



**T.C.
TUNCELİ ve ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
ORTAK FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PERTEK JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Aysun AKKUŞ**

Anabilim Dalı : Jeoloji Mühendisliği

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Ayten ÖZTÜFEKÇİ ÖNAL
2. Danışman: Prof. Dr. Ekrem KALKAN**

HAZİRAN-2016

**T.C.
TUNCELİ ve ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
ORTAK FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PERTEK JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Aysun AKKUŞ
(142109103)**

Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği

DANIŞMAN

Prof. Dr. Ayten ÖZTÜFEKÇİ ÖNAL

2. Danışman: Prof. Dr. Ekrem KALKAN

HAZİRAN-2016

T.C.
TUNCELİ ve ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
ORTAK FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PERTEK JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Aysun AKKUŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 23/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği/ oyçokluğu** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

İmza:.....

İmza:.....

Prof. Dr. Ayten
ÖZTÜFEKÇİ ÖNAL
(T.Ü)

Prof.Dr.Yüksel
ÖRGÜN TUTAY
(İ.T.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Özlem ERDEM
(T.Ü)

DANIŞMAN

ÜYE

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Durali DANABAŞ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

Bu çalışma, Tunceli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:YLTUB015-01

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Pertek jeotermal alanı Tunceli ilinin güneybatısındaki Singeç Vadisi ve yakın civarında yer alan ve daha önce jeotermal açıdan çalışılmamış bir alanı içermektedir. Çalışma alanında gözlenen baskın kaya tipi Keban Metamorfittleridir. Bölgede gözlenen diğer jeolojik birimler Pertek Magmatitleri, Kırkgeçit Formasyonu, Karabakır Formasyonu ve alüvyonlardır. Jeolojik birimler bölgedeki tektonik aktivite nedeniyle çok sayıda makaslama kırık ve çatlakları içerir. Söz konusu makaslama yapıları Pertek jeotermal alanındaki soğuk ve sıcak su kaynaklarının yüzeye ulaşmasını denetler. Keban Metamorfittleri'nin kristalize kireçtaşı ve mermerleri Pertek jeotermal alanındaki suların hazne kayasını oluşturmaktadır. Bu hazne kayanın beslenme bölgesinde, sadece sınırlı alanlarda, yarı geçirimli sedimentler (Kırkgeçit Formasyonu) ve volkanik örtü kayaları (Karabakır Formasyonu) bulunmaktadır. Bu nedenle, Pertek jeotermal sistemi açık sistem olarak değerlendirilebilir.

Sistemdeki termal suların pH ve elektriksel iletkenlikleri sırasıyla 6,18-7,55 ve 816-2330 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. Yüzeye çıkış sıcaklıkları ise 25,5-38,2 $^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Soğuk suların pH ve elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 7,52-8,31 ve 402-472 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. Sularda en fazla bulunan katyon Ca^{+2} , anyon ise HCO_3^- dir. IAH (1979) su sınıflandırma yöntemine göre, sıcak ve soğuk sular, soğuk mineralli su ve dere suyu Ca-Mg- HCO_3 tipinde, Keban barajının göl suları ise Ca-Mg- HCO_3 - SO_4 tipindedir.

Termal sular genel olarak kalsit, aragonit, kalsedon, kuvars ve dolomit minerallerine doygundur. Pertek jeotermal alanının, silis jeotermometresi kullanılarak hesaplanan rezervuar sıcaklığı 74-127 $^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu jeotermal alanda, entalpi-silis karışım diyagramından elde edilen soğuk su karışım oranları (%60-88) yüksektir. Bu nedenle, jeotermal suların yüzeye çıkış sıcaklıkları, su-kayaç etkileşimleri ve bununla ilişkili olan toplam çözünmüş katı içerikleri düşüktür.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, Hidrojeokimya, Pertek, Tunceli

ABSTRACT

The Pertek geothermal field is located at Singec valley and its close vicinity in the northwest of the province of Tunceli and this field has not been previously studied in terms of geothermal. Keban Metamorphites are dominant rock type in the study area. Pertek Magmatic, Kırkgeçit Formation, Karabakır Formation and alluvium are other geological units seen in the region. These units include shear fractures and numerous cracks because of tectonic activity. Aforementioned shear structures control the cold groundwater and thermal springs in the Pertek geothermal field to reach the surface.

The crystallized limestones and marbles of the Keban Metamorphites constitute the reservoir rocks of the Pertek geothermal field. The recharge field of the reservoir rocks was covered by semi-permeable sedimentary (Kırkgeçit Formation) and volcanic rocks (Karabakır Formation), only in a limited area. Therefore, the Pertek geothermal system can be considered as an open system. The pH and electrical conductivity of the thermal water in the system are between 6,18 to 7,55 and 816 to 2330 $\mu\text{s}/\text{cm}$, respectively. Temperature of these waters varies between 25,5 to 38,2°C, when they reach up to the surface. The pH and electrical conductivity of the cold springs in the system are between 7,52 to 8,31 and 402 to 472 $\mu\text{s}/\text{cm}$, respectively. The most abundant cation present in the waters is Ca^{+2} ; the most abundant anion is HCO_3^- . According to the IAH (1979) water classification, these hot and cold waters, cold mineral water and river water are of the Ca-Mg- HCO_3 type, the waters of the Keban dam lake are of the Ca-Mg- HCO_3 - SO_4 type.

The thermal waters are generally oversaturated with calcite, aragonite, chalcedony, quartz and dolomite minerals. The calculated reservoir temperature of the Pertek geothermal field, using silica geothermometer, changes between 74-127 °C. The cold water mixing ratios obtained from enthalpy-silica diagram are high (60-88%) in this geothermal field. Therefore, the discharge temperatures of geothermal waters, water-rock interactions and related total dissolved solids contents are low.

Key words: Geothermal, Hydrochemistry, Pertek, Tunceli

TEŞEKKÜRLER

“Pertek Jeotermal Alanının Hidrojeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi ve Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışma Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmış ve Tunceli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (TÜNİBAP) tarafından YLTUB15-01 no’lu proje ile desteklenmiştir. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Tunceli Üniversitesi Rektörlüğü’ne ve Tunceli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (TÜNİBAP)’ne teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanmasında, çalışmalarımı büyük titizlikle izleyen, arazi ve büro çalışmalarında yönlendirici ve bilgilendirici katkı ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ayten ÖZTÜFEKÇİ ÖNAL’a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmalarım ile ilgili bilgi alışverişinde bulunduğum ve çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Tuğbanur ÖZEN BALABAN’a teşekkür ederim.

Önceki çalışmalarında elde ettikleri bilgileri bizimle paylaşan, ruhsatlı sahalarında örnekleme yapmamız için izin veren ve arazi çalışmalarımız esnasında bize araç desteği sağlayan öncelikle Pertek Termal Sağlık Tur. İnş. ve Tic. AŞ.’nin kurucusu Selahattin ŞEREFİOĞLU’na, işletmenin Genel Müdürü Selçuk ŞAMLIOĞULLARI’na Şerefoğlu İnşaat Proje Müdürü ve İnşaat Mühendisi Emin ALDEMİR’e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Arazi ve büro çalışmaları esnasında hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Dr. Taylan SANÇAR’a ve Öğrt. Gör. Ali ÖNAL’a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmaları sırasındaki emeği ve göstermiş olduğu sabrı için Üniversitemizin Çevre Mühendisliği Bölümü’nden Arş. Gör. Deniz DEMİRBİLEK’e ve laboratuvar çalışmaları sırasında yardımlarını esirgemeyen Belkız BİNGÖL ve Azat KURKUT’a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım esnasında göstermiş oldukları sonsuz sabır ve manevi desteklerinden dolayı aileme içtenlikle teşekkür ederim.

Aysun AKKUŞ
TUNCELİ-2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIII
KISALTMALAR.....	XIV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışma Alanının Yeri.....	1
1.3. Meteorolojik Veriler.....	3
2. MATERYAL ve METOT	5
2.1. Büro Çalışmaları	5
2.2. Arazi Çalışmaları.....	5
2.2.1. Örnekleme	5
2.2.1.1. Kimyasal Analizler İçin Su Örnek Alımı	5
2.2.2. Ölçüm Yöntemleri	6
2.2.3. Arazide Fiziksel Parametrelerin Ölçüm Yöntemleri	6
2.2.3.1. Sıcaklık, Eh, pH ve EC Ölçümleri	6
2.2.3.2. Alkalinite Analizi	7
2.3. Laboratuvar Çalışmaları	8
2.3.1. Laboratuvarda Yapılan Analizlerin Yöntemleri.....	9
2.3.1.1. Sülfat Tayini.....	9

2.3.1.2. Ortofosfat Tayini	10
2.3.1.3. Amonyum Azotu Tayini.....	10
2.3.1.4. Nitrat Tayini.....	10
2.3.1.5. Nitrit Tayini	11
2.3.1.6. Toplam Katı Madde (TKM) Tayini.....	11
2.3.1.7. Askıda Katı Madde (AKM) Tayini.....	12
2.3.1.8. Toplam Uçucu Katı Madde (TUKM) Tayini	12
2.3.2. ICP-MS Yöntemi ile Suların Kimyasal Analizleri.....	13
2.4. Önceki Çalışmalar	14
3. BULGULAR	23
3.1. Çalışma Alanı'nın Jeolojisi	23
3.1.1. Keban Metamorfitleri	26
3.1.2. Pertek Granitoidleri	29
3.1.3. Harami Formasyonu	32
3.1.4. Kırkgeçit Formasyonu	32
3.1.5. Karabakır Formasyonu	34
3.1.6. Alüvyon.....	34
3.2. Yapısal Jeoloji.....	35
3.2.1. Pertek Bindirme Fayı.....	35
3.3. Hidrojeoloji	37
3.3.1. Akifer Formasyonlar	38
3.3.2. Porozite ve Permeabilite	39
3.3.3. Su Noktaları	40
3.3.3.1. Sıcak Su Kaynakları.....	40
3.3.3.2. Soğuk Su Kaynakları	47
3.3.3.3. Dere Suyu	48
3.3.3.4. Göl Suları	48

3.4. Hidrojeokimya	52
3.4.1. Suların Fiziksel Özellikleri	55
3.4.1.1. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH).....	55
3.4.1.2. Suların Sıcaklıkları (T)	56
3.4.1.3. Suların Elektriksel İletkenliği (EC)	56
3.4.1.4. Redoks Potansiyeli (Eh)	57
3.4.1.5. Sertlik.....	57
3.4.2. Sularda Bulunan İyonlar ve Kökenleri	58
3.4.2.1. Katyonlar.....	58
3.4.2.2. Anyonlar	64
3.4.3. Ağır Metal Analizleri.....	66
3.4.4. Kirlilik Analizleri.....	74
3.4.4.1. Amonyak (NH₃)	75
3.4.4.2. Nitrit (NO₂).....	76
3.4.4.3. Nitrat (NO₃).....	77
3.4.4.4. Ortofosfat	78
3.4.4.5. Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS).....	79
3.4.4.6. Toplam Katı Madde	80
3.4.4.7. Toplam Uçucu Katı Madde	81
3.5. İnceleme Alanındaki Suların Sınıflandırılması	81
3.5.1. Suların Hidrojeokimyasal Fasiyes Kavramına Göre Sınıflaması	81
3.5.2. Piper (Üçgen) Diyagramı	82
3.5.2.1. Suda Çözünmüş Bileşenler Arasındaki İlişkiler	83
3.5.3. Schoeller Diyagramı	85
3.5.4. Cl-SO₄-HCO₃ Üçgen Diyagramı.....	87
3.5.5. Cl-Li-B Üçgen Diyagramı	88
3.5.6. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı.....	89

3.5.7. Wilcox Diyagramı	92
3.6. Minerallerin Sudaki Çözünürlüklerinin Değerlendirilmesi	94
3.7. Jeotermometre Uygulamaları	95
3.7.1. Çözünürlük Jeotermometreleri.....	97
3.7.1.1. Silis Jeotermometresi	98
3.7.2. İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler	100
3.7.2.1. Na/K Jeotermometresi	100
3.7.2.2. Na-K-Ca Jeotermometresi	101
3.7.2.3. Na/Li Jeotermometresi.....	102
3.7.2.4. K/Mg ve Li/Mg Jeotermometreleri	103
3.7.2.5. Na -K -Mg Jeotermometresi	103
3.7.2.6. Mineral Denge-Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi.....	104
3.8. Karışım Modelleri.....	108
3.8.1. Entalpi-Silis Karışım Modeli	108
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR	110
5. ÖNERİLER.....	115
KAYNAKLAR.....	117
ÖZGEÇMİŞ	126

SEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2. Pertek ilçesi'nde 1950-2015 dönemi yağış ve düzeltilmiş Etp'nin aylık değişim grafiği	4
Şekil 2.1. Arazi çalışmasında kullanılan örnekleme ve ölçüm ekipmanları.....	7
Şekil 2.2. Tunceli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarı, su filtrasyon seti	9
Şekil 2.3. Tunceli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarı, spektrofotometre cihazı.....	13
Şekil 2.4. EC/Tritiyum grafiği	18
Şekil 2.5. L1500 profili (Enerson Müh., 2008)	20
Şekil 2.6. LX2_50 profili (Enerson Müh., 2008)	20
Şekil 2.7. LX3 profili (Enerson Müh., 2008)	20
Şekil 2.8. DES ölçüm noktalarını gösteren uydu görüntüsü (R1, R2, R3, R4 ve R5 soğuk su DES ölçüm noktası, R6 sıcak su DES ölçüm noktası).....	22
Şekil 3.1. Pertek çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Aksoy, 1994'den değiştirilerek)	24
Şekil 3.2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Jeoloji haritasının oluşturulmasında MTA-1/25000 ölçekli jeoloji haritaları, 2002 ve Aksoy, 1994'den yararlanılmıştır)	25
Şekil 3.3. Keban Metamorfitlelerine ait amfibolit (altta) ve kalkışistlerin (üstte) arazideki görünümü	27
Şekil 3.4. Keban Metamorfitlelerine ait kristalize kireçtaşlarında kıvrımlanmış dikleşmiş tabakaların görünümü	28
Şekil 3.5. Singeç Vadisi sol yamacında Keban Metamorfitleleri'nin kristalize kireçtaşlarında gelişen erime boşluklarının görünümü	28
Şekil 3.6. Keban Metamorfitlelerine ait kristalize kireçtaşı ve Singeç Vadisi içerisindeki alüvyondan yüzeye çıkan sıcak sular	29
Şekil 3.7. Keban Metamorfitleleri ile Pertek Magmatitleri arasındaki bindirme dokanağı ve Keban Metamorfitleleri'ndeki alterasyon zonları	31
Şekil 3.8. Pertek Magmatitlerine ait iri taneli tonalit porfirin görünümü	31

