b>ort.</b>	<b>12.37</b>	<b>8.13</b>	<b>619.25</b>	<b>504.50</b>	<b>9.84</b>	<b>56.67</b>	<b>14.02</b>	<b>188.45</b>	<b>4.46</b>	<b>330.78</b>	<b>20.88</b>	<b>29.96</b>	<b>157.33</b>	<b>0.02</b>	<b>0.09</b>	<b>0.41</b>	<b>0.12</b>	<b>0.12</b>	<b>28.00</b>	<b>3.46</b>
CERDERY	Mayıs16	8.64	7.92	122.00	116.00	10.20	43.15	6.55	13.40	0.42	155.40	0.00	4.93	1.13	<0.01	0.22	0.10	<0.01	<0.01	16.27	<0.5
	Ekim16	6.90	8.20	155.00	150.00	10.96	48.37	9.60	17.93	0.71	214.00	0.00	5.67	1.62	0.00	0.01	0.21	0.00	0.00	20.33	<1
	Mart17	2.60	7.13	111.00	126.00	13.00	38.91	7.38	14.84	0.43	140.30	18.00	5.59	1.03		0.43	0.12	0.00	0.00	19.20	<1
	Tem17	21.00	8.18	228.00	148.00	8.45	51.04	9.85	20.36	0.63	191.37	23.53	4.04	0.83	0.00	0.01	0.18	0.00	0.00	22.15	<1
	<b>ort.</b>	<b>9.79</b>	<b>7.86</b>	<b>154.00</b>	<b>135.00</b>	<b>10.65</b>	<b>45.37</b>	<b>8.35</b>	<b>16.63</b>	<b>0.55</b>	<b>175.27</b>	<b>10.38</b>	<b>5.06</b>	<b>1.15</b>	<b>0.00</b>	<b>0.17</b>	<b>0.15</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>19.49</b>	<b>&lt;</b>

Sıcaklık değerleri arazide sıcak sondaj suyunda (ILICAS) ortalama 37.45 °C; Ciritdüzü Maden suyunda (CDMS) ortalama 11.33 °C, Gündoğdu maden suyunda (GMS) 13 °C; Şavşat soğuk su kaynağında (ŞSSK) 9.38 °C, Gündoğdu soğuk su kaynağında (GSK) ise 8.04 °C ve yüzey suyunda sıcak su karışmadan önce (CERDERY) ortalama 12.37 °C ve sıcak su karışımından sonraki (CERDERA) değer ise 9.79 °C olarak ölçülmüştür. Dışarıya boşalan sondaj suyu yakınından geçen Çermik dere suyunu fiziksel ve kimyasal olarak etkilemiştir. Sıcak sondaj suyunun EC değeri ortalama 5731.25 µS/cm; maden sularının 522-3195 µS/cm; soğuk su kaynaklarının 181.50-274 µS/cm; yüzey sularının 122-155 µS/cm arasında değişir. pH değeri sıcak su kaynağında ortalama 6.83; maden sularında ortalama 6.42-7.58; soğuk su kaynaklarında ortalama 7.87-7.97; yüzey sularında ise ortalama 7.86-8.13 arasında değişir.

ILICAS, CDMS ve CERDERY örnek noktalarında ki hâkim anyon ve katyonlar sırasıyla  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{Na}^+$  iken GMS, ŞSSK, GSK ve CERDERA örnek noktalarının hâkim anyon ve katyonları ise sırasıyla  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{Ca}^{+2}$ 'dir.

### 3.4.1. Suların Yerinde Ölçülen Parametreleri

#### 3.4.1.1. Sıcaklık (°C)

Sıcaklık, yeraltı ve yüzey sularının göç edip birikmesinde ve kullanılmasına etki eden önemli faktörlerden biridir. Yüzey sularının sıcaklığı yükseltir, derinlik, akarsu debisi ve mevsim gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Buna karşın yeraltı sularının sıcaklıkları genellikle daha düşüktür ve homojen şekilde bir dağılım gösterirler. Suyun sıcaklığı yükseldikçe oksijenin suda çözünürlüğü de azalır (Stevens vd., 1975).

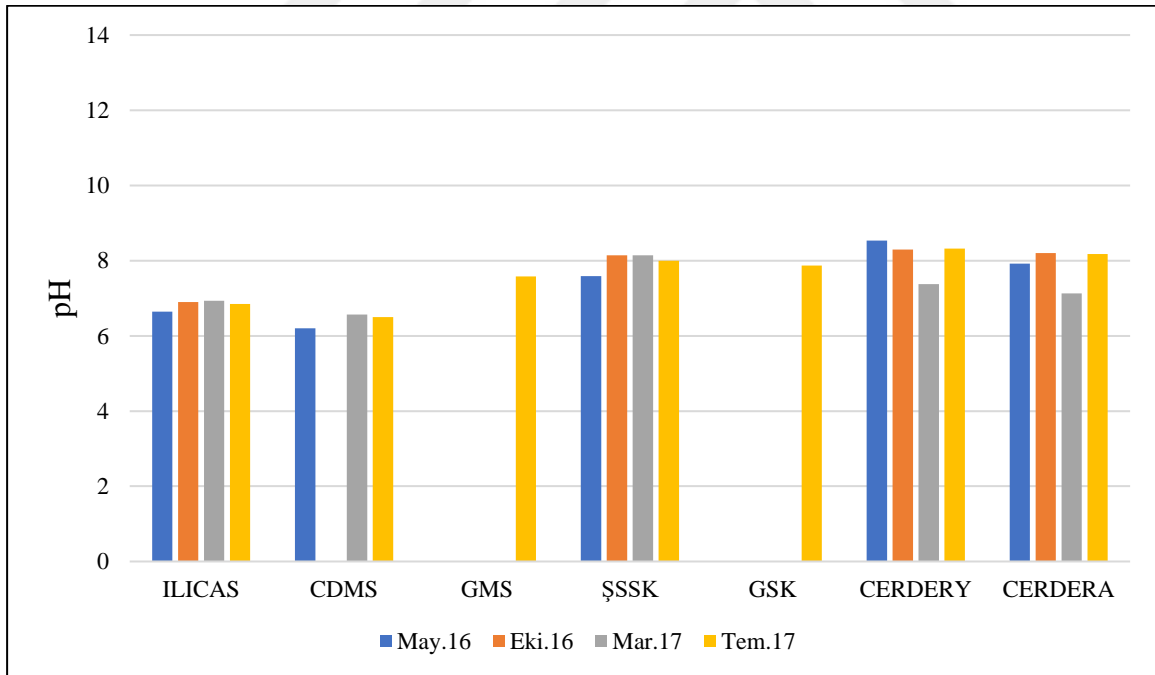
Çalışma alanındaki sıcak su kaynağında (ILICAS), soğuk su kaynaklarında (ŞSSK ve GSK), maden sularında (CDMS ve GMS) ve yüzey sularında (CERDERA ve CERDERY) ölçülen sıcaklık değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3'e göre inceleme alanında kimyasal analizleri bulunan sıcak suyun sıcaklığı ortalama 37.45 °C olarak ölçülmüştür. Yüzey sularında ki ortalama sıcaklık değerleri 9.79 °C – 12.37 °C, maden sularında ki ortalama sıcaklık değerleri 11.33 °C-13 °C ve soğuk su kaynaklarında ki ortalama sıcaklık değerleri ise 8.04 °C – 9.38 °C olarak ölçülmüştür. Bu değerlere göre ILICAS sıcak su Mesotermal Su, ŞSSK, GSK, CDMS ve GMS kaynakları Soğuk Su sınıfındadır (IAH, 1979).

### 3.4.1.2. Hidrojen İyon Aktivitesi (pH)

pH, sudaki hidrojen iyonu konsantrasyonunun bir ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Doğal yer altı sularının pH değeri 6.0-8.5 arasında değişir, fakat termal sularda düşük pH değerleri görülmektedir (Hem, 1971). Suda bulunan serbest mineral asitleri ve karbonikasit suyun asit özelliğini arttırırken, karbonat, hidroksit ve bikarbonat suyun bazik özelliğini arttırmaktadır (Hem, 1971). Suyun aşındırıcı (düşük pH) ve kabuk bağlayıcı (yüksek pH) özellikleri suların pH değerlerinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ise atmosferdeki CO<sub>2</sub> gazının fiziksel çözünme ile sulara geçmesi ve hidrasyon sonucunda karbonik aside dönüşerek sulara çözücü-aşındırıcı bir özellik kazandırmasıdır (Hem, 1985).

İnceleme alanındaki sıcak suyun ortalama pH değeri 6.83, soğuk su kaynaklarının ortalama pH değerleri sırasıyla 7.87-7.97, maden sularının ortalama pH değerleri sırasıyla 6.42-7.58 ve yüzey sularının ortalama pH değerleri ise sırasıyla 7.86-8.13 olarak ölçülmüştür (Şekil 23). Bu değerlere göre jeotermal su hafif asidik özellik gösterirken, diğer sular bazik özelliktedir. pH değerlerine göre mevsimsel değişimlerden jeotermal su (ILICAS) ve maden suyu (CDMS) etkilenmezken, soğuk kaynaklar ve yüzey suları etkilenmiştir (Şekil 23).

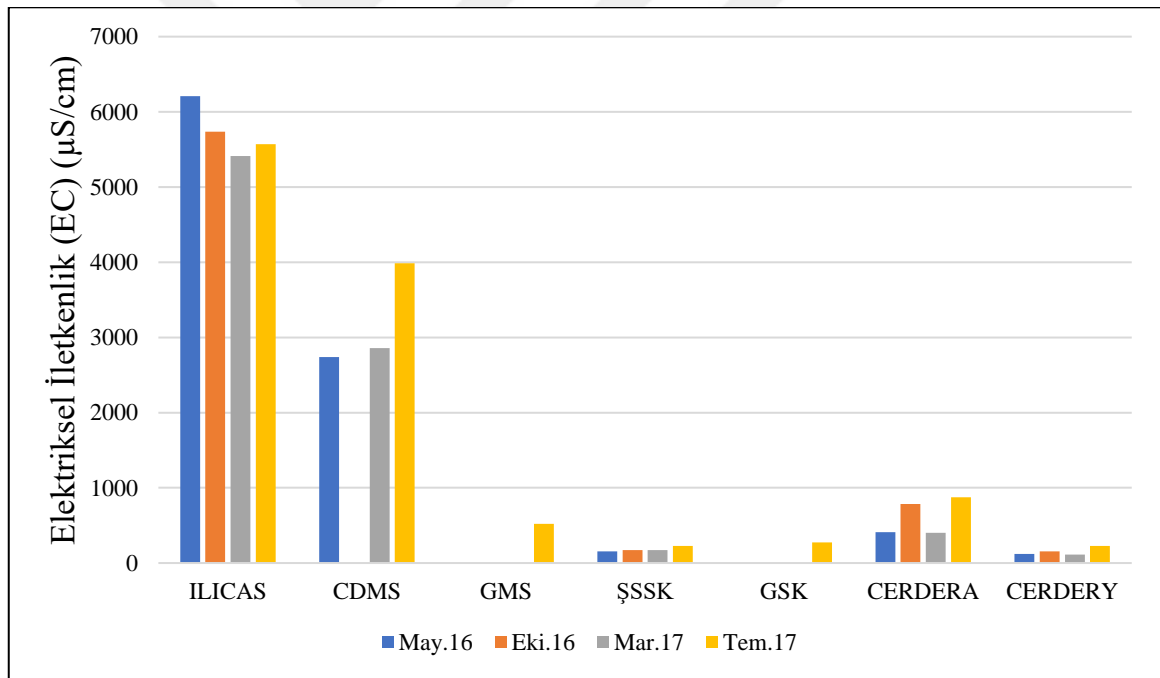


Şekil 23. İnceleme alanındaki suların pH değerleri.



### 3.4.1.3. Elektriksel İletkenlik (EC)

Suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal ifadesine elektriksel iletkenlik denir. Suların analiz sonuçlarında EC'nin birimi 25 °C'de mikromoho/cm veya mikrosiemens/cm ( $\mu\text{S/cm}$ ) olarak ifade edilmektedir. Suların EC değerleri birkaç faktöre bağlı olarak değişebilir. Bu faktörler; suda çözülmüş toplam madde miktarı (TDS), suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izlediği yol, bu yol üzerinde bulunan temas ettikleri kayaçların türü, çözünürlükleri, iklim ve suyun sıcaklığı olarak sıralanabilir. TDS ile de doğru orantılı olan EC değeri, sudaki toplam iyon değişiminin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Hem, 1985). Çalışma alanındaki sıcak su kaynağının ortalama EC değeri 5731.25  $\mu\text{S/cm}$ , maden sularının ortalama EC değerleri sırasıyla 522  $\mu\text{S/cm}$  ve 3195  $\mu\text{S/cm}$ , soğuk su kaynaklarının ortalama EC değerleri sırasıyla 181.50  $\mu\text{S/cm}$  ve 274  $\mu\text{S/cm}$  ve yüzey sularının ortalama EC değerleri ise sırasıyla 154  $\mu\text{S/cm}$  ve 619.25  $\mu\text{S/cm}$  olarak ölçülmüştür (Şekil 24).



Şekil 24. İncelenen suların elektriksel iletkenlik (EC) değerleri

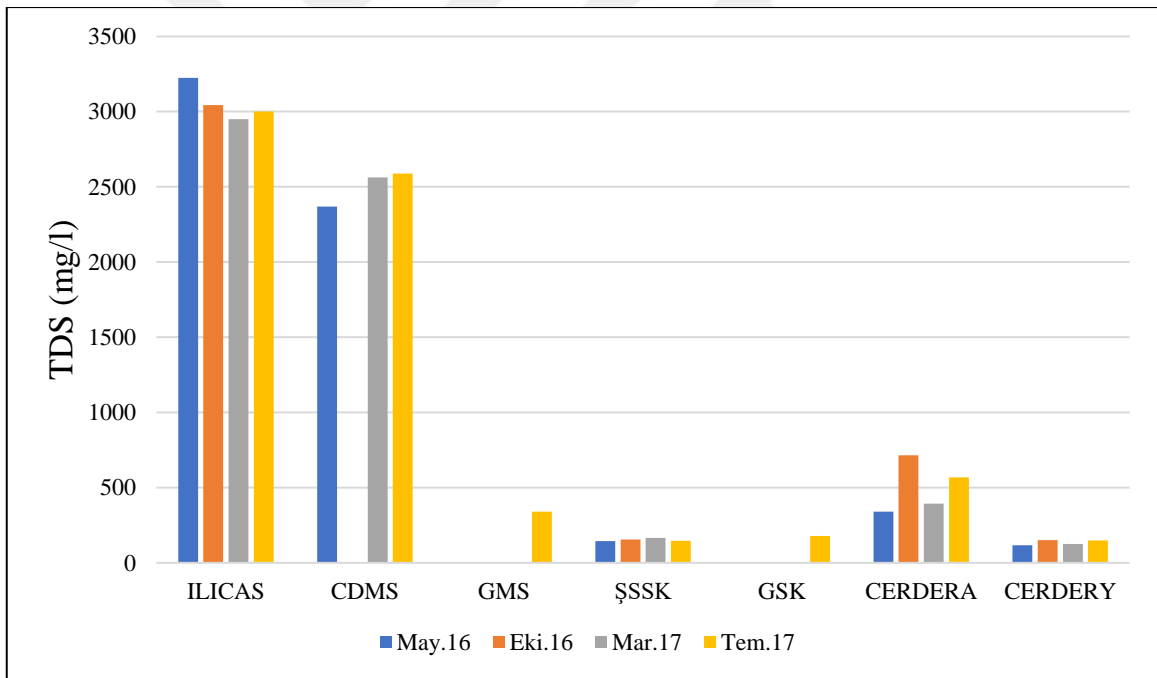
Şekil 24 ve Tablo 3 incelendiğinde genel olarak en yüksek EC değerleri jeotermal suda, en düşük EC değerleri de yüzey sularında gözlenmiştir. Bu durum suların yeraltında kalış ve kayaçlarla temas süresi ile ilişkilidir. Kayaçlarla temas süresi uzayınca içerdiği çözülmüş madde değeri artmakta ve buna bağlı olarak suların elektriği iletme kabiliyeti de artmaktadır.

CDMS de Temmuz ayında gözlenen yüksek EC değeri yazın azalan yağışlardan dolayı sığ su karışımının olmadığı belirtilmiştir.

#### 3.4.1.4. Toplam Çözünmüş Madde (TDS) Miktarı

Toplam çözünmüş madde miktarı, sularda çözünmüş halde bulunan inorganik tuzlar ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$ ) ve organik maddelerden oluşmaktadır. Sularda toplam çözünmüş madde miktarı dış faktörlere bağlı olarak artış gösterebilir. Farklı jeolojik birimlere sahip olan bölgelerde TDS'nin değişik konsantrasyonları, minerallerin çözünürlükleri arasındaki fark nedeniyle olmaktadır.

İnceleme alanındaki sularda ölçülen TDS değerleri ILICAS'da 3055 mg/l, CDMS'de 2506.67 mg/l, GMS'de 341 mg/l, ŞSSK'de 152.75 mg/l, GSK'de 178 mg/l, CERDERA'da 504.50 mg/l ve CERDERY'de 135 mg/l'dir (Şekil 25).



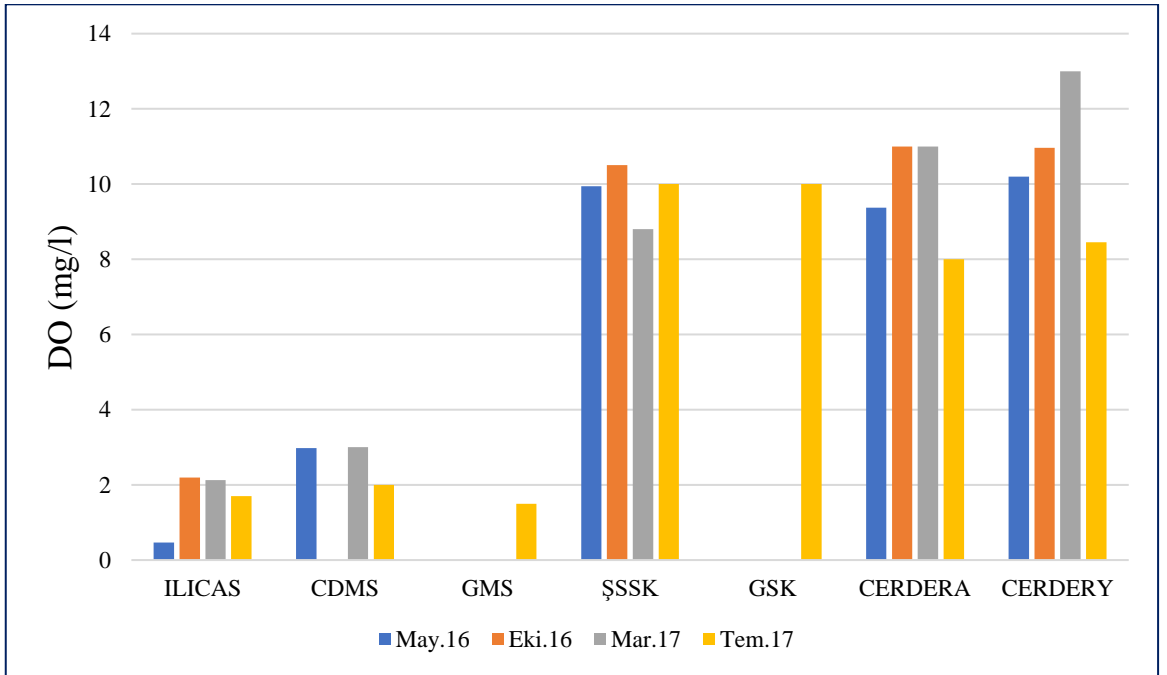
Şekil 25. Çalışma alanındaki suların toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) değerleri.

#### 3.4.1.5. Çözünmüş Oksijen (DO)

Oksijen, sularda orta derecede çözünebilir bir gaz türüdür. Sularda bulunan çözünmüş oksijenin kaynağının büyük bir kısmı atmosferden ve suda yaşayan canlıların fotosentezleri ile sağlanmaktadır. Doğal sularda bulunan çözünmüş oksijen miktarı birkaç faktöre bağlı olarak

değişiklik gösterebilir. Bu faktörler; sıcak suyun karışımı, tuzluluk oranı ve atmosferik basınçtır. Sıcaklık ve tuzluluğun artması sudaki çözülmüş oksijen miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Yeraltı sularındaki oksijen, suyun yüzeysel sulardan beslenmesi ve yeraltı su tablasının üzerinde bulunan doymamış zonda bulunan havanın hareketi ile sağlanmaktadır (McNeely vd., 1979).

İnceleme alanında sıcak suda ölçülen ortalama çözülmüş oksijen (DO) miktarı 1.62 mg/l, maden sularındaki ortalama DO miktarları sırasıyla 1.50-2.66 mg/l ve soğuk sulardaki ortalama DO miktarları sırasıyla 9.81-10 mg/l, yüzey sularındaki ortalama DO miktarları ise sırasıyla 9.84-10.65 mg/l, olarak ölçülmüştür (Şekil 26).



Şekil 26. Çalışma alanındaki suların çözülmüş oksijen (DO) değerleri.

Şekil 26 incelendiğinde beklendiği gibi en yüksek DO değerleri yüzey sularında gözlenmiştir. Jeotermal su ve maden sularında oldukça düşük değerler ölçülmüştür. Çözülmüş madde miktarının artması DO'nun düşmesini sağlamıştır. Ayrıca jeotermal suda çözülmüş madde miktarının yanısıra sıcaklığın artışı DO değerini düşürmüştür.

### 3.4.2. Suların Majör İyon İçerikleri

Bilindiği gibi suların kimyasal sınıflaması toplam iyon miktarının %90'ını oluşturan majör iyon analizleri ile belirlenmektedir. Hidrokimyasal özelliklerinin ve su tiplerinin

belirlenmesi amacıyla incelenen suların majör iyon ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{Cl}^-$ ) analizleri yapılmıştır. Alanda yüzeyleyen jeolojik birimlerin litolojilerinden yararlanarak majör iyonların kökeni hakkında yorum yapılmıştır.

#### 3.4.2.1. Kalsiyum ( $\text{Ca}^{+2}$ ) ve Magnezyum ( $\text{Mg}^{+2}$ )

Kalsiyum canlıların yaşamlarında ve doğada bulunan suların içeriğindeki mevcut en önemli toprak alkali metallere birisidir. Kalsiyum çözünürlüğü atmosfer basıncı ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir.

Doğal sularda bulunan kalsiyumun birçok kaynağı vardır. Bunlardan bazıları; kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit ( $(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)$ ), jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ), florit ( $\text{CaF}_2$ ) ve plajiyoklas (anortit,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) olabilir (Hounslow, 1995).

Magnezyum, yer altı sularında kalsiyumdan sonra en fazla bulunan katyondur. Yeraltı sularındaki magnezyum kaynakları; evaporitler, dolomitler ve bunların yanı sıra olivin, hornblend ve biyotit gibi magmatik kayaç mineralleri ile serpantin, tremolit ve talk gibi metamorfik kayaç mineralleridir (Tarcan, 2004).

Çalışma alanı içerisinde bulunan kireçtaşları ve jipsler suların bünyesinde bulunan Ca'un temel kaynağı olarak tahmin edilmektedir. Su kaynaklarında ölçülen ortalama Ca değerleri şöyledir; ILICAS 283.94 mg/l, CDMS 423.87 mg/l, GMS 74.71 mg/l, ŞSSK 54.84 mg/l, GSK 56.38 mg/l, CERDERA 56.67 mg/l ve CERDERY 45.37 mg/l.

Sularda ki Mg'un kaynağı olarak andezit, bazalt gibi volkanik kayaçlar ve içerisinde bulunan hornblend, biyotit, olivin mineralleridir. Su kaynaklarında ki ortalama Mg değerleri ise şu şekildedir; ILICAS 44.56 mg/l, CDMS 62.69 mg/l, GMS 41.75 mg/l, ŞSSK 8.57 mg/l, GSK 13.84 mg/l, CERDERA 14.02 mg/l, CERDERY 8.35 mg/l.

#### 3.5.2.2. Sodyum ( $\text{Na}^+$ ) ve Potasyum ( $\text{K}^+$ )

Yerkabuğundaki  $\text{Na}^+$  iyonunun kaynakları magmatik kayaçlar, kil mineralleri, feldspatlar, evaporitler ve feldispatoidlerdir. Halit ( $\text{NaCl}$ ) ve mirablit ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) suda çok çözünürler ve bu yüzden suda bulunan  $\text{Na}^+$  iyonunun ana kaynağını oluştururlar (Tarcan, 2004). Deniz suyunda bol bulunan  $\text{Na}^+$  iyonu yeraltısularına kayaçlarda bulunan plajiyoklas minerallerinin ayrışması sonucu ya da kil minerallerinin baz değişimi sonucunda karışmaktadır (Tarcan, 2004). Yeraltısularında  $\text{Na}^+$  iyonunun bulunuşu birkaç faktöre bağlıdır. Bu faktörler, kayaçlarda bulunan minerallerin cinsi ve miktarı, pH değeri, bozunma süreleri, yer altı

sularının akış hızları, ortamdaki kalsiyum iyon derişimi, yapay ve doğal kirlenmeler gibi sıralanmaktadır. Kışın yolların tuzlanması gibi insan aktiviteleri de yüzey ve yer altı sularındaki  $\text{Na}^+$  derişimin etkilemektedir.

Yer kabuğunda potasyum ve sodyum elementleri yaklaşık eşit miktarlarda mevcuttur. Bunun yanı sıra sodyum magmatik kayalarda, potasyum ise tortul kayalarda daha zengindir. Deniz suyunda potasyum miktarı sodyum miktarından oldukça düşüktür. Yer kabuğunda bulunan feldispatlar, potasyum kaynağının büyük bir kısmını oluşturmakla beraber çökel kayalar, mikalar, feldispatoidler ve kil mineralleri de potasyumun diğer kaynaklarıdır (Tarcan, 2004). Doğal sularda ki potasyum değeri en fazla 20 ppm'dir. Ancak sıcak sularda bu değer 200 ppm'e kadar çıkabilmektedir (Doğan, 1981).

$\text{Na}^+$  iyonu jeotermal rezervuarların ana katyonudur ve konsantrasyonları yaklaşık olarak 200-2000 mg/l arasındadır. Sıcak sularda  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  iyonlarının içerikleri sıcaklığa bağlı olarak gelişen mineral-su dengesine bağlıdır (Nicholson, 1993).

İnceleme alanında bulunan bazalt, andezit ve dasit gibi magmatik kayalar sulardaki Na kaynağını, kumtaşı, kireçtaşı, silttaşı gibi tortul kayalar ise sularda ki potasyumun kaynağı rolündedir.

Çalışma alanındaki suların ortalama sodyum değerleri ILICAS'da 1467.28 mg/l, CDMS'de 984.75 mg/l, GMS'de 62.68 mg/l, ŞSSK'de 12.37 mg/l, GSK'de 20.99 mg/l, CERDERA'da 188.45 mg/l ve CERDERY'de 16.63 mg/l'dir. Ortalama potasyum değerleri sodyuma göre daha düşük olup ILICAS'da 37.31 mg/l, CDMS'de 28.17 mg/l, GMS'de 2.79 mg/l, ŞSSK'de 0.12 mg/l, GSK'de 0.06 mg/l, CERDERA'da 4.46 mg/l ve CERDERY'de 0.55 mg/l olarak belirlenmiştir.

### 3.5.2.3. Bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) ve Karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ )

Doğal sulardaki alkalitenin başlıca kaynakları, atmosferik  $\text{CO}_2$  ile toprak ve doymamış bölgelerdeki üretilen gazlardır. Sulardaki alkalinite, içerdiği çözülmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötralleştirme kapasitesidir. Hemen hemen bütün doğal sulardaki alkalinite karbonat ve hidroksit iyonlarına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Doğal sulardaki alkalinite miktarı nadiren 500 ppm  $\text{CaCO}_3$  miktarını geçmektedir. Jeotermal sularda rezervuardan doğrudan beslenen kaynaklarda  $\text{HCO}_3^-$  konsantrasyonu en düşük seviyededir.  $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  oranı ise suyun akış yönünü göstermektedir. Yüksek akım zonundan suyun akışı su-kayaç ilişkisinin artışına, dolayısıyla  $\text{HCO}_3^-$  üretiminin artışına neden olur. Yanal akışın artışı ile su-kayaç etkileşimi artar ve ortamdaki  $\text{H}_2\text{S}$  kaybolarak  $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  oranı artar (Nicholson, 1993).

$\text{HCO}_3^-$  değeri zengin sulara su kayaç ilişkisi hakimdir.  $\text{Ca}^{+2} - \text{HCO}_3^-$  tipli sular kireçtaşları ile,  $\text{Ca}^{+2}-\text{Mg}^{+2}-\text{HCO}_3^-$  tipli sular dolomitler ile sıcak suların etkileşimini belirtir. Yüksek  $\text{K}^+$  içerikli  $\text{Na}^+-\text{HCO}_3^-$  tipli sular ise feldspat, plajiyoklas ve piroksen içeren magmatik ve volkanik kayalarla sıcak suların etkileşimini ifade eder (Mazor, 1997).

İncelenen suların pH değerleri 6.5 ile 8.14 arasında değişir. Dolayısıyla sulara alkaliniteyi  $\text{HCO}_3^-$  iyonları temsil etmektedir. Sulara en yüksek  $\text{HCO}_3^-$  değerleri sıcak suda (ILICAS: 2490.64 mg/l) ve CDMS'de (2544.06 mg/l) gözlenmiştir. GMS'deki değeri de (550.19 mg/l) diğer soğuk sulara göre yüksektir. Soğuk kaynak sularındaki  $\text{HCO}_3^-$  değerleri (199.17-269.12 mg/l) yüzey suyundan daha yüksektir. Yüzey suyundaki değeri CERDERY 175.27 mg/l'dir.  $\text{CO}_3^{2-}$  değerleri ise pH değeri 8'in üzerinde olan ŞSSK için 6 mg/l, CERDERA için 20.88 mg/l ve CERDERY için 10.38 mg/l'dir.

#### 3.5.2.4. Sülfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Kükürt, magmatik ve sedimanter kayalarda indirgenmemiş halde metal sülfürleri olarak yaygın olarak bulunur. Sülfür mineralleri suyla temas ederek bozunurlar, oksitlenerek sülfat iyonlarını oluştururlar ve bu iyonlar suya geçer (Hem, 1985). Jips ve anhidritler, yeraltı sularında bulunan sülfat için önemli kaynaklardır. Pirit mineralinin oksidasyonu sonucunda ise az miktarda da olsa yeraltı suyuna sülfat eklenebilmektedir (Tarcan, 2004).

İnceleme alanındaki ortalama sülfat değeri sıcak suda (ILICAS) 172.63 mg/l, mineralli sulara (CDMS) 158.78 mg/l ile yüksek değerlerde iken soğuk kaynak ve yüzey suyunda düşük değerdedir. Sülfat değeri GMS için 7.35 mg/l, ŞSSK için 7.22 mg/l, GSK için 3.68 mg/l, CERDERA için 29.96 mg/l ve CERDERY için 5.06 mg/l olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanında ki suların bünyesinde bulunan sülfatlar, suların bünyesine Bülbülan volkanitlerinden ve Pınarlı formasyonundaki jipsli düzeylerin su ile teması sonucu geçmiştir.

#### 3.5.2.5. Klorür ( $\text{Cl}^-$ ) ve Florür ( $\text{F}^-$ )

Yeraltısularının klorür kaynakları; deniz suyu, yağmur ve kar suları, evaporitler ve atmosferdir. Ancak yeraltı sularındaki en fazla olan klorür kaynağı deniz sularıdır. Bu yüzden kıyı kesimlerden uzaklaştıkça klorür miktarı azalmaktadır. Yeraltı sularındaki klorür miktarı yaklaşık 1 mg/l iken bu değer deniz sularında 20 000 mg/l'ye kadar ulaşmaktadır. Klorür içeriği genellikle kurak bölgelerde, yağışlı bölgelere oranla daha fazla bulunmaktadır (Tarcan, 2004).

Florürün kaynağı ise; florit, apatit, mika ve amfibol gibi minerallerdir. Genellikle anyon değişimi sonucunda kil minerallerinin adsorbsiyonu sonucu oluşmaktadır. Eğer pH, 6'ya eşitse adsorbsiyon en yüksek seviyededir. pH değeri 7.5'ten büyük ya da 4'ten küçükse bu durumda desorpsiyon gelişir. Alkalin sularda genellikle yüksek miktarda florür mevcuttur. Deniz sularında florür içeriği 1mg/l'nin altındadır (Hem, 1992). Hounslow ve Back (1985)'e göre kaolinitin adsorbsiyonu nedeniyle bazı alkali suların florür içeriği 1mg/l'nin altındadır. Jeotermal akışkanların florür içerikleri genellikle 10 mg/l'den azdır. Florür kayaç ile su etkileşimi sonucunda farklı mineral fazlarda bulunabilirler. CO<sub>2</sub> basıncı yüksek ise kalsiyum ortamında bulunan florür ile bileşik oluşturur (Nicholson, 1993).

Çalışma alanında bulunan su kaynaklarının bünyesinde bulunan klorürün kaynağı genellikle kar ve yağmur sularıdır. Sıcak suyun (ILICAS) klorür değeri 1182.71 mg/l, mineralli suyun (CDMS) klorür değeri ise 808.27 mg/l'dir. Beklenildiği gibi soğuk suların klorür değerleri daha düşük olup sırasıyla; GMS 3.19 mg/l, ŞSSK 1.52 mg/l, GSK 0.89 mg/l, CERDERA 157.33 mg/l ve CERDERY 1.15 mg/l'dir.

Sularda ortalama flor ILICAS'da 2.35 mg/l ile en yüksek değerdedir. Mineralli sularda (CDMS: 0.33 mg/l, GMS: 0.98 mg/l) 1 mg/l'nin altındadır. Soğuk kaynak suların da ise oldukça düşük (ŞSSK: 0.07 mg/l, GSK: 0.04 mg/l) değerlerdedir. Yüzey suyunda (CERDERY) 0.15 mg/l olarak tespit edilmiştir. Sulardaki florun kaynağı ise bazaltlarda bulunan amfibol mineralleri olarak düşünülmektedir.

### 3.5.3. Suların İz Element İçerikleri

Doğal suların iz element içeriklerinden suların kökeni, hidrokimyasal evrimi, kullanım amaçları ile ilgili konularda yararlanılmaktadır. Çoğu zaman 1 mg/l'den daha düşük konsantrasyonlarda bulunan bu elementler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadır. Demir dışındaki diğer ağır metaller de sularda 1 ppm'den daha düşük derişimlerde bulunur (Freze ve Cherry, 1979). Doğal sulara bazen, evsel ve endüstriyel atık suları ve madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıklar yoluyla fazla miktarda ağır metaller karışabilir. Ayrıca suyun hareket halinde iken temasta bulunduğu kayaçların minerolojik yapısına göre sudaki ağır metal içeriğinin kaynaklarından biri olabilir.

Bu çalışmada Tablo 4'te verilen Al, As, B, Fe, Mn, Cu, Cr, Zn, Pb, Cd, Li, Ni, Si, Br, Sr gibi elementler analiz edilmiştir

Tablo 4. Şavşat jeotermal alanındaki sulara bulunan eser elementler (ppb)

Ölçüm Tarihi	ILICAS			CDMS		ŞSSK			CERDERA			CERDERY		
	Mayıs 16	Ekim 16	Mart 17	Mayıs 16	Mart 17	Mayıs 16	Ekim 16	Mart 17	Mayıs 16	Ekim 16	Mart 17	Mayıs 16	Ekim 16	Mart 17
<b>Be</b>	1.931	2.709	2.527	1.994	0.354	0.023	≤0.001	<0.001	0.065	0.023	0.02	<0.001	≤0.001	<0.001
<b>Al</b>	397.2	701.2	1055	408	1038	16.61	28.78	36.55	17.94	720.4	49.32	26.58	53.9	115.3
<b>Ti</b>	70	≤0.001	<0.001	71.74	<0.001	10.06	≤0.001	<0.001	10	≤0.001	<0.001	10.73	≤0.001	<0.001
<b>Li</b>	1140	910	900	270	320	<0.001	0	0	<0.001	180	80	<0.001	0	0
<b>Br</b>	1540	660	0	1590	0	<0.001	0	0	100	180	0	<0.001	0	0
<b>B</b>	25570	16320	18400	22930	23870	<0.001	690	<0.001	<0.001	3910	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
<b>V</b>	14.69	13.91	12.13	7.78	7.094	14.49	15.39	13.74	3.35	6.68	3.757	1.73	1.671	1.524
<b>Cr</b>	4.834	≤0.001	<0.001	4.267	<0.001	0.138	≤0.001	<0.001	0.293	≤0.001	<0.001	0.076	≤0.001	<0.001
<b>Mn</b>	15.26	269.8	331.4	5.734	453	<0.001	≤0.001	0.273	<0.001	≤0.001	6.018	<0.001	0.202	2.141
<b>Fe</b>	140	148.3	229.4	138	209.4	88.5	31.64	19.88	55.65	146.5	40.26	112	34.34	99.65
<b>Co</b>	0.18	1.117	0.797	0.047	3.004	0.212	0.286	0.067	0.065	0.307	0.085	0.273	0.242	0.082
<b>Ni</b>	2.71	2.885	14.1	1.97	19.97	<0.001	1.894	<0.001	<0.001	0.784	<0.001	10.45	1.018	1.154
<b>Cu</b>	<0.001	≤0.001	26.13	<0.001	25.27	<0.001	≤0.001	<0.001	<0.001	≤0.001	<0.001	<0.001	≤0.001	<0.001
<b>Zn</b>	75.26	74.25	61.32	71.78	64.84	8.573	9.386	6.159	4.417	94.2	6.147	5.922	9.837	7.176
<b>Ga</b>	8.197	20.9	26.98	7.772	24.63	<0.001	≤0.001	0.03	<0.001	18.04	0.282	0.119	0.047	0.161
<b>Ge</b>	5.252	7.643	7.514	<0.001	1.629	<0.001	≤0.001	0.026	<0.001	≤0.001	0.486	<0.001	≤0.001	0.054
<b>As</b>	1039	660.8	713.9	515	134.4	<0.001	0.523	0.146	70	172.1	66.73	1.133	15.04	5.601
<b>Se</b>	<0.001	7.169	1.016	<0.001	0.918	<0.001	0.198	<0.001	<0.001	0.715	<0.001	<0.001	≤0.001	0.025
<b>Rb</b>	94.5	69.33	66.26	48.71	40.84	0.201	0.258	0.173	6.077	13.82	5.416	0.563	0.97	0.574
<b>Sr</b>	1416	3156	3662	39.01	3202	60	55.65	57	257	456.3	274.6	67.18	74.83	57.52
<b>Y</b>	0.141	0.507	0.54	0.232	0.37	0.004	0.021	0.006	<0.001	0.204	0.045	0.059	0.101	0.2
<b>Zr</b>	3.062	7.051	7.854	2.795	9.428	0.104	0.244	0.097	<0.001	5.325	0.122	0.141	0.192	0.088
<b>Mo</b>	19.53	18.78	15.12	5.2	3.216	<0.001	≤0.001	<0.001	<0.001	5.078	0.267	<0.001	≤0.001	<0.001
<b>Ru</b>	1.649	0.224	<0.001	0.039	<0.001	0.072	0.075	<0.001	0.315	0.162	0.011	0.097	0.042	<0.001
<b>Rh</b>	0.19	0.515	0.098	<0.001	0.098	0.007	0.011	0.01	0.041	0.062	0.011	0.007	0.011	0.006
<b>Pd</b>	6.53	11.9	1.363	0.242	1.235	0.281	0.186	0.019	0.99	2.021	0.078	0.307	0.273	0.032



Tablo 4'ün devamı

<b>Cd</b>	0.758	0.142	<0.001	0.512	<0.001	0.137	0.054	<0.001	0.136	≤0.001	<0.001	0.149	0.028	<0.001
<b>Sb</b>	6.124	12.21	17.01	6.078	16.38	0.009	0.054	0.03	0.032	12.06	0.074	0.021	0.047	0.07
<b>Cs</b>	11.63	7.731	6.51	0.445	0.286	<0.001	≤0.001	0.005	0.567	1.028	0.382	0.007	0.021	0.028
<b>Ba</b>	384	700.8	880.2	343	804.5	<0.001	0.581	0.67	7.83	587.6	8.684	11.74	5.447	4.646
<b>Hf</b>	0.085	0.16	0.206	0.065	0.238	<0.001	≤0.001	0.001	<0.001	0.134	0.003	<0.001	≤0.001	0.003
<b>Ta</b>	35.73	27.3	5.82	32.31	6.202	10.67	3.459	0.924	8.43	21.01	1.291	9.761	2.576	0.33
<b>Pt</b>	0.005	0.01	<0.001	0.012	0.021	<0.001	≤0.001	0.002	0.002	0.028	<0.001	<0.001	≤0.001	<0.001
<b>Au</b>	0.133	1.151	0.015	0.081	0.052	0.02	≤0.001	<0.001	0.017	0.058	<0.001	0.011	≤0.001	<0.001
<b>Hg</b>	0.119			0.143		<0.001			<0.001			<0.001		
<b>Tl</b>	0.116	0.099	<0.001	0.052	<0.001	<0.001	0.001	<0.001	0.005	0.022	<0.001	0.001	0.003	<0.001
<b>Pb</b>	4.83	≤0.001	31.28	2.22	36.62	<0.001	≤0.001	4.387	<0.001	4.92	4.151	<0.001	≤0.001	4.019
<b>Th</b>	0.033	0.051	0.126	0.041	0.129	<0.001	≤0.001	0.002	<0.001	0.019	0.009	<0.001	≤0.001	0.018
<b>U</b>	2.414	2.738	2.526	0.051	2.665	0.263	0.182	0.2	0.355	0.295	0.34	0.128	0.102	0.107
<b>La</b>	<0.001	≤0.001	0.358	<0.001	0.18	<0.001	≤0.001	<0.001	<0.001	≤0.001	0.005	<0.001	≤0.001	0.068
<b>Ce</b>	<0.001	≤0.001	0.593	<0.001	0.615	<0.001	≤0.001	<0.001	<0.001	≤0.001	0.02	<0.001	≤0.001	0.27
<b>Pr</b>	0.01	0.052	0.092	0.013	0.102	<0.001	≤0.001	0.003	<0.001	0.069	0.007	<0.001	0.005	0.035
<b>Nd</b>	0.058	0.169	1.722	0.055	1.56	<0.001	≤0.001	0.016	<0.001	0.257	0.019	0.007	0.024	0.088
<b>Sm</b>	0.034	0.064	0.045	0.023	0.053	<0.001	0.003	0.002	0.002	0.054	0.009	0.002	0.008	0.03
<b>Eu</b>	0.19	0.43	0.196	0.207	0.184	<0.001	0.002	0.001	0.003	0.351	0.002	0.005	0.006	0.006
<b>Gd</b>	0.01	0.003	0.069	0.014	0.103	<0.001	≤0.001	0.002	<0.001	0.037	0.02	<0.001	0.002	0.026
<b>Tb</b>	<0.001	0.003	0.005	0.003	0.012	<0.001	≤0.001	0.001	<0.001	0.003	0.001	<0.001	0	0.004
<b>Dy</b>	0.013	0.031	0.083	0.024	0.062	<0.001	≤0.001	0	<0.001	0.039	0.006	0.006	0.007	0.027
<b>Ho</b>	<0.001	0.004	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	0	<0.001	<0.001	0.005	<0.001	<0.001	0.002	<0.001
<b>Er</b>	0.017	0.025	0.045	0.019	0.032	<0.001	≤0.001	0.002	<0.001	0.007	0.004	0.004	0.005	0.015
<b>Tm</b>	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	<0.001	0	<0.001	<0.001	0.002	0	<0.001	0.001	0.001
<b>Yb</b>	0.008	0.032	0.059	0.019	0.013	<0.001	0.001	0.003	<0.001	0.017	0.009	0.004	0.006	0.01
<b>Lu</b>	0.003	0.061	0.008	0.003	0.003	<0.001	0.002	0.001	<0.001	0.055	0.001	<0.001	0.006	0.002

İz elementlerin analiz sonuçları incelendiğinde Al, Mn, Fe, Ni, Zn, As, Sr, Ba, Pb, Li, B elementleri yüksek derişimlerde dir. Nb, Te, W, Re ve Ir elementlerinin değerleri çok düşük olduğu belirlenmiştir ancak tabloda gösterilmemiştir.

### 3.5.3.1. Alüminyum (Al)

Alüminyum, feldspat, feldispatoid, mika ve amfibol gibi minerallerde önemli miktarlarda bulunmaktadır. Sedimanter kayaçlarda ise Al’ce zengin kil mineralleri vasıtasıyla bulunmaktadır (Hem, 1992). Al, yerkabuğunda yoğun bulunmasına karşın yeraltı sularında oldukça az bulunmaktadır. Bunun nedeni ise suda az çözünmesidir. pH değeri 5-9 arasında olan sularda Al değeri 1 ppm’den azdır. Genellikle yeraltı sularında Al miktarı 0.005-0.3 ppm arasındadır. Ancak asit sularda bu değer 100 ppm’e kadar çıkabilmektedir (şahinci, 1991). Alüminyumun suda bulunması, suyun kökeni ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi açısından oldukça önemli yer tutar (şahinci, 1991). Rezervuar akışkanın  $Al^{+3}$  konsantrasyonu, genellikle  $<2$  mg/kg’dır. Buna karşın hareketsiz element olarak adlandırılır ve genellikle silis ile birlikte hareket eder. Asidik sular ise yüksek (yaklaşık 100 mg/l)  $Al^{+3}$  içerir (Nicholson, 1993). Alüminyum hemen hemen bütün gıdalarda ve içme sularında tabii olarak bulunmaktadır (Akgiray, 2003).

Çalışma alanındaki sularda en yüksek Al değeri 723 ppb olarak CDMS’de belirlenmiştir. Sıcak sudaki değerde benzer olup 717.8 ppb’dir (Tablo 4). Soğuk kaynakta 27.31 ppb iken yüzey suyunda 65.26 ppb olarak tespit edilmiştir. Su rneklerinin bünyesinde bulunan alüminyumun kaynağı olarak sedimanter kayaçlardaki marnlar ve magmatik kayaçlar olduğu düşünülmektedir.

### 3.5.3.2. Demir (Fe) ve Mangan (Mn)

Piroksen, amfibol, pirit, magnetit, granat ve biyotit gibi magmatik kayaçlarda bulunan minerallerin bozunmasıyla demir ortaya çıkmaktadır. Yeraltı sularında demir en yaygın  $Fe^{+2}$  şeklinde bulunur. Asitli zeltelerde ise  $Fe^{+3}$  şeklinde bulunur. Karbon içeren kayalarda ise fazla miktarda demir iyonu içeriği gözlenebilir. Kireçtaşı ve dolomit ile temas halinde olan suların pH değeri 7’den yüksektir ve bu yüzden çok fazla demir iyonu içermektedirler. Bazı sedimanter akiferlerde farklı derinliklerde bulunan farklı redoks potansiyeline sahip karışmış sular ya doğal olarak ya da yeraltı suyunda demir minerallerinin çözünmesi veya çökelmesi sebebiyle demir içermektedirler (Hem, 1985).

Manganın içme sularında bulunması istenmez. Çünkü istenmeyen bulanıklığa ve renge neden olmaktadır. Aynı zamanda içme suyu şebekesi borularında çökelerek borularda tıkanıklığa ve boruların iç çaplarının daralmasına neden olmaktadır (Akgiray, 2003). Mangan, düşük oksidasyon koşullarında ve anaerobik durumlarda yeraltı ve yerüstü su kaynaklarında doğal olarak bulunabilirler. Manganın sulardaki sınır değeri ise 0.4 mg/l olarak belirlenmiştir (Anonim, 2006).

Çalışılan sulardaki ortalama demir değerleri ILICAS 172.57 ppb, CDMS 173.7 ppb, ŞSSK 46.67 ppb, CERDERA 80.80 ppb, CERDERY 81.99 ppb olarak belirlenmiştir. Ortalama mangan değerleri ise ILICAS 205.49 ppb, CDMS 229.37 ppb, ŞSSK 0.09 ppb, CERDERA 2.01 ppb, CERDERY 0.78 ppb'dir.

Su numunelerinin bünyesinde bulunan manganın kaynağı Kabaköy Formasyonu içerisinde yer alan volkanojenik kumtaşı seviyelerinin sular ile teması sonucunda, demirin kaynağı ise suların Kabaköy Formasyonundaki andezit ve bazaltlar ile etkileşime girmesi sonucudur.

### 3.5.3.3. Çinko (Zn)

Doğal sulardaki Zn kaynakları genellikle, suyun temas halinde olduğu kayalar, endüstriyel atıklar, gübreler ve atmosferdir. Zn miktarı, içme sularında 5 mg/l'nin üzerinde ise suya buruk acı bir tat verir. Çeşitli endüstriyel atıklarının yanı sıra galvanize boruların korozyonu ile de Zn karışımları gözlenebilir. Zn ağır metaller arasında en az toksik olan metaldir. Sulardaki fazlalığı ise hoş olmayan bir tat vermektedir (Akgiray, 2003). Çinko, insan sağlığı için görece olmayan bir element olup 25 ppm derişimlere kadar olumsuz bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir (McNeely vd., 1979).

Suların çinko değerleri ILICAS 70.28 ppb, CDMS 68.31 ppb, ŞSSK 8.04 ppb, CERDERA 34.92 ppb ve CERDERY 7.65 ppb'dir. Çinkonun sulardaki kaynağı ise bileşimlerinde karbonat içeren Ardanuç Formasyonundaki kireçtaşları, Pınarlı Formasyonundaki marn ve kireçtaşlarıdır.

### 3.5.3.4. Nikel (Ni)

Nikel, birçok magmatik kayaç mineralinin yapısında bulunmaktadır. Nikelin doğal sulardaki derişimi 1 ppm'e kadar yükselebilir, genellikle 0.005-0.02 ppm arasındaki derişim miktarında bulunmaktadır (WHO, 2008).

Sulardaki nikel konsantrasyonları ILICAS'da 6.57 ppb, CDMS'de 10.97 ppb, ŞSSK'da 0.63 ppb, ve CERDERY'de 4.21 ppb'dir.

Suların bünyesindeki nikel değerlerinin kaynağı ise çalışma alanında bulunan magmatik kayalar olduğu düşünülmektedir.

### **3.5.3.5. Arsenik (As)**

Arsenik jeotermal sulara, pirit, arsenopirit, demir, bakırlı şeylerden ve fosfatlı kayaların oksidasyonu ile kolaylıkla geçebilmektedir.

Arsenik, kanserojen etkiye sahip olup düşük miktarları dahi tehlikeli olduğu için son yıllarda arseniğin sulardaki oranının araştırılmasına oldukça önem verilmektedir. İçme suyu ile ilgili standartlarda arseniğin 0.05 mg/l'den daha az olması gerekliliği belirtilmektedir (WHO, 2008).

Sıcak suyun arsenik konsantrasyonu yüzey suyu ve soğuk kaynaklara göre oldukça yüksektir. Örnek noktalarındaki ortalama arsenik konsantrasyonları ILICAS için 804.57 ppb, CDMS için 324.7 ppb, ŞSSK için 0.223 ppb ve CERDERY için 7.26 ppb olarak tespit edilmiştir. Sıcak sulardaki yüksek arseniğin kaynağı genç volkanik kayalar olarak yorumlanmıştır.

### **3.5.3.6. Baryum (Ba)**

Baryum elementinin asıl kaynağı barit mineralidir. Baryum elementi toprak alkali grubuna ait olmakla birlikte doğada element halinde bulunmamaktadır. Baryum, yeraltı suyu ile etkileşime girdiğinde genellikle hidrojen ve hidroksit iyonları meydana getirmektedir. Baryum elementinin oluşturduğu bileşiklerin çoğu insan sağlığı açısından oldukça zararlıdır. Bu sebepten dolayı kullanılan su kaynaklarında baryum elementinin olmaması veya düşük değerlerde olması istenmektedir (Tarcan, 2004).

Sıcak suyun baryum değeri 655 ppb olup diğer su noktalarındaki konsantrasyonundan oldukça yüksektir. CDMS'de 573.75 ppb olan Ba konsantrasyonu ŞSSK'da 0.417 ppb, ve CERDERY'de 7.28 ppb'dir.

Çalışma alanında bulunan su numunelerindeki baryumun kaynağı kireçtaşları ile etkileşimleri sonucudur.

### 3.5.3.7. Stronsiyum (Sr)

Stronsiyum suya strontianit, sölestin ve aragonit minerallerinden geçmektedir. Aragonitte bulunan  $Ca^{+2}$  iyonu  $Sr^{+2}$  iyonu ile yer değiştirir. Ancak bu durum kalsit için geçerli değildir. Aragonit, diyajenez sırasında daha duraylı polimorf kalsite dönüşürse bu durumda su içindeki stronsiyum iyonu serbest kalır (Hounslow, 1995).