Şekil 3.9. Tonalit porfirin yakından görünümü	32
Şekil 3.10. Dereli Köyü güneybatısındaki Kırkgeçit Formasyonunun görünümü	33
Şekil 3.11. Çalışma alanının drenaj ağı haritası. Oklar yüzeysel akış yönlerini göstermektedir.....	38
Şekil 3.12. Singeç Çayı sağ sahili, Keban Metamorfitleri'nden çıkan sıcak su kaynağı (J-1).....	41
Şekil 3.13. Singeç Çayı sağ sahili, Keban Metamorfitleri'nden çıkan sıcak su kaynağı (J-2).....	41
Şekil 3.14. Singeç Vadisi güneyinde bulunan ve Pertek termal otele suyu verilen sıcak su sondajı (S-1)	42
Şekil 3.15. Singeç Çayı Vadisi sol sahildeki açık havuza aktarılan sıcak su kaynağı (J-3)	43
Şekil 3.16. Pertek Termal havuzdan deşarj edilen sıcak atık su (A-1).....	43
Şekil 3.17. S-1 no'lu sıcak su sondajından Pertek Termal Otele verilen havuz suyu	44
Şekil 3.18. Önceki yıllarda Pertek jeotermal alanında açılan sıcak su sondaj kuyularının Google Earth görüntüsü	44
Şekil 3.19. Pertek jeotermal alanında açılmış sıcak su sondaj kuyuları.....	45
Şekil 3.20. Pertek jeotermal alanında açılmış sıcak su sondaj kuyularına ait loglar.....	46
Şekil 3.21. Soğuk mineralli su kaynağı (SM-1)	47
Şekil 3.22. Singeç Çayı D-1 no'lu örnek lokasyonu	48
Şekil 3.23. G-1 no'lu örnek alım noktası ve göl alanı içindeki sıcak su çıkışları	49
Şekil 3.24. Ekim ayında göl seviyesinin düşmesinden sonra G-1 ve G-2 no'lu örnek alım noktaları arasındaki sıcak su çıkışları	49
Şekil 3.25. G-2 no'lu örnek alım noktası	50
Şekil 3.26. G-3 no'lu örnek alım noktası, Pertek Termal havuz atık suyunun göl suyuna karıştığı yer	50
Şekil 3.27. Pertek Termal havuz atık suyun göl suyuna deşarj edildiği alanda atık sudan çökelen traverten oluşumu	51
Şekil 3.28. G-4 no'lu örnek alım noktası	51
Şekil 3.29. İnceleme alanındaki tüm suların Haziran (2015) ve Ekim (2015) dönemine ait Piper diyagramı	83

Şekil 3.30. İnceleme alanındaki tüm suların Haziran (2015) ve Ekim (2015) dönemine ait Schoeller diyagramı	85
Şekil 3.31. Cl-SO ₄ -HCO ₃ üçgen diyagramında,sıcak su örneklerinin konumları	87
Şekil 3.32. Cl-Li-B üçgen diyagramında sıcak su örneklerinin konumları	88
Şekil 3.33. İnceleme alanındaki suların Haziran (2015) dönemine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı	90
Şekil 3.34. İnceleme alanındaki suların Ekim (2015) dönemine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı	91
Şekil 3.35. İnceleme alanındaki suların Haziran (2015) dönemine ait Wilcox Diyagramı	93
Şekil 3.36. İnceleme alanındaki suların Ekim (2015) dönemine ait Wilcox Diyagramı ..	93
Şekil 3.37. Sıcak su noktalarına ait su örneklerinin Na-K-Mg üçgen diyagramında gösterimi (Giggenbach, 1988)	104
Şekil 3.38. Sıcak su örneklerinin doygunluk indeksi grafikleri	107
Şekil 3.39. İnceleme alanındaki sıcaksuların Entalpi-Silis diyagramı (Fournier, 1977b)	109

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Thornthwaite 1948'e göre 1950-2015 yılları arası su bütçesi tablosu	3
Tablo 2.1. Pertek jeotermal alanında açılan sondajlar (Gerçek, 2009).....	16
Tablo 2.2. Önceki yıllarda yapılan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizleri (Gerçek, 2009)	17
Tablo 3.1. İnceleme alanı içindeki suların kimyasal analiz sonuçları (03/06/2015).....	53
Tablo 3.2. İnceleme alanı içindeki suların kimyasal analiz sonuçları (09/10/2015).....	54
Tablo 3.3. Suların pH 'a göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991)	55
Tablo 3.4. Suların sertliklerine göre sınıflandırılması.....	58
Tablo 3.5. İncelenen sularda bulunan metaller ve iz elementlerin Haziran (2015) dönemi kimyasal analiz sonuçları	67
Tablo 3.6. İncelenen sularda bulunan metaller ve iz elementlerin Ekim (2015) dönemi kimyasal analiz sonuçları	67
Tablo 3.7. Türk Standartları Enstitüsü (TS-266, 2005), Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO, 2011) ve ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA, 2008) tarafından içme suyunda belirtilen limit değerler	75
Tablo 3.8. Suların toplam çözünmüşkatı madde miktarına göre sınıflandırılması.....	79
Tablo 3.9. Pertek jeotermal alanından gelen sulardaki kimyasal parametrelerin korelasyon katsayıları ve doğrusallık ilişkileri (Derişimler mg/L, toplam 14 su örneği değerlendirilmiştir)	84
Tablo 3.10. Haziran (2015) dönemi analiz sonuçlarına göre sulardaki iyonsıralanışı..	86
Tablo 3.11. Ekim (2015) dönemi analiz sonuçlarına göre sulardaki iyon sıralanışı	86
Tablo 3.12. Sıcak su örneklerinin yüzey koşullarında kimyasal bileşimine göre belirli mineraller için hesaplanmış doygunluk indeksi değerleri.....	95
Tablo 3.13. Bu çalışmada kullanılan çözünlük jeotermometreleri.....	99
Tablo 3.14. Hazne akışkan sıcaklıkları (formüller sıra no'suna göre Tablo 3.13'de verilmiştir).....	100
Tablo 3.15. İnceleme alanındaki sıcak suların silis-entalpi karışım modeline göre hesaplanan sıcak su karışım oranları.....	109

SEMBOLLER LİSTESİ

C_{HCl}	: 0,1 M HCl'nin gram cinsinden değeri
Ca^{+2}	: Kalsiyum
Cl^{-}	: Klorür
CO_2	: Karbondioksit
D	: Döteryum
HCO_3^{-}	: Bikarbonat
K^{+}	: Potasyum
Mg^{+2}	: Magnezyum
Na^{+}	: Sodyum
N	: Azot
NH_3	: Amonyak
NH_4^{+}	: Amonyum
NO_3^{-}	: Nitrat
NO_2^{-}	: Nitrit
^{18}O	: Oksijen-18
SiO_2	: Silisyum dioksit
SO_4^{-2}	: Sülfat
T	: Sıcaklık
V_A	: pH 4,2'ye düşünceye kadar harcanan asit miktarı
V_B	: pH 8,2'ye düşünceye kadar harcanan baz miktarı

KISALTMALAR

AKM	: Askıda Katı Madde
DES	: Düşey Elektrik Sondajı
EC	: Elektriksel İletkenlik
Etp	: Potansiyel Buharlaşma-Terleme (mm)
Etr	: Gerçek Buharlaşma-Terleme (mm)
Fr	: Fransız Sertliği
GPS	: Global Positioning System(Küresel Konumlama Sistemi)
IAH	: International Association of Hydrogeologists
ICP	: Inductively Coupled Plasma
ORP	: Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli
pH	: Hidrojen iyonu konsantrasyonu
SAR	: Sodyum Adsorpsiyon Oranı
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
SI	: Doygunluk İndeksi
TDS	: Toplam Çözünmüş Madde
TKM	: Toplam Katı Madde
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TU	: Tiryum Birimi
TUKM	: Toplam Uçucu Katı Madde
UTM	: Universal Transverse Mercator
YAS	: Yeraltı Suyu
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

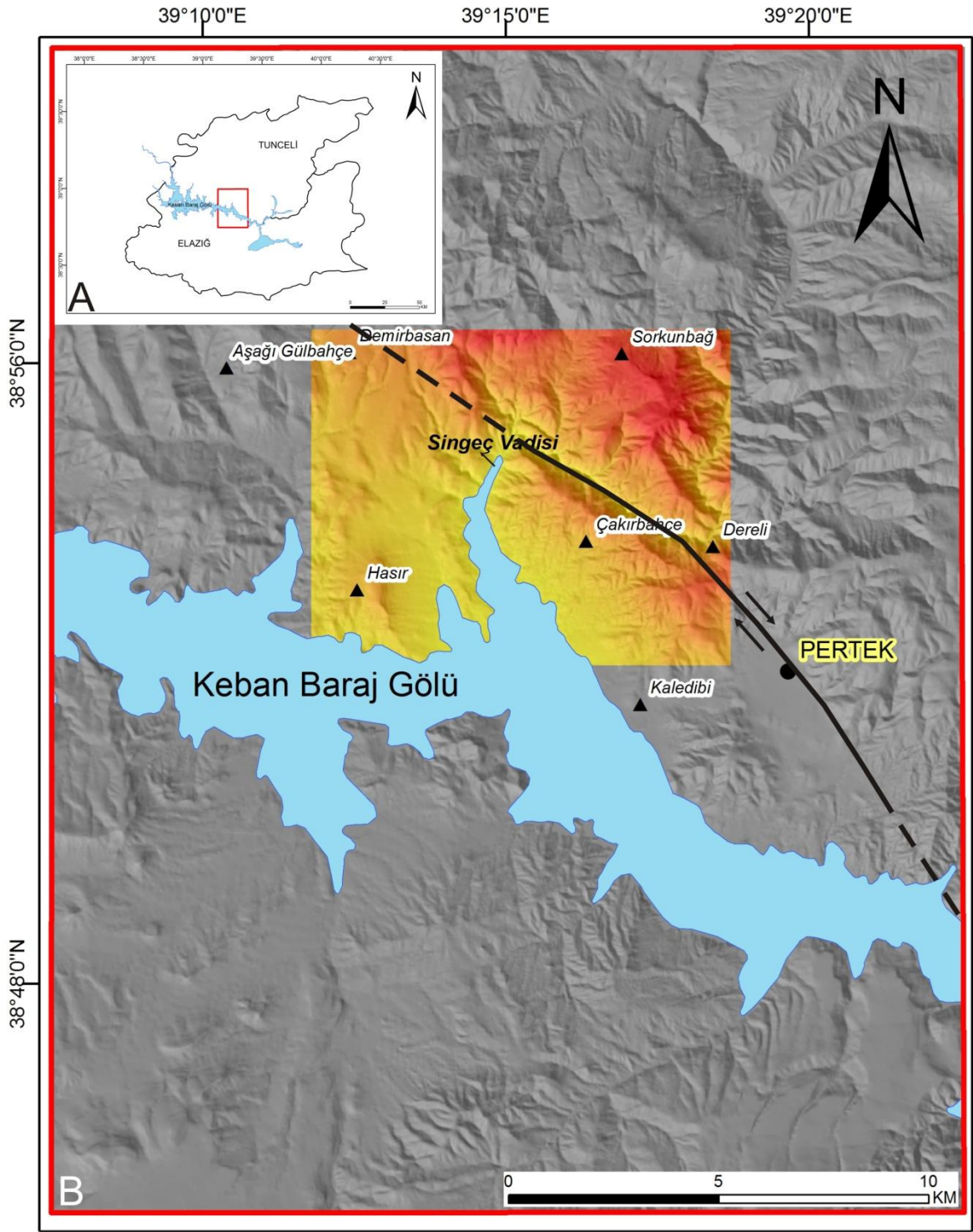
1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans Tezi olarak yapılan bu çalışmanın amacı, Pertek ilçesinin hemen batısında bulunan Singeç Çayı Vadisi ve çevresindeki jeotermal alanın hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya çıkarılması ve jeokimyasal analizlerin ötesinde bu jeotermal sistemin rezervuarı konusunda güncel verilerin üretilmesidir. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su noktalarının kimyasal karakterlerinin belirlenmesi ve söz konusu bu jeotermal sistemin yorumlanması için gerekli olan verilerin ortaya çıkarılması, çalışılacak alandaki jeotermal kaynakların kullanım alanlarının genişletilebilmesi ve verimli şekilde kullanılarak sürdürülebilmesi için yapılacak çalışmaların bütünü, bu tez çalışmasının çıkış noktasını oluşturmaktadır. Bu alanın seçilmesinin nedeni, bu bölgedeki sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin daha önce ayrıntılı çalışılmamış olmasıdır. Çalışmanın amacı kapsamında, bölgeye ait jeoloji haritası daha önceki çalışmalardan da yararlanılarak hazırlanmıştır. Bunlara ek olarak bölgede yer alan jeotermal suların ve özellikle jeotermal kaynakların su kaynaklarına olabilecek olumsuz etkilerinin araştırılması amacıyla, soğuk suların, dere suyundan ve göl sularından yağışlı ve kurak dönemlerde su örnekleri alınarak kimyasal analizler yapılmıştır. Önceki çalışmalarda dikkate alınarak, yapılan analizler çeşitli diyagramlarda ve kimyasal türleştirme programlarında değerlendirilerek suların bir bütün olarak hidrojeokimyasal özellikleri ortaya konulmuştur.

1.2. Çalışma Alanının Yeri

Çalışma alanı Tunceli-Pertek ilçesinin hemen KB'sında yer alan Singeç Çayı Vadisi ve yakın çevresini kapsamaktadır. Çalışmalar 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan Elazığ K42-a2, K42-a3, K42-b1 ve K42-b4 paftalarında yaklaşık 50 km²'lik bir alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.1). Şekil 1.1 A'da belirtilen kırmızı renkli çerçeve çalışma alanı ve yakın civarını, B'de sarı-kırmızı tonlar ile belirtilen (ortadaki küçük kare) çalışma alanını göstermektedir.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Yer bulduru haritasında kullanılan taban harita 1:25000 ölçekli yükseklik konturlarının 10 m'ye piksel çözünürlüğünde enterpolasyon ile üretilmiş Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)'dir.

İnceleme alanında Keban Baraj Gölü dışında bir göl bulunmamaktadır. Arazi yapısı nedeniyle kuzeyden güneye akan Singeç Çayı inceleme alanının en önemli akarsuyudur. Singeç Çayı doğrudan Keban Baraj Gölü'ne dökülmektedir.

Çalışma alanındaki önemli yerleşim yerleri Hasır, Dereli, Çakırbağçe, Sorkunbağ, Aşağı Gülbahçe ve Demirbasan köyleridir.

İnceleme alanının morfolojik olarak en yüksek kotunu 1356 m rakımıyla Uygun Tepe, en alçak kotunu ise 848 m ile Keban Barajı oluşturur.

Çalışma alanındaki Beyaz Tepe (981 m), Burun Tepe (1189 m), Hamzababa Tepe (913 m) ve Aptalbaba Tepe (1254 m) önemli yükseltilerdir.

Dağ eteklerinde zayıf ve verimi düşük meşe toplulukları, vadilerde kavak, söğüt, ceviz ağaçları ve genelde bozkır bitkileri yaygındır. Ekonomi, tarım ve hayvancılığa dayanır.

1.3. Meteorolojik Veriler

Tunceli Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan 1950-2015 verilerine göre; yıllık ortalama sıcaklık 13 °C'dir. Ortalama en yüksek sıcaklık Temmuz ayında (27,3 °C), ortalama en düşük sıcaklık Ocak ayında (-1,8 °C)'dir. 1950-2015 dönemindeki meteorolojik bilgilere bakıldığında yıllık toplam yağışın 861,4 mm olduğu görülmektedir. En az yağışlı dönemin Ağustos (2,8 mm) ayında, en fazla yağışlı dönemin ise Aralık (128,9 mm) ayında olduğu görülmektedir.

Thornthwaite (1984) formülü kullanılarak 1950-2015 dönemine ait iklimsel su bilançosu bu tez kapsamında hazırlanmıştır (Tablo 1.1).

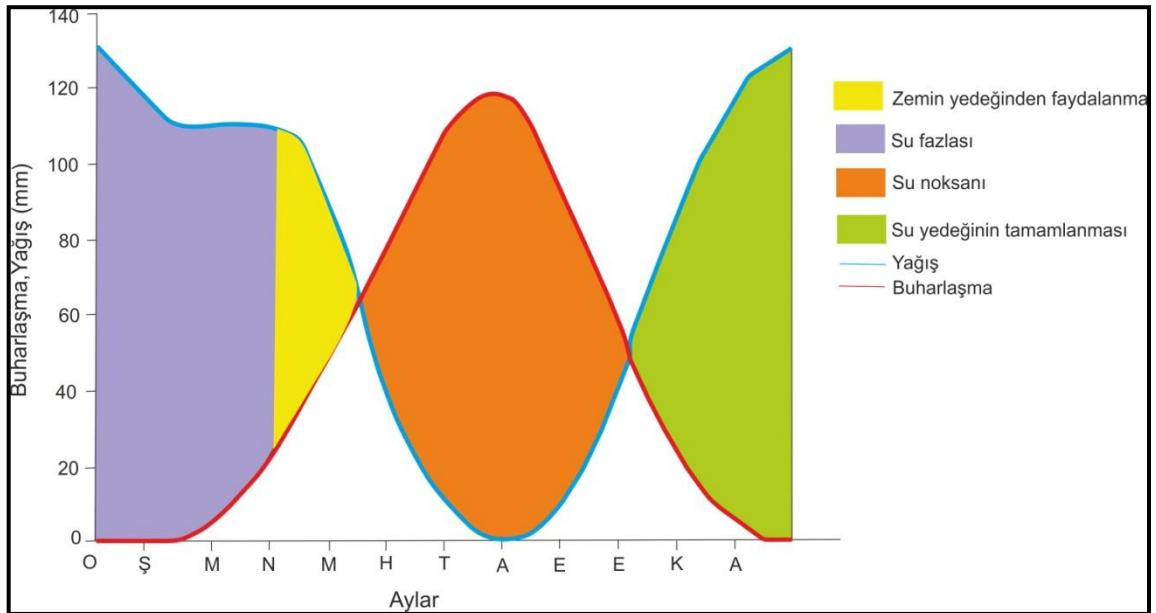
Tablo 1.1. Thornthwaite 1948'e göre 1950-2015 yılları arası su bütçesi tablosu

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık Toplam
Aylık Sıcaklık	-1,8	-0,2	5,7	12	17,1	22,7	27,3	26,9	21,6	14,6	7	1,1	
Yağış (P)	123,6	108,5	110,7	108,9	69,7	20,6	3,2	2,6	15,3	65,1	104,3	128,9	861,4
Etp (Düzeltilmiş)	0	0	14,36	43,87	79,8	119,61	157,36	144,36	93,37	49,92	15,61	1,14	
P-Etp	0	0	13,94	39,52	64,88	96,46	124,89	122,34	89,78	52	18,58	1,39	
Su Rezervi	100	100	100	100	89,9	0	0	0	0	15,18	100	100	
Eta (Gerçek Buharlaşma)	0	0	14,36	43,87	79,8	110,5	3,2	2,6	15,3	49,92	15,61	1,14	336,3
Su Noksanı	0	0	0	0	0	9,11	154,16	141,76	78,07	0	0	0	
Su Fazlası	123,6	108,5	96,34	65,03	0	0	0	0	0	0	0	0	
YAS'ına sızan su (I)	61,8	85,15	90,75	77,89	38,94	19,47	9,73	4,87	2,43	1,22	0,61	0,31	393,17

İklimsel su miktarına bakıldığında, yıllık düzeltilmiş Etp'nin (potansiyel buharlaşma-terleme) 719,4 mm, yıllık Etr'nin ise (gerçek buharlaşma-terleme) 336,3 mm olduğu görülmektedir. Nisan dönemi süresince yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp'nin, Etr'ye eşit olduğu görülmektedir. Mayıs döneminden Ekim dönemine kadar zeminde biriken su kullanılmaktadır. Nisan dönemi süresince su rezervinin dolu olduğu görülmektedir. Mayıs dönemi süresince yedekten su kullanılmaktadır. Haziran döneminden Eylül dönemine kadar yeraltı suyunun olmadığı ve tarımsal su açığının olduğu gözlenmektedir. Kasım döneminde ise yeraltı suyunun dolmuş olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda Haziran-Ekim dönemi “Kurak dönem”, Kasım-Mayıs dönemi “Yağışlı dönem” diye adlandırılmıştır. Yağışın ortalama miktarı ve düzeltilmiş Etp'nin dönemsel farklılıkları Şekil 1.2'de verilmiştir.

1950-2015 dönemindeki Tunceli Meteoroloji İstasyonu bilgileri doğrultusunda hesaplanan su miktarına bakıldığında yıllık 393,17 mm'lik suyun yeraltına süzüldüğü belirtilmiştir. Bunun sonucunda yıllık yağış miktarı 861,4 mm olarak hesaplandığında, $393,17/861,4 = 0,46$ değeri bulunur. Bulunan bu değere göre, yağışın %46'sının yeraltına süzüldüğü görülmektedir.

Bölge nemli, mezotermal (orta sıcaklıktaki iklimler), yağış düzenine göre yazın çok kuvvetli su noksanı olan, yaz dönemi için belirtilen sınıflandırmaya bakıldığında ise karasal iklime sahip olduğu görülmektedir (Tablo 1.1, Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Pertek ilçesinde 1950-2015 dönemi yağış ve düzeltilmiş Etp'nin aylık değişim grafiği

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Büro Çalışmaları

Bu çalışma sırasında literatür araştırmaları arazi çalışmalarından önce başlatılmış ve ilk olarak inceleme alanının sıcak su kaynakları literatür çalışmaları yapılarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında inceleme alanı ve yakın çevresinde daha önce yapılan çalışmalar toplanarak inceleme alanının jeolojisi, tektoniği, soğuk ve sıcak su kaynakları belirlenmiştir. İnceleme alanının 1/25.000 ölçekli jeolojik haritası ArcGis 9.3 ortamında hazırlanmıştır. Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları başta Aquachem 3.7 (Calmbach, 1997) programı olmak üzere çeşitli programlarla değerlendirilmiştir.

2.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmalarında yaklaşık 50 km² olan bir alanın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası bölüm 2.1'de belirtilen bilgisayar programları kullanılarak hazırlanmıştır. Arazide belirlenen soğuk ve sıcak su kaynaklarının çevrelerinde yapılan çalışmalar sonucunda çalışma alanında bulunan jeolojik ve tektonik birimler tespit edilmiş ve su kaynaklarının birbirlerine olan uzaklıkları, sıcak ve soğuk suların kökensel ilişkisi, jeotermal suların ilave olduğu göl sularının muhtemel kimyasal değişimi de dikkate alınarak örnekleme yapılacak noktalar belirlenmiş ve bu lokasyonların arazide GPS cihazı ile koordinatları belirlenerek arazi defterine kaydedilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen örnek alımı, arazide yerinde yapılan ölçümler, örneklerin analize hazırlanması ve laboratuvar analiz yöntemleri ayrıntılı olarak aşağıda sunulmuştur.

2.2.1. Örnekleme

2.2.1.1. Kimyasal Analizler İçin Su Örnek Alımı

Su örneklerinin analiz yöntemi bu çalışmanın önemli kısımlarından birini oluşturmaktadır. Laboratuvar çalışmasının güvenilir olması için suların doğru örnekleme işleminin doğru yapılması gerekmektedir. Ayrıca örnekleme sayısının çalışma alanını yansıtabilecek sayıda olması gerekmektedir. Eğer örnekleme doğru yapılmadığında,

oluşabilecek laboratuvar ölçüm hataları, laboratuvardaki analiz yöntemlerinden kaynaklanabilecek hatalardan daha fazla olacaktır. Arazide suların bazı fiziksel ve kimyasal analizlerinin yerinde yapılması da oldukça önemlidir.

İnceleme alanındaki bütün suların örnekleme yapıldıktan sonra laboratuvara güvenli bir şekilde taşınması ve sularda oluşabilecek kirlenmeyi önlemek için polietilen sızdırmaz kapaklı 50 ml ve 500 ml hacime sahip numune kapları kullanılmıştır. Bu kaplar kullanım aşamasından önce örnekleme yapılacağı sularla en az iki kez çalkalanmıştır. Örnekleme yapılacağı suların süzme işlemi, 0,45µ (mikron) enjektör ucu 25 mm çaplı PVDF membran filtre ve bu filtre çapına uyumlu 50 ml'lik plastik şeffaf enjektör kullanılarak yapılmıştır. Katyon analizleri için 50 ml'lik kaplara doldurulan suların, pH'ını 2-3 seviyesine indirmek için (kaplarda oluşabilecek çökelmeyi amacıyla) 0,1-0,2 ml arasında ultra saflıkta HNO₃ eklenmiştir. Katyon analizi için eklenen HNO₃ sularda gaz çıkışına neden olduğu için örnekleme kabının kapağı gazın çıkmasından sonra kapatılmıştır. Anyon analizleri için ise su örnekleri 500 ml'lik kaplara herhangi bir kimyasal işleme maruz kalmadan alınmıştır. Tüm örnekler polietilen kaplara suyun içinde hava kalmayacak şekilde doldurularak alınmıştır (Şekil 2.1).

2.2.2. Ölçüm Yöntemleri

Araziden alınan sular fiziksel değişkenliklerini uzun süre koruyamayacağından bazı analizlerin arazide yapılması daha uygun olmaktadır. Bu fiziksel değişkenlerin ölçümünün yapıldığı cihazlar her örneklemeden önce kontrol edilerek kalibrasyonları yapılmıştır. Her ölçümden önce ve sonra kullanılan prob ve elektrotlar saf su ile yıkanmıştır. Özellikle sıcak ve mineralli sularda HCO₃ değeri uzun süre korunamadığından bu değişkenin miktarı yerinde (in-situ) titrasyon yapılarak elde edilmiştir (Şekil 2.1).

2.2.3. Arazide Fiziksel Parametrelerin Ölçüm Yöntemleri

2.2.3.1. Sıcaklık, Eh, pH ve EC Ölçümleri

Arazide su örneklerinin sıcaklık, pH, EC ve Eh değerleri CRISON marka PH-25 ve EC-25 model portatif ölçüm cihazıyla pH ve EC problemleri ile yapılmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Arazi çalışmasında kullanılan örnekleme ve ölçüm ekipmanları

Birçok değişkeni etkileyen sıcaklık genellikle çözünürlük ile doğru orantılıdır. Elektriksel iletkenlik, cisimlerin elektriği geçirme özelliğidir. Elektriksel iletkenliğin birimi birimi $\mu\text{mho/cm}$ veya $\mu\text{S/cm}$ ile ifade edilir. 1cm^3 miktarındaki suyun elektriksel iletkenliğine “özgül elektriksel iletkenlik” denir. Özgül elektriksel iletkenlik suyun iyon cinsi, derişimi ve sıcaklığı ile doğru orantılı olarak değişebilir. İndirgen-yükseltgen ortamları yansıtan redoks değeri ise çözülmüş oksijen ile doğrudan ilişkilidir.

Bir çözeltinin pH’ı, hidrojen iyonlarının etkin derişimi olup, hidrojen iyon derişiminin 10 tabanına göre negatif logaritması “pH” değeri olarak adlandırılmaktadır. pH değeri, basınç ve sıcaklık etkisiyle suda çözünen CO_2 ve CO_3+HCO_3 bileşikleri arasındaki dengeye bağlı olarak değişmektedir. Arazide yerinde yapılan pH ölçümleri, su-kaya etkileşimleri, jeotermal sahalarda kabuklaşma dengeleri gibi bazı etkileşim dengelerinin hesabının yapılmasında oldukça önemlidir.

2.2.3.2. Alkalinite Analizi

Yeraltı sularında bulunan karbonat ve bikarbonat iyonları çoğunlukla atmosfer ve topraktaki CO_2 ’den ve bu karbonatların çözünmesi sonucu oluşmaktadır. Basınç koşulları altında CO_2 çözümlü haldedir. Yüzeğe erişen yeraltı suları, atmosfer ortamındakinden daha çok içerdiği CO_2 ’yi kaybetmeye başlar. Çözümlü CO_2 , terkettiği suyun çözelti dengesi ile pH’nın değişmesine sebep olacaktır, buna bağlı olarak çökelmeler meydana gelecektir. Bu

gelişmeler, örnekleme yapılan suyun akifer kimyasını doğru yansıtmayan katyon ve anyon değerlerini elde etmemize neden olacaktır. Buna bağlı olarak bu sonuçlar su kimyası ile ilgili hesaplamalarımızın doğruluğunu azaltacağı için suların bu bileşenlerinin arazide yerinde yapılması son derece önemlidir.

Suda bulunan HCO₃ miktarının ölçümü arazide titrasyon yöntemi ile yapılmıştır. Titrasyon sırasında 0,1 M'lık HCl (pH= 4,3'e düşürmek için), WTW340i ölçüm cihazı dijital büret, ve SenTix41 pH probu kullanılmıştır. Bir beher içine konulmuş 50 ml örnek numunesinin, pH'ı 4,3'e düşüncüye kadar devamlı karıştırılarak 0,1 M'lık HCl eklenerek ve sarf edilen asit miktarından yola çıkılarak sudaki HCO₃ değeri mg/l olarak bulunmuştur (Şekil 2.1). Sarf edilen asit miktarı kullanılarak aşağıdaki formülle (Appelo ve Postma, 1993) HCO₃⁻ miktarı hesaplanmıştır.

$$\text{HCO}_3^- = \frac{C_{\text{HCl}}(\text{mmol/l}) * (V_A (\text{ml}) - 2 * V_B (\text{ml}))}{\text{Örnek Numunesi (50 ml)}} * 61,016 (\text{mg/mmol}) \quad (2.1)$$

C_{HCl} : 0,1 M HCl'nin gram cinsinden değeri

V_A : pH 4,2'ye düşüncüye kadar harcanan asit miktarı

V_B : pH 8,2'ye düşüncüye kadar harcanan baz miktarı

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Anyon (SO₄, NO₂, NH₃, NO₃, Ortofosfat) analizleri ve Toplam katı madde, Toplam uçucu katı madde, Askıda katı madde tayini ise Tunceli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Anyon analizleri için Shimadzu marka UV-1800 model spektrofotometre cihazı (Şekil 2.3) kullanılmıştır. Araziden alınan su örneklerinde anyon ve katyon analizleri yapılmıştır. Su örneklerinin katyon (Na, Ca, K, Mg) analizleri ve belirli element (Ag, As, Au, Al, B, Be, Bi, Br, Ba, Cd, Co, Cr, Cl, Cs, Cu, Ce, Dy, Er, Eu, Fe, Gd, Ge, Ga, Hf, Hg, Ho, In, La, Lu, Li, Mn, Mo, Nb, Nd, Ni, P, Pd, Pr, Pb, Pt, Rb, Re, Rh, Ru, S, Sb, Sc, Se, Sm, Si, Sn, Sr, Ta, Tb, Te, Th, Tl, Tm, Ti, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr) analizleri ve diğer bileşenler olmak üzere 72 elementin (SO200 paket programı kullanılarak) analizleri ise ICP-MS metodu ile Kanada ACME Analitik Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Tunceli Üniversitesi ve ACME'de yapılan analizlerin yöntemleri aşağıda sunulmuştur.

2.3.1. Laboratuvarda Yapılan Analizlerin Yöntemleri

Araziden alınan su örneklerinin anyon analizleri yapılmadan önce sular, su filtrasyon seti yardımıyla $0,2\mu-0,45\mu$ geçirgenlikteki filtre kağıdından süzölmüştür (Şekil 2.2). Toplam Katı Madde ve Toplam Uçucu Katı Madde analizleri sırasında ise süzme işlemi yapılmamıştır.



Şekil 2.2. Tunceli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarı, su filtrasyon seti

2.3.1.1. Sülfat Tayini

Sülfat tayini su analizlerinde kullanılan standart yöntemler (APHA, 2005) doğrultusunda metot 4500-SO₄⁻² kullanılarak yapılmıştır. Örneklerin içerdiği sülfat iyonları kontrollü koşullar altında baryum sülfat süspansiyonuna dönüştürölmüş ve süspansiyonun oluşturduğu bulanıklık derecesi 420 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak ölçölmüştür. Standart sülfat çözeltilerinden farklı konsantrasyonlarda hazırlanan ve baryum klorür ilave edilmiş bir seri ayarlı standart okumalarından elde edilen konsantrasyon-absorbsiyon eğrisinden hareketle örneklerin sülfat değerleri litrede miligram (mg/L) olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında, spektrofotometrik ölçömlerin tamamında Tunceli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan Shimadzu marka UV-1800 model spektrofotometre kullanılmıştır (Şekil 2.3).