Ayrıca stronsiyum elementi toprak alkali bir metal olup suyu ayrıştırması sonucu hidrojen ve hidroksit iyonlarını açığa çıkarmaktadır. Bunun yanı sıra stronsiyum elementi kimyasal olarak da oldukça reaktif bir metaldir (Tarcan, 2004).

Sularda ortalama stronsiyum değerleri ILICAS 2744.67 ppb, CDMS 1620.51 ppb, ŞSSK 57.55 ppb ve CERDERY 66.51 ppb'dir.

Numunelerde bulunan stronsiyum elementinin kaynağı Pınarlı Formasyonu içerisindeki marn, kireçtaşları ve jipslerdir.

### 3.5.3.8. Kurşun (Pb)

Doğal sulardaki miktarı nadir olarak yükselen Pb, kayaç oluşturan birçok mineralin asıl yapısında yer almaktadır. Sularda doğal olarak bulunmakta olan Pb, kayaçlardan ve insan faaliyetleri sonucunda da sulara karışabilmektedir (Hem, 1985). Bu faaliyetler sonucunda da insan sağlığı açısından oldukça riskli bir durum oluşturmaktadır. İçme suyundaki kurşun miktarı belirlenen en yüksek seviyenin üzerine çıkarsa hipertansiyon, zekâ kaybı, anemi ve böbrek hastalıkları meydana gelebilir. Bebeklerde fiziki ve zihni gelişimi geciktirmekte olup yetişkinlerde ise yüksek tansiyon ve böbrek rahatsızlıklarına sebep olmaktadır. Kurşunun içme sularında ki sınır değeri 0.01 mg/l olarak belirlenmiş olup içme sularında bulunmaması tercih edilmektedir (Akıray, 2003; Anonim, 2006).

Çalışılan sularda kurşun değerleri genel olarak düşük olup sırasıyla ILICAS 12.04 ppb, CDMS 19.42 ppb, ŞSSK 1.46 ppb, CERDERA 3.02 ppb, CERDERY 1.34 ppb'dir.

Suların bünyesindeki kurşunun kaynağı, kireçtaşları ve marnlar gibi karbonat içeren kayaçlar ile suların etkileşimi sonucudur.

### 3.5.3.9. Bor (B)

Yüzey ve yeraltı sularının bünyesinde bulundurduğu borun birçok kaynağı vardır. Bu kaynaklar magmatik ve sedimanter kayaçlar, toprak, endüstriyel ve evsel atık sularıdır. Ayrıca

volkanik gazlarda bor bileşikleri içerebilmektedirler, bu nedenle volkanik kayalar ile temas halinde bulunan sular ve sıcak kaynak sularında önemli miktarda bor bulunabilir (Dikmen, 2001). Bor'un toksik miktarlarına genellikle fay hatlarına yakın kuyu sularında, sıcak kaynak sularında, tuzlu ve alkali toprakların bulunduğu bölgelerde yeraltı ve taban sularında rastlanır (Eryurt, 1999). Suyun pH miktarına bağlı olarak sudaki bor miktarı değişmektedir. pH değeri 6'dan düşük olan asitli sular ortoborik asit egemendir. pH değeri 11'den yukarı olan nötr ve alkali doğal sular ise tetra-penta-hekza ve diğer poliboratlar gözlenir. Alkali metal boratlar suda fazla çözünürken diğer boratlar suda daha az çözünürler. Boratların çözünürlüğü sıcaklığın artması ile artmaktadır. Bu yüzden bor hidrotermal sularda hızlı bir şekilde hareket etmektedir. Jeotermal sistemlerde  $B^{+3}$  ve  $Cl^-$  genellikle suların kökeni hakkında ve sistemler içindeki farklı rezervuarlardan oluşabilecek karışımları belirtmektedir (Truesdell, 1975-1991; Arnorsson ve Andresdottir, 1995).

Sıcak suyun bor değeri 20096.67 ppb'dir. Ancak mineralli suyun bor değeri 23400 ppb olup sıcak suyunkinden daha yüksektir. Soğuk kaynak suyu bor konsantrasyonu 230 ppb, yüzey suyu (CERDERY) 0.01 ppb'den daha düşüktür.

Sıcak sulardaki yüksek bor konsantrasyonunun kaynağı alandaki genç volkanik kayaları besleyen volkanizma ve volkanik kayalardaki bor içeren mineraller olarak düşünülmektedir.

### 3.5.3.10. Lityum (Li)

Lityum iyonu yeraltı sularının bünyesinde genellikle düşük seviyede bulunmaktadır. Bu iyonlar aynı zamanda insan sağlığını da olumsuz şekilde etkilediklerinden dolayı sular yüksek miktarda bulunmaları istenmemektedir. Lityum iyonu yeraltı sularında metamorfik ve magmatik türü kayaların lityum iyonu içerenleri sayesinde bulunurlar (Tarcan, 2004).

Lityum ile magnezyumun yer değiştirdiği bazı piroksen ve mika mineralleri lityum taşıyan minerallerdir. Lityum miktarının artması sıcaklık ile doğru orantılıdır ancak magnezyum ile ters orantılıdır. Bu nedenle Li/Mg oranı jeotermometre uygulamalarında kullanılmaktadır (Kharaka ve Mariner, 1987). Yapılan son çalışmalar neticesinde lityumun illit ve diğer kil mineralleri tarafından adsorbe edildiğini göstermektedir (Shaw ve Sturchio, 1992). Petrol bulunan bölgelerde lityum miktarı 5-50 mg/l arasında olmasına rağmen bazı bölgelerde bu değer 400 mg/l'ye çıkmaktadır (Collins, 1975). Deniz suyunun Li içeriği ise 0.17 mg/l'dir (Hounslow, 1995).

Sularla belirlenen ortalama lityum değerleri ILICAS'da 983.33 ppb, CDMS'de 295 ppb, ŞSSK <0.001 ppb ve CERDERY'de 0.001 ppb'nin altındadır. En yüksek Li konsantrasyonunun

gözlendiği sıcak sulara Li havzada yüzeylenen volkanik kayalardaki Li içeren minerallerden gelmektedir. Bu suların bünyesinde bulunan lityumun kaynağı ise magmatik kayalarda olan bazaltlar olduğu düşünülmektedir

### 3.5.4. Kirlilik Analizleri

Suların kalite sınıflarının ve içme kullanma sularının içilebilme özelliklerinin belirlenmesinde  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  ve  $\text{PO}_4$  parametreleri gerklidir. Dolayısıyla inceleme alanında örnekleme yapılan su noktalarında bu parametreler de analiz edilmiş (Tablo 5) ve suların bu parametreler açısından kirlilik durumları değerlendirilmiştir.  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  ve  $\text{PO}_4$

#### 3.5.4.1. Amonyum ( $\text{NH}_4$ )

Tablo 5 incelendiğinde su örneklerinde  $\text{NH}_4$  değerinin ŞSSK Ekim 2016 örnekleme hariç 0.00 ppm olduğu belirlenmiştir. ŞSSK Ekim 2016 örneklemesine göre  $\text{NH}_4$  konsantrasyonu 0.04 ppm'dir.

TSE-266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına göre  $\text{NH}_4$  değeri sınır değer olan 0.5 mg/l'den düşüktür ve kaynak suyu olarak kullanılabilir durumdadır. Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri açısından ise yüksek kaliteli su sınıfına girmektedir. ŞSSK bu kritere göre içme suyu olma potansiyeli yüksek olan sular, alabalık üretimi için kullanılabilir nitelikte su, hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı için kullanılabilir nitelikte su sınıfında yer almaktadır.

Amonyum suda mevcut serbest klorür ile kolaylıkla reaksiyona girebilmektedir. Bunun neticesinde de kloraminler oluşmaktadır. Özellikle içme suyu arıtma tesislerinde sterilizasyon aşamasında klorlama veriminin düşmesine ve oluşan kloraminlerin düşük konsantrasyon seviyelerinde dahi su canlı yaşamını olumsuz şekilde etkileyebilmektedir (Smethurts, 1979). Amonyak derişiminin yeraltı sularında genellikle düşük olmasının sebebi toprak taneleri ve kil mineralleri tarafından adsorblanmasından kaynaklanmaktadır (APHA vd., 1981). Amonyum hem doğal hem de antropojenik kökenli olarak oluşabilir. Amonyumun doğal kaynakları genellikle metabolik süreçler, kayaç ayrışması, hidro termal aktiviteler, gübreler ve endüstriyel faaliyetlerdir (Aiuppa vd., 2003).  $\text{NH}_4/\text{NH}_3$  oranı pH değeri ve sıcaklığa bağlıdır. pH değeri 8.5'den büyük olduğu durumlarda amonyak yüzdesi hızla artar (Uslu ve Türkman, 1987). Sulara bulunan serbest amonyak, yakın kirlenmenin bir işaretidir. Serbest amonyak ve nitritin düşük konsantrasyonları yüksek toksik etki gösterebilmektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).

Tablo 5. Çalışma alanında örnekleme yapılan noktaları kirlilik analiz değerleri

Örnek Adı	Ölçüm Tarihi	NO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>3</sub> (ppm)	NH <sub>4</sub> (ppm)	PO <sub>4</sub> (ppm)
GSK	Mayıs 16	-	-	-	-
	Ekim 16	-	-	-	-
	Mart 17	-	-	-	-
	Temmuz 17	0.02	0.88	0.00	0.11
GMS	Mayıs 16	-	-	-	-
	Ekim 16	-	-	-	-
	Mart 17	-	-	-	-
	Temmuz 17	0.02	0.19	0.00	0.00
ILICAS	Mayıs 16	0.00	0.00	0.00	0.00
	Ekim 16	0.00	0.00	0.00	0.00
	Mart 17	0.00	0.00	0.00	0.00
	Temmuz 17	0.00	0.78	0.00	0.00
CERDERA	Mayıs 16	0.00	0.22	0.00	0.00
	Ekim 16	0.00	0.00	0.00	0.00
	Mart 17	0.00	0.11	0.00	0.00
	Temmuz 17	0.00	0.18	0.00	0.00
CERDERY	Mayıs 16	0.00	0.05	0.00	0.00
	Ekim 16	0.00	0.01	0.00	0.00
	Mart 17	0.00	0.43	0.00	0.00
	Temmuz 17	0.00	0.01	0.00	0.00
ŞSSK	Mayıs 16	0.00	0.98	0.00	0.00
	Ekim 16	0.00	1.07	0.04	0.00
	Mart 17	0.00	1.11	0.00	0.00
	Temmuz 17	0.00	0.94	0.00	0.00
CDMS	Mayıs 16	0.00	0.75	0.00	0.00
	Ekim 16	-	-	-	-
	Mart 17	0.00	0.00	0.00	0.00
	Temmuz 17	0.28	0.86	0.00	0.00

### 3.5.4.2. Nitrit (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

Çalışma alanında sıcak suda, yüzey sularında ve soğuk su kaynağında nitrit değerleri 0.00 ppm'dir. Ancak NO<sub>2</sub> konsantrasyonu CDMS Temmuz 2017 örneklemesinde 0.28 ppm, GSK ve GMS noktalarında ise 0.02 ppm olarak ölçülmüştür.

CDMS, Kıtaiçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri bakımından III.-IV. Sınıf (Zayıf) sular sınıfında yer almaktadır.

GSK ve GMS kaynakları ise, I.-II. Sınıf (İyi) sular sınıfında yer almaktadır. Bu sınıf sular, içme suyu olma potansiyeli yüksek olan yerüstü sular, alabalık dışında balık üretimi için



kullanılabilir nitelikte sular ve Mer'i mevzuat ile tespit edilmiş olan sulama suyu kalite kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu olarak kullanılabilirler.

Nitrit iyonu sulara düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşimidir. Oksijen bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan,  $\text{NH}_3$  ve  $\text{NO}_3^-$  arasında (nitrifikasyon) veya nitrat ya da azotoksit arasında (denitrifikasyon) geçiş formu olarak bulunur. Sudaki nitritin varlığı orada organik bir kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik proseslerin varlığını göstermektedir (McNeely vd., 1979). Nitrit, insanlar ve hayvanlar için nitrattan daha fazla zehirleyici bir etkiye sahiptir (Doğan, 1981).  $\text{NO}_2^-$  iyonu bitkiler tarafından azot kaynağı olarak kullanılabilir.  $\text{NO}_2^-$  iyonu sulara yaygın görünmesine karşılık nitrata oranla daha az görülmektedir.  $\text{NO}_2^-$  organik azotun bakteriler tarafından tamamen oksitlenmesi sonucu oluşur. İçme suyundaki nitritin yüksek konsantrasyonu zehirlilik etkisi yaratmaktadır. Genel olarak yeraltı sularında azot olarak 0.1 mg/l'den fazla nitrit bulunmaz (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).

### 3.5.4.3. Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )

Çalışma alanında sıcak suda  $\text{NO}_3^-$  değeri 0.00-0.78 ppm, yüzey sularında 0.00-0.43 ppm arasında, soğuk su kaynaklarından olan GSK'da 0.88 ppm ve ŞSSK'da ise 0.94-1.11 ppm arasında, mineralli sulardan GMS'de 0.19 ppm ve CDMS'de ise 0.00-0.86 ppm arasında ölçülmüştür.

Nitrat için Kıtaiçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterlerine göre bu kaynaklar I. Sınıf yüksek kaliteli sular kategorisinde yer almaktadır. Bu kaynaklar içme suyu olma potansiyeli yüksek olan yerüstü sular, yüzme gibi vücut teması gerektirenler dâhil rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir su, alabalık üretimi için kullanılabilir nitelikte su, hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı için kullanılabilir nitelikte sular sınıfındadır.

Sularda bulunan bağlı azot bileşiklerinin en önemlisi nitrattır. Sularda bulunan nitratın lokal kaynakları magmatik kayalar ve volkanlardan çıkan buhar, gaz vb. malzemelerdir. Yüzey ve yeraltı sularında bulunan nitratın başlıca kaynakları bozunun bitkisel ve hayvansal atıklar, katı atıkların yıkanması evsel ve endüstriyel atıklar, tarımda kullanılan gübreler, sulamadan dönen sular ve atmosferik azotun yağışlar ile yıkanması şeklindedir (Dikmen, 2001).

Sularda bulunan nitrat oranı genellikle 20 mg/l'den azdır. Fakat bazı su kaynaklarında bu değer 45 mg/l'yi geçebilmektedir. Yüksek miktardaki nitrat derişiminin çoğunluğu yeraltı sularında görülmektedir. Yüzey sularında bulunan nitrat ise sucul bitkiler tarafından kullanılarak derişimi azaltılmaktadır (WHO, 1984).

Bazı yüzey suları 450 mg/l'den fazla nitrat içerebilmektedir. Ancak derişimi nadir olarak 20 mg/l'ye ulaşabilmektedir. Çoğunlukla bu değer 5 mg/l'nin altındadır. Yeraltı sularında da nitrat miktarının fazlalığı görülebilir. Özellikle tarımsal bölgelerde yapılan azotlu gübre kullanımı sonucunda yeraltı sularındaki nitrat derişimi 1000 mg/l'yi geçebilmektedir. Nitratın insan sağlığı açısından zararları göz önünde bulundurularak, WHO (1984) içme suyu standartlarında derişiminin 50 mg/l'yi geçmemesini önermiştir.

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

Çalışma alanında PO<sub>4</sub> değeri GSK Temmuz 2017 örnek noktasında 0.11 ppm olarak ölçülmüştür. Diğer örnek noktalarında ise PO<sub>4</sub> ölçülmemiştir.

GSK, Kıtaici Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'ne göre II. Sınıf (Az kirlenmiş) sular sınıfında yer almaktadır. Bu sular, içme suyu olma potansiyeli yüksek olan yerüstü suları, yüzme gibi vücut teması gerektirenler dâhil rekreasyonel maksatlar için kullanılabilir su, alabalık üretimi için kullanılabilir nitelikte su, hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı için kullanılabilir nitelikte sular kategorisindedir.

Fosfor, doğal ve atık sularda ortafosfatlar, polisfosfatlar, metafosfatlar ve organik fosfatlar olmak üzere çeşitli şekillerde bulunmaktadır. Fosfor magmatik kayalarda bulunan en yaygın elementlerdendir. Bu kayalar esas olarak apatit minerali olarak bulunmaktadır. Sedimanter kayalarda da oldukça yaygın olmasına karşın derişimleri 1 mg/l'yi geçmemektedir (Hem, 1985). Ortamda yeterli miktarda azot bulunduğunda 0.1 mg/l üzerindeki fosfor derişimleri çamur oluşumuna ve alg çoğalmasına neden olarak suyun içme, endüstriyel ve banyo amaçlı kullanımını olumsuz şekilde etkilemektedir (McNeely vd., 1979).

Yüzey ve yeraltı sularındaki fosfatın başlıca kaynakları, kayalar ve toprak, bozunan bitkisel ve hayvansal atıklar, evsel ve endüstriyel atıklar, arıtma tesislerinin atık suları, katı atık depolama alanları ve tarımda kullanılan gübrelerdir.

### **3.6. Çalışma Alanındaki Suların Sınıflandırılması**

İnceleme alanındaki suların hidrokimyasal sınıflarının belirlenmesi amacıyla çalışma alandaki jeotermal kuyudan, soğuk su kaynaklarından ve yüzey sularından alınan su örneklerine ait analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar, ayrı ayrı olmak üzere litrede eşdeğer gram cinsinden toplam çözünmüşlerin %50'sinden fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. İyonların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) Sıcak ve Mineralli Sular Komisyonu Çalışma Raporu'nda belirtilen sınıflamada ise; suda çözünmüş başlıca iyonlar, anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere yine litrede eşdeğer gram olarak %20'sinden fazla çözünmüş bulunan iyonlara göre (önce katyonlar sonra anyonlar sırasıyla yazılarak) su tipi belirlenmektedir (Başkan ve Canik, 1983). Çalışma alanındaki suların hidrokimyasal fasiyes kavramına göre değerlendirilmesinde IAH (1979) sınıflaması kullanılmıştır (Tablo 6).

Jeotermal suları, soğuk kaynak sularını ve yüzey sularını sınıflamak ve hidrojeokimyasal işlevlerini tanımlamak için Piper Diyagramı (1944), suların kimyasal içeriklerini karşılaştırmak amacıyla da Schoeller Diyagramı (1962) kullanılmıştır.

Tablo 6. Ilıca (Şavşat) jeotermal sahasındaki suların IAH (1979)'a göre sınıflaması

Örnek Adı	Türü	Tarih	Su Tipi
ILICAS	Sıcak su kaynağı	Mayıs 2016	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
		Ekim 2016	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
		Mart 2017	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
		Temmuz 2017	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
CDMS	Maden suyu	Mayıs 2016	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
		Mart 2017	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
		Temmuz 2017	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
GMS	Maden suyu	Temmuz 2017	Na-HCO <sub>3</sub>
SSSK	Soğuk su kaynağı	Mayıs 2016	Ca-HCO <sub>3</sub>
		Ekim 2016	Ca-HCO <sub>3</sub>
		Mart 2017	Ca-HCO <sub>3</sub>
		Temmuz 2017	Ca-HCO <sub>3</sub>
GSK	Soğuk su kaynağı	Temmuz 2017	Na-HCO <sub>3</sub>
CERDERY	Yüzey suyu	Mayıs 2016	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
		Ekim 2016	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
		Mart 2017	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
		Temmuz 2017	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl
CERDERA	Yüzey suyu	Mayıs 2016	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
		Ekim 2016	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
		Mart 2017	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
		Temmuz 2017	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>

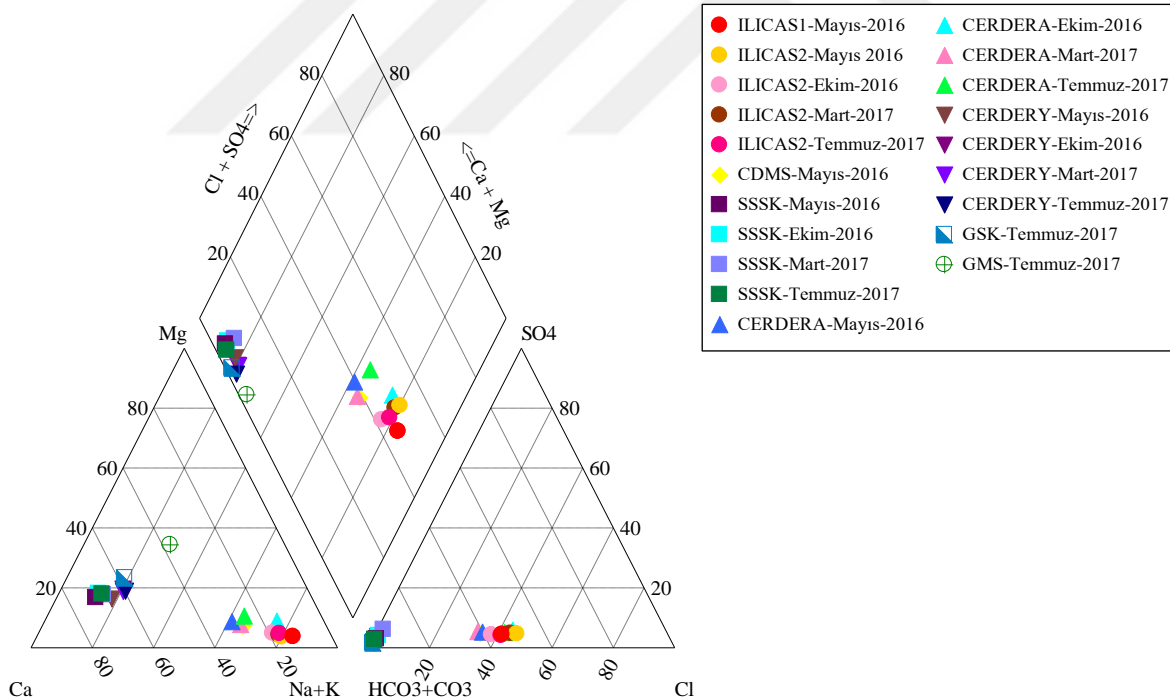
IAH (1979) sınıflamasına göre Şavşat sıcak sularının Na-HCO<sub>3</sub>-Cl su tipi olduğu belirlenmiştir. CDMS ve CERDERY örnek noktaları ise genel olarak Na-HCO<sub>3</sub>-Cl su

tipindedir. GMS ve GSK örnek noktalarındaki sular ise Na-HCO<sub>3</sub> su tipinde olduğu ve son olarak CERDERA örnek noktasındaki su tipinin ise Na-Ca-HCO<sub>3</sub> olduğu belirlenmiştir.

### 3.6.1. Piper Diyagramı Değerlendirilmesi

Piper Diyagramı anyon ve kationların ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgen ve tüm iyonların ortak alanda gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Eşkenar dörtgen ise suların dokuz bölgeye ayrılmış sınıflara göre tanımlamasında kullanılır.

Piper Diyagramı değerlendirilmesine göre çalışma alanındaki sıcak sularda alkali elementler (Na+K), toprak elementlerden (Ca+Mg); güçlü asit kökleri (Cl+SO<sub>4</sub>) kökleri de zayıf asit köklerinden (CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) fazladır. Soğuk kaynak ve yüzey sularında ise tersi durum gözlenmektedir (Şekil 27).

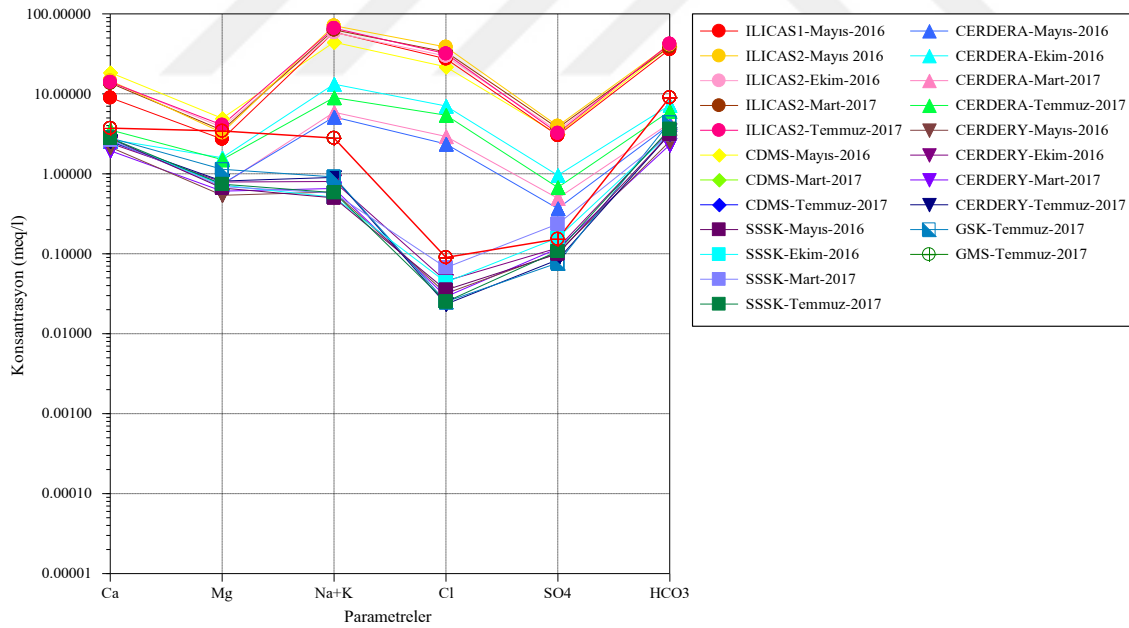


Şekil 27. Çalışma alanındaki su örneklerine ait piper diyagramı

### 3.6.2. Schoeller Diyagramı Değerlendirmesi

Schoeller Diyagramı, logaritmik ölçekli dikey ekseninde meq/l cinsinden element konsantrasyonları, yatay ekseninde ise  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+}+K^{+}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{-2}$ ,  $HCO_3^{-}$  iyonlarını içeren yarı logaritmik bir diyagramdır. Bu diyagram gerek iyonların toplu bir şekilde tek bir diyagram üzerinde görülmesi, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması açısından oldukça sık kullanılan bir diyagramdır. Schoeller Diyagramı, aynı kökenli, aynı akifer ve beslenme alanına sahip suların iyon dağılımlarının paralellik göstermesi beklenmektedir. İnceleme alanına ait suların Schoeller Diyagramı'nda konumları gösterilmiştir (Şekil 28).