2.3.1.2. Ortofosfat Tayini

Ortofosfat tayini, vanadomolibdofosforik asit yöntemi (APHA, 2005) (metot 4500-PC) kullanılarak yapılmıştır. Amonyum molibdat, asidik ortamda seyreltik bir ortofosfat çözeltisiyle molibdofosforik asit oluşturmak için reaksiyon vermektedir. Vanadyum mevcudiyetinde sarı renkli vanadomolibdofosforik asit meydana gelmektedir. Oluşan sarı rengin şiddeti fosfat konsantrasyonu ile orantılı olup örneklerin fosfat içeriği 470 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak tespit edilmiştir. Ayarlı çözeltilerin spektrofotometrik ölçümleri sonucunda oluşturulan konsantrasyon-absorbsiyon eğrisinden hareketle örneklerin ortofosfat değerleri litrede miligram (mg/l) olarak hesaplanmıştır.

2.3.1.3. Amonyum Azotu Tayini

Örneklerin amonyum tayinleri fenat metodu (APHA, 2005) (metot 4500-NH₃ F) kullanılarak spektrofotometrik olarak yapılmıştır. Çalışmada kullanılan tüm spektrofotometrik yöntemlerde olduğu gibi bu yöntemde de süspans katı maddelerden ileri gelebilecek hataların engellenmesi için örnekler filtrelenmiştir. 25 ml hacminde alınan örneklerin her birine fenol, sodyum nitropurid ve oksitleyici çözeltiden belirli miktarlarda eklenerek sodyum nitropurid katalizörlüğünde amonyum, hipoklorit ve fenol bileşiklerinin reaksiyon vermesi sağlanmıştır. Reaksiyon sonrası oluşan mavi indofenol bileşiklerinin renk yoğunluğu 640 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak tespit edilmiştir. Ayarlı çözeltilerin spektrofotometrik ölçümleri sonucunda oluşturulan konsantrasyon-absorbsiyon eğrisinden hareketle örneklerin amonyum azotu değerleri litrede miligram (mg/l) olarak hesaplanmıştır.

2.3.1.4. Nitrat Tayini

Örneklerin nitrat tayinleri spektrofotometrik tarama yöntemiyle (APHA, 2005) (metot 4500-NO₃⁻ D) gerçekleştirilmiştir. 220 nm dalga boyunda absorbans veren nitrat iyonları, çözülmüş organik maddelerin iyi derecede absorbans verdiği 275 nm'de absorbans vermemektedir. Bu durumdan yararlanılarak 220 nm dalga boyunda absorbans veren çözülmüş organiklerden ileri gelen artı hataların düzeltilmesi için bahsedilen iki

farklı dalga boyunda da okuma alınmıştır. Hidroksit ve karbonat iyonlarından ileri gelebilecek girişimlerin önlenmesi için de hidroklorik asitle (HCl) örnekler arıtılmıştır. Bir seri standart nitrat çözeltisinin absorpsiyon okumaları neticesinde oluşturulan konsantrasyon-absorpsiyon eğrisinden yararlanılarak örneklerin içerdiği nitrat konsantrasyonları litrede miligram (mg/l) olarak hesaplanmıştır.

2.3.1.5. Nitrit Tayini

Örneklerin nitrit tayinleri kolorimetrik metot (APHA, 2005) (metot 4500-NO₂⁻ B) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma öncesinde, örneklerin içerdiği süspanse katı maddelerden ileri gelebilecek hataların engellenmesi için örnekler filtrelenmiştir. Örneklerin süzülmesinin ardından her bir örneğe belirli miktarda renk reaktifi ilave edilerek 10 dakika ile 2 saat arasında renk oluşumu için örnekler beklemeye alınmıştır. Yeterli bekleme süresinin ardından gelişen kırmızımsı eflatunrenk yoğunluğu 543 nm dalga boyunda spektrofotometrik olarak tespit edilmiştir. Ayarlı çözeltilerin spektrofotometrik ölçümleri sonucunda oluşturulan konsantrasyon-absorpsiyon eğrisinden hareketle örneklerin nitrit değerleri litrede miligram (mg/l) olarak hesaplanmıştır.

2.3.1.6. Toplam Katı Madde (TKM) Tayini

TKM tayini gravimetrik (APHA, 2005) (metot 2540) olarak yapılmıştır. Analiz öncesinde numune kapları alt üst edilerek karıştırılmış ve böylece çökelen katıların kabın tabanından uzaklaştırılması sağlanmıştır. Bu işlemin ardından 100 ml'lik örnek kroze aktarılarak bir gün süresince ve 103 °C sıcaklıkta etüvde bekletilmiştir. Süre sonunda suyu uçurulmuş ve sadece katı maddeleri (organik ve inorganik) içeren kroze desikatörde oda sıcaklığına gelene dek bekletilmiştir. Oda sıcaklığına gelen ve kurumuş katı maddeleri içeren krozenin ağırlığı belirlenmiştir. Boş kroze ve kurumuş katı maddeleri içeren kroze ağırlıklarından yararlanılarak örneğin TKM değeri kuru ağırlık temelinde hesaplanmıştır. Elde edilen değerler litrede miligram (mg/l) olarak ifade edilmiştir.

2.3.1.7. Askıda Katı Madde (AKM) Tayini

AKM tayini gravimetrik (APHA, 2005) (metot 2540) olarak yapılmıştır. Sabit tartıma getirilen ve ağırlıkları belirlenen 0,2 μ -0,45 μ geçirgenlikteki boş filtre kâğıtları ile durgun koşullarda askıda katı maddeleri içeren üst sıvı süzme işlemine tabi tutulmuştur. 100 ml numune filtre kâğıtlarından geçirildikten sonra numune içerisinde bulunan askıda katı maddelerle yüklenen filtre kağıtları bir saat süresince ve 103 °C sıcaklıkta etüvde (Gemo marka DT-107 model) kurutulmuştur. Kurutma sonrası desikatörde oda sıcaklığına getirilen katı yüklü filtre kağıtları hassas terazide (Radwag marka ve AS220/X model) tartılmıştır. Boş filtre ve katı yüklü filtre ağırlıklarından yararlanılarak örneklerin içerdiği askıda katı madde miktarı kuru ağırlık olarak hesaplanmıştır. Hesap sonuçları litrede miligram (mg/l) olarak ifade edilmiştir.

2.3.1.8. Toplam Uçucu Katı Madde (TUKM) Tayini

TUKM tayini gravimetrik (APHA, 2005) (metot 2540) olarak yapılmıştır. TKM tayini sırasında suyu uçurulan ve kurutulmuş katıları (organik ve inorganik) içeren örnek kül fırınında (JSR marka ve JSMF-120T model) 550 °C sıcaklıkta ve 30 dakika süreyle yanma işlemine tabi tutulmuştur. Süre sonunda yanmış dolayısıyla inert (inorganik) maddeleri içeren kroze desikatörde oda sıcaklığına getirilmiştir. Oda sıcaklığına gelen ve inert maddeleri içeren krozenin ağırlığı hassas terazide belirlenmiştir. Yakma öncesinde kuru maddeleri içeren kroze ile yakma sonrası inert maddeleri içeren kroze ağırlık değerlerinden yararlanılarak örneğin organik madde kaybı yani TUKM miktarı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar litrede miligram (mg/l) olarak ifade edilmiştir.



Şekil 2.3. Tunceli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarı, spektrofotometre cihazı

2.3.2. ICP-MS Yöntemi ile Suların Kimyasal Analizleri

Acme Laboratuvarı'na gönderilen su örneklerinin kimyasal analizinin yapılması için kullanılan ICP-MS cihazının analiz metotlarına burada kısaca değinilecektir. ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometrisi, hem katı hem de sıvı örneklerde birçok elementin daha çabuk, hassas, ucuz ve doğru şekilde, niteliksel, niceliksel ya da yarı-niceliksel olarak ölçülmesini sağlayan analiz yöntemidir. Teknik elektromanyetik indüksiyonla 10,000 °K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından örneğin iyonize edilmesi; iyonize bileşenlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılarak ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülerek yapılmasını içerir. Örnekte bulunan bütün elementlerin derişimleri, birkaç dakika arasında değişen çok kısa bir sürede ölçülmektedir. ICP-MS ölçüm yönteminde sıvı örnekler çözelti ICP-MS, yöntemi ile ölçülmektedir.

2.4. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanında yüzeyleyen formasyonlarla ilgili değişik amaçlı incelemeler yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Özgül (1976), Keban Metamorfitleri'nin dizilimini belirlemek amacıyla Çemişgezek ilçesi civarında yapılan çalışmasında söz konusu birimin tabandan tavana doğru rekristalize kireçtaşı-kalkışist, mermer ve metakonglomera, kalkfillit şeklinde bir dizilim sunduğunu ileri sürmüştür.

Naz (1979), tarafından Pertek İlçesi Karabakır Köyü civarındaki Karabakır Formasyonu ilk kez tanımlanmıştır. Aynı araştırmacı birimin tuf, aglomera, bazaltik lavlar ve bunlar arasındaki killi kireçtaşı, kireçtaşı, marn ve killi kumtaşı şeklinde bir istiflenme gösterdiğinden bahsetmiştir.

Hempton (1984), Elazığ Kompleksi adıyla incelediği Elazığ Magmatitleri'ni Keban Metamorfitleri'nden ayıran Pertek Bindirme Fayı'nın, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Seske Formasyonu tarafından örtüldüğünü belirtmiştir.

Bingöl (1984), Pertek Bindirmesi olarak adlandırılan fayın Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfitleri ile Senoniyen yaşlı Elazığ Magmatitleri arasındaki dokanağı oluşturduğunu belirtmiştir.

Yazgan (1984) ve Aksoy (1993), Özgül (1976) tarafından Permiyen-Triyas yaşlı kabul edilen Keban Metamorfitleri'nin, sintektonik olarak gelişen yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğradığını benimsemişlerdir.

Özkul (1988), Elazığ batısındaki Kırkgeçit Formasyonu'nun sedimantolojik özelliklerini incelemiş ve bu formasyonun Orta Eosen-Oligosen'deki bir yay ardı havzada çökeldiğini ileri sürmüştür.

Bingöl (1988), Akgül (1991), Akgül (1993) ve Turan vd. (1993) tarafından Pertek Magmatitleri benzeri olan Elazığ Magmatitleri'nde yapılan petrografik ve jeokimyasal incelemelerde, bunların ada yayı toleyitleri, ada yayı kalk alkali serisi ve çarpışma granitoidlerinden oluştuğunu göstermişlerdir.

Sağiroğlu (1992), Kuvars diyoritlerin Pertek ilçesi Cücüğe'nin 2.5 km kadar batısında, Demürek Köyü yakınında Keban Metamorfitleri ile olan intrüzif dokanağında skarn tipi demir cevherleşmesinin geliştiğini ve bu cevherleşmenin olduğu yerde, skarn

zonunun oluşmasına neden olan kuvarslı diyorit sokulumunun, Pertek Bindirme Fayı'ndan sonra geliştiğini belirtmiştir.

Tatar (1992), Orta Miyosen'deki kıta-kıta çarpışmasıyla ortaya çıkan sol yönlü Doğu Anadolu Fay Kuşağı'yla kökensel ilişkili yapıların Elazığ çevresinde yaygın olarak bulunduğu bahsetmiştir.

Turan vd. (1993) ve Bingöl (1994), Pertek Magmatitleri ile benzer özellikler gösteren Elazığ Magmatitleri'ni alttan üste doğru az oranda gabro daha çok diyorit-monzodiyorit ve tonaliten oluşan derinlik kayaları ile bunların üzerindeki bazalt, bazaltik andezit, andezit, proklastit ve bunlarla ardalanmalı olarak bulunan volkano sedimanlar ve tüm bu kayaları kesen granodiyorit ve granitik kayalardan oluşan derinlik kayaları ile dasitik dayk ve damarlarda oluştuğunu belirtmişlerdir.

Aksoy (1993), Elazığ yakın çevresindeki en geniş yüzeylemelerini Harput ile Elazığ yakın güneyinde veren Harami Formasyonu'nun, genel olarak konglomera, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve rekristalize masif kireçtaşlarından oluşan bir istifte belirginleştiğini ifade etmiştir.

Kürüm (1994), Pertek civarındaki Karabakır Formasyonu'nda yaptığı ayrıntılı incelemelerde birimin, volkanoklastitler, lav akıntıları ve bunlarla yanal ve düşey yönde geçişler gösteren gölsel kireçtaşlarından oluştuğunu belirtmiştir. Ayrıca jeokimyasal inceleme sonuçlarına göre lav akıntılarının bazik, ortaç ve asidik bileşimli olarak gruplandırılabilirliğini belirtmiştir. Aynı araştırmacı, jeokimyasal verilerin volkanitlerin sialik kökenli olduklarını, dolayısıyla orojenik tip bir volkanizmayı temsil ettiğini belirtmiştir.

İnceöz (1994), Maestrihtiyen yaşlı Harami Formasyonu ile ilgili olarak Harput civarında yapılan çalışmada birimin tabanındaki konglomeralar ile kumtaşlarının sığ denizel bir havzaya açılan alüvyon yelpazesi ürünleri olarak yorumlanabileceğini ileri sürmüştür.

İbiliolu (2010), Bağlarca (Elazığ'ın GB'sı) yöresinde yapılan çalışmada Kırkgeçit Formasyonu'ndan aldığı ölçülü stratigrafik kesitler ve kayaç örneklerinin litolojik özellikleri ile ostrakod faunasından yararlanılarak, inceleme alanındaki istifin derin deniz ortam koşullarında çökeldiğini belirlemiştir.

Kürüm vd. (2011), Pertek intrüzif kayalarının petrografisinin granitten gabroya kadar değiştiğini ancak en yaygın kayaç türünün diyorit, kuvars diyorit ve tonalitten oluştuğunu belirtmişlerdir.

Jeotermal Amaçlı Yapılan Öncel Çalışmalar

Pertek Termal Sağlık Tur. İnş. ve Tic. AŞ. tarafından 2007 ve sonrasında, ilgili şirketin ruhsatlı Pertek jeotermal alanında sondaj, jeofizik ve su analizleri yapılmıştır. Pertek jeotermal alanının içinde, ruhsat sahibi tarafından açılmış 3 (üç) adet sıcak su kuyusunun (PT-1, PT-2 ve PT-3) yanı sıra, 4 (dört) adet sıcak su araştırma kuyusu (SK-1, SK-2, SK-3 ve SK-4) ise Singeç Çayı alüvyonlarında açılmıştır. Bu kuyulardan, SK-2'de 22 m'den itibaren, SK-3'de ise sondaj boyunca magmatik kayalar devam ettiğinden bu kuyular terk edilmiştir.

Termal alanın geliştirilmesi amacıyla açılan kuyular jeofizik etüt çalışmaları sonucu belirlenen lokasyonlarda açılmıştır. Sondaj kuyularıyla ilgili bilgiler Tablo 2.1'de verilmiştir. Sıcak su kuyularından PT-1 kuyusu ve PT-3 kuyusu üretime alınabilmiş, PT-2 kuyusunun tabanından 38 °C'lik sıcaklık alınmış olunmasına karşın üretim sağlanamamış ve kuyu terk edilmiştir. Termal otele PT-1 kuyusundan su verilmektedir. PT-3 kuyusunda 133 m'de kaçak gözleendiği için bu kuyunun sondajı durdurulmuştur. Bu kuyuların tamamı Keban Metamorfileri içerisinde açılmış ve mermer bloklarından üretim sağlanmıştır. İlgili sondaj logları 46. Sayfada verilmiştir.

Tablo 2.1. Pertek jeotermal alanında açılan sondajlar (Gerçek, 2009)

Kuyu No	Tarih	Derinlik(m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/sn)
PT-1	2007	188	38,9	11
PT-3	2007	240	40	30
SK-1	2007	34	34,5	15
SK-2	2007	30	-	-
SK-3	2007	216	-	-
SK-4	2007	51	36,6	16

Singeç Çayının yamaçlarında, tektonik hatlardan boşalım yapan ve kaptajlanmış olan iki adet sıcak su kaynağının(Kaptaj-1 ve Kaptaj-2) sıcaklıkları 35-37 °C, debilerinin ise sırasıyla 2-3 lt/sn olarak ölçüldüğü belirtilmiştir. Kaptaj-1 ve Kaptaj-2 kaynağı, beton yapı ile korunmaya alınmış ve plastik pvc borular aracılığı ile bu kaynakların sularının Singeç Vadisi içindeki açık havuza boşalımı sağlanmıştır.

Yeraltı sularında yaptıkları kimyasal analiz çalışmalarına göre, sulardaki baskın iyonların kalsiyum, bikarbonat, magnezyum ve sodyum olduğunu vurgulamışlardır. Sahada bulunan bütün sıcak akışkanlarda HCO₃ değerlerinin diğer parametrelerden daha yüksek oranlarda olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yapılan fiziksel ölçümler sonucunda pH'ın 6,33-7,04 arasında, sıcaklığın 19,4-40 °C arasında ve elektriksel iletkenliğin 1972-2670 µmho/cm arasında değiştiği belirtilmiştir (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Önceki yıllarda yapılan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizleri (Gerçek, 2009)

Örnek Adı	pH	Sıcaklık (°C)	EC (µmho/cm)	KATYON (mg/L)				ANYON (mg/L)		
				K	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
Kaynakbaşı	6,95	23,1	2500	12,8	135	230	86	22	45	1420
PT-1	6,98	37,8	2430	14,8	206	220	104	112	61	1500
PT-3	6,33	40	2670	14,6	149	128	211	70	64	1665
Kaptaj-1	6,78	34,9	2040	16,7	190	230	52	46	62	1340
Kaptaj-2	6,78	38,2	2200	18,6	170	255	72	46	69	1460
Singeç Köprü Yanı (soğuk mineralli su)	7,04	19,4	1972	13,1	108	200	112	19	52	1390

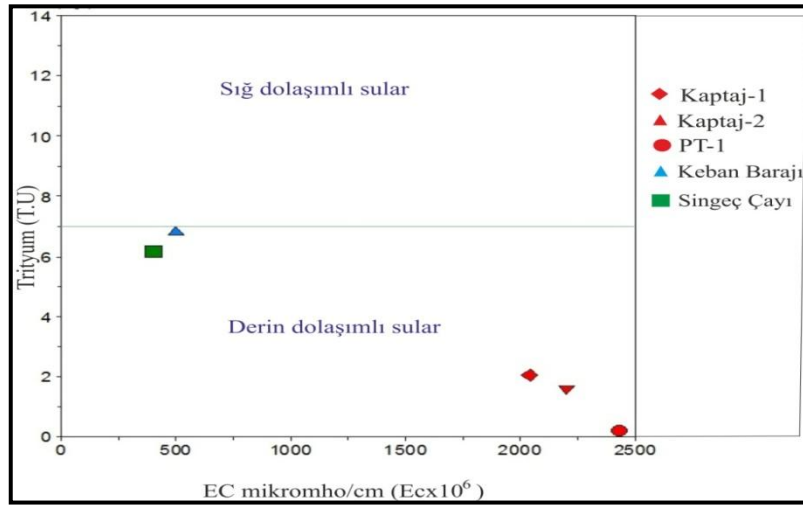
Suların Cl/SO₄ ve Mg/Ca atomik oranları baz alınarak yapılmış olan kökensel değerlendirmelerine göre; Cl/SO₄ Atomik Oranının, Kaptaj-2, SK-4 ve Singeç Köprü yanındaki soğuk mineralli su kaynağı ile benzerlik gösterdiği, PT-3 ve PT-1 kuyularından elde edilen sıcak suların azda olsa farklılık gösterdiği ifade edilmiştir. Mg/Ca Atomik Oranına göre ise, en yüksek sıcaklığı Kaptaj-1 ve Kaptaj-2'nin verdiği belirtilmiş ve bunları sırasıyla SK-4, PT-1, PT-3 ve Singeç Köprü yanındaki mineralli su kaynağının izlediği açıklanmıştır.

Suların kimyasal analizleri yaptırılarak Piper ve Schoeller diyagramlarına göre sınıflandırılması yapılmıştır. Piper diyagramına göre suların CaCO₃ ve MgCO₃'lü sular olduğu ve karbonat sertliğinin %50 den fazla olduğu belirtilmiştir. Schoellere göre suların hakim katyonun Ca ve hakim anyonun HCO₃ olduğu ve suların kireçtaşı akiferi ile köken bakımından ilişkili olduğu ifade edilmiştir.

Na-K-Mg üçgen diyagramına göre, sistemde anyon-katyon dengelerinin tam oluşmadığı ve analiz edilen suların olgun olmayan sular bölgesine düştükleri ortaya koyulmuştur.

Silis jeotermometresine göre hesaplanmış sıcak sularda en yüksek sıcaklığı PT-3'ün verdiği bunu sırasıyla Kaptaj-2, PT-1, Kaptaj-1,SK-4'ün takip ettiği belirtilmiştir. Na-K-Ca jeotermometresine göre ise sahada bulunan sıcak akışkanlardan en yüksek sıcaklığı PT-3'ün verdiği bunu sırasıyla Kaptaj-2, Kaptaj-1, PT-1 ve SK-4'ün takip ettiği belirtilmiştir. Uygulanan jeotermometrelerin (silis ve Na-K-Ca jeotermometresi) birbiriyle uyum gösterdiği ifade edilmiştir.

Tunceli Pertek Jeotermal Sahası Kaynak Koruma Alanları Etüt Raporu (2009) kapsamında; izotop analizleri amaçlı alınansu örneklerinden T (trityum), ¹⁸O (oksijen 18), D (döteryum) analizleri yaptırılmıştır. Buna göre, Trityum oranı (TU) değerlerine göre sıcak su kaynaklarının beslenme yaşları PT-1 kaynağı için 1952 öncesi beslenme (submodern) yaşlı; Kaptaj-2, Kaptaj-1 ve Singeç Köprü yanı kaynakları için Submodern-Genç yaşlı su sınıfında; soğuk suların, Singeç Çayı'nın ve Keban Baraj Gölü'nün beslenme yaşlarının ise modern sular sınıfında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca trityum değerlerine göre bölgede bulunan sıcak suların derin dolaşimli, soğuk suların ise sığ dolaşimli olduğu açıklanmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. EC/Trityum grafiği

Ayrıca Oksijen 18-Döteryum ilişkisine göre, sıcak su noktalarının, soğuksulara göre daha fazla kayaç etkileşimi altında kaldıkları, Döteryum-Trityum ilişkisine göre ise soğuk suların sığ dolaşimli olduğu, Kaptaj-1, Kaptaj-2 ve PT-1 sıcak su kaynaklarının derin dolaşıma sahip olmakla birlikte PT-1 kuyusuna ait sıcak suyun en derin dolaşimli suyu temsil ettiği, Singeç Çayı'nın Döteryum miktarının jeotermal kaynaklardan etkilendiği için Keban Barajına göre yüksek çıktığı ifade edilmiştir.

Jeokimya çalışmaları kapsamında ayrıca bölgede toprak içinde bulunan CO₂değerleri ölçülmüştür. Yeraltında bulunan jeotermal sulardan serbest kalan CO₂ gazlarının yeryüzüne kadar yükseldiği bilinmektedir. Yüzeyle toprak içerisinde ölçülen CO₂değerlerinde gözlenen yüksek değerler, yeraltındaki jeotermal su içeren fayların lokasyonunu belirlemede önemli ipuçları vermektedir. Jeofizik çalışmalara paralel yürütülen CO₂ ölçümlerinden elde edilen anomaliler ile öz direnç ve manyetik anomalilerin birlikte yorumlanması sonucunda önemli bulgulara ulaşılmıştır.

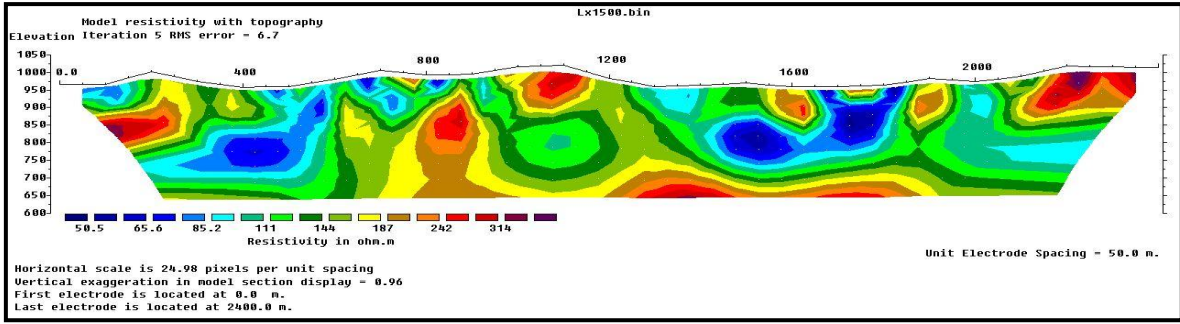
Okunan değerler 400 ppm ile yer yer 80.000 ppm arasında değişmektedir. Aletin sağlıklı okuma aralığı 0-20.000 ppm olduğundan 20.000 üzerindeki değerler sadece yüksek değerler olarak değerlendirilmiştir. Yapılan ölçümlerde Singeç Deresi kenarında suyun açığa çıktığı yerlerde en yüksek değerler okunmuştur.

354 noktada ölçülen gaz değerleri 400-6000 ppm değerleri arasındadır. Nitekim bu lokasyonlarda yapılan ölçümlerde yer yer 6000 ppm üzerinde değerler ölçülmüş olması bu zonların sıcak su içerdiği yönündeki beklentileri kuvvetlendirmiştir. Sondaj lokasyonu belirlenirken CO₂ değerleri önemli ölçüde dikkate alınmıştır.

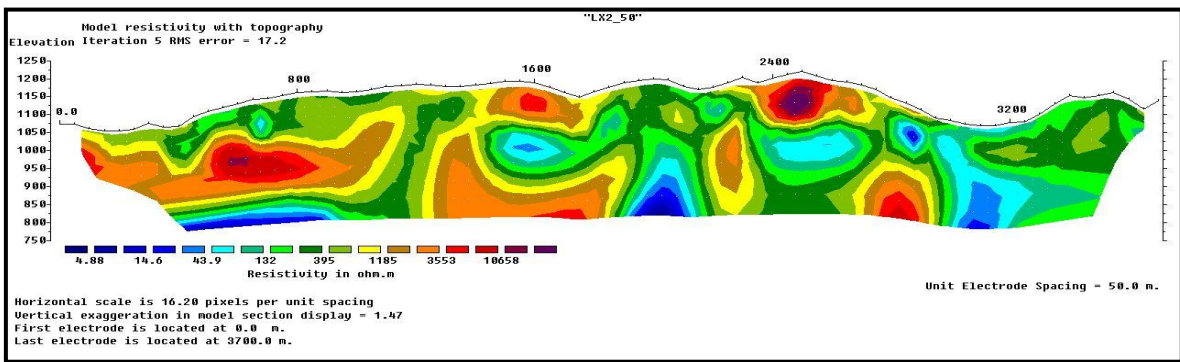
Jeofizik Çalışmaları

Pertek jeotermal alanında 2008 ve 2014 yılında alanın fiziksel yapısı ve tektonik hatlarının belirlenmesi ve Şerefoğlu ceviz bahçesine su temini amacıyla jeofizik etütler yapılmıştır.

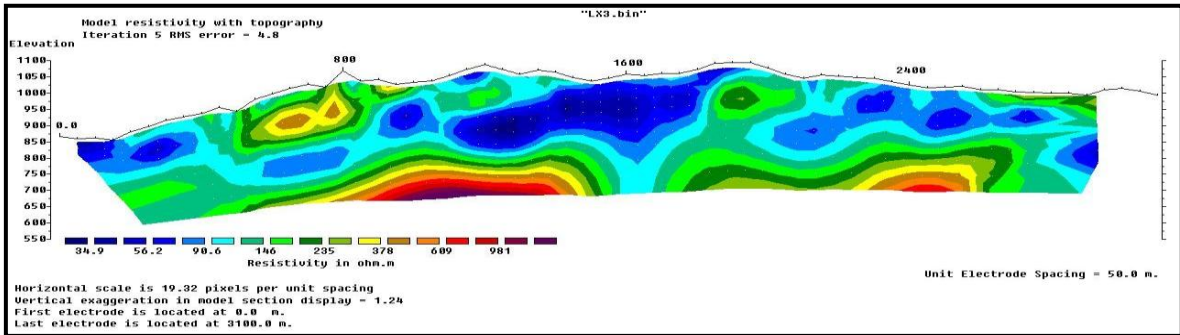
Enerson Mühendislik tarafından 2008 yılında ve Pertek jeotermal alanında jeofizik çalışmalarından IP/Rezistivite ölçümleri ve yerin toplam manyetik alanını ölçen manyetik ölçümler yapılmıştır. Pertek jeotermal alanının fiziksel yapısı ve tektonik hatlarının belirlenmesi için sahada IP/Rezistivite ölçümlerinde, mümkün olduğunca derini görmek için profiller 100 m elektrot aralıkları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Manyetik ölçümler ise tüm profillerde 50 m aralıklarla kaydedilmiştir. Sahada iki farklı jeolojik birim üzerinde ölçümler yapılmıştır. Bu alanlardaki birimler sahanın güneyinde yer alan Pertek Magmatik kayaları (raporda volkanik birim olarak ifade edilen) ile kuzeyde yer alan Keban Metamorfileri'ne ait kireçtaşı, mermer ve yer yer travertenleşmiş mermerlerdir. Mermerler oldukça kırıklı çatlaklı bir yapı gösterdiğinden içerisinde yer alan sıcak su ile yüzey suları kolaylıkla karışmaktadır. Aşağıda ölçüm yapılan sahanın öz direnç kesitleri verilmiştir (Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7).



Şekil 2.5. L1500 profili (Enerson Müh., 2008)



Şekil 2.6. LX2_50 profili (Enerson Müh., 2008)



Şekil 2.7. LX3 profili (Enerson Müh., 2008)

Özdirenç kesitleri incelendiğinde gerek Pertek Magmatitleri'nin ve gerekse Keban Metamorfitlelerine ait mermerlerin yüksek özdirenç değeri gösterdiği belirtilmiştir. Tektonizma sonucunda oluşan çatlakların ise oldukça düşük özdirenç değerleri ile dikkat çektiği ifade edilmiştir. Bu düşük özdirenç değerleri, sıcak sulu zonları temsil edebileceği gibi killeşmeleride işaret edebileceği açıklanmıştır.

Yapılan manyetik ölçümlerde, düşük dirençli zonların üstüne genellikle düşük manyetik anomalilerin geldiği belirtilmiştir. Bunun nedeni, jeotermal suların dolaştığı çatlaklarda mineral konsantrasyonunun azalması olarak yorumlanmıştır.

Sahada yapılan incelemelerde, iki yanal atımlı fayın hareketi sonucu oluşan açılma zonları saptandığı açıklanmıştır. Bu açılma zonları üzerinde yapılan ölçümlerde beklenen anomaliler yakalanmış ancak mermerler altındaki düşük öz dirençli zonların mermerlerdeki çatlaklardan sızan yüzey suları ile karışmış düşük sıcaklıklı zonlar olarak değerlendirilmiştir. Bu zonların ince taneli killi dolmuş traverten boşlukları olma ihtimali düşünülmüştür. Pertek Magmatitleri altında saptanan düşük öz dirençli zonlar hedef olarak seçilmiş ve bu lokasyonlar üzerindeki araştırmalar yoğunlaştırılmıştır.