ILICAS, CDMS ve CERDERA noktaları birbirleri ile benzerlik göstermektedirler. Bu durum aynı kökenden geldiklerini ve beslenme noktalarının aynı olduğunu göstermektedir. CERDERA yüzey suyunun ILICAS sıcak su sondajı ile benzerlik göstermesi ise, sıcak su sondajından çıkan suyun CERDERA yüzey suyuna karışması şeklinde açıklanabilir. Diğer soğuk su, yüzey suları kendi aralarında benzerlik göstermektedirler. Bu da bu suların aynı kaynaktan beslendiğini göstermektedir. Ancak ILICAS ve CDMS'nin diğer sulardan farklı kimyasal bileşime sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 28. İncelenen suların Schoeller Diyagramı'ndaki konumları

### 3.7. Suların Mineral Doygunlukları

Özellikle sıcak ve mineralli suların kabuklaşma ve korozyon özelliklerinin önceden tahmin edilmesi, suların üretilmesi ve işletilmesi aşamasında oluşabilecek çökellerin önlenmesi

açısından ekonomik olarak oldukça önemlidir. Yeraltı sularında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam hakkında yorum yapabilme olanağı sağlamaktadır.

Bir mineralin sudaki çözünürlük durumunun ifadesinin bir şekli olan doygunluk indeksi (Saturation Index, SI); iyonik aktivite çarpanı (IAP) ile tepkime denge sabitine (K) oranının logaritmik ifadesidir. Her mineral için özellikle sıcaklıkla ve kısmen de basınçla değişen değerler içermektedir. Bilindiği gibi termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indeksi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır:

SI (log IAP/K)= 0 ise su ilgili mineral ile dengededir.

SI (log IAP/K)>0 ise su ilgili minerale aşırı doygundur (mineral çöktürücü özelliktedir).

SI (log IAP/K)<0 ise su ilgili minerale doygun değildir (mineral çözücü özelliktedir).

Çalışma alanında yer alan suların mineral doygunluk indislerinin hesaplamasında, arazide ölçülen pH ve sıcaklık değerleri ile kimyasal analiz sonuçlarından yararlanarak AquaChem 2014.1 adlı bilgisayar programı kullanılmıştır. Program yardımıyla elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir.

Verilen tablo incelendiğinde Şavşat-Ilıca jeotermal alanında incelenen sulardan ILICAS örnek noktası Mayıs-2016 ayında yapılan örnekleme sonucunda sular aragonit, barit, kalsit ve dolomite doygun, anhidrit, florit, jips, halit ve viterite doygun değildir. ILICAS örnek noktasında Ekim-2016 ayında yapılan örnekleme analiz sonuçlarına göre buradaki su aragonit, kalsit ve dolomite doygun, anhidrit, florit, jips ve halite doygun değildir. CDMS örnek noktasındaki sular ise aragonit, barit ve kalsite doygun, anhidrit, dolomit, florit, jips, halit ve viterite doygun değildir. CERDERA noktasında Mayıs-2016 ve Ekim-2016 aylarında yapılan ölçümler neticesinde sular aragonit, kalsit ve dolomite doygun, anhidrit, barit, florit, jips, halit ve viterite doygun değildir. CERDERY örnekleme noktasında ise mayıs ayında yapılan ölçümler kalsite doygun, anhidrit, aragonit, barit, dolomit, florit, jips, halit ve viterite doygun değildir. Ekim ayında yapılan ölçümlerde ise dolomite doygun ancak anhidrit, aragonit, kalsit, florit, jips ve halite doygun değildir. ŞSSK örnek noktasında ise Mayıs-2016 ayında yapılan ölçümlerde hiçbir minerale doygun değilken ekim ayında yapılan ölçümlerin sonucunda aragonit, kalsit ve dolomite doygun, anhidrit, florit, jips ve halite doygun değildir.

Arazide yapılan gözlemlerde ise ILICAS kaynağının etrafında ve daha önce sıcak su akışlarının olduğu noktalarda kalsit çökellerinin varlığı tespit edilmiştir.

Şekil 29’a bakıldığında da örnek noktaları anhidrite doygun olmadığı, aragonitte ise CERDERY-Ekim ayında ki ölçümün doygun olmadığı ve diğer noktaların doygun olduğu, barit ölçümlerinde ise CERDERA-Mayıs ve CERDERY-Mayıs noktalarında doygun olmadığı

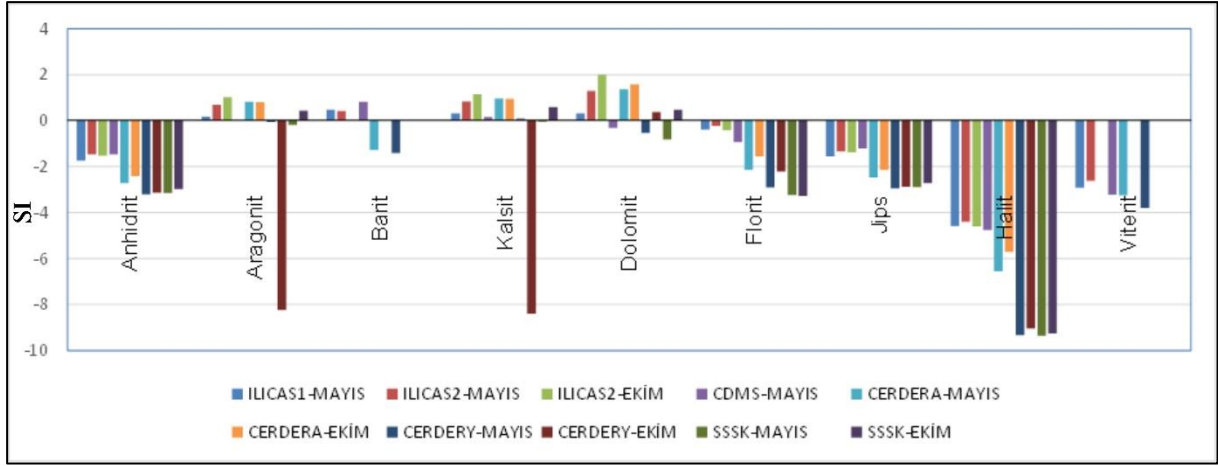
ancak diğer noktaların doygun olduğu, kalsitte de aragonit gibi CERDERY-Ekim'de doygun olmadığı diğerlerinde doygun olduğu, dolomitte ise CDMS-Mayıs, CERDERY-Mayıs ve ŞSSK-Mayıs noktalarında doygun olmadığı ve diğer noktaların doygun olduğu ancak tüm noktaların florit, jips, halit ve viterite doygun olmadığı gör÷lmektedir.



Tablo 7. Çalışma alanından alınan su örneklerine ait SI değerleri

		ILICAS1 MAYIS 2016	ILICAS2 MAYIS 2016	ILICAS2 EKİM 2016	CDMS MAYIS 2016	CERDERA MAYIS 2016	CERDERA EKİM 2016	CERDERY MAYIS 2016	CERDERY EKİM 2016	SSSK MAYIS 2016	SSSK EKİM 2016
<b>Anhidrit</b>	CaSO <sub>4</sub>	-1.75	-1.47	-1.53	-1.47	-2.72	-2.41	-3.22	-3.14	-3.15	-2.98
<b>Aragonit</b>	CaCO <sub>3</sub>	0.17	0.69	1.01	0.00	0.81	0.80	-0.07	-8.24	-0.20	0.43
<b>Barit</b>	BaSO <sub>4</sub>	0.47	0.41	-	0.82	-1.28		-1.41	-	-	-
<b>Kalsit</b>	CaCO <sub>3</sub>	0.31	0.83	1.14	0.16	0.96	0.95	0.09	-8.40	-0.04	0.58
<b>Dolomit</b>	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.31	1.28	1.99	-0.32	1.37	1.58	-0.54	0.37	-0.82	0.47
<b>Florit</b>	CaF <sub>2</sub>	-0.40	-0.23	-0.42	-0.94	-2.15	-1.56	-2.91	-2.22	-3.27	-3.29
<b>Jips</b>	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O	-1.56	-1.33	-1.38	-1.21	-2.47	-2.15	-2.96	-2.88	-2.90	-2.72
<b>Halit</b>	NaCl	-4.59	-4.40	-4.60	-4.77	-6.56	-5.70	-9.33	-9.05	-9.37	-9.27
<b>Viterit</b>	BaCO <sub>3</sub>	-2.92	-2.63	-	-3.23	-3.25	-	-3.80	-	-	-





Şekil 29. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait mineral doygunluk indisi (SI) değerleri

### 3.8. Jeotermometre Uygulamaları

Yüzeye erişen kaplıca sularının sıcaklıkları, genellikle hazne kaya içerisindeki sıcaklıktan daha düşüktür. Yeraltından yüze doğru çıkan sıcak suların geçtiği yollar üzerinde temas ettikleri kayalar ile ısı alışverişi, soğuk sular ile karışımı, hazne kaya ile atmosfer arasında bulunan örtü kayanın çok ince oluşu veya hiç olmaması gibi durumlar yüze çıkan suların sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır. Bunun yanı sıra yeraltında ki suyun kat ettiği yol ne kadar kısa ve çıkış hızı ne kadar yüksek ise suyun sıcaklığı hazne kaya sıcaklığına o kadar yakındır. Sıcak suların hazne kaya içerisindeki sıcaklıkları, kimyasal özellikleri ve verimleri ekonomik anlamda oldukça önem taşımaktadır. Hazne kaya sıcaklığının hesaplanması için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları, doğal izotopların jeotermometre olarak kullanılması, sığ ve derin kuyularda ölçülen sıcaklıklardan yararlanarak hazne kaya sıcaklığının tahmini, jeotermal alanlarda izlenen hidrotermal alterasyon sonucu oluşan kil minerallerinin sondajlarla incelenmesi, kimyasal ve kapanım jeotermometreleri gibi yöntemlerdir. Ancak, hazne kayadaki suların sıcaklığı, verimleri, kimyasal özellikleri hakkında gerçek bilgiler, hazne kayaya kadar inen kuyuların incelenmesinden elde edilir (Şahinci, 1991).

Kimyasal jeotermometreler kalitatif ve kantitatif olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kalitatif jeotermometrelerin çoğunluğu uçucu elementlerin sıcak akışkanlarda ve zeminde göreceli miktarlarına, dağılımlarına veya zemin gazlarındaki oranlarına dayanır (Fournier, 1977).

Kantitatif (sayısal) kimyasal jeotermometrelerin kullanılmasında bazı temel varsayımlar göz önünde bulundurulur. Bunlardan bazıları şunlardır;

1. Sıcak sulardaki kimyasal maddelerin oluşması için gerekli kimyasal tepkimeler, akifer-su arasında gerçekleşmektedir.

2. Sıcaklık saptanmasında gerekli maddelerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi hazne kayada boldur.

3. Akifer sıcaklığında kaya-su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.

4. Akiferden yüzeye erişen sıcak suyun, soğuma sonucunda kimyasal yapısı değişmez veya yeni bir kimyasal denge gerçekleşmez.

5. Akiferden gelen sıcak suların, soğuk yeraltı ve yüzey suları ile bir karışımı söz konusu değildir.

Bu varsayımlardan ilk üçü SiO<sub>2</sub> ne Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılmaktadır. Son iki varsayım ise gerçeği yansıtmamaktadır. Çünkü akiferden yüzeye doğru gelen sıcak suyun soğuması veya soğuk suların karışımı ile suyun kimyasal yapısı değişebilmektedir.

Kantitatif kimyasal jeotermometreler çözünürlüğe ve iyon değişimine bağlı olarak geliştirilmişlerdir. Bu çalışmada çözünürlüğe dayalı jeotermometrelerden silis, iyon değişimine dayalı jeotermometrelerden de Na/K jeotermometreleri kullanılmıştır.

### **3.8.1. Çözünürlüğe Dayalı Jeotermometreler**

#### **3.8.1.1. Silis Jeotermometreleri**

Hazne kaya sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılan kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometrelerdir. Bu jeotermometreler 150-225°C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda hazne kayadan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225°C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Kuvars jeotermometresi aşağıda verilen varsayımlar göze alınarak kullanılır.

1. Rezervuardaki akışkanlar kuvars ile denge halindedir.

2. Yukarıya yükselme sırasında, soğuk ve sıcak sular arasında herhangi bir karışım yoktur.

3. Yükselen su ya kondüktif olarak soğumakta veya 100°C'de buhar ayrılması ile adiyabatik soğuma (kaynama) gerçekleşmektedir.

Silis jeotermometrelerinin üst sınırı 250°C'dir. Bu sıcaklığın üzerinde silis hızla çökeler ve yüzeye ulaşan akışkanın silis değeri akiferdekinden farklılık gösterir. Jeotermometre iyon içeriklerinden, iyon içeriklerinin oranlarından çok miktarıyla ilgilidir ve kaynama gibi fiziksel olaylara bağlıdır. Silis konsantrasyonu, artan sıcaklık ve basınçla artar. Sıcak akışkanın yüzeye yakın asidik sularla karışması sonucu yüzeye çıkan sıcak ve mineralli sudaki silis

konsantrasyonu akifer koşullarını yansıtmaz ve jeotermometre yanıltıcı sonuçlar verir (Nicholson, 1993).

Silis jeotermometre bağıntıları, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kaya sıcaklığına veya suyun yükselirken soğumasına bağlı olarak hazırlanmıştır. Silis çözünürlüğüne pH ancak 9.5 üzerinde etkindir. İyonlaşma gücünün silis çözünürlüğüne etkisi yoktur (Şahinci, 1991).

Çalışma alanında bulunan Şavşat-İlica jeotermal suyunun kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak silis jeotermometre bağıntıları uygulanmıştır (Tablo 8). Amorf silis bağıntısı Silis (Fournier, 1977) ile hesaplanan değer (29°C) kuyunun boşalım sıcaklığından daha düşük olduğu için dikkate alınmamıştır.  $\beta$  Kristobalit eşitliği ise boşalım sıcaklığına yakın değer vermiştir. Bu durumda rezervuar sıcaklığının 100- 150°C arasında olabileceği belirlenmiştir.



Tablo 8. Şavşat-Ilıca jeotermal alanındaki sıcak su kaynağına ait silis jeotermometre uygulamaları (ILICAS: SiO<sub>2</sub> = 125.8 mg/l)

Uygulanan Jeotermometreler	Bağıntılar	Değınilen Belgeler	Hesaplanan sıcaklıklar
			<b>ILICAS</b>
1. SiO <sub>2</sub> (Amorf silis)	$t=731/(4.52-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	29
2. SiO <sub>2</sub> (α Kristobalit)	$t=1000/(4.78-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	100
3. SiO <sub>2</sub> (β Kristobalit)	$t=781/(4.51-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	51
4. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	$t=1032/(4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	125
5. SiO <sub>2</sub> (Kuvars)	$t=1309/(5.19-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	150
6. SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t=1522/(5.75-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	144
7. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon, kndktf. s.)	$t=1112/(4.91-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	122
8. SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t=1264/(5.31-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	121
9. SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t=1021/(4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	121
10. SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t=1164/(4.9-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	143
11. SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t=1498/(5.7-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	143

### 3.8.2. İyon Değışimine Bağlı Jeotermometreler

Bu jeotermometreler, suda iyon değışimine uğrayan birçok mineralden yararlanılarak geliştirilmiş ampirik jeotermometrelerdir. İyon değışimi ve bozuşma reaksiyonlarında denge sabitleri sıcaklığa bağıldır. Bu türdeki reaksiyonlarda çözünmüş katı madde oranları değışen

sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir (Fournier, 1977). Sıcaklığa bağlı olarak gelişen su-mineral dengeleri kullanılarak akifer sıcaklığının tahminine yönelik çeşitli jeotermometreler geliştirilmiştir (Gemici, 1999).

### 3.8.2.1. Na/K Jeotermometreleri

Na/K jeotermometrelerinin uygulandığı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökellerinin oluşmaması,  $\log(\sqrt{Ca/Na})$  değerinin 0.5 mg/l'den az olması koşulları aranmalıdır. Bu jeotermometreler suda fazla miktarda  $Ca^{+2}$  iyonu bulunuyorsa, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350 °C sıcaklıktaki hazne kayadan gelen sularda iyi sonuçlar vermektedir (Fournier, 1977).

Na/K jeotermometresi genellikle 180-350°C arasında olumlu sonuç vermesine karşılık 120°C'nin altında yanlış sonuçlar verebilmektedir. Bunun sebebi ise, Na ve K iyonları düşük sıcaklıklarda killi minerallerden etkilenerek iyon değişimi reaksiyonlarını kontrol edememesidir. Buna bağlı olarak da jeotermometre hesaplamalarında gerçek akifer sıcaklığından daha yüksek değerler elde edilebilir (Gemici, 1999).

Özellikle, Ca/Na (mol/l) oranının 1'den büyük olduğu durumlarda, Na/K jeotermometre bağıntıları, hazne kaya sıcaklığı hesabından çok yüksek değerler vermektedir. Bu olumsuz yönü gidermek için Fournier ve Truesdell (1973,1974), şöyle bir bağıntı vermişlerdir:

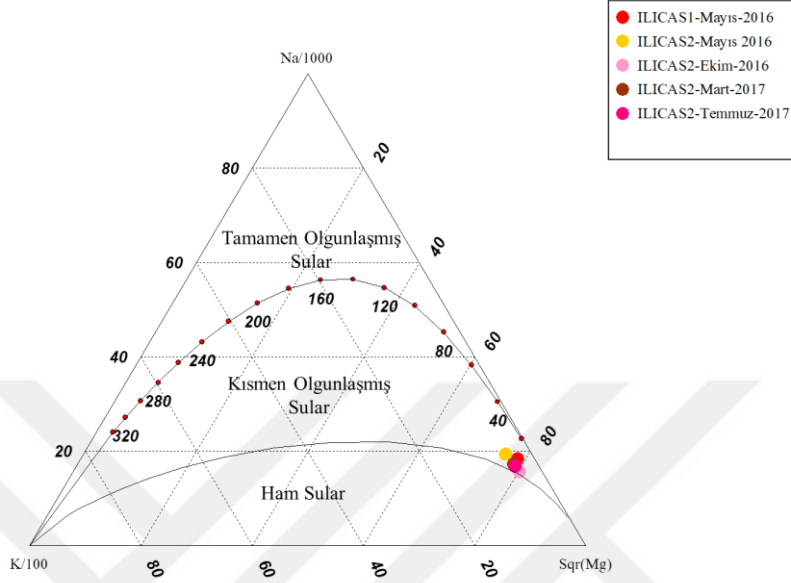
- $t^{\circ}C = [1647 / (\log(Na / K) + \beta \log(\sqrt{Ca / Na}) + 2,249] - 273,15$

Bağıntıda, Na, K, Ca mol/l olarak alınır; B, bir katsayıdır. Eğer,  $\log(\sqrt{Ca/Na})$  değeri eksi ise, B=1/3; artı ise B=4/3 bağıntıya konur. Ayrıca B=4/3 ile hesap edilen hazne kaya sıcaklığı 100 °C'den fazla ise, B=1/3 alınarak, hazne kaya sıcaklığı tekrar hesap edilir. Hazne kaya sıcaklığı 100 °C altında ise, B=4/3 kabul edilir (Şahinci, 1991).

İnceleme alanındaki sular incelendiğinde pH değerleri nötre yakındır.  $\log(\sqrt{Ca/Na})$  değeri ise ILICAS kaynağında -0.37'dir.

Ancak sıcak suların akifer sıcaklıklarının saptanmasında ve suların temasta bulunduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için uygulanan bir başka yöntem ise Giggenbach (1988) tarafından geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleşik jeotermometresidir. Bu jeotermometre ile katyon jeotermometrelerinin geçerliğinin sınanmasının yanında termal suların hazne kaya sıcaklıkları hızlı bir şekilde yorumlanabilmektedir.

Şavşat jeotermal sahasındaki sıcak sular ise kısmen olgunlaşmış sular sınıfındadır (Şekil 30). Bu nedenle Na/K jeotermometrelerinin jeotermal rezervuar sıcaklığı tahmininde uygun olmayacağı sonucunu vermektedir. Bu yüzden bu çalışmada Na/K jeotermometreleri uygulanmamıştır.



Şekil 30. İnceleme alanındaki sulara ait Giggenbach diyagramı

### 3.9. Karışım Modelleri

Jeotermal sistemin bir bileşeni olan sıcak akışkanlar yüzeye ulaşırken soğuk yer altı suları ile farklı derinliklerde farklı oranlarda karışabilmektedir. Bu karışımın varlığı ve karışım oranı bazı araştırmalarla belirlenmektedir. Eğer arazide farklı noktalardan boşalan birden çok kaynak bulunuyorsa ve bu kaynakların sıcaklıkları veya kimyasal bileşimlerindeki klorür, bor gibi elementler ile Cl/B, Cl/Cs, Cl/As, Cl/(HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>), Cl/F, Na/K gibi oranlarda büyük değişiklikler izlenirse, karışımdan söz edilebilir (Şahinci, 1991).

Fournier ve Truesdell (1974), sıcak-soğuk su karışımlarından yararlanarak hazne kaya sıcaklıklarını saptamışlardır. Bu hesaplamalar iki varsayım üzerine kurulmuştur. Birinci varsayıma göre, sıcak akışkan (buhar+sıcak su) soğuk sularla derinlerde karışarak yüzeye erişir. Karışımdan önce ve sonra buhar kaybı yoktur. Yüzeye erişen karışım suyu ılık veya kaynama sıcaklığında bulunabilir. İkinci varsayımda ise, karışımdan önce derinlerdeki sıcak akışkandan buhar ayrılarak ortamdan uzaklaşır. Geri kalan sıcak su soğuk yeraltı suları ile karışarak yüzeye ulaşır. Genellikle birinci varsayıma göre hesaplanan sıcaklıklar en yüksek, ikinci varsayımla saptanma ise en düşük hazne kaya sıcaklıklarını verir. Jeotermal sistemlerin

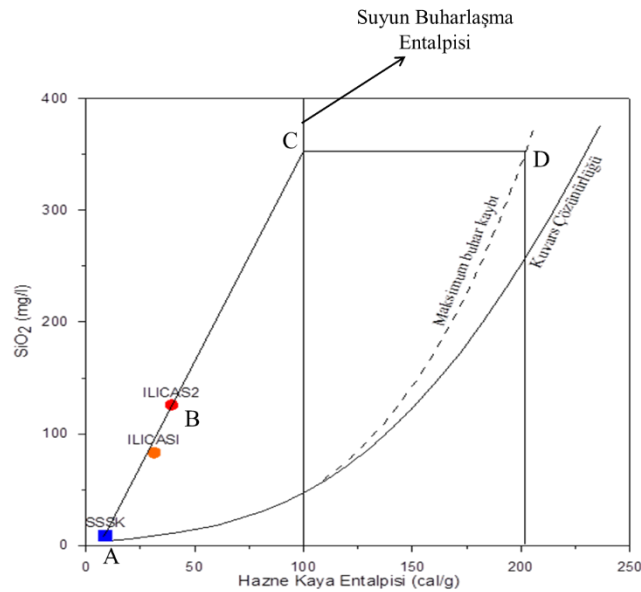
hazne kaya sıcaklıklarını ve karışım oranlarını belirlemek için çeşitli karışım modelleri geliştirilmiştir. (Şahinci, 1991).

Silis-entalpi karışım modeli diyagramı ile karışım öncesi buhar ve ısı kaybının olmaması ve karışım öncesi buhar kaybının olması (adiyabatik soğuma) durumunda akifer sıcaklığı tahmin edilebilmektedir. Model oluşturulurken üç temel varsayım göz önünde bulundurulur. Bunlar;

- Karışım sonrası sıcaklık kaybı yoktur,
- Kuvarsın çözünürlüğü akiferdeki akışkanın silis içeriğini kontrol eder,
- Akışkan akiferden ayrıldıktan ve soğuk su ile karışım gerçekleştikten sonra silis çökelişi veya çözünmesi yoktur.

İkinci varsayım derinlerdeki jeotermal akışkanın kuvarsa doymuş olmasından dolayı her zaman için geçerlidir. Çok yüksek sıcaklıklı sistemlerde kuvarsın hızla çökmesinden dolayı üçüncü varsayımın yerine gelmemesinden dolayı hatalar olabilmektedir (Nicholson, 1993).

Şavşat Jeotermal sahasında hazne kaya sıcaklığının ve soğuk yer altı suları ile karışım oranlarının bulunması amacıyla silis-entalpi diyagramları hazırlanırken, çalışma alanındaki soğuk suları yansıtan silis ( $\text{SiO}_2$ ) ve entalpi değerleri grafiğe yerleştirilir (A noktası) (Şekil 31). İnceleme alanındaki sıcak suların silis değerleri ve ölçülen sıcaklıklar işaretlenir (B noktası). Daha sonra A ve B noktaları birleştirilip kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktaya uzatılır (C noktası). Bulunan C noktasından yatay eksene bir dikme indirilir ve yatay eksen ile kesiştiği noktalar hazne kaya sıcaklığını verir. C noktası aynı zamanda sıcak ve mineralli suların karışımından önceki entalpi ve silis değerlerini vermektedir.



Şekil 31. Şavşat-Ilıca jeotermal alanındaki sıcak suların entalpi-silis diyagramı

Tablo 9. Şavşat-İlca jeotermal sahasında silis-entalpi karışım modeline göre hesaplanan hazne kaya sıcaklığı ve karışım oranı

Hazne kaya entalpisi (cal/g)	Hazne kaya sıcaklığı (°C)	Haznedeki SiO <sub>2</sub> miktarı (mg/l)	Karışım oranı (%)
200	195	350	70

Şekil 31 ve Tablo 9'a göre çalışma alanındaki jeotermal sahada bulunan sıcak suların karışım oranı yüksektir (%70). Bu karışım modeline göre hazne kaya sıcaklığı ise 195 °C olarak hesaplanmıştır.

### 3.10. Doğal İzotop Hidrolojisi

İzotop oranlarının sıcaklığa, fiziko-kimyasal süreçlere, su-kayaç etkileşimine duyarlı olmaları nedeni ile izotop teknikleri jeotermal araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda genellikle radyoizotop olarak trityum (<sup>3</sup>H) ve karbon-13 (<sup>13</sup>C), kararlı (duraylı) izotop olarak da oksijen-18 (<sup>18</sup>O) ve döteryum (<sup>2</sup>H) izotoplarından yararlanılmaktadır. Trityum ve karbon-13 yeraltı suyunun yaşının belirlenmesinde kullanılırken, oksijen-18 ve döteryum ise yeraltı suyunun beslenme alanını, jeotermal akışkanın kökenini ve akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığını belirlemede ve yüzey su kütlelerinde buharlaşma göstergesi olarak kullanılmaktadır.

Oksijen ve hidrojen su molekülünü oluşturan iki element olduklarından dolayı oksijen-18, döteryum ve trityum izotopları hidrolojik çevrimin çeşitli kesimlerindeki su hareketlerinin incelenmesi için izleyici olarak kullanılırlar. Bu doğal izotoplar, hidrolojik sistemlerle ilgili statik ve dinamik parametrelerin belirlenmesini sağlar. Ayrıca, yüzey ve yeraltı suyu sistemlerinde kirleticilerin kökenlerinin ve hareketlerinin saptanması gibi çalışmalarda etkin olarak kükürt, klorür, azot, asal gazlar, uranyum ve toryum gibi elementlerin izotopları da kullanılmaktadır.