Faylanmaları daha keskin görebilmek için NW-SE yönlü LX1500, LX2 ve LX3 profilleri kaydedilmiştir. Bu profillerde açılma zonlarının oldukça net bir şekilde gözlemlendiği belirtilmiştir.

LX2 profili tamamen mermerler üzerinde kaydedilmiş ve Singeç Çayı'nın diğer tarafında gözlenmiş açılma zonlarının ise araştırma bölgesinde devam edip etmediğinin gözlenmesi açısından önemli bir profil olduğu belirtilmiştir. Nitekim Singeç Çayı üzerinde sıcak su çıkışı veren fay sistemleri LX2 profilinde gözlenmiştir. Bu gözlem neticesinde Singeç Çayını kesen fayların, Singeç Çayı'nı oluşturan faydan daha genç ve aktif olduğu sonucuna varılmıştır.

LX1500 ve LX3 profillerinde gözlenmiş düşük öz dirençli zonların sahada gözlenmiş olan kırık sistemleri ile bire bir uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Öz direnç kesitleri, manyetik ölçümler ve CO₂ ölçümleri sonucunda LX3 profilinin 1600 numaralı ölçü noktası altında gözlenmiş anomalinin Enerson Mühendislik tarafından araştırılan model ile örtüştüğü belirtilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmalar sonucunda LX3 profilinin 1600 numaralı ölçü noktasının 100 metre kadar güneyinde UTM koordinatı, 522650D-4305830K olan ilk sondaj lokasyonu açılmıştır.

Diğer lokasyonlar için bir miktar daha CO₂ ölçümü ve gerekirse rezistivite ölçümü yapılması düşünülmüştür.

Şerefoğlu İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti (2014) tarafından, Pertek ilçesi sınırlarında, ceviz bahçesi yapılacak arazinin yeraltı suyundan yararlanma olanaklarını araştırmak ve yeni açılacak yedek amaçlı sıcak su sondaj lokasyonunu belirlemek için hidrojeolojik ve jeofizik etüt çalışması yapılmıştır. Buna bağlı olarak 5 adedi soğuk su amaçlı ve 1 adedi sıcak su amaçlı olmak üzere 6 adet düşey elektrik sondaj ölçüsü alınmıştır. Ölçüm noktalarını gösteren harita Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8. DES ölçüm noktalarını gösteren uydu görüntüsü (R1, R2, R3, R4 ve R5 soğuk su DES ölçüm noktası, R6 sıcak su DES ölçüm noktası)

Ceviz ekilmesi planlanan alanda gözlemsel jeolojik çalışma sonucunda açılmış olan kuyu, geçilen masif derinlik kayaları (granitik) seviyeleri nedeniyle 40 m’de durdurulmuş ve kuyu yıkanarak deneme yapılmıştır. Olumsuz sonuç alınması nedeniyle kuyunun derinleştirilmesinden vazgeçilmiştir.

R1 ve R3 no’lu ölçümlerde yüksek öz dirençli muhtemelen masif metamorfik seviyelerin geçildiği belirtilmiştir. R5 noktasının olduğu alanda 1 adet 104 m derinliğinde sondaj kuyusunun açılması uygun görülmüştür. Hedeflenen birimlerin 11-104 m arasında geçilen muhtemel kırıklı-çatlaklı metamorfik seviyeler olduğu ifade edilmiştir.



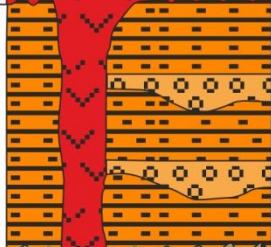

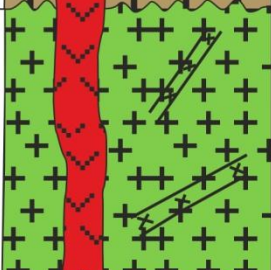
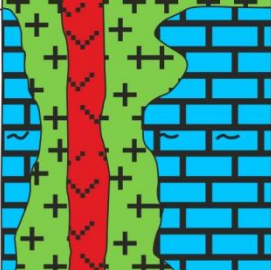
3. BULGULAR

3.1. Çalışma Alanı'nın Jeolojisi

Pertek ve çevresinde Paleozoyik'ten Senozoyik'e kadar uzanan yaş aralığında farklı özellikte olan magmatik, sedimenter ve metamorfik kayalar bulunmaktadır. Aksoy (1994) tarafından bu birimler yaşlıdan gence doğru Keban Metamorfikleri (Permiyen-Triyas), Pertek Magmatikleri (Üst Kretase), Harami Formasyonu (Maestrihtiyen), Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen-Üst Oligosen), Karabakır Formasyonu (Üst Miyosen-Pliyosen) ve Alüvyonlar (Kuvaterner) olarak sıralanmıştır (Şekil3.1).

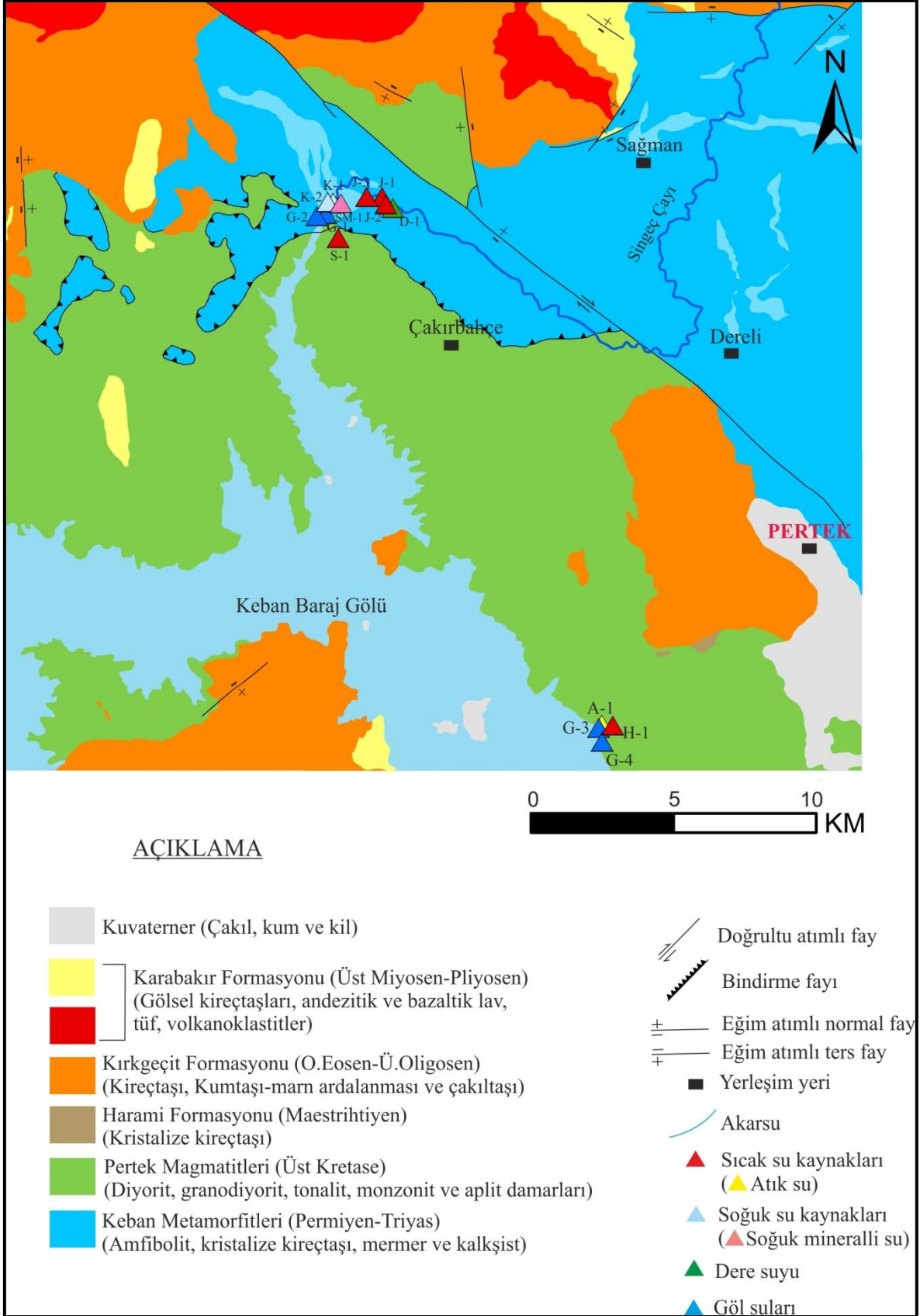
Çalışma alanında Keban Metamorfiklerine ait, amfibolit, kristalize kireçtaşı ve mermer birimleri, PertekMagmatikleri'ne (Granitoidlerine) ait diyorit, granodiyorit, tonalit, monzonit bileşimli derinlik kayaları; sınırlı alanlarda Harami Formasyonu'na ait kristalize kireçtaşları; Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşı, kumtaşı-marn aralanmalı çakıltaşları ile Karabakır Formasyonuna ait gölsel kireçtaşları (inceleme alanı dışında), andezitik ve bazaltik lav ile tuf ve volkanoklastitler yer almaktadır. Çalışma alanındaki en genç birimi ise Pertek ilçe merkezi ve Singeç Vadisi boyunca birikmiş Kuvaterner yaşlı alüvyonlar oluşturmaktadır.

Çalışmanın temel konusu Pertek jeotermal alanının hidrojeokimyası olduğundan, inceleme alanındaki litolojiler önceki araştırmalar ve bu çalışma kapsamında yürütülen arazi gözlemleri doğrultusunda incelenmiştir.

Yaş	Kayaç Birimi	Kalınlık (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
KUV.		5-20		Çakıl, kum ve kil
ÜST MİYOSEN PLİYOSEN	KIARABAKIR FORMASYONU	>50		Gösel kireçtaşları (inceleme alanı dışında), andezitik ve bazaltik lav ile tüf, volkanoklastitler
ORTA EOSEN ÜST OLIĞOSEN	KIRKGEÇİT FORMASYONU	>100		Kireçtaşı, Kumtaşı-marn ardalanması, kanal dolgusu şeklinde gelişmiş çakıltaşları
MAEST.	HARAMİ FORM.	>15		Kristalize kireçtaşları
ÜST KRETASE	PERTEK MAGMATİTLERİ	>75		Diyorit, granodiyorit, tonalit, monzonit ve aplit damarları
PERMİYEN TRİYAS	KEBAN METAAMORFİTLERİ	>150		Amfibolit, kristalize kireçtaşı, mermer ve kalkşist

Ölçeksiz

Şekil 3.1. Pertek çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Aksoy, 1994'den değiştirilerek)



Şekil 3.2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Jeoloji haritasının oluşturulmasında MTA-1/25000 ölçekli jeoloji haritaları, 2002, ve Aksoy, 1994'den yararlanılmıştır)

3.1.1. Keban Metamorfitleri

Alanın en yaşlı birimi olan Keban Metamorfitleri, ilk defa Özgül (1976) tarafından adlandırılmış ve Batı Toroslar'da görülen Alanya birliğine dahil edilmiştir. Birimi ilk defa Kipman (1981) yaşlandırmıştır. Araştırmacı Keban yöresinde bu birim içerisinde Glomospita ve Ammodiscus fosillerini bularak rekristalize kireçtaşlarının yaşını Permiyen, metamorfizmanın yaşının ise Jura-Alt Kretase olduğunu öne sürmüştür. Keban İlçesi yakınlarında mermerlerin istifin tabanını oluşturduğunu, birimin genel litolojisinin mermer, kristalize kireçtaşı-kalkşist, metakonglomera ile temsil edildiği açıklanmıştır.

Özgül (1976) tarafından Permiyen-Triyas yaşlı kabul edilen birim, sintektonik olarak gelişen yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramıştır (Yazgan, 1984; Aksoy, 1993). Bu metamorfizmanın Geç Kretase'de Elazığ Magmatitleri'nin oluşumunu sağlayan kuzeye eğimli bir dalma-batma ilişkili tektonik olaylara bağlı olarak geliştiği ifade edilmiştir.

Özgül ve Turşucu ise (1984) Keban Metamorfitleri'nin ilksel kayaçlarının Permiyen-Geç Kretase aralığında çökeldiğini kabul ederler. Senoniyen yaşlı Elazığ Magmatitleri'nin Keban Metamorfitleri'ni kesmesi ve bölgede Jura-Kretase yaşlı başka birimleri bulunmayışı gibi nedenler dikkate alınarak Keban Metamorfitleri için Permiyen-Triyas yaşı bu çalışmada da benimsenmiştir. Oluşumunu izleyen dönemlerdeki tektonik hareketlerle ilk oluşum yerinden farklı bir yerde bulunduğu için, birimin allokton konumlu olduğu açıklanmıştır.

Aksoy (1994) ise Pertek çevresinin jeolojik özellikleri ve Pertek Bindirme Fayı'nı incelediği çalışmasında, çalıştığı alanda Keban Metamorfitleri'nin tabanının görülmediğini Elazığ Magmatitleri ile çoğunlukla tektonik dokanaklı olduğu ve sınırlı alanlarda ise intrüzif ilişkinin gözlemlendiğini açıklamıştır.

Bu tez kapsamında yapılan arazi çalışmalarında Keban Metamorfitlerinin bölgede en geniş yayılımının Pertek'in KB'sında bulunan Çakırbağçe, Dereli ve Sağman Köylerinin çevresi ile SingeçÇayı'nın sağ ve sol sahillerinde olduğu görülmüştür. Bu alanlardaki yüzlekleri kristalize kireçtaşı, mermer, kalkşist ve amfibolitlerle temsil edilmektedir. Singeç köprüsü yol yarmasında tabanda amfibolitler gözlenmektedir. Singeç Çayı membasına doğru amfibolitlerin üzerine kalkşist, rekristalize kireçtaşı ve mermerler gelmektedir. Amfibolit düzeyleri siyahımsı renkte, bol kırık ve çatlaklı, yer yer aşırı

alterasyonlu olup iyi gelişmiş foliasyon ve lineasyon yapıları göstermektedir (Şekil 3.3). Kalkıştiller sarımsı, grimsi renklerde, kahverengi günlenmeli ve tabakalı görünümlüdür. Kristalize kireçtaşları ise koyu sarı, açık kahverengi ve grimsi renklerde gözlenmektedir. Singeç Vadisi sağ yamacında oldukça kalın bir istif sunan birimde belirgin tabakalanma da izlenmektedir. Birim içi faylanmalar nedeniyle tabakalar yer yer dikleşmiş, kıvrımlanmış ve dik yarlar oluşturmuştur (Şekil 3.4). Birim kendi içerisinde çok kırıklı ve çatlaklı olup, kırıklar boyunca yer yer erime boşlukları ve mağaralar gelişmiştir (Şekil 3.5).

Çalışma alanındaki soğuk mineralli su amfibolit ve kalkıştistin bulunduğu alandan, sıcak su kaynakları ise kristalize kireçtaşının kırıklı zonlarından Singeç Vadisi tabanından ve vadi tabanındaki alüvyondan yüzeye çıkmaktadır.

Keban Metamorfiteeri, D-B uzanımlı Bindirme Fayı ile Pertek Granitoyidi üzerine itilmiştir. Bu bindirme fayını öteleyen, KB-GD uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı bir fay ve çok sayıda makaslama kırık ve çatlakları oluşmuştur. Söz konusu makaslama yapıları Pertek jeotermal alanındaki soğuk ve sıcak kaynaklarının yüzeye ulaşmasını denetler.