Bu çalışmada duraylı izotoplardan oksijen-18 ve döteryumdan suların olası beslenme yükseltilerinin hesaplanmasında, trityumdan ise bağıl yaş ve geçiş sürelerinin belirlenmesi amacıyla yararlanılmıştır. Sulardaki karbonun kökenini belirlemek için Karbon-13, sulardaki sülfatın kökenini belirlemek içinde sülfatta oksijen-18 ve kükürt-34 izotopları kullanılmıştır.

Çalışma alanındaki suların izotop analizleri sıcak sular, soğuk su kaynakları ve yüzey suları olmak üzere mevsimsel olarak Mayıs-2016, Ekim-2016, Mart-2017 ve Temmuz-2017 aylarında dönemsel olarak incelenmiştir (Tablo 10).



Tablo 10. Çalışma alanında bulunan sulara ait izotop verileri.

Örnek No	Tarih	Türü	$\delta D$ v-SMOW	$\delta^{18}O$ v-SMOW	T (TU)	$\delta^{13}C$ v-PDB	$\delta^{34}S$ (SO <sub>4</sub> ) VCDT	$\delta^{18}O$ (SO <sub>4</sub> ) v-SMOW
ILICAS1	Mayıs 2016	Sıcak su	-98.95	-13.08	1.34	5.68		
ILICAS2	Mayıs 2016	Sıcak su	-100.38	-13.03	0.74	4.31	10.6	9.6
	Ekim 2016		-97.99	-12.84	2.49			
	Mart 2017		-97.14	-13.24	0.90	7.70		
	Temmuz 2017		-100.36	-13.03	1.11			
CDMS	Mayıs 2016	Maden s.	-94.81	-12.4	3.59	7.65	7.7	6.7
	Mart 2017		-95.78	-12.45	3.13	9.55		
	Temmuz 2017		-94.88	-12.48	1.95			
GMS	Temmuz 2017	Maden s.	-96.29	-13.39				
CERDER A	Mayıs 2016	Yüzey s.			5.97			
	Ekim 2016		-85.46	-11.95	3.81			
	Mart 2017		-90.59	-12.65	4.08			
	Temmuz 2017		-88.30	-12.31				
CERDER Y	Mayıs 2016	Yüzey s.	-86.37	-12.21	6	-13.82	5.2	-0.7
	Ekim 2016		-82.32	-11.78	4.29			
	Mart 2017		-90.60	-12.50	6.35	-7.79		
	Temmuz 2017		-88.15	-12.40	5.25			
ŞSSK	Mayıs 2016	Soğuk s.	-88.19	-12.95	4.67	-15.4	3.4	0.0
	Ekim 2016		-89.96	-12.67	4.37			
	Mart 2017		-86.58	-12.33	4.35	-12.36		
	Temmuz 2017		-88.38	-12.59	5.70			
GSK	Temmuz 2017	Soğuk s.	-88.17	-12.60				

### 3.10.1. Oksijen 18 (<sup>18</sup>O) - Döteryum (<sup>2</sup>H) İlişkisi

Oksijen-18 ve döteryum izotopları arasındaki ilişkiye etki eden coğrafi koşullar, yağış ve buharlaşma miktarı gibi özellikler bölgeden bölgeye farklılık gösterdiği için her bölgenin kendine özgü meteorik su doğrusu bulunmaktadır.

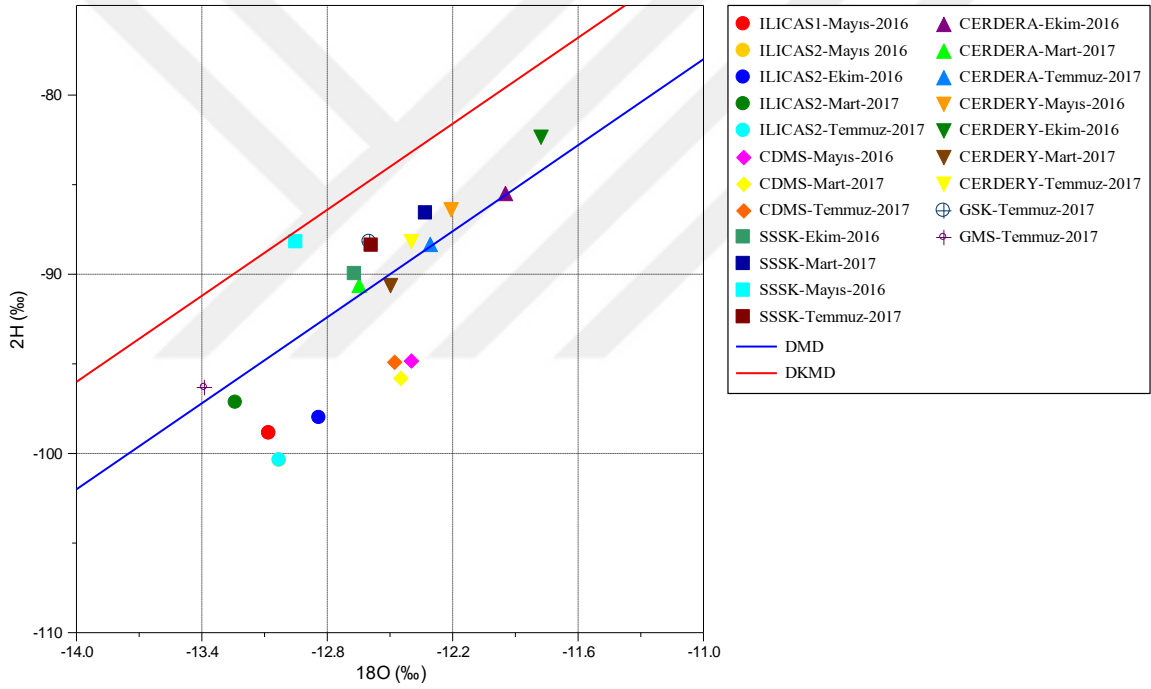
Yağışlardan alınan su örneklerinde duraylı izotoplardan oksijen-18 ve döteryum içerikleri arasındaki dünya yağışlarını temsil eden ilişki aşağıdaki gibidir (Craig, 1961; Yurtsever, 1978):

$$\delta^2H = 8x \delta^{18}O + 10$$

Küresel Meteorik Su Doğrusu (Craig, 1961), Doğu Karadeniz Meteorik Su Doğrusu (DKMD:  $\delta^2H=8 \delta^{18}O+16$ ) (Ekmekçi ve Gültekin, 2015) ve çalışma alanındaki suların  $\delta^{18}O$ - $\delta^2H$  ilişkileri Şekil 32'de verilmiştir. Suların  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^2H$  değerleri Dünya Meteorik Su Doğrusu (DMD) olarak adlandırılan bu doğruya göre değerlendirilmiştir. Yüzey sularının ve

soğuk su kaynağının  $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$  değerlerinin sıcak su kaynağına göre daha pozitif değerlerde olması ağır izotopların fazla olduğu yağışlarla yani daha düşük kotlara ulaşan yağışlarla beslendiklerini ifade eder.

Çalışma alanındaki suların  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^2H$  değerleri DKMD etrafındadır. Yüzeysel suları, kaynak suları ve sıcak sular farklı alanlarda yer alır. GSK'da ŞSSK soğuk su kaynaklarının yüzeysel sularına göre daha yüksek kotlardan beslendiği söylenebilir. Ciritdüzü Maden suyunun (CDMS) yüzeysel sularına göre daha pozitif  $\delta^{18}O$  değerlerine sahip olması kayaçlarla etkileşimin daha uzun olduğunun göstergesidir. Sıcak suların ise diğer sulara daha yüksek kotlardan beslendiği ve kayaçlarla daha uzun süre temas ettiği söylenebilir. GMS'inde sıcak su kaynağı gibi yüksek kotlardan beslendiği ve geçtiği yol üzerindeki kayaçlar ile temas süresinin diğer soğuk su kaynaklarından daha uzun olduğu görülmektedir (Şekil 32).

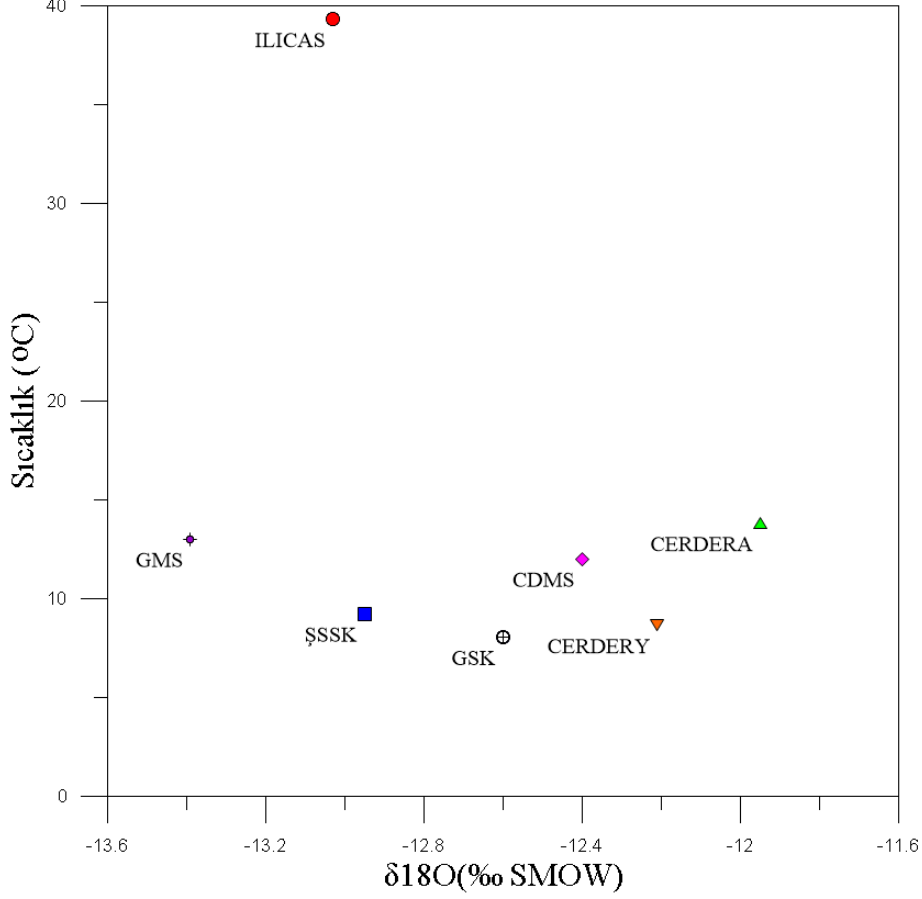


Şekil 32. Şavşat- Ilica sahası sularında  $\delta^{18}O$ - $\delta^2H$  ilişkisi. (DMD: Dünya Meteorik Su Doğrusu, DKMD: Doğu Karadeniz Meteorik Su Doğrusu)

### 3.10.2. Oksijen- 18 ( $^{18}O$ )- Sıcaklık İlişkisi

İzotopik oranları etkileyen en önemli parametrelerden birisi sıcaklıktır. Sıcaklığın artmasıyla buharlaşma miktarında da artış olmaktadır. Buharlaşma miktarında ki artış ile izotop oranları ağır izotoplarca zenginleşirken hafif izotoplarca fakirleşmektedir. Deniz seviyesinden başlayıp karalara doğru yükseğe çıkıldıkça sıcaklık ve buharlaşma miktarı azalmaktadır. Buna bağlı olarak da ağır izotop miktarı da artmış olur (Clark ve Fritz, 1997).

Belirli bir bölgede yüksekliğin artmasından kaynaklı sıcaklık düşmesi ile  $\delta^{18}\text{O}$  değerinde de bir düşüş gerçekleşecektir. Sulardaki düşük  $\delta^{18}\text{O}$  değeri bu suların göreceli olarak daha yüksek kotlardan beslendiğini temsil etmektedir. İncelenen suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve sıcaklık ilişkisi Şekil 33'de gösterilmiştir.



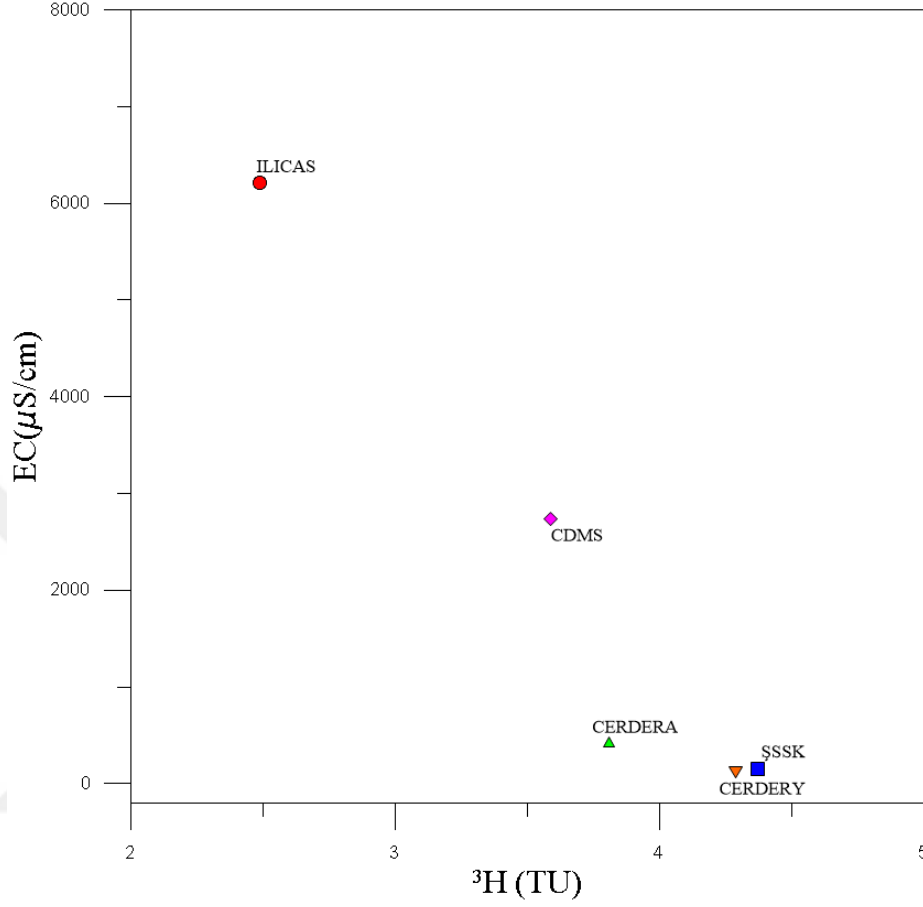
Şekil 33. Çalışma alanındaki suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve sıcaklık ilişkisi

Şekil 33 incelendiğinde soğuk sular ile sıcak su farklı bölgelerde yer alır. Sıcaklıkları birbirine yakın olan soğuk kaynakların (CDMS, GMS, ŞSSK, GSK)  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri farklılık gösterir. Sıcaklıkları yaklaşık aynı olan mineralli sulardan (CDMS, GMS) CDMS'nin yeraltında kalış süresinin daha uzun olduğu söylenebilir. Soğuk kaynaklardan ŞSSK'nın daha yüksek kotlardan beslendiği düşünülmektedir.

### 3.10.3. Tritiyum-EC ve Tritiyum- Sıcaklık İlişkisi

Tritiyum ( $^3\text{H}$ ) izotopunun radyoaktif bir izotop olmasından dolayı suların izotopik değerlendirilmesinde kullanılır.  $^3\text{H}$  izotopu yeraltında kalış süresine bağlı olarak radyoaktif bozunmaya uğrar ve bu bozunmalar ile yeraltı sularının geçiş süreleri hakkında oldukça önemli

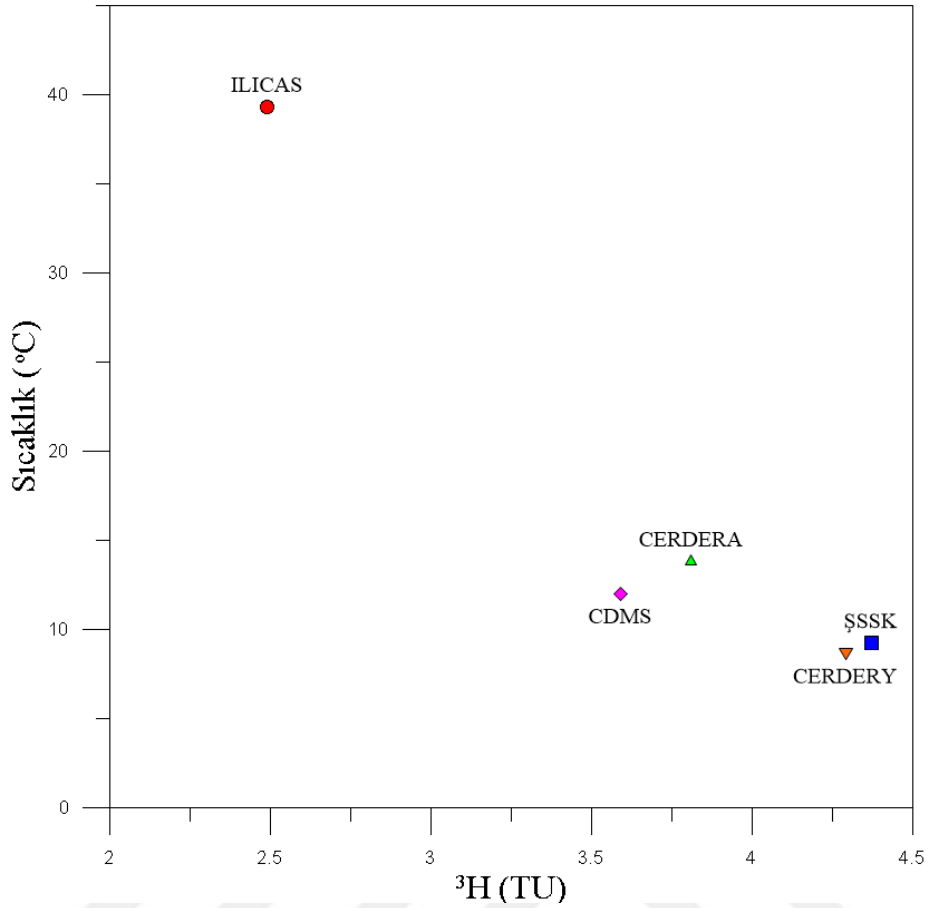
bilgiler vermektedir. Bu yüzden  $^3\text{H}$  izotopu yeraltı suları için oldukça önemli bir parametre rolündedir. Suların EC değerleri de yeraltı suyunun rezervuarda kalış süresi arttıkça artmaktadır. Dolayısıyla EC değerleri de bu konuda önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 34. Çalışma alanında bulunan suların  $^3\text{H}$  ve EC ilişkisi

Şekil 34'e göre yüzey suyu (CERDERY) ve soğuk kaynak (ŞSSK) suyunun trityum değerleri birbirine yakın CDMS ve ILICAS'a göre daha yüksektir. Sıcak suyun EC değerleri mineralli su, soğuk kaynak ve yüzey sularından oldukça yüksek, trityum değeri oldukça düşüktür. Mineralli su (CDMS) soğuk ve sıcak sular arasında geçiş suyu gibi görünmektedir. Dolaşım açısından değerlendirilirse jeotermal suyun (ILICAS) soğuk kaynaklara göre çok daha derin dolaşım olduğu görülmektedir.

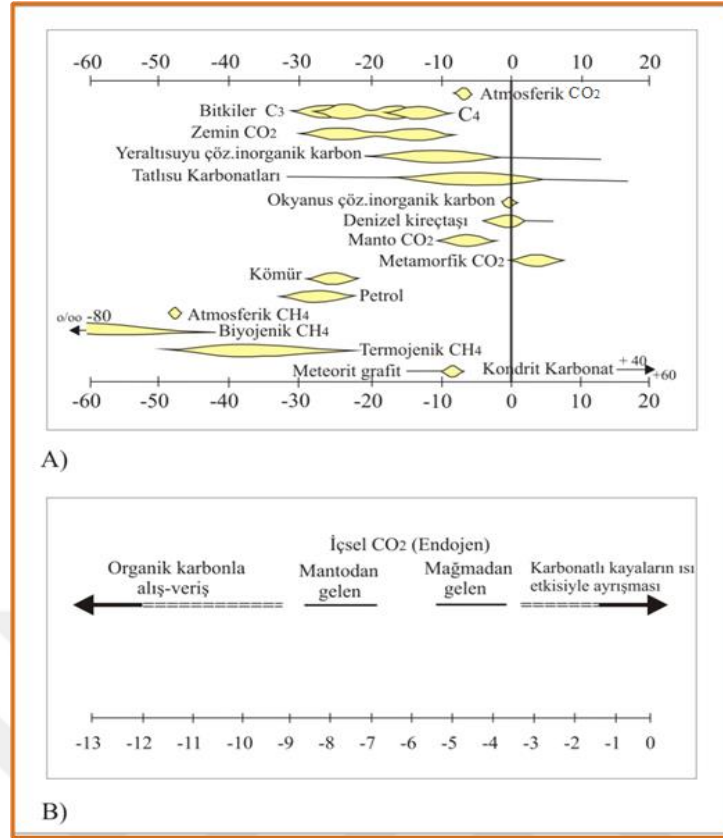
Şekil 35'te suların  $^3\text{H}$  ve sıcaklık ilişkileri verilmiştir. Mineralli su, soğuk su ve yüzey suyunun sıcaklıkları birbirine yakın olmasına rağmen trityum değerleri farklıdır. CDMS'nin yeraltında kalış süresi soğuk kaynaklardan daha uzundur.



Şekil 35. Çalışma alanına ait suların <sup>3</sup>H ve sıcaklık ilişkileri

#### 3.10.4. Karbon İzotopu (<sup>13</sup>C)

Çözünmüş  $\delta^{13}\text{C}$ 'ün türleri (çoğunlukla  $\text{HCO}_3^-$ ) okyanustan yaklaşık 0‰, atmosferik  $\text{CO}_2$ 'den ise yaklaşık -7‰'si şeklindedir. Fotosentez, fotosentetik ürünler içerisinde ki  $\text{CO}_2$ 'nin zenginleşmesine neden olur. Parçalamanın büyüklüğü, fotosentez için kullanılan biyokimyasal yola, özellikle  $\text{C}_3$ 'e karşı  $\text{C}_4$  yolağına ve diğer biyolojik ve çevresel faktörlere bağlıdır. Denizel planktonlar, tropical okyanuslarda yaklaşık -20‰ civarında, kutuplardaki okyanuslarda ise -25 ila -30‰ civarında  $\delta^{13}\text{C}$ 'e sahiptirler (Deines, 1980). Kara bitkilerindeki değerler ise değişkendir, genellikle -25‰ civarındadır. Çoğunlukla biyojenik olan toprak atmosferi içerisindeki  $\text{CO}_2$  genel olarak ortalama -20‰ değerindedir. Meteorik sulardaki  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri genellikle negatiftir, fakat spesifik örneklerde ise bu değerler değişkenlik gösterebilir. Okyanuslarda oluşan karbonat mineralleri sıfıra yakın  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerine sahiptirler. Bir yeraltı suyundaki  $\delta^{13}\text{C}$  girişi, suyun akifer boyunca geçişi sırasında, suya karbonun verilmesi ve sudan karbonun alınması ile belirlenir.



Şekil 36. Farklı doğal ortamlardaki  $\delta^{13}C_{VPDB}$  değerinin değişim aralığı (Clark ve Fritz, 1997).

Çalışma alanında sulardaki belirlenen  $\delta^{13}C_{VPDB}$  değeri sıcak suda ‰ 4.31 olarak bulunmuştur (Tablo 10). Clark ve Fritz (1997)'ye göre inceleme alanındaki sıcak sulardaki çözülmüş inorganik karbon, tatlı su karbonatlarından ve metamorfik  $CO_2$ 'den kaynaklanmaktadır (Şekil 36). Ciritdüzü maden suyunun  $\delta^{13}C_{VPDB}$  değeri çalışma alanındaki sıcak sularla benzer iken diğer soğuk sular negatif değerlerdedir. Soğuk kaynak suyundaki karbonun kökenini ise yeraltısuyundaki DIC ve zemin gözeneklerindeki  $CO_2$  oluşturur.

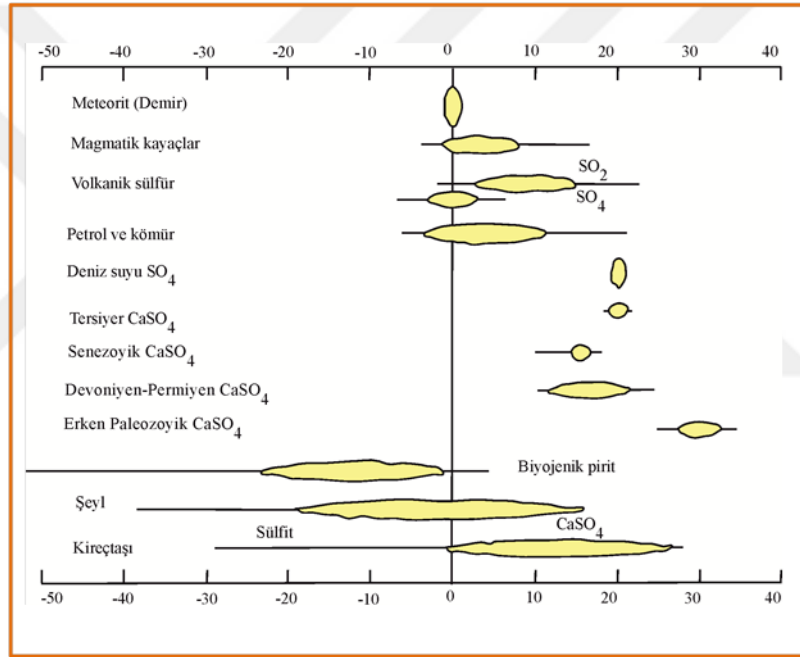
### 3.10.5. Kükürt İzotopu ( $^{34}S$ )

En önemli doğal fraksiyonlama okside kükürt (sülfat) ve indirgenmiş kükürt ( $H_2S$ , sülfid mineralleri) arasındadır. Fraksiyonlaşma, karmaşık ve çok aşamalı bir biyolojik işlemdeki kinetik izotop etkisinin bir örneğidir (Kaplan ve Rittenberg, 1974). Modern deniz suyunda bulunan sülfat yaklaşık olarak 20 ‰'lik bir  $\delta^{34}S$  değerine sahiptir. Modern deniz sedimentlerinde piritteki  $\delta^{34}S$  değeri +4 ‰ ile -35 ‰ arasında değişmektedir (Goldhaber ve Kaplan, 1974). Modern su çalışmalarında  $\delta^{34}S$ , yağmurlardaki atmosferik kirlenmeye karşı

farklı kükürt kaynaklarını ayırt etmekte (Kellogg vd., 1972), yenilenebilir kaynaklar ve yeraltı suyundaki kirliliği belirlemede (Holt vd., 1972; Krouse, 1980) ve deniz suyunda bulunan tuzu ayırt etmek için kullanılırken, teknik olarak hidrolojik çalışmalarda pek yaygın kullanılmamaktadır.