Şekil 3.3. Keban Metamorfiteeriine ait amfibolit (altta) ve kalkıştillerin (üstte) arazideki görünümü



Şekil 3.4. Keban Metamorfitlerine ait kristalize kireçtaşlarında kıvrımlanmış dikleşmiş tabakaların görünümü



Şekil 3.5. Singeç Vadisi sol yamacında Keban Metamorfitleri'nin kristalize kireçtaşlarında gelişen erime boşluklarının görünümü

Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli sular, Keban Metamorfitleri'ne ait kristalize kireçtaşının kırıklı zonlarından ve Singeç Vadisi içerisindeki alüvyondan yüzeye çıkmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Keban Metamorfitlelerine ait kristalize kireçtaşı ve Singeç Vadisi içerisindeki alüvyondan yüzeye çıkan sıcak sular

3.1.2. Pertek Magmatitleri (Granitoidleri)

Bu birim Elazığ çevresindeki çalışmalarda çoğunlukla Yüksekova Karmaşığı adıyla incelenmiştir (Bingöl, 1984, 1988; Sungurlu vd., 1985; Aksoy, 1993; Akgül, 1993). Yüksekova Karmaşığı ilk kez Perinçek (1979) tarafından adlandırılan birim gabro, diyorit, monzonit, tonalit, granodiyorit, granit, diyabaz, bazalt, andezit, piroklastitler ve çamurtaşlarından oluşan bir litolojiyle temsil olunur. Buna karşılık Elazığ çevresinde düzenli bir istif oluşturduğundan Turan vd (1993) tarafından Elazığ Magmatitleri olarak adlandırılmıştır. Adı geçen birim alttan üste doğru az oranda gabro, daha çok diyorit, monzodiyorit ve tonaliten oluşan derinlik kayalar ile bunların üzerindeki bazalt, bazaltik andezit, andezit, piroklastik ve bunlarla aralanmalı olarak bulunan volkano sedimanlar ve tüm bu kayaları kesen granodiyotit ve granitik kayalardan oluşan derinlik kayaları ile dasitik dayk ve damarlardan oluşur (Turan vd. 1993; Bingöl ve Beyarslan, 1996).

Elazığ Magmatitleri'yle Keban Metamorfitleleri arasındaki dokanak ilişkisinin hem tektonik hem de intrüzif karakter gösterdiği, bölgedeki diğer araştırmalarda da belirtilmiştir (Akgül, 1993; Aksoy, 1993; Turan vd. 1993). Oluşumunu izleyen dönemlerdeki tektonik hareketler nedeniyle ilksel oluşum yerinden farklı bir yerde yüzeyletiğinden, allokton konumlu olduğu Çakırbağçe'nin yaklaşık 3.5 km KB'sında ve Geçityaka'nın (Cücüğe)

yaklaşık 2.5 km batısında intrüzif dokanağın var olduğu Aksoy, 1994 tarafından açıklanmıştır.

Elazığ Magmatitleri'nde yapılan petrografik ve jeokimyasal incelemeler, bunların ada yayı toleyitleri, ada yayı kalk alkali serisi ve çarpışma granitoidlerinden oluştuğunu gösterir (Bingöl, 1988; Akgül, 1991; Akgül, 1993; Turan vd., 1993). Gabro, diyorit, monzonit ve monzodiyorit ile bazalt, andezit ve andezitik piroklastitler ada yayı ürünü, bunları keser konumda yerleşmiş granodiyorit, granit ve dasitlerin ise yay-kıta çarpışması ürünü olduğu düşüncesi bölgede yapılan çalışmalarda genelde kabul görmektedir (Bingöl, 1994). Pertek çevresindeki mikrodiyorit ve diyoritler ada yayı ürünü, bunları ve Keban Metamorfite'ni kesen kuvarslı diyorit ve granitik kayalar ise çarpışma evresi ürünü olarak değerlendirilmiştir.

Kürüm vd. (2011), Pertek Granitoidi'nin petrografisinin, diyorit/gabro, monzonit, tonalit-granit/granodiyorit ve kuvars diyoritten oluştuğunu belirtmişlerdir. Ayrıca inceleme alanının hemen doğusunda bulunan ve Elazığ Magmatitleri ile eş değer olan derinlik kayaları, Öztüfekçi Önal vd. (2010) tarafından yapılan çalışmalar (mineralojik, petrografik, izotopik özellikler ve yaş tayini) sonucunda, Pertek intrüzif kayaları adıyla, detaylı incelenmiştir.

Söz konusu bu çalışmada Pertek intrüzif kayalarının petrografisinin granitten gabroya kadar değiştiği, ancak en yaygın kayaç türünün diyorit, kuvars diyorit ve tonalit olduğu açıklanmıştır.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmasında Pertek Magmatitleri'ne ait derinlik kayaları ile Keban Metamorfite'leri arasında hem intrüzif hem de tektonik ilişki gözlenmiştir. İntrüzif dokanaklı kesimlerde skarn mineralleri ve Keban Metamorfite'leri'ne ait kristalize kireçtaşlarında yoğun alterasyon (Şekil 3.7) gözlenirken, tektonik dokanaklı kesimlerde milonitik zonlar görülmektedir.



Şekil 3.7. Pertek Magmatitleri ile Keban Metamorfitleri'ne ait kristalize kireçtaşı arasındaki intrüzif dokanakta gelişmiş alterasyon zonunun görünümü

İnceleme alanındaki Pertek Magmatitleri daha çok tonalit porfir ile temsil edilmektedir. PT-1 sondajı yakınında Keban Metamorfitleri'ne ait kristalize kireçtaşları Pertek Magmatitleri'ne ait bu tonalit porfirler tarafından kesilmektedir (Şekil 3.8 ve 3.9). Tonalit porfirler esas olarak kuvars, plajiyoklas ve biyotit minerallerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.8. Elazığ Magmatitlerine ait iri taneli tonalit porfirin görünümü



Şekil 3.9. Tonalit porfirin yakından görünümü

3.1.3. Harami Formasyonu

Elazığ yakın çevresindeki en geniş yüzeylemelerini Harput ile Elazığ yakın güneyinde veren birim genel olarak konglomera, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve rekrystalize masif kireçtaşlarından oluşan bir istifte belirgindir (Aksoy, 1993). Perteğin 2 km güneybatısında küçük bir alanda yüzeyleme veren birim, uyumsuz olarak ince bir kumlu kireçtaşı seviyesi ile Elazığ Magmatitleri üzerinde başlar ve rekrystalize masif kireçtaşlarıyla son bulur. Bunlar sığ denizel ortam ürünüdür. Maestrihtiyen yaşlı kabul edilen birimle ilgili olarak Harput civarında yapılan çalışmada İnceöz (1994), birimin tabanındaki konglomeralar ile kumtaşlarının sığ denizel bir havzaya açılan alüvyon yelpazesi ürünleri olarak yorumlanabileceğini belirtmektedir.

3.1.4. Kırkgeçit Formasyonu

Keban Metamorfikleri ile Elazığ Magmatitleri üzerinde uyumsuz olarak yer alan birim Karabakır Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülür. Bölgedeki tektonik hareketlerle, özellikle Erken Miyosen sonrası dönemde, Elazığ Magmatitleri sırtında taşındığı ve ilksel oluşum yerinde bulunmadığından yarı otokton konumlu olduğu Aksoy 2004, tarafından açıklanmıştır. Birim, düşük yoğunluklu türbiditik akıntılarla oluşmuş kumtaşı-çamurtaşı ardalanması ile bunlarla ara katmanlı ve tane yada moloz akmalarıyla

oluşmuş kanal dolgusu fasiyesindeki konglomeralardan oluşur. Bu konglomeraların yanıl devamlılıkları 20-50 m arasında değişir. Birim, bir denizaltı yelpazesi ürünüdür. Bölgedeyapılmış olan bazı stratigrafik çalışmalarda bu konglomera düzeylerinin taban konglomerası olarak değerlendirildiği de görülmüştür. İstifte yer yer tekrarlanmaların olması ve diğer sedimentolojik özellikleri dikkate alınarak Walker (1978) tarafından, bunların taban konglomerası olamayacağı açıklanmıştır.

Birimle ilgili çalışmalarda Orta-Üst Eosen (Avşar, 1983; Özkul ve Üşenmez, 1986) ile Orta Eosen- Üst Oligosen yaşlarının önerildiği (Özkul, 1988) görülmektedir. Bu durum istifin Elazığ kuzeybatısına oranla bazı yerlerde eksik kalmasından kaynaklanmaktadır (Aksoy, 1993). İstif Pertek çevresinde de eksik olmakla birlikte, yaşının Orta Eosen-Üst Oligosen olarak kabul edilmesinin daha uygun olacağı düşünölmüştür.

Bölgenin jeotektonik evriminin bir sonucu olarak birimin sahip olduğu litolojik ve sedimentolojik özellikler çökeltme ortamının etkin bir tektonizma etkisinde kaldığının gösterir (Sungurlu vd. 1985; Özkul, 1988; Aksoy ve Tatar, 1990; Aksoy, 1993).

Birim inceleme alanının kuzeyinde ve Dereli köyü yakınındaki yüzlekleri (Şekil 3.10) daha çok kumtaşı-marn arıalanması ile temsil edilmektedir.



Şekil 3.10. Dereli Köyü güneybatısındaki Kırkgeçit Formasyonu'nun görünümü

3.1.5. Karabakır Formasyonu

Pertek ilçesinin KB'sında ve Singeç Vadisinin batısında bulunan birim ilk kez Karabakır Köyü civarında Naz (1979) tarafından tanımlanmıştır. Pertek ve Elazığ çevresinde yapılan çalışmalarda da bu ismin çoğunlukla benimsendiği görülür (Sungurlu vd., 1985; Şaşmaz ve Sağiroğlu, 1990; Aksoy, 1993; Turan vd., 1993, Kürüm, 1994). Birimin Harami Formasyonu dışındaki birimlerle dokanağı vardır ve onları uyumsuz olarak örter. İlksel oluşum yerinde yüzeyletiğinden otokton konumlu bir birimdir.

Birimi ilk kez tanımlayan Naz (1979), Karabakır Köyü civarında birimin tuf, aglomera, bazaltik lavlar ve bunlar arasındaki killi kireçtaşı, kireçtaşı marn ve killi kumtaşı şeklinde bir istiflenme gösterdiğinden bahseder. Araştırmacı, bazı yerlerde sıg ve çalkantılı ortam ürünü olan oolitik kireçtaşlarının da varlığını belirtir. Karabakır Formasyonu'nda ayrıntılı incelemeler yapan Kürüm (1994), birimin volkanoklastitler, lav akıntıları ve bunlarla yanal ve düşey yönde geçişler gösteren gösel kireçtaşlarından oluştuğunu belirtir. Bazaltik bileşimli olmakla birlikte lavlar çoğunlukla andezitik bileşimlidir. Birimin killi gösel kireçtaşları krem-beyaz renkleriyle belirgindir. Kürüm (1994), jeokimyasal inceleme sonuçlarına göre lav akıntılarının bazik, ortaç ve asidik bileşimli olarak gruplandırılabilceğinden bahseder.

Aynı araştırmacı jeokimyasal verilerin volkanitlerin sialik kökenli olduklarını, dolayısıyla orojenik tip bir volkanizmayı temsil ettiğini belirtmiştir.

Stratigrafik konumu dikkate alınarak Karabakır Formasyonu için önerilen Üst Miyosen-Pliyosen yaşı birimle ilgili çalışmaların büyük bir çoğunluğunda benimsenmiştir (Sirel vd., 1975; Sungurlu vd., 1985; Yılmaz vd., 1987; Türkmen, 1991; Aksoy, 1993; Ercan ve Asutay, 1993; Turan vd., 1993; Kürüm, 1994).

İnceleme alanı kuzeyinde Kırkgeçit Formasyonu üzerine gelen birim piroklastitler ve daha çok andezitik lav akıntılılarıyla temsil edilmektedir.

3.1.6. Alüvyon

Pertek ilçe merkezinin kurulduğu alan ile yakın çevresinde ve Singeç Vadisi içinde, kısmen zayıf çimentolanmış, kısmen de hiç tutturulmamış çakıl, kum ve kil boyutlu kırıntılı malzemedan oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yüzeyler.

3.2. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı ve yakın çevresi incelendiğinde, sıkışma gerilmesiyle gelişmiş tektonik yapıların egemen olduğu dikkat çeker. Bu yapıların en önemlisi bindirme fayıdır. Bunun dışında özellikle Keban Metamorfileri ve daha az olarak da Kırkgeçit Formasyonu'nda makaslama kırıkları olarak gelişmiş kırıklı yapıların çokluğu dikkat çeker. Ayrıca Kırkgeçit Formasyonu'nda gelişmiş olan senklinal, inceleme alanındaki tek kıvrımlı yapıdır.

3.2.1. Pertek Bindirme Fayı

İlk kez Bingöl (1984) tarafından Pertek Bindirmesi olarak adlandırılan fay, Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfileri ile Senoniyen yaşlı Pertek Magmatitleri arasındaki dokanağı oluşturur. 10 derece gibi oldukça düşük bir açı ile kuzeye doğru eğimlidir. Bu eğimli düzlem boyunca Keban Metamorfileri güneye, Pertek Magmatitleri üzerine itilmiştir. Yaklaşık doğu-batı doğrultusunda uzanan bu bindirme fayı, oluşumunu izleyen dönemlerde de etkili olan yaklaşık kuzey-güney doğrultulu sıkışma gerilmesiyle ilişkili olarak, makaslama kırıkları şeklinde gelişmiş faylarla atıma uğratılmıştır.

Bindirme düzlemi altında bulunan Pertek Magmatitleri'nin Geç Kretase'de oluştuğu dikkate alındığında fayın, Geç Kretase sonrasında meydana gelmiş olması gerekir. Pertek ilçesi kuzeybatısındaki Dereli Köyü civarında Kırkgeçit Formasyonu'na ait yüzeylemeler, bindirme fayını örter. Kırkgeçit Formasyonu'nun yaşının Orta Eosen-Üst Oligosen olduğu dikkate alınır, Pertek Bindirme Fayı'nın oluşumunu Geç Kretase sonrası Orta Eosen öncesi olarak sınırlamak mümkündür. Sağiroğlu (1992), Demürek cevherleşmesinin olduğu yerde, skarn zonunun oluşmasına neden olan kuvarslı diyorit sokulumunun, bindirme fayının oluşumundan sonra geliştiğini belirtir. Ancak bu yüzeylemeler, diyoritik sokulumun bindirme fayından sonra geliştiği konusunda açık veriler sunmazlar. Fay düzlemini kesen diyoritik sokulumların gözlenememesi, fay oluşumunun, diyoritik kayaların Geç Kretase sonlarındaki yerleşiminden sonra meydana gelmiş olduğunun kabul edilmesinin daha uygun olacağını gösterir. Hempton (1984), Elazığ civarında devam eden bu bindirme bindirme fayının, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Seske Formasyonu tarafından örtüldüğünü belirtir. Baskil ilçesinin (Elazığ) yaklaşık 25 km

güneybatısında yapılan incelemede, Maestrihtiyen yaşlı Harami Formasyonu'nu üzerleyen ve Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Seske Formasyonu tarafından örtülen ve taşıdığı sedimentolojik özellikler nedeniyle tektonik ile kontrol edilen alüvyon yelpazesinin varlığı belirlenmiştir. Kısmen Harami Formasyonu, çoğunluklarda Elazığ Magmatitleri üzerinde gelişen bu alüvyon yelpazesinin adı geçen birimlerden malzeme almayıp, malzemenin daha altta bulunan Keban Metamorfitlelerinden kaynaklanması, yelpazenin oluşumu sırasında bindirme fayıyla, Keban Metamorfitlelerinin yükselmiş olmasını gerektirdiği Turan ve Türkmen (1995) tarafından açıklanmıştır. Bu alüvyon yelpazesini ürün birim, Elazığ çevresinde yapılan çalışmalarda Kuşçular Formasyonu olarak bilinir ve stratigrafik konumu dikkate alınarak Alt Paleosen yaşlı olarak kabul edilir. Yukarıda belirtilen veriler dikkate alındığında, Pertek Bindirme Fayı'nın Geç Kretase sonrası üst Paleosen öncesinde oluşmuş olması gerekmektedir.