Çalışma alanındaki sulardaki çözülmüş  $\text{SO}_4^{2-}$  iyonundaki  $^{34}\text{S}$  izotopu analiz sonuçları Tablo 10'da verilmiştir. Kükürt-34 izotopu için ve tüm kükürt içeren bileşikler için standart olarak CDT (Standard Canon Diablo Troilite) (Krouse, 1980) kullanılmıştır (Şekil 37).

Şavşat-Ilıca jeotermal sahasındaki sıcak sulara  $^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  değeri yaklaşık olarak %10 civarındadır. Soğuk sulara  $^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  değerleri %10 ile %3, arasında değişir. Bu değerler ile Krouse (1980)'e göre sıcak sular volkanik sülfür ( $\text{SO}_2$ ), Senozoyik yaşlı  $\text{CaSO}_4$ 'a, soğuk sular magmatik kayalara karşılık gelmektedir.



Şekil 37. Farklı malzeme ve ortamlarda kükürt ve kükürt bileşiklerinin  $^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  değerleri (Krouse, 1980)

### 3.11. Radyoaktivite

Radyoaktivite, aşırı nötron fazlalığı nedeniyle kararsızlık gösteren atom çekirdeklerinin kendiliğinden parçalanması sırasında çevreye radyasyon yayma olayıdır. Buna bağlı olarak, saniyede bir adet parçalanma gösteren radyoaktif madde miktarı radyoaktivite birimidir. Günümüzde radyoaktivite birimi olarak Becquerel (Bq) kullanılmaktadır (Dilaver, vd., 2002).

Radyoaktif elementlerin bozunumu ile alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) ve gama ( $\gamma$ ) ışınları ortaya çıkar. Alfa ışınımı helyumun artı yüklü halidir. Yükleri ve çapları oldukça büyük olduğu için bu

ışınımların penetrasyon güçleri zayıftır. Büyük kütlesi nedeniyle radyoaktif yayılda en yavaş hareket eden ve en düşük enerjiye sahip taneciklerdir. Beta ışınları ise eksi yüklü olup, alfa taneciklerinden daha küçük kütleleri vardır. İzotopun çekirdeğindeki nötronlardan birisi değiştiği anda hemen beta bozunması ortaya çıkmaktadır. İyonlaştırma özelliği taşıdığından, canlı organizmalar üzerinde zararlı etkileri olmaktadır. Gama ışınları, elektromanyetik dalga özelliğinde ve cisimlere penetrasyonu fazla olan ışın türüdür. Gama ışınlarının özellikleri X ışınlarına çok benzemektedir. Genellikle hem daha enerjik hem de daha derine nüfuz etmektedir. Tüm radyoaktif yayılımlar içerisinde gama ışınları en yüksek enerjiye sahiptir (Şahinci, 1991; Keller, 2005).

### 3.11.1. Sulardaki Radyoaktivitenin Kaynağı

Yeraltı suları, içerisinde geçtikleri kayalardan radyoaktif maddeleri çözündürerek radyoaktif özellik kazanmaktadırlar. Yeraltısularında en çok rastlanan radyoaktif elementler  $K^{40}$ ,  $Rb^{87}$ ,  $Th^{235}$ ,  $U^{235}$  ve  $U^{238}$ 'dir. Ayrıca,  $U^{238}$ 'in bozunumu sonucunda ortaya çıkan  $Rn^{222}$  (radon),  $Ra^{226}$  ile beraber kozmik ışınların etkisiyle radyoaktif özellik kazanan  $N^{14}$ ,  $O^{16}$  ve  $Ar^{40}$  da yeraltı sularında bulunabilmektedir. Doğal radyoaktivite olan alfa radyoaktivitesi, suların uranyum ve toryum elementini içeren ortamlarla teması sonucu yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Uranyum, toryum, radyum ve radonun zengin olarak bulunduğu kayaç grupları ise metamorfik kayaçlar, granit türü kayaçlar, organik madde içeren tortullar, kumtaşları ve karbonatlı tortul kayaçlardır. Ayrıca, bu tür kayaçlardaki fay zonlarının ayrışmanın yoğun olarak gözlemlendiği ve suların depolanmasına elverişli yerler olmasından dolayı bu bölgelerde depolanan suların bünyesine radyoaktif elementlerin geçmesi kolaylaşmaktadır (Davis vd., 1966; Hem, 1971; Gültekin ve Dilek, 2005).

Radyoaktif elementlere, magmatik oluşumlarda, kil ve şeyl gibi tortul kütlelerde de rastlanmaktadır. Kum-çakıl, kumtaşı, çatlaklı kireçtaşı gibi akifer özelliğindeki tortul kayaçlarda ise çok az miktarda da olsa radyoaktif madde bulunabilmektedir. Sulardaki radyoaktif maddelerin miktarı, büyük oranda ana kaya tipine bağlıdır. Granit tipi kayalardaki doğal radyoaktif maddelerin radyoaktivitesi diğer kaya çeşitlerine kıyasla daha yüksektir (Kumru vd., 2002).

Magmatik kayaçlarda bulunan radyoaktif elementlerin en önemlileri uranyum ve toryumdur. Magmatik kayaçlardaki uranyum ve toryum bulunabilirliği, magmanın kökenindeki uranyum ve toryum konsantrasyonlarının değişimi ve magmatik kristalizasyon ile yakından ilişkilidir. Magmatik kayaçlardaki uranyum ve toryum içeriği asit kayaçlardan bazik kayaçlara



doğru gidildikçe azalmaktadır. Granitik kayaçlar ve silisli tüfler yüksek uranyum içerikleri dolayısıyla yeraltı suyuna geniş ölçüde uranyum sağlarlar. Mineralizasyonun söz konusu olduğu akiferlerde sudaki uranyum konsantrasyonu 460 ppb' ye kadar çıkabilmektedir (Kaplan, 1978).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Türk Standartları Enstitüsü (TSE) ve Sağlık Bakanlığı tarafından içme ve kullanma sularında bulunan radyoaktif maddeler için bir üst sınır belirlenmiştir (Tablo 11).

Tablo 11. İçme suyunda izin verilen radyoaktivite konsantrasyonları

KURUM	İZİN VERİLEN ÜST SINIR
Dünya Sağlık Örgütü (WHO) (1966)	Alfa: 0.10 Bq/L Beta: 1,00 Bq/L
Türk Standartları Enstitüsü (TSE) (TS 266) (2005)	Alfa: 0.10 Bq/L Beta: 1,00 Bq/L
Sağlık Bakanlığı (2005)	Alfa: 0.10 Bq/L Beta: 1,00 Bq/L

Kaplıca amaçlı kullanılan jeotermal suların radyoaktiviteleri önemli bir parametredir. Şavşat jeotermal sularının kaplıca amaçlı kullanımı planlanmaktadır. Bu sebeple hem jeotermal suyun hem de soğuk kaynak ve yüzey sularının toplam alfa ve toplam beta düzeyleri belirlenmiştir (Tablo 12).

Tablo 12. İnceleme alanından alınan su örneklerinde radyoaktivite düzeyleri

Numune Adı	Alfa (Bq/L)	Alfa Belirsizlik $\pm$ (Bq/L)	Beta (Bq/L)	Beta belirsizlik $\pm$ (Bq/L)
ILICAS	0.604	0.393	1.42	0.92
ŞSSK	0.033	0.005	0.02	0.01
CERDERA	0.144	0.023	0.30	0.07
CERDERY	0.055	0.014	0.06	0.01

Şavşat Jeotermal alanında 120 m derinlikteki jeotermal kuyudan alınan yaklaşık 40°C'lik suyun (ILICAS) alfa (0.604 Bq/l) ve beta (1.42 Bq/l) değerleri de soğuk sulardan daha yüksektir. Jeotermal suyun karıştığı yüzey suyunda da (CERDERA) bu değerler yüksektir. Soğuk kaynak (ŞSSK) ve yüzey suyunun (CERDERY) alfa ve beta konsantrasyonları belirlenen üst sınır değerlerden düşüktür.

### 3.12. Su-Kayaç Etkileşimi

Jeolojik olarak karmaşık alanlarda, su döngüsü meteorik, magmatik ve metamorfik gibi birden fazla kaynağı kapsar. Bu kaynaklardaki sıvılar derinlemesine tahliye edildiğinden tortul, magmatik ve metamorfik kayaçlar ile reaksiyona girebilirler. Suyun kimyasal içeriği, suların derin kayalarla veya toprakla etkileşiminin ya da insan etkilerinin sonucuna bağlıdır (Stober ve Bucher, 1999). Jeotermal sistemlerde, akışkan ile kayaçların etkileşimi neticesinde, akışkanın kimyası değişebilir ve ikincil minerallerin oluşumları gözlemlenebilir. Sistemdeki hidrotermal alterasyonlar gibi etkenler akışkanın hidrokimyasını değiştirebilmektedir. Bu durum ise özellikle iz elementler ile takip edilebilmektedir (Koçak, 2007).

#### 3.12.1. Kayaç Jeokimyası

Ilıca (Şavşat-Artvin) jeotermal alanında ve yakın çevresinde bulunan birimlerin ve bu birimler içerisinde yüzeye çıkan suların kimyasal analizleri yaptırılmış olup birbirleri ile benzerlikleri karşılaştırılmıştır. Kayaç örnekleri Şavşat, Bülbülan ve Kabaköy Formasyonlarından ikişer adet, güncel oluşum olan travertenlerden de bir adet kayaç örneği alınmıştır. Kayaç örneklerinin anaoksit ve iz element analiz sonuçları Tablo 13 ve 14'te verilmiştir. Alınan kayaç örneklerinde anaoksit olarak en fazla SiO<sub>2</sub> bulunmaktadır. Kumtaşı örneklerinde %42-45 olan SiO<sub>2</sub> değeri, volkanik kayaçlarda %69 civarındadır.

Tablo 13. Kayaç örneklerine ait ana oksit değerleri (değerler % olarak verilmiştir)

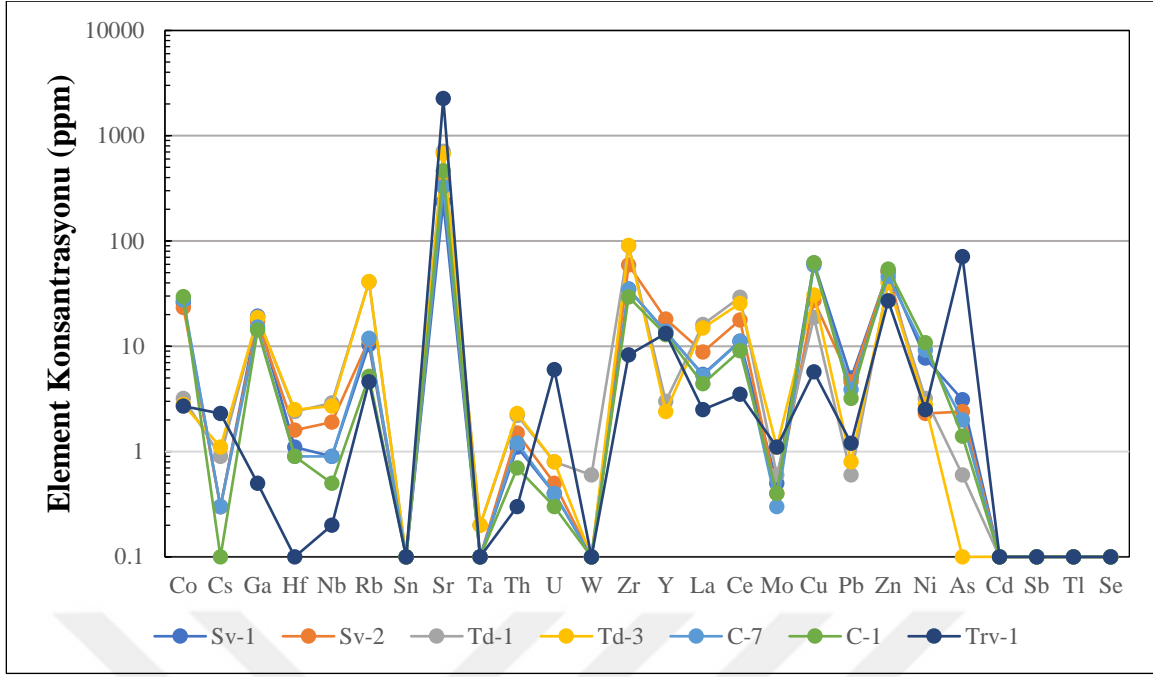
Örnek No	Formasyon	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	LOI
Sv1 (Kmt)	Şavşat Frm.	42,61	17,89	9,09	4,66	9,56	2,27	0,57	0,76	0,1	0,15	0,004	12,1
Sv2 (Kmt)	Şavşat Frm.	44,99	17,09	9,49	3,71	9,18	1,94	0,62	0,8	0,13	0,18	<0,002	11,7
Td1 (Trakiandezit)	Bülbülan Frm.	69,22	16,55	1,78	0,19	3,32	4,45	2,16	0,29	0,11	0,02	<0,002	1,7
Td3 (Trakiandezit)	Bülbülan Frm.	69,7	16,57	1,68	0,21	3,33	4,41	2,14	0,29	0,1	0,01	<0,002	1,4
C7 (Kmt)	Kabaköy Frm.	43,4	16,83	9,89	5,28	9,54	1,96	0,65	0,83	0,1	0,16	0,007	11,1
C1 (Kmt)	Kabaköy Frm.	45,26	17,69	10,12	5,28	10,16	2,2	0,34	0,75	0,11	0,17	0,006	7,7
Trv1 (Traverten)	Güncel Oluşum	4,01	1,25	1,82	1,14	49,32	0,21	0,13	0,07	0,05	0,22	<0,002	41,5

Kayaç ve su örneklerinin iz elementleri ise Tablo 14'te verilmiştir. Kayaçların iz elementleri incelendiğinde Sr, Zr, Ga, Rb, Cu ve Zn gibi iz element yüksek değerlerde, Sn, W,

Cd, Sb, Tl ve Se gibi iz elementler ise düşük değerlerde olduğu görülmüştür (Tablo 14, Şekil 38).

Tablo 14. Kayaç ve su örneklerine ait iz element analiz sonuçları

<b>Element</b>	<b>Kayaç Örnekleri (ppm)</b>							<b>Su Örnekleri (ppb)</b>				
	<b>Sv-1</b>	<b>Sv-2</b>	<b>Td-1</b>	<b>Td-3</b>	<b>C-7</b>	<b>C-1</b>	<b>Trv-1</b>	<b>ILICAS1</b>	<b>CERDERY</b>	<b>CERDERA</b>	<b>ŞSSK</b>	<b>CDMS</b>
<b>Co</b>	26	23,4	3,2	2,8	27,4	29,6	2,7	0,797	0,082	0,085	0,067	3,004
<b>Cs</b>	0,3	0,3	0,9	1,1	0,3	0,1	2,3	6,51	0,028	0,382	0,005	0,286
<b>Ga</b>	19,3	17,1	18,9	18,7	15,2	14,3	0,5	26,98	0,161	0,282	0,03	24,63
<b>Hf</b>	1,1	1,6	2,4	2,5	0,9	0,9	0,1	0,206	0,003	0,003	0,001	0,238
<b>Nb</b>	0,9	1,9	2,9	2,7	0,9	0,5	0,2	0,045	<0,1	<0,1	<0,1	0,042
<b>Rb</b>	10,4	11,6	40,9	41,2	11,9	5,2	4,6	66,26	0,574	5,416	0,173	40,84
<b>Sn</b>	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Sr</b>	233,8	360,5	712,8	679,7	329	464,1	2265,1	3662	57,52	274,6	57	3202
<b>Ta</b>	<0,1	<0,1	0,2	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	5,82	0,33	1,291	0,924	6,202
<b>Th</b>	1,1	1,5	2,2	2,3	1,2	0,7	0,3	0,126	0,018	0,009	0,002	0,129
<b>U</b>	0,4	0,5	0,8	0,8	0,4	0,3	6	2,526	0,107	0,34	0,2	2,665
<b>W</b>	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Zr</b>	35,1	59,2	89,9	91,1	34,5	29,4	8,3	7,584	0,088	0,122	0,097	9,428
<b>Y</b>	13,6	18,2	3	2,4	13,9	12,9	13,2	0,54	0,2	0,045	0,006	0,37
<b>La</b>	5,4	8,8	16,1	14,9	5,3	4,4	2,5	0,358	0,068	0,005	<0,1	0,18
<b>Ce</b>	11,2	17,8	29,2	25,5	11,1	9,1	3,5	0,593	0,27	0,02	<0,1	0,615
<b>Mo</b>	0,5	0,4	0,6	1,1	0,3	0,4	1,1	15,12	<0,1	0,267	<0,1	3,216
<b>Cu</b>	62	27,2	18,8	30,6	58,9	62,4	5,7	26,13	<0,1	<0,1	<0,1	25,27
<b>Pb</b>	5	4,6	0,6	0,8	3,9	3,2	1,2	31,28	4,019	4,151	4,387	36,62
<b>Zn</b>	51	51	42	40	46	54	27	61,32	7,176	6,147	6,159	64,84
<b>Ni</b>	7,7	2,3	3,2	2,8	9,2	10,8	2,5	14,1	1,154	<0,1	<0,1	19,97
<b>As</b>	3,1	2,4	0,6	<0,5	2	1,4	71,1	713,9	5,601	66,73	0,146	134,4
<b>Cd</b>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Sb</b>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	17,01	0,07	0,074	0,03	16,38
<b>Tl</b>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Se</b>	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,016	0,025	<0,1	<0,1	0,918

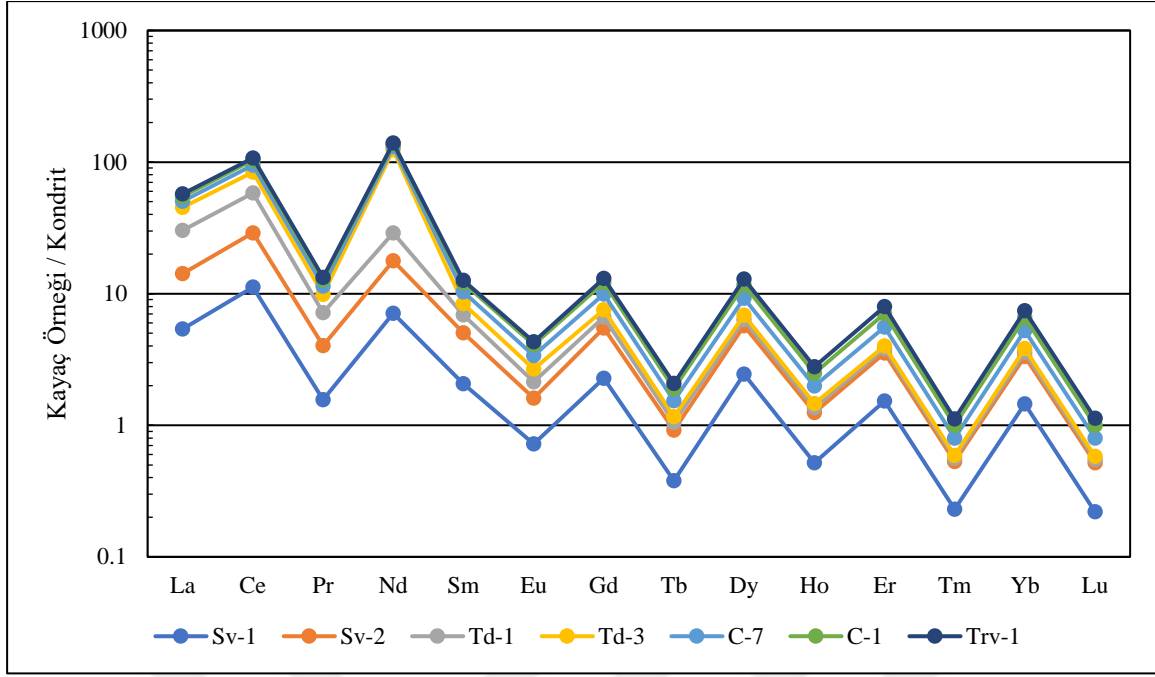


Şekil 38. Kayaçlarda bulunan iz element konsantrasyonları

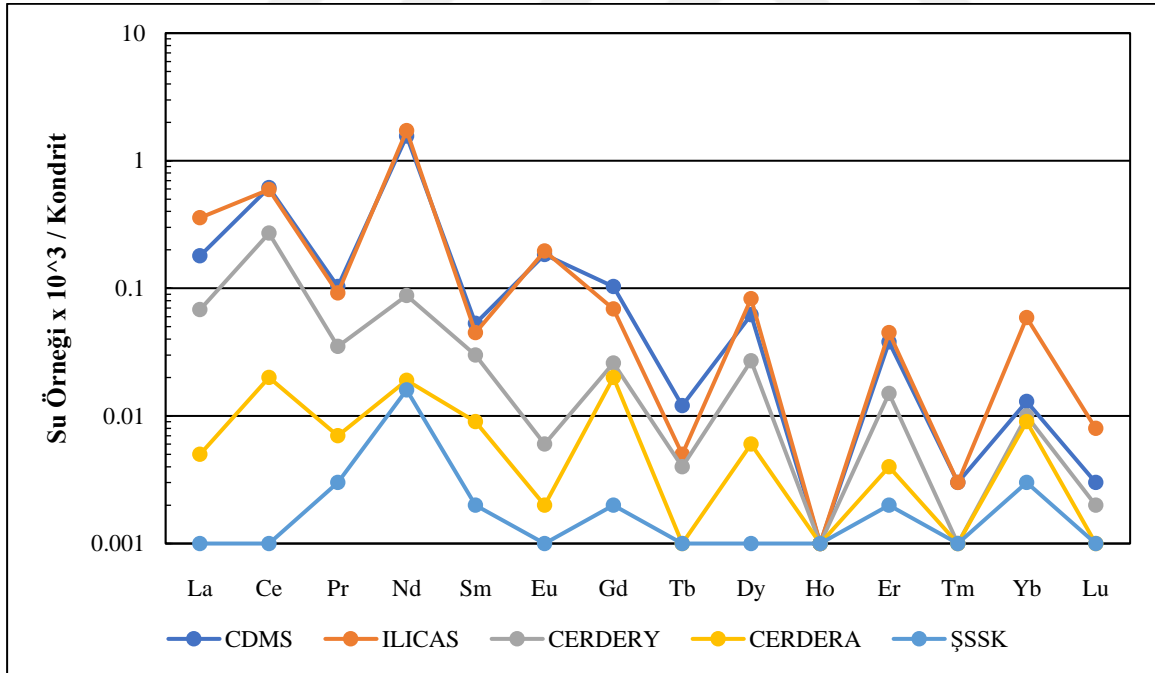
Ilıca (Şavşat-Artvin) jeotermal sahası ve çevresinde incelenen sulara ve yüzeyleme veren kayaçlardan alınan örneklerle ait Nadir Toprak Element (NTE) analizleri Tablo 15'te verilmiştir. İncelenen kayaçlar kondrite (Haskin vd., 1968) göre normalize edilmiş olup NTE dağılımları verilmiştir (Şekil 39). Çalışma alanından toparlanan tüm su örneklerinde mevcut NTE değerleri düşük oranlı olup bu değerler kondrite (Evens vd., 1978) göre normalleştirilmiştir (Şekil 40).

Tablo 15. Su ve kayalara ait nadir toprak element analiz sonuçları (kayaç örnekleri ppm, su örnekleri ppb olarak verilmiştir)

		<b>La</b>	<b>Ce</b>	<b>Pr</b>	<b>Nd</b>	<b>Sm</b>	<b>Eu</b>	<b>Gd</b>	<b>Tb</b>	<b>Dy</b>	<b>Ho</b>	<b>Er</b>	<b>Tm</b>	<b>Yb</b>	<b>Lu</b>
<b>KAYAÇ ÖRNEKLERİ</b>	<b>Sv-1</b>	5,4	11,2	1,56	7,1	2,07	0,72	2,28	0,38	2,45	0,52	1,53	0,23	1,45	0,22
	<b>Sv-2</b>	8,8	17,8	2,47	10,7	2,96	0,89	3,19	0,54	3,24	0,73	2,02	0,3	1,88	0,3
	<b>Td-1</b>	16,1	29,2	3,13	11,2	1,86	0,53	1,17	0,13	0,65	0,11	0,27	0,03	0,25	0,03
	<b>Td-3</b>	14,9	25,5	2,73	9,5	1,52	0,53	0,92	0,11	0,5	0,1	0,18	0,03	0,19	0,03
	<b>C-7</b>	5,3	11,1	1,54	7,2	1,9	0,72	2,38	0,38	2,38	0,53	1,57	0,21	1,42	0,22
	<b>C-1</b>	4,4	9,1	1,3	6,4	1,77	0,71	2,17	0,36	2,43	0,5	1,5	0,2	1,33	0,2
	<b>Trv-1</b>	2,5	3,5	0,53	2	0,55	0,2	0,93	0,18	1,3	0,29	0,92	0,12	0,85	0,13
<b>SU ÖRNEKLERİ</b>	<b>ILICAS</b>	0,358	0,593	0,092	1,722	0,045	0,196	0,069	0,005	0,083	-0,082	0,045	0,003	0,059	0,008
	<b>CERDERY</b>	0,068	0,27	0,035	0,088	0,03	0,006	0,026	0,004	0,027	-0,017	0,015	0,001	0,01	0,002
	<b>CERDERA</b>	0,005	0,02	0,007	0,019	0,009	0,002	0,02	0,001	0,006	-0,018	0,004	0	0,009	0,001
	<b>ŞSSK</b>	-0,025	-0,012	0,003	0,016	0,002	0,001	0,002	0,001	0	-0,02	0,002	-0,001	0,003	0,001
	<b>CDMS</b>	0,18	0,615	0,102	1,56	0,053	0,184	0,103	0,012	0,062	-0,075	0,038	0,003	0,013	0,003



Şekil 39. Çalışma alanındaki kayalarda (Haskin vd., 1968) kondrite göre normalize edilmiş NTE dağılımları



Şekil 40. Çalışma alanındaki sularda (Evens vd., 1978) kondrite göre normalize edilmiş NTE dağılımları

### 3.12.2. Hidrojeokimya

İnceleme alanında bulunan sıcak sular, soğuk su kaynakları ve yüzey suları  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  katyonları ve  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  anyonları bakımından farklılık göstermektedirler. Bu farklılıklar, suların yüzeye çıkarken veya yüzey akışı sırasında kayalarla etkileşimi neticesinde oluşmaktadır.

Çalışma alanındaki suların tümünde  $\text{HCO}_3^-$  anyonu baskındır. Buna ek olarak sıcak sularda  $\text{Cl}^-$  anyonu, soğuk su kaynaklarında ise  $\text{Ca}^+$  katyonu daha fazla bulunmaktadır.  $\text{Na}^+$  değeri sıcak sularda ortalama %27'dir.  $\text{HCO}_3^-$  değeri ise tüm sularda %41-%70 arasında değişmektedir.

Bu iyonların kaynakları etkileşime geçtiği kayaç türlerine göre farklılık göstermektedir. Sulardaki  $\text{HCO}_3^-$  iyonu, sularda bulunan maddelerin çözünmesiyle, asitlerle tepkimeye girme ve nötralleştirme kapasitesidir. Doğal sularda bulunan  $\text{HCO}_3^-$  başlıca kaynakları ise atmosferik  $\text{CO}_2$  ile toprak ve doymamış bölgelerdeki üretilen gazlardır. Bölgede yağın kar ve yağmurlar ise  $\text{Cl}^-$  iyonunun kaynağını oluştururken, çalışma alanı içerisinde yer alan kireçtaşları ve jipsler ise  $\text{Ca}^+$  katyonu için temel kaynak olarak tahmin edilmektedir. İnceleme alanı içerisinde bulunan bazalt, andezit ve dasit gibi magmatik kayalar ise  $\text{Na}^+$  iyonunun kaynağı olarak rol oynamaktadır.

### 3.12.3. Su-Kayaç İlişkisi

Doğal suların (yeraltı ve yüzey suları) kimyası, etkileşimde bulunduğu kayaların kimyası, ortamın pH'ı, sıcak ve elektriksel iletkenlik (EC) gibi ortam koşullarından fazlaca etkilenirler. Kayaların ayrışmasını ve ayrışma derecesini önemli ölçüde etkileyen iklim koşulları da suların kimyasını aynı ölçüde etkilemektedir. Sıcak su kaynağı, soğuk su kaynakları, mineralli sular ve yüzey sularının majör iyon içerikleri bu sebeple birbirlerinden oldukça farklı değerlere sahip olabilirler.

Majör iyonların hangi kimyasal olaylar sonucunda suya geçmiş olabileceklerini belirlemek için Hounslow (1995)'te (Tablo 16) verilen parametreler hesaplanmış ve elde edilen değerler Tablo 19'da verilmiştir.

Tablo 16. Su-kayaç etkileşimine bağlı olarak belirlenen sonuçlar (Hounslow, 1995'den düzenlenmiştir)

Parametreler	Değer Aralıkları	Olası Sonuçlar
$(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{+2})$	$> 0.2$ veya $< 0.8$	Olası plajiyoklas ayrışması
$\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)$	$< 0.2$ ya da $> 0.8$	Plajiyoklas ayrışması
	$> 0.5$	Halit-albit dışındaki farklı sodyum kaynağı, iyon değişimi
	$= 0.5$	Halit çözeltilisi
	$< 0.5$ TDS $> 500$	Tatlılaşmaya dönüş, deniz suyu
	$< 0.5$ TDS $< 500$ $> 50$	Analiz hatası
	$< 0.5$ TDS $< 50$	Yağmur suyu
$\text{Mg}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$	$\text{HCO}_3^- / \text{SiO}_2 > 10$	Karbonat ayrışması
	$= 0.5$	Dolomit ayrışması
	$< 0.5$	Kireçtaşı-dolomit ayrışması
	$> 0.5$	Dolomit çözeltilisi, kalsit çökeli mi veya deniz suyu
	$\text{HCO}_3^- / \text{SiO}_2 < 5$	Silikat ayrışması
	$> 0.5$	Ferromagnezyen mineraller
	$< 0.5$	Granit ayrışması
$\text{Ca}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2})$	$= 0.5$	Jips çözeltilisi
	$< 0.5$ pH $< 5.5$	Pirit oksidasyonu
	$< 0.5$ nötr	Kalsiyum ayrılması, iyon değişimi veya kalsit çökeli mi
	$> 0.5$	Jipsten farklı kalsiyum kaynağı, karbonat veya silikatlar
$\text{SiO}_2 / (\text{Na} + \text{K} + \text{Cl})$	$< 1$	Katyon değişimi
	$> 1$ ve $< 2$	Albit ayrışması
	$> 2$	Ferromagnezyen mineraller
TDS	$> 500$	Karbonat ayrışması, tuzlu sular veya deniz suyu
	$< 500$	Silikat ayrışması
$\text{Cl}^- / \sum \text{anyon}$	$> 0.8$ TDS $> 500$	Deniz suyu, tuzlu sular veya evaporitler
	$> 0.8$ TDS $< 100$	Yağmur suyu
	$< 0.8$	Kayaç ayrışması
$\text{HCO}_3^- / \sum \text{anyon}$	$> 0.8$	Silikat veya karbonat ayrışması
	$< 0.8$ Yüksek sülfat	Jips çözeltilisi
	$< 0.8$ Düşük Sülfat	Deniz suyu veya tuzlu sular
Doygunluk indeksi	Pozitif	Kalsitce aşırı doymun çözeltili
	0	Kalsitce doymun çözeltili
	Negatif	Kalsitce doymun olmayan çözeltili



Tablo 17. Katyon, anyon ve kalsit doygunluk indeksi değerleri (Hounslow, 1995)

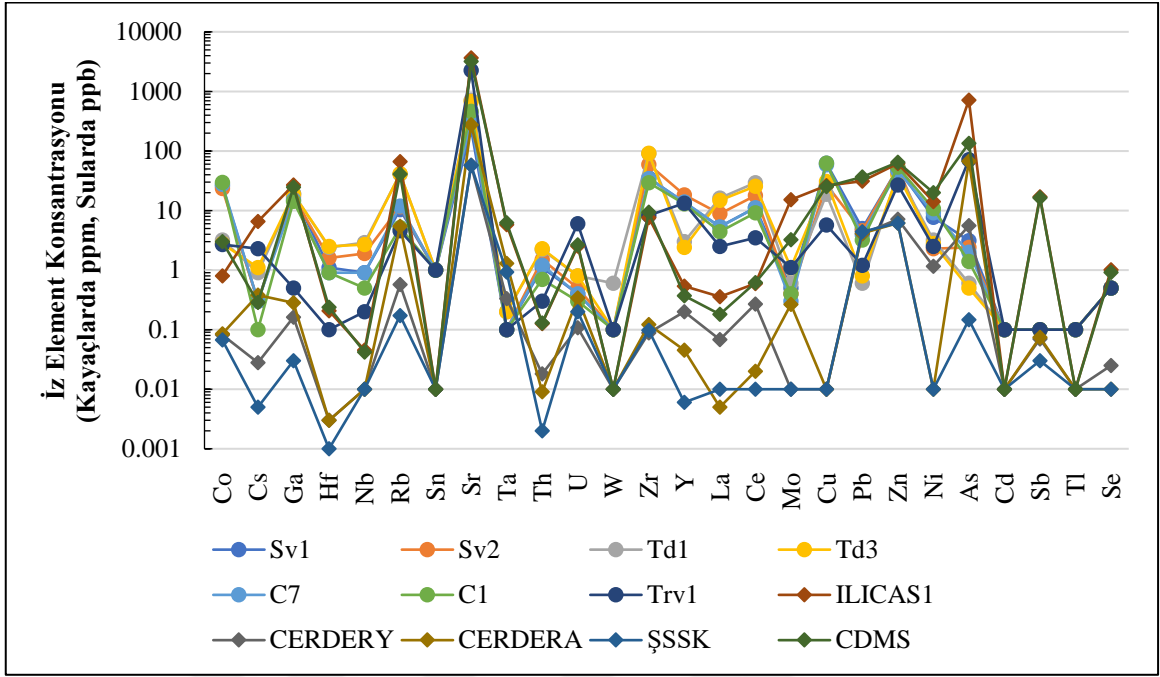
<b>Parametreler</b>	<b>ILCAS1</b>	<b>ILICAS2</b>	<b>CERDERY</b>	<b>CERDEA</b>	<b>CDMS</b>	<b>ŞSSK</b>
$(Na^+ + K^+ - Cl^-) / (Na^+ + K^+ - Cl^- + Ca^{+2})$	<b>0,78</b>	<b>0,69</b>	<b>0,21</b>	<b>0,52</b>	<b>0,55</b>	<b>0,14</b>
$Na^+ / (Na^+ + Cl^-)$	<b>0,68</b>	<b>0,64</b>	<b>0,95</b>	<b>0,68</b>	<b>0,67</b>	<b>0,93</b>
$Mg^{+2} / (Ca^{+2} + Mg^{+2})$	<b>0,23</b>	<b>0,18</b>	<b>0,20</b>	<b>0,23</b>	<b>0,21</b>	<b>0,19</b>
$Ca^{+2} / (Ca^{+2} + SO_4^{-2})$	<b>0,75</b>	<b>0,79</b>	<b>0,96</b>	<b>0,87</b>	<b>0,86</b>	<b>0,97</b>
$SiO_2 / (Na + K + Cl)$	<b>0,96</b>	<b>1,15</b>	<b>26,24</b>	<b>4,01</b>	<b>1,77</b>	<b>16,44</b>
TDS	<b>2676</b>	<b>3224</b>	<b>2369</b>	<b>340</b>	<b>116</b>	<b>144</b>
$Cl^- / \sum \text{anyon}$	<b>0,41</b>	<b>0,46</b>	<b>0,01</b>	<b>0,34</b>	<b>0,34</b>	<b>0,01</b>
$HCO_3^- / \sum \text{anyon}$	<b>0,54</b>	<b>0,49</b>	<b>0,95</b>	<b>0,60</b>	<b>0,61</b>	<b>0,96</b>
Kalsit SI	<b>0,31</b>	<b>0,83</b>	<b>0,09</b>	<b>0,96</b>	<b>0,16</b>	<b>-0,04</b>

Tablo 16 ve Tablo 17 incelendiğinde çalışma alanında ki sıcak suların, yüzey sularının ve mineralli suyun  $Na^+$ 'un kaynağı olası plajiyoklas ayrışması iken soğuk su kaynağının ise plajiyoklas ayrışması,  $Mg^{+2}$ 'un kaynağı kireçtaşı-dolomit ayrışması,  $Ca^{+2}$ 'un kaynağı jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikatlar,  $Cl^-$ 'un kaynağını ise kayaç ayrışması oluşturmaktadır (Tablo 18).  $HCO_3^-$ 'in kaynağı sıcak sularda ve yüzey sularında (CERDERY hariç) tuzlu sulardan, soğuk su kaynağında ise karbonat ayrışmasıdır.  $SiO_2$ 'in kaynağı ise ILICAS1'de katyon değişimi, ILICAS2 ve mineralli su da albit ayrışması, yüzey sularında ve soğuk su kaynağında ferromagnezyen minerallerdir.

Çalışma alanındaki suların bünyesindeki iz element konsantrasyonları ile kayaçlardaki iz element değerleri birbirine paralellik göstermektedir. Bu durum suların hareketleri sırasında kayaçların kimyasından oldukça etkilendiğini göstermektedir (Şekil 41).

Tablo 18. Katyon ve anyon değişimine bağlı olarak kayaç-su etkileşimi ve kalsit doygunluk indeksine göre kimyasal olaylar (Hounslow, 1995)

Parametreler	ILCAS1	ILICAS2	CERDERY	CERDERA	CDMS	ŞSSK
$(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{+2})$	Olası plajiyoklas ayrışması	Olası plajiyoklas ayrışması	Olası plajiyoklas ayrışması	Olası plajiyoklas ayrışması	Olası plajiyoklas ayrışması	Plajiyoklas ayrışması
$\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)$	Halit-albit dışındaki farklı sodyum kaynağı, iyon değişimi	Halit-albit dışındaki farklı sodyum kaynağı, iyon değişimi	Halit-albit dışındaki farklı sodyum kaynağı, iyon değişimi	Halit-albit dışındaki farklı sodyum kaynağı, iyon değişimi	Halit-albit dışındaki farklı sodyum kaynağı, İyon değişimi	Halit-albit dışındaki farklı sodyum kaynağı, iyon değişimi
$\text{Mg}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$	Kireçtaşı-dolomit ayrışması	Kireçtaşı-dolomit ayrışması	Kireçtaşı-dolomit ayrışması	Kireçtaşı-dolomit ayrışması	Kireçtaşı-dolomit ayrışması	Kireçtaşı-dolomit ayrışması
$\text{Ca}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2})$	Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikalar	Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikalar	Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikalar	Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikalar	Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikalar	Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikalar
$\text{SiO}_2 / (\text{Na} + \text{K} + \text{Cl})$	Katyon değişimi	Albit ayrışması	Ferro magnezyen mineraller	Ferro magnezyen mineraller	Albit ayrışması	Ferro magnezyen mineraller
$\text{Cl}^- / \sum \text{anyon}$	Kayaç ayrışması	Kayaç ayrışması	Kayaç ayrışması	Kayaç ayrışması	Kayaç ayrışması	Kayaç ayrışması
$\text{HCO}_3^- / \sum \text{anyon}$	Deniz suyu veya tuzlu sular	Deniz suyu veya tuzlu sular	Silikat veya karbonat ayrışması	Deniz suyu veya tuzlu sular	Deniz suyu veya tuzlu sular	Silikat veya karbonat ayrışması
Doygunluk indeksi	Kalsite aşırı doyun çözelti	Kalsite aşırı doyun çözelti	Kalsite aşırı doyun çözelti	Kalsite aşırı doyun çözelti	Kalsite aşırı doyun çözelti	Kalsite doymamış çözelti



Şekil 41. Su ve kayaçların iz element dağılımları

## 4. TARTIŞMA

### 4.1. Giriş

Fosil yakıtların tükenebilir oluşu ve yarattıkları çevre sorunları, alternatif enerji kaynaklarının devreye sokulmasını zorunlu kılmaktadır. Ülkemiz için en önemli alternatif enerji kaynaklarından birisi de Jeotermal Enerji'dir. Ülkemizde, jeotermal sistemlerin oluşumunu sağlayan unsurların yaygın olması nedeniyle, jeotermal enerji potansiyeli açısından Ülkemiz dünyadaki zengin ülkeler arasında bulunmaktadır.

Ülkemiz jeotermal enerji açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bugün için Ülkemizde elde edilen jeotermal enerjiden elektrik üretimi, konut ısıtmacılığı, seracılık ve termal turizm alanlarında uygulamalar bulunmakta olup, ekonomiye önemli katkılar sağlanmaktadır.

Ülkemizin teorik jeotermal ısı potansiyeli 31.500 MW, teorik jeotermal elektrik potansiyeli ise yaklaşık 2000 MW olarak kabul edilmektedir (Zaim, 2018). Ülkemiz bu potansiyeli ile Dünya'da 7. Avrupa'da ise 1. konumdadır. MTA Genel Müdürlüğü'nün 1962 yılından bu yana yapmış olduğu (2017 sonu) jeotermal etüt ve sondaj çalışmaları sonunda 237 adet jeotermal saha keşfedilmiş olup, bu sahalarda 618 adet, toplam 392.000 m sondaj yapılmıştır.

Bilindiği gibi jeotermal enerji, yer kabuğu içinde depolanmış olan ısı enerjidir. Bu ısı enerji yer kabuğundaki kayaçlarda ve/veya bu kayaçların çatlak ve gözeneklerinde depolanmış akışkanlarda bulunur. Isının kaynağı, gözenekli kayaç ve gözeneklerde depolanan akışkan jeotermal sistemi oluşturmaktadır. Jeotermal sistemler dinamik sistemler olup, bileşenlerini ısı, basınç, akışkan ve akışkanın kimyası oluşturur. Bu sistemler, ısı akısının yüksek, yeraltı suyunun derinlere süzülüp ısıdıktan sonra yeniden yükselebileceği geçirimli zonların bulunduğu ve jeotermal akışkanların konveksiyon yoluyla ısı biriktirebileceği kapanların oluşabildiği yer kabuğunun üst kesimlerinde gelişmektedir (Öngür, 2007).

Isı kaynağı jeotermal sistemin temel ögesidir. Jeotermal sistemin en önemli ısı kaynağını levha hareketleri oluşturmaktadır. Yer kabuğu, litosfer ve astenosfer bölümlerindeki levha hareketleri sonucu oluşan magmatik faaliyetler, bu bölgelerde ısı anomalisinin yükselmesine neden olmaktadır. Yer kabuğunun değişik seviyelerindeki kayaçların bileşiminde yer alan

radioaktif elementlerin bozunması sonucu ortaya çıkan ısı boşalımı da jeotermal sistemin diğer ısı kaynağıdır.

Jeotermal akışkanları içerisinde barındıran rezervuar kayaç yüksek porozite ve permeabiliteye sahiptir. Tektonik olayların etkisiyle yerkabuğunun değişik seviyelerindeki kayaçlar deformasyona uğrayarak bunlarda kırık, çatlak ve fay gibi tektonik unsurların oluşmasına neden olurlar. Kırık ve çatlaklar sayesinde yüksek gözenekliliğe sahip olan rezervuar kayaçlar, derinlerden yüzeye doğru gelen ve ısı taşıyan akışkanların yerkabuğunun sığ derinliklerinde depolanmasını sağlarlar. Tektonik unsurlar aynı zamanda jeotermal sistemin beslenme alanı ile ısı kaynağı arasındaki bağlantıyı kurmaktadır.

Jeotermal akışkan gözenekli ve geçirimli hazne kayada depolanarak kazandığı ısının yeryüzüne taşınmasını sağlar. Geçmişten günümüze bu konuda yapılan çalışmalar jeotermal suların kökeninin meteorik olduğu yönündedir. Yani jeotermal akışkan, yeryüzüne düşen yağış sularının kayaçların gözeneklerinden yeraltına süzülüp, jeotermik gradyanla ısınarak daha sonra tektonik hatlar boyunca doğal yollarla yüzeye çıkması ya da açılan kuyularla yüzeye çıkartılması şeklinde tanımlanmıştır. Ancak magmatik sokulumların soğuması sonucu magmatik kökenli (juvenil) suların da jeotermal sistemlerde bulunabileceğine dair görüşler de mevcuttur.

Düşük porozite ve permeabiliteye sahip olan örtü kayaçları sayesinde jeotermal sistemin ısıyı korumakta ve akışkan basıncı artmaktadır. Bir jeotermal etkinliği gösteren coğrafik alan veya jeotermal rezervuarların üstündeki alanlar da jeotermal saha olarak adlandırılır.

Jeotermal sahalardan elde edilecek akışkanın sıcaklığı kullanım alanı açısından önemlidir. Çeşitli araştırmacılar jeotermal sahaları akışkan sıcaklıklarına göre düşük, orta ve yüksek entalpili sahalardan olmak üzere sınıflandırmıştır (Tablo 19).

Tablo 19. Jeotermal sahaların akışkan sıcaklıklarına göre sınıflandırılması

	<b>Muffler ve Cataldi, (1978)</b>	<b>Benderitter ve Cormy, (1990)</b>	<b>Hochstein, (1990)</b>	<b>Haenel vd., (1988)</b>
<b>Düşük Entalpili</b>	< 90 °C	< 100 °C	< 125 °C	< 150 °C
<b>Orta Entalpili</b>	90–150	100–200	125–225	-
<b>Yüksek Entalpili</b>	>150	>200	>225	>150

Ilica Jeotermal sahasında Çermik Dere vadisinde 25-38°C sıcaklıklarda boşalımları olan kaynak grubu jeotermalin yüzeydeki belirtileridir. Çalışma alanında sıcak kaynaklara yakın konumlarda iyon içeriği normal sulara göre yüksek ve hafif ekşimsi tatta olan küçük debili ve madensuyu özelliğinde olan (CDMS) kaynaklar da mevcuttur (GMS). Sahada proje çalışmaları devam ederken sıcak kaynak çıkışlarının bulunduğu alanda 120 m derinliğinde sondaj açılmış (ILICAS) ve artezyen şeklinde yaklaşık 39°C sıcak su elde edilmiştir. Sondaj açıldıktan sonra sıcak kaynakların tamamı, soğuk kaynakların bir kısmı kurumuştur.

Ilica Jeotermal sahasında sondaj çalışmasından da anlaşıldığı kadarıyla hazne kayayı volkanojenik kumtaşları ve ojit bazalt türü volkanik kayalar oluşturur. Volkanojenik kumtaşları ve ojit bazaltların poroziteleri yüksektir. Ayrıca tabakalı yapı gösteren volkanojenik kumtaşlarının tabaka yüzeyleri, tektonik faaliyetler sonucu kumtaşları ve ojit bazaltlarda oluşan kırık ve çatlaklar birime ikincil gözeneklilik kazandırmıştır. Bu özelliği ile birim suyun depolanmasına ve dolaşımına olanak sağlayacak özellik kazanmıştır.

Çalışma alanındaki suların izotop ( $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$ ) analizleri jeotermal akışkanın meteorik kökenli olduğunu göstermektedir. Yani, yağmur ve kar olarak yeryüzüne düşen sular kayalarda bulunan kırık ve çatlaklardan derinlere süzülmemektedir. Süzülen bu akışkanlar ısı anomalilerinin olduğu bölgelerde ısıtılır. Isınan yeraltı suyu yoğunluk farkından dolayı konvektif taşınım yoluyla hareket etmektedir. İncelenen suların gerek hidrokimyasal özellikleri gerekse de izotop özellikleri sıcak akışkanların yüzeye doğru yükselirken sığ derinliklerde soğuk yeraltı sular ile karışmış olduğunu göstermektedir.

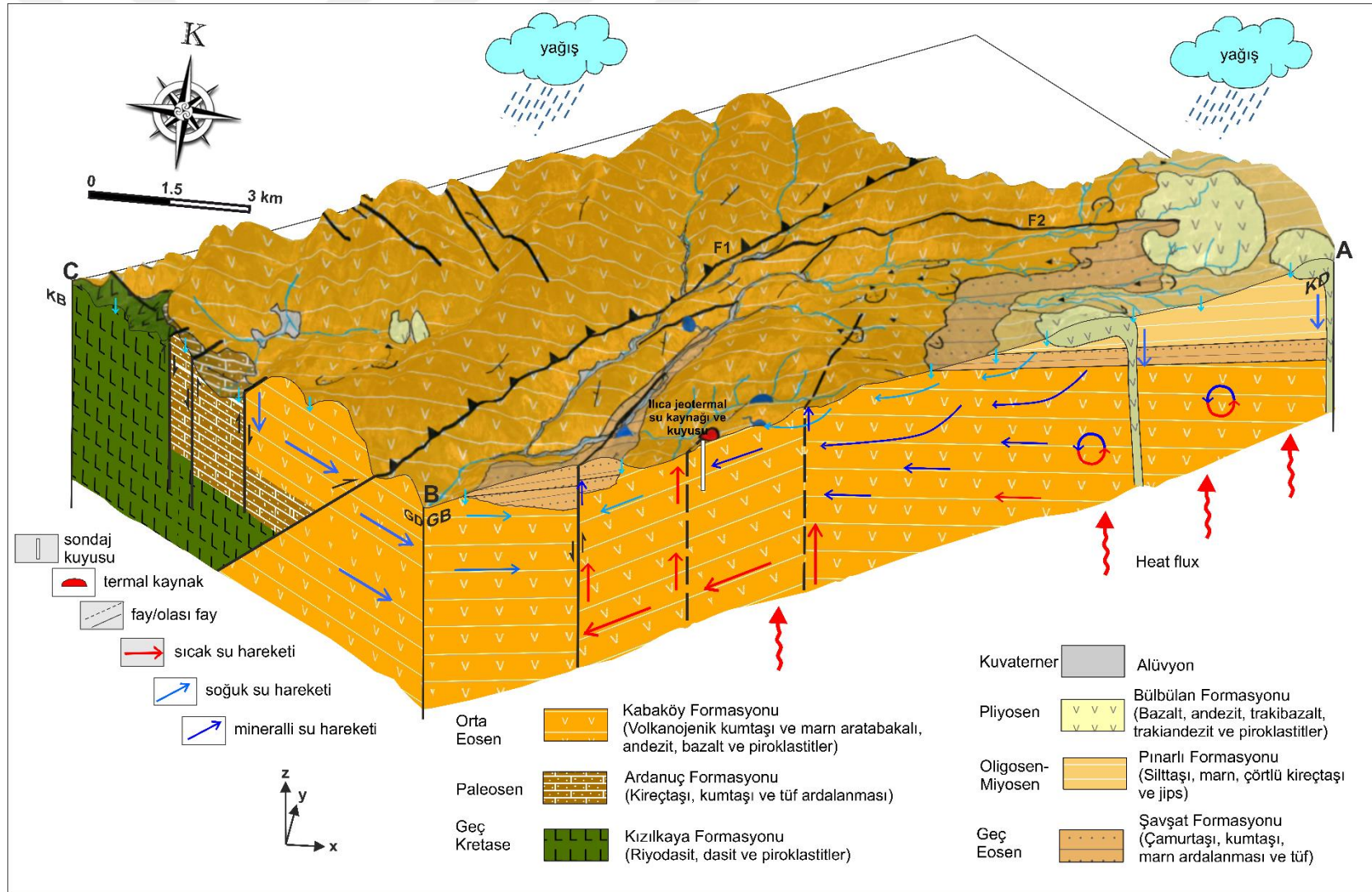
Sıcak suların duraylı izotop içerikleri değerlendirildiğinde soğuk sulara göre nispeten negatif değerlere sahip oldukları görülür. Trityum değerleri ise soğuk suların trityum değerinden oldukça düşüktür. Jeotermal akışkanın havza içerisine düşen yağış sularının yeraltına ilerleyerek volkanojenik kumtaşları içerisinde depolanan ve jeotermik gradyan ile ısınmış meteorik sular olduğu belirlenmiştir. Isınan sular jeofizik çalışmalarla da belirlenen Çermikdere vadisine paralel uzanan kırık hattı boyunca yükselerek yüzeye ulaşmıştır (Şekil 42).  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerine göre sıcak sulardaki karbonun metamorfik kökenli olduğu, soğuk sulara ise zemin gözeneklerindeki  $\text{CO}_2$ 'den kaynaklandığını gösterir.  $\delta^{34}\text{S}$  değerleri de sıcak sulardaki kükürtün kaynağının volkanik kökenli sülfür olduğunu göstermektedir.

Türkecan, (2017), Kars-Ardahan yöresindeki Kuvaterner yaşlı volkanik etkinliklerin çeşitli araştırmacılar tarafından tespit edilen bazı özelliklerini özetlemiştir. Bu çalışmada Kars

ve Ardahan yörelerinde geniş alanları kaplayan volkanitlerin, Geç Pliyosen-Erken Pleyistosen yaşlı (Duru ve Keskin, 2014) andezit, dasit ve riyolit bileşiminde oldukları, sırtlar ve domlar şeklinde andezitik lav çıkışları, domlar şeklinde dasitik kayalar ve yer yer görülen riyolitik lav akıntıları şeklinde yüzlekler verdiği belirtilmiştir. Ardahan Andeziti (Karaköse vd, 1994), Ulgartepe Andeziti (Karaköse vd, 1994), Dumanlıdağ Volkanikleri (Aktimur vd, 1991) gibi adlandırılmış olan bu volkanitlerin çeşitli yöntemlerle 1.6-2.7 milyon yıllık yaş bulguları (Innocenti vd., 1982; Karaköse vd, 1994) olduğu belirtilmiştir. Ilica jeotermal sahasında sırtlar ve domlar şeklinde yüzeylenen ve trakiandezit, trakibazalt, hornblend andezit ve piroklastikleri ile temsil edilen volkanik kayalar petrografik açıdan bu Pliyosen-Pleyistosen yaşlı volkanik kayalarla deneştirilebilir özelliktedir. Bu genç volkanik faaliyetler bu alanda jeotermik gradyanın yükselmesine neden olmaktadır. Jeotermal sistemin ısı kaynağını bu genç volkanik etkinliklerin oluşturduğu düşünülmektedir.

Rezervuar özelliğindeki volkanojenik kumtaşları sahada geniş yüzeylenmeler vermektedir. Dolayısıyla sistemin bir örtü kayası bulunmamaktadır. Ancak çamurtaşı-silttaşı-kumtaşı ardalanmasından oluşan türbiditik özellikteki Şavşat Formasyonu yüzeylendiği alanlarda jeotermal sistemin örtü kayasını oluşturmaktadır.

Ilica jeotermal sahası için silis jeotermometreleri ile 150°C'lik hazne kaya sıcaklığı hesaplanmıştır. Bu değer ile saha düşük - orta entalpili saha (Muffler ve Cataldi, 1978; Benderitter ve Cormy, 1990; Hochstein, 1990; Haenel vd., 1988) olarak sınıflandırılabilir (Tablo 19).





## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Ilıca (Şavşat-Artvin) sıcak su kaynağının ve çevresinin hidrojeolojik, hidrojeokimyasal özellikleri ve kaynak sularının kökeninin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda jeotermal alandaki sıcak suyun oluşum mekanizması, kimyasal ve fiziksel özellikleri, radyoaktivite ve doğal izotop içerikleri analizler ile tespit edilerek o bölgede ki soğuk su kaynağı ve yüzey suları ile karşılaştırılmıştır. Kimyasal jeotermometreler kullanılarak sıcak suyun rezervuar sıcaklığı hesaplanmış, alanın jeotermal açıdan önemi belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Ilıca Jeotermal Sahası Artvin İli, Şavşat ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmada jeotermal kaynak ve çevresinde yaklaşık 140 km<sup>2</sup>'lik bir alanda jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar yapılmıştır. İnceleme alanındaki en yaşlı birim riyodasit, dasit ve piroklastlardan oluşan Geç Kretase yaşlı Kızılkaya Formasyonudur. Bunun üzerine Paleosen yaşlı kireçtaşı ve kumtaşlarından oluşan Ardanuç Formasyonu, Orta Eosen yaşlı volkanojenik kumtaşı ve andezit-bazaltlardan oluşan Kabaköy Formasyonu, Geç Eosen yaşlı çamurtaşı, kumtaşı, marn ve tüfit aralanmasından oluşan Şavşat Formasyonu, Oligosen-Miyosen yaşlı silttaşı, marn, çörtlü kireçtaşı ve jipslerden oluşan Pınarlı Formasyonu gelmektedir. Bazalt, andezit, trakiandezit, trakibazalt ve piroklastlardan oluşan Pliyosen yaşlı Bülbülan Formasyonu çalışma alanının en genç birimidir.

2. Jeotermal sahayı yüzeyde vadi boyunca boşalımı olan ve traverten çökelimi gözlenen sıcak kaynaklar temsil etmektedir. Sıcak kaynakların yüzeye ulaşmasında vadi boyunca uzanan fay (veya kırık hatları) etkili olmuştur. Alanda 120 m derinliğinde açılan sondajdan yaklaşık 39°C ve artezyen şeklinde su elde edilmiştir. Yapılan sondaj nedeniyle mevcut kaynak boşalımı son bulmuştur.

3. Sondajdan alınan suyun (ILICAS) iki yıl boyunca farklı tarihlerde ölçülen sıcaklığı 38.8-39.3°C, pH değeri 6.64-6.9, elektriksel iletkenlik (Eİ) değeri 5734-6204 µS/cm, toplam çözülmüş madde miktarı (TDS) 3044-3224 mg/l'dir. Alandaki soğuk su kaynağında (ŞSSK) ölçülen sıcaklık 9-9.22 °C, pH 7.59-8.14, elektriksel iletkenlik (Eİ) değerleri 155-171 µS/cm, toplam çözülmüş madde miktarı (TDS) 144-156 mg/l arasındadır. Yüzey sularını da temsilen Çermik Deresinde ölçülen (CERDERY) sıcaklık 6.9-9 °C, pH 7.92-8.53, elektriksel iletkenlik

(Eİ) değerleri 122-787  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında ve toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) ise 116-715 mg/l arasındadır.

4. Çalışma alanında bulunan sular kimyasal açıdan Piper Diyagramında değerlendirildiğinde; sıcak sularda alkali elementler (Na+K), toprak alkali elementlerden (Ca+Mg); güçlü asit kökleri (Cl+SO<sub>4</sub>) kökleri de zayıf asit köklerinden (CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) fazladır. Soğuk kaynak ve yüzey sularında ise tersi durum gözlenmektedir.

5. Çalışma alanındaki sularda iyon içeriklerinin birbirleriyle olan benzerlikleri veya farklılıklarını ve mevsimsel değişikliğin etkilerini ortaya koymak için Schoeller diyagramından yararlanılmıştır. Bu diyagrama göre jeotermal (ILICAS) ve mineralli suyun (CDMS) iyon konsantrasyonlarını birleştiren doğrular birbirine paraleldir. Ancak sıcak suyun konsantrasyonları daha yüksektir. Soğuk kaynak (ŞSSK) ve yüzey suyunun (CERDERY) iyon konsantrasyonlarını birleştiren doğrular da birbirine paralellik gösterir.

6. Çalışma alanından alınan su örneklerinin NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> ve PO<sub>4</sub> gibi kirlilik analizleri yapılmış olup, incelenen bu suların Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterlerine göre uygun olduğu belirlenmiştir.

7. Çalışma alanındaki suların mineral doygunlukları hesaplanmış ve doygun olup olmadıkları belirlenmiştir. Bu hesaplamalar sonucunda Ilica jeotermal suyu Mayıs-2016 ayı örneklerinde aragonit, barit, kalsit ve dolomite doygun, anhidrit, florit, jips, halit ve viterite doygun değildir. Soğuk kaynak suyu (ŞSSK) Mayıs-2016 ayı ölçümlerinde hiçbir minerale doygun değil iken Ekim-2016 ayında yapılan ölçümlerde aragonit, kalsit ve dolomite doygun, anhidrit, florit, jips ve halite doygun değildir. CERDERY örnekleme noktasında ise Mayıs-2016 ayı ölçümlerinde kalsite doygun, anhidrit, aragonit, barit, dolomit, florit, jips, halit ve viterite doygun değildir. Ekim-2016 ayında yapılan ölçümlerde ise dolomite doygun ancak anhidrit, aragonit, kalsit, florit, jips ve halite doygun değildir.

8. Suların doğal izotop (<sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H ve <sup>3</sup>H) içeriklerine göre suların kökeni, beslenme yükselteleri ve göreceli olarak yeraltında kalış süreleri belirlenmiştir.  $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$  ilişkisine göre sular meteorik kökenlidir. Jeotermal sularda su-kayaç ilişkisinin etkisi görülmektedir. Düşük trityum ve yüksek EC değerleri jeotermal suyun derin dolaşımını olduğunu göstermektedir.

9. Çalışma alanındaki sularda kükürt ve karbonun kaynağını belirlemek amacıyla  $\delta^{13}\text{C}$  ve  $\delta^{34}\text{S}$  içerikleri belirlenmiştir. Ilica jeotermal suyunda  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  değeri %4.31-%7.70 arasında, Soğuk Su Kaynağı'nda %0-12.36, Çermik Deresi'nde %0-13.82-%0-7.79 arasındadır. Bu

değerlere göre Ilıca jeotermal suyundaki karbon, tatlı su karbonatlarından ve metamorfik CO<sub>2</sub>'den kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra çalışma alanında sıcak su kaynağına yakın konumda bulunan genç volkanik kayaçların varlığı da sıcak sudaki karbon içeriğinin bir kısmının manto kökenli CO<sub>2</sub> gazından kaynaklı olabileceğini de düşündürmektedir. Soğuk Su Kaynağında ve Çermik Dere'deki karbon miktarı toprakta bulunan veya yeraltında bulunan gözeneklerde birikmiş olan CO<sub>2</sub> tarafından kontrol edilmektedir.

10. Ilıca jeotermal suyunda  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  bileşimi yaklaşık %10, soğuk sularda bu değer %3-10 arasında değişmektedir. Değerler arasındaki farklar sıcak su ve soğuk suda bulunan kükürtün farklı kaynaklardan geldiğini düşündürmektedir. Jeotermal suyun  $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$  değerlerine göre kükürtün kaynağının volkanik sülfür ve Senozoyik yaşlı CaSO<sub>4</sub>'lar oluşturmaktadır. Soğuk su kaynaklarında bulunan kükürtün kaynağı ise magmatik kayaçlar oluşturmaktadır.

11. Giggenbach diyagramına göre "kısmen olgunlaşmış sular" sınıfında yer alan Ilıca jeotermal sahasında rezervuar sıcaklığının belirlenmesi amacıyla kimyasal jeotermometreler uygulanmıştır. Silis jeotermometreleri hazne kaya sıcaklığını 51-150 °C arasında öngörmüştür.

12. Kimyasal jeotermometrelerle tahmin edilen rezervuar sıcaklığına göre Ilıca jeotermal sahası "düşük sıcaklıklı jeotermal sistemler" sınıfına girmektedir. Jeotermal sistemin hazne kayasını Orta Eosen yaşlı volkano-tortul özellikli Kabaköy Formasyonu, ısı kaynağını ise Pliyosen yaşlı volkanitleri besleyen magmatizma oluşturmaktadır. Sistemin tamamen geçirimsiz ve hazne kaya özelliğindeki birimleri üzerleyen bir örtü kayası bulunmamaktadır. Ancak Şavşat Formasyonu yüzeylendiği alanlarda sistemin örtü kayası olarak değerlendirilebilir.

13. Ilıca Jeotermal suyu henüz kullanılmamaktadır. Kaplıca amaçlı kullanımına yönelik çalışmalar mevcuttur. Bu amaçla kullanımı o yöreyi hem ekonomik anlamda hem de turizm bakımında daha canlı bir hale getirecektir. Ancak tüm jeotermal sahalarda olduğu gibi kullanım esnasında sistemin beslenme-boşalım dengesi dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde ilerleyen yıllarda jeotermal sistemde basınç düşmesi meydana gelmektedir. Bu durum sıcak su akiferini olumsuz etkilemekte, yüzeyde de çökme oturma gibi zemin problemlerine neden olmaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

- Aggarwal, J. K., Palmer, M. R., Bullen, T. D., Arnorsson, S. ve Ragnarsdottir, K. V., 2000. The Boron Isotope Systematics of Icelandic Geothermal Waters, 1. Meteoric Water Charged Systems, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64 4, 579-585.
- Aiuppa, A., Belomo, S., Brusca, L., D'Alessandro, W. and Federico, C., 2003. Natural and Anthropogenic Factors Affecting Groundwater Quality of an Active Volcano Mt, *Applied Geochemistry*, Etna, Italy, 18, 863-882.
- Akgiray, Ö, 2003. İçme suyu ve su arıtımı. Suyumuzun Geleceği ve Türkiye Su Politikaları, 22 Mart Dünya Su Günü paneli, İstanbul. Zekai Şen, Sevinç Sırdaş (Editör), *Bildiriler*: 62-75.
- Anonim, 2006. World Health Organisation (WHO), Guidelines for drinking water quality, First addendum to third edition, vol. 1, Recommendations, WHO Publ., Geneva, 494 p.
- APHA-AWWA-WPCF, 1981. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater Fifteenth ed., American Public Health Association, Washington, USA, 1134.
- Arnorsson, S. and Andresdottir, A., 1995. Processes Controlling the Distribution of Boron and Chlorine in Natural Waters in Iceland, *Geochim Cosmochim Acta*, 20, 59, 4125-4146.
- Arnorsson, S., 1985. The Use of Mixing Models and Chemical Geothermometers for Estimating Underground Temperatures in Geothermal Systems, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 23, 299-335.
- Banks, D., Hall, G., Reimann, C. ve Sievers, U., 1999. Distribution of Rare Earth Elements in Crystalline Bedrock Groundwaters Oslo and Bergen Regions, Norway, *Appl. Geochem.* 14, 27-39.
- Başkan, M., E. ve Canik, B., 1983. I.A.H. Map of Mineral and Thermal Waters of Turkey Aegean Region, M.T.A. Raporları, No:189, Ankara, 80 s.
- Başkan, M., E. ve Canik, B., 1983. I.A.H. Map of Mineral and Thermal Waters of Turkey Aegean Region, M.T.A. Raporları, No:189, Ankara, 80 s.
- Berger, G., Schott, J. ve Guy, C., 1988. Behavior of Li, Rb and Cs During Basalt Glass and Olivine Dissolution and Chlorite, Smectite and Zeolite Precipitation from

Seawater, Experimental Investigations and Modelization Between 50 °C and 300 °C, Chem. Geol., 71, 297-312.

- Brouwer, E., Baeyens, B., Maes, A. ve Cremers, A., 1983. Cesium and Rubidium Ion Equilibria in Illite Clay, J. Phys. Chem., 87, 1213-1219.
- Clark, I. ve Fritz, P., 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis publishers, New York, 328.
- Collins, A., G., 1975. Geochemistry of Oil Field Waters, Elsevier, 125p. New York.
- Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Water, Science, 133, 1702-1703.
- Davis, N.S., and DeWiest, R.J.M., 1966. Hydrogeology, John Wiley and Sons., Inc. New York, 463 p.
- Davis, S., N., 1964. Silica in Streams and Groundwater, American Journal of Science, 262, 870-891.
- Deines, P., 1980. The carbon isotopic composition of reduced organic carbon. In P. Fritz and J. C. Fontes (Eds.), Handbook of Enviromental Isotope Geochemistry 329-406. Amsterdam, Netherlands; Elsevier.
- Dickson, M., H., ve Fanelli, M., 1990. Geothermal Energy and its Utilization, In; Dickson, M., H., Fanelli, M. (Eds.), Small Geothermal Resources, UNİTAR/UNDP Centre for Small Energy Resources, Rome, Italy, 1-29.
- Dikmen, B., 2001. Ulubat Gölü ve Gölü Besleyen Su Kaynaklarında Organoklorlu Pestisit Kirliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dilaver, A. T., Çifter, C. ve Altay, T., 2002. Türkiye'deki İçme ve Kullanma Sularının Radyoaktivite Yönünden Kalitesinin Belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, T.C Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ekim, Adana, 301- 318.
- Doğan, L., 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası. DSİ yayınları, Ankara, 178 s.
- Doğdu M., Ş., 2001. Akarçay (Afyon) Havzasında Jeotermal Kökenli Yüzeysuyu ve Yeraltı Suyu Kirliliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ekmekçi, M. ve Gültekin, F., 2015. Doğu Karadeniz Bölümü Suları Çevresel Duraylı İzotop İçeriğinin Değerlendirilmesi, Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu (MÜHJEO 2015), Eylül, Trabzon, Bildiriler Kitabı 459- 466.

- Ellis, A. J. ve Mahon, W. A. J., 1964. Natural Hydrothermal Systems and Experimental Hot Water/Rock Interactions, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 28, 1323-1357.
- Ellis, A. J. ve Mahon, W. A. J., 1967. Natural Hydrothermal Systems and Experimental Hot Water/Rock Interactions, Part II, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 31, 519-538.
- Erendil, M., Turhan, N., Aksoy, A., Özdemir, H. and Sirel, E., 1989. "Artvin Dolayının Jeolojik Etüdü", MTA Derleme Raporu, (Basımda).
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., 1987. Yeraltı Suları Jeolojisi, İTÜ, İstanbul, No:23, 339 s.
- Eryurt, A., 1999. Manisa Bölgesi Yeraltı Sularının Bileşiminde Mevsimsel Değişiklikler Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Evens, N., M., Hamilton, P., J. ve O'Nions, R., K., 1978. Rare Earth Abundances in Chondritic Meteorite, *Geochim, Cosmochim Acta*, 42,1199-1212.
- Fournier, R., O., 1977. Areview of Chemical and Isotopic Geothermometers for Geothermal Systems, *Proceedings of the Symp. On Geoth. Energy, Cento Scientific Programme*, Ankara, 133-143.
- Frape, S., K., Blyth, A., Blomqvist, R., McNutt, R., H. ve Gascoyne, M., 2003. Deep Fluids in the Continents: II. Crystalline rocks. In: Drever, J.I. (Ed.), *Surface and Ground Water, Weathering and Soils*. In: Holland, H.D., Turekian, K.K. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*, 5. Elsevier, Amsterdam, 541-580.
- Freze, R., A. ve Cherry, J., A., 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall, USA, 604.
- Gemici, Ü., 1999. Çeşme Yarımadası'nın Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, Doktora Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Goldhaber, M. B., and I. R. Kaplan, 1974. The sulfur cycle. In E. D. Goldberg (Ed.), *The Sea*, 569-655. New York: Wiley-Interscience.
- Gültekin, F. ve Dilek, R., 2005. Gümüşhane Yöresi Mineralli Su Kaynaklarının İz Element ve Radyoaktivite İçerikleri, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29, 1.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/250000 ölçekli jeolojik ve metalojenik haritası., MTA, Ankara.
- Haskin, L., A., Wildeman, T., R. ve Haskin, M., A., 1968. An Accurate Procedure for the Determination of the Rare Earths by Neutron Activation, *Journal of Radioanalytical Chemistry* 1, 337-348.

- Hem, D., J., 1971. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, U. S. Geological Survey Water Supply Paper, Second Edition, 93.
- Hem, D., J., 1971. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, U. S. Geological Survey Water Supply Paper, Second Edition, 187.
- Hem, D., J., 1985. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, USGS Water Supply Paper 2254, US Gov. Print. Office, 263.
- Hem, D., J., 1992. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, U.S. Geol. Surv., Water-Supply, 2254.
- Hem, D.J., 1971. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, second edition, U.S. Government Printing Office, Washington, 363.
- Holt, B. D.; Engelkemeir A. G., and Venters A., 1972. Variations in sülfür isotope ratios in samples of water and air near Chicago. Environ. Sci. & Technol., 6, 338-341.
- Hounslow, A., W., 1995. Water Quality Data: Analysis and Interpretation, Lewis Publisher, 54.
- IAH (International Association of Hydrogeologists), 1979. Map of Mineral and Thermal Water of Europe, Scale: 1:500.000, IAH, United Kingdom.
- Kaplan, H., 1978. Nükleer Enerji Hammaddelerinin Aranması ve Arama Yöntemleri, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 11-26.
- Kaplan, I. R., and S.C. Rittenberg, 1964. Microbiological fractionation of sulfur isotopes. J. Gen. Microbiol., 34, 195-212.
- Karaköse, C. Asutay, HJ., Yergök, AF., Akbaş B., Dalkılıç, H., Meng, H., Kara, H., Papak, İ. ve Keskin, İ., 1994. Ardahan-Posof Dolayının Jeolojisi, MTA Gnl. Md. Rapor No: 9962, 117 s.
- Keller, E. A., 2005. Introduction to Environmental Geology, executive editor: Patrick Lynch, Pearson Education, 14, 362, New Jersey (USA).
- Kellogg, W. W., Cadle R. D., Allen E. R., Lazrus A., and Martell E. A., 1972. The sulfur cycle. Science, 175, 587-596.
- Keren, R. ve Mezuman, U., 1981. Boron Adsoption by Clay Minerals Using A Phenomenological Equation, Clays and Clay Minerals, 29, 198-204.
- Kharaka, Y., K. and Mariner, R., H., 1987. Chemical Geothermometers and Their Application to Formation Waters from Sedimentary Basins, In: Thermal

History of Sedimentary Basins (Neaser, D., McCulloch, T.H., -eds), New York, 75-102.

- Koçak, A., 2003. Jeotermal Enerji Ders Notları, M.T.A. Yayınlar, İzmir. 53 s.
- Koçak, A., 2007. Su Kayaç Etkilesimi, Alterasyon ve Hidrotermal Alterasyon. [www.hidrojeoloji.net](http://www.hidrojeoloji.net).
- Konak, O., Yılmaz, B.S., Gülibrahimoğlu, İ., Yazıcı, E N, Yaprak, S., Saraloğlu, A., Kösez, Çuvalcı, F., Tosun, C Y., 1998. Artvin İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA, Der. Rap. No:10165, Ankara
- Krouse, H. R. 1980. Sulfur isotopes in our environment. In P. Fritz and J. C. Fontes (Eds.), Environmental Isotope Geochemistry (pp. 437-471). New York: Elsevier.
- Kumru, M. N., Aydın, B., Bakaç, M., 2002. Gediz Nehri'nden Ege Denizi'ne Taşınan Doğal Radyoaktivitenin (Radyum) Belirlenmesi, Ekoloji Çevre Dergisi, Cilt:10, Sayı:43, s:22-25.
- Leybourne, M., I., Goodfellow, W., D., Boyle, D., R. ve Hall, G., M., 2000. Rapid Development of Negative Ce Anomalies in Surface Waters and Contrasting REE Patterns in Groundwaters Associated with Zn-Pb Massive Sulphide Deposits. Appl. Geochem., 15, 695-723.
- Lipin, B., R. ve McKay, G., A., 1989. Geochemistry and Minerology of Rare Earth Elements. Reviews in Minerology, vol. 21. Mineralogical Society of America, Washington D.C.
- Lund, J., W. And Freeston, D., H., 2001. World-Wide Direct Uses Of Geothermal Energy 2000. Geothermics, 30, 29-68.
- Mazor, E., 1997. Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology, Applied Approach, 158-166
- McNeely, R., N., Neimanis, V., P. ve Dwyer, L., 1979. Water Quality Sourcebook-A Guide to Water Quality Parameters: Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, Canada, 88 p.
- MGM, İllerimize Ait İstatistiki Veriler, 25.09.2017. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagis-verileri.aspx?m=artvin#sfB7>
- Nicholson, K., 1993. Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques, Springer-Verlag, Berlin, 263.



- Seyfried, W. E., Janecky, D. R. ve Mottl, M. J., 1984. Alteration of the Oceanic Crust: Implications for Geochemical Cycles of B and Li. *Geochim., Cosmochim. Acta.* 79, 819-823.
- Shaw, D., M. and Sturchio, N., C., 1992. Boron-Lithium Relationships in Rhyolites and Associated Thermal Waters of Young Silicic Calderas, with Comments on Incompatible Element Behavior, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 3723-3731.
- Smethurts, G., 1979. *Les Eaux Souterraines*, Mason et cie, Paris, 642.
- Stevens, H., H., Ficke, J., F. ve Smoot, G., F., 1975. Water Temperature-Influential Factors, Field Measurement and Data Presentation, *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geol. Survey*, Chapter D1, Book 1, 65.
- Stober, I. ve Bucher, K., 1999. Deep Groundwater in the Crystalline Basement of the Black Forest Region, *Appl. Geochem.*, 14, 237-254.
- Şahinci, A., 1986. Yeraltı Suları Jeokimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, MM/JEO-86, 99, İzmir.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası, 3. Bölüm, 46- 57, Dokuz Eylül Üniv. Müh. Mim. Fak. Jeoloji Müh. Böl., Reform Matbaası, İzmir.
- Şahinci, A., 1991. Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri, Reform Matbaası, İzmir, 247.
- Şahinci, A., 1991. Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri, 104, 124-135, İzmir.
- Şahinci, A., 1991. Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. 48-49, İzmir.
- Tarcan, G., 2004. Jeotermal su kimyası ders notları, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Türkiye'nin Jeotermal Kaynakları Projeksiyonlar Sorunlar ve Öneriler Raporu 27.
- Truesdell, A., H., 1975. Summary of Section III Geochemical Techniques in Exploration, In: *Proceedings of the Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, San Francisco, 25-50.
- Truesdell, A., H., 1991. Effects of Physical Processes on Geothermal Fluids, In *Applications of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development* (coordinator F.D'Amore), 71-92.
- URL-1, [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/jeo\\_kullanim\\_alanlari.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/jeo_kullanim_alanlari.aspx)

- URL-2, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>
- URL-3, <http://www.csb.gov.tr/iller/artvin/> Artvin İl Özel İdare Sayfası, Artvin ili Genel Yapısı, İl Çevre Durum Raporu, 22 s.
- Uslu, O. ve Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü, Çevre Genel Md. Yay. Eğitim Dizisi, 1, 364.
- Viellard, P., 2000. A New Method for the Prediction of Gibbs Free Energies of Formation of Hydrated Clay Minerals Based on the Electronegativity Scale, Clays Clay Miner. 48, 459-473.
- W.H.O., 1984. Guidelines for Drinking Water Quality, Health Criteria and Other Supporting Information, W.H.O. Publ., Geneva, Switzerland, 2, 335.
- W.H.O., 2008. Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd Edition.
- Yılmaz, N., S., 2013. Aydın ve Çevresindeki Jeotermal Sulardaki Bazı Elementlerin Ve İyonların ICP-Oes Ve IC İle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın.
- Yurtsever, Y., 1978. Tabii İzotopların Hidrojeolojide Kullanılması Esasları ve Antalya Cıvarı Karstik Bölgede Yerüstü-Yer Altı Suyu İlişkisinin Tabii İzotoplarla Araştırılması Sonuçları, E.İ.E. Bülteni, 75-76, 1061-1080.
- Zaim, A., ve Çavşi, H., 2018. Türkiye'deki Jeotermal Enerji Santrallerinin Durumu. Mühendis ve Makine, 59, 691, 45-58.

## **ÖZGEÇMİŞ**

12.05.1992 tarihinde Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamlayarak 2010 yılında Abidinpaşa Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2015 yılında mezun oldu. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Ana Bilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Burhan Melih SUBAŞI İngilizce bilmektedir.