Orta Eosen-Üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu'nda izlenen kıvrım ile makaslama kırıkları şeklinde gelişmiş olan kırıkların bir bölümü, bölgedeki yaklaşık kuzey-güney doğrultulu sıkışma gerilmesinin Üst Oligosen sonrasında da devam etmiş olduğunu göstermektedir.

Bölgedeki tektonik yapıların yaşlarını dikkate alan araştırmacılar (Aksoy, 1993; Turan, 1993), bunları paleotektonik ve neotektonik dönem yapıları olarak gruplandırmışlardır. Bu açıdan incelendiğinde, bindirme fayı paleotektonik, kıvrım ve makaslama kırıkları ise, neotektonik döneme ait yapılardır.

Yukarıda belirtilen tektonik yapıların bölgenin jeotektonik evrimindeki yeri şu şekilde özetlenebilir:

Geç Kretase'de bölgede etkili olamaya başlayan ve ada yayı ürünü olan Elazığ Magmatitleri'nin oluşmasını sağlayan dalma-batma zonunu oluşturan yaklaşık kuzey-güney doğrultulu sıkışma gerilmesi, Geç Kretase sonlarında ada yayı ile Keban Kıtası'nın çarpışmasına ve Elazığ Magmatitleri'nin granitik kayaçlarının oluşmasına neden olmuştur. Çarpışma evresini temsil eden kayaçlar, hem Elazığ Magmatitleri'nin daha önce oluşmuş olan kayaçlarını hem de Keban Metamorfitleleri'ni kesmiştir. Pertek Bindirme Fayı'da bu sıkışma gerilmesinin bir sonucudur. Erken Miyosen sonrasında bölgede etkili olan yaklaşık kuzey-güney doğrultulu sıkışma gerilmesi ise Orta Miyosen de Bitlis Kenet Kuşağı boyunca Avrasya ve Arabistan Levhaları'nın çarpışmasına neden olmuş ve günümüze kadar etkinliğini sürdürmüştür (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1983; Yılmaz, 1984; Dewey vd., 1986; Tatar, 1987). Pertek Bindirmesini de keserek atıma

uğratan ve makaslama kırıkları şeklinde gelişmiş faylar ile Kırkgeçit Formasyonu'ndaki kıvrım Orta Miyosen sonrasında etkili olan yaklaşık kuzey-güney doğrultulu bu sıkışma gerilmesinin sonucudurlar.

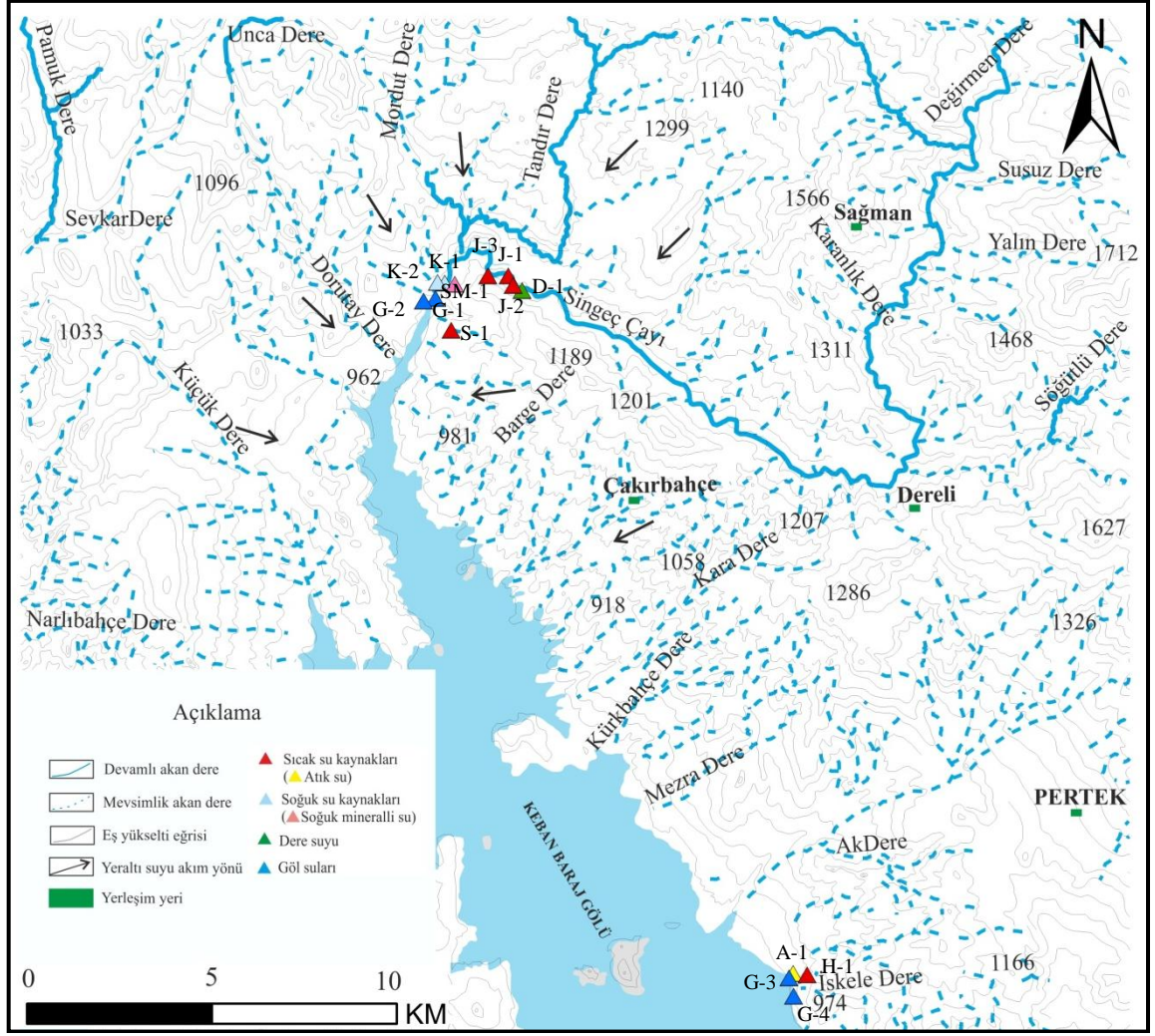
Pertek'in yakın doğusundan geçerek kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanan ve Pertek Bindirme Fayı'nı atıma uğratan sağ yönlü doğrultu atımlı fay da bu makaslama kırıklarından birisidir. Doğu Anadolu Fayı ile kökensel ilişkili olduğu kabul edilen bu fay, antitetik fay konumundadır. Singeç Çayı vadisindeki bükülme ve Pertek Bindirme Fayı'ndaki ötelenme dikkate alınarak Aksoy (1994) tarafından, bu doğrultu atımlı fayda ötelenme miktarı yaklaşık 5 km olarak hesaplanmıştır.

Bölgeyi etkileyen tektonizma sonucunda meydana gelen Pertek Bindirme Fayı ve bindirme fayını atıma uğratan sağ yönlü bu doğrultu atımlı fay çalışma alanındaki kırık ve çatlakların oluşumunda etken olmuş, sıcak ve mineralli sular bu kırık ve çatlaklar aracılığıyla yüzeye ulaşmıştır.

3.3. Hidrojeoloji

Çalışma alanının drenaj ağı haritası oluşturulmuş ve su örnekleride ayrıca haritada belirtilmiştir (Şekil 3.11). İnceleme alanındaki drenaj ağı haritasındaki akış yönleri ve soğuk ve sıcak suların çıkış noktaları dikkate alındığında, bölgedeki yeraltı suyu akım yönünün demuhtemelen KB-GD ve KD-GB olduğu düşünülmektedir (Şekil 3.11). Keban Metamorfileri'nin kristalize kireçtaşı ve mermerlerinin yayılım alanları dikkate alındığında inceleme alanındaki yeraltı sularının beslenme alanı kuzeydeki yükseltiler, boşalım alanı ise güneydeki Singeç Vadisi ve Keban Baraj Gölü'ne doğrudur. Kuzeybatı ve kuzeydoğudaki sular aynı zamanda termal sularında beslenme bölgesidir. Drenaj ağı haritasında Keban Metamorfileri'nde yüzeysel akış ağının diğer birimlerden daha az olduğu görülmektedir. Bu durum yüzeysel akıştan yeraltı suyu besleniminin bu alanlarda daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanında bulunan Singeç Çayı ve kolları hem yüzey hem de yeraltı suları tarafından beslenmektedir. Bu nedenle Keban Barajı göl suyu, Singeç Çayı mansap kısmına karışan jeotermal kaynaklar ve Pertek termal havuzu atık sularının karıştığı noktalarda jeotermal kirlilikten etkilenmektedir.



Şekil 3.11. Çalışma alanının drenaj ağı haritası. Oklar yüzeysel akış yönlerini göstermektedir

3.3.1. Akifer Formasyonlar

Keban Metamorfitleleri'ne ait kristalize kireçtaşlarının birincil gözeneklilikleri oldukça düşüktür. Ancak metamorfizmadan sonra ve bölgede meydana gelen etkin tektonizmaya bağlı olarak oldukça çatlaklı ve kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Bu yoğun çatlaklı ve kırıklı yapı karstlaşmayı daha da geliştirmiştir. Bu nedenle bu kayaçlarda geçirimsizlik ve ikincil porozite oldukça yüksek olup, su depolayabilmektedirler (Çetindağ, 1989). Keban Metamorfitleleri'ne ait kristalize kireçtaşları ve mermerler hazne kayadır. Keban Metamorfitleleri'nin inceleme alanındaki yüzlekleri çoğu alanda Pertek Magmatitleri (Elazığ Magmatitleri) üzerine bindirmelidir. İnceleme alanındaki en kalın yüzlekleri Singeç Vadisi boyunca gözlenmektedir. Pertek Termal A.Ş. tarafından Singeç Vadisi ve civarında açılmış araştırma sondajlarında da bu durum belirtilmiştir.

İnceleme alanı dışında, kuzeybatıda (Demürek kuzeyi), Karabakır Formasyonu'nun altında kumtaşı, marn, kireçtaşıdan oluşan Kırkgeçit Formasyonu yer almaktadır. Kırkgeçit Formasyonu'nun tavan birimlerini oluşturan kireçtaşları, çatlaklı ve karstik boşluklu olmaları nedeniyle su depolamaktadırlar (Çetindağ, 1985).

Karabakır Formasyonu'nun bazaltları ile gölsel kireçtaşlarında çatlaklı ve kırıklı olmaları nedeniyle bol su depolamaktadırlar (Çetindağ, 1985). Singeç vadisi boyunca Keban Metamorfileri'nin üzerlerinde örtü birimi bulunmaz. Ancak Singeç Vadisinin kuzeyinde gölsel kireçtaşı seviyeleri içeren tuf, aglomera ve lav akıntılarında oluşan Karabakır Formasyonu tarafından örtülmektedir.

Hazne kaya olan Keban Metamorfileri'nin beslenme alanında, sadece sınırlı alanlarda yarı geçirgen özelliğe sahip, kalınlığı fazla olmayan sedimanter ve volkanik örtü kayaları bulunmaktadır. Bu nedenle Pertek jeotermal sistemi açık sistem olarak değerlendirilebilir. Sıcaklık içeriğine göre düşük entalpili oluşu da bunu desteklemektedir. Hazne kaya (akifer) yüzeyde mostra vermekte, doğrultu atımlı bir fay zonu ve çok sayıda makaslama kırıkları tarafından da kesilmekte ve akifer içindeki jeotermal sular 50 °C'den düşük sıcaklığa sahip kaynaklar şeklinde boşalmaktadır.

3.3.2. Porozite ve Permeabilite

Önceki yıllarda Okan (2004) tarafından, Kolan (Karakoçan) sıcak ve mineralli su kaynağı'nın hidrojeokimyasal incelemesi adlı tez çalışmasında, Pertek jeotermal alanında da yüzeylenen aynı formasyonların porozite ve permeabiliteleri tayin edilmiştir. Okan (2004), söz formasyonların porozitelerini sıkılama, hacim ve ağırlık ölçümü yöntemleriyle, permeabilitelerini ise Schoeller (1962)'in tabanı delikli kutu metoduyla ölçmüştür. Keban Metamorfileri'nin örtü kayası konumundaki Kırkgeçit Formasyonu'nun marnları ile Karabakır Formasyonu'nun tüfit, tuf ve kumtaşlarında porozite deneylerini yaparak toplam porozite değerlerini hesaplamıştır. Buna göre tabanı delikli kutuyla ölçülen permeabilite değerlerinin; Kırkgeçit Formasyonu'nun marnlarında $5,78 \times 10^{-5}$ - $1,5 \times 10^{-4}$ m/s aralığında, Karabakır Formasyonu'nun tüflerinin $4,99 \times 10^{-5}$ - $1,4 \times 10^{-2}$ m/s aralığında ve Karabakır Formasyonu'nun kumtaşlarının da $3,94 \times 10^{-5}$ - $1,15 \times 10^{-4}$ m/s aralığında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca sıkılama yöntemiyle, Kırkgeçit Formasyonu'nun marnlarının toplam porozite değerinin %13-19 arasında, Karabakır Formasyonu'nun tüflerinin toplam porozite değerinin %20-37 arasında, hacim ve ağırlık ölçümü yöntemiyle de Karabakır

Formasyonu'nun tüfitlerinin toplam porozite değerinin %17, Karabakır Formasyonu'nun kumtaşlarının toplam porozite değerinin ise %22 olduğunu ifade etmiştir. Pertek jeotermal alanındaki akifer birimi oluşturan Keban Metamorfikleri'nin örtü kayası konumundaki Kırkgeçit ve Karabakır Formasyonları'nın toplam porozite değerlerinin düşük olduğu görülmektedir.

3.3.3. Su Noktaları

Pertek jeotermal alanında bulunan sıcak suların kökenine bir yaklaşım sağlamak amacıyla aynı alandaki soğuk su kaynakları, dere suyu ve bu alandan beslenen göl sularından kimyasal analiz için örneklemeler yapılmıştır. Bu amaçla çalışma alanında hidrojeolojik gözlemlerin yapıldığı su noktası türleri 4 grupta toplanarak incelenmiştir. Bunlar;

-Sıcak su noktaları (J-1, J-2, J-3, H-1 ve A-1 nolu sıcak su kaynakları ve S-1 nolu sıcak su sondaj kuyusu),

-Soğuk su kaynakları (K-1, K-2 nolu soğuk kaynak ve SM-1 nolu mineralli su kaynağı),

-Dere suyu (D-1),

-Göl suları (G-1, G-2, G-3 ve G-4)'dır.

Ölçüm yapılan su noktalarına ait her grubun fizikokimyasal özelliklerinin farklı olmasından dolayı yukarıda belirtilen su noktalarına ait arazi çalışmaları ve temel fiziksel parametreler aşağıda ayrı başlıklar altında incelenmiştir. Bu noktalardan alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları ve yorumları tartışma ve sonuçlar bölümü'nde verilmiştir.

3.3.3.1. Sıcak Su Kaynakları

İncelenen sıcak su kaynaklarından ikisi, Singeç Çayı sağ sahilinde dere yatağı yanındaki alüvyonel düzlükte bulunan, UTM koordinatları; 522304D-4307216K ve 522357D-4307111K olan J-1 ve J-2, Keban Metamorfiklerinin kristalize kireçtaşlarındaki kırık zonlarının değişik noktalarından çıkmaktadır. J-2 no'lu sıcak su kaynağının sıcaklık değeri 19,6-25,5 °C, pH değeri 7,47-7,55 ve EC değeri 816-1261 µS arasındadır. Böylece arazide yerinde ölçülen fiziksel parametrelerin sonucuna dayanarak J-2 no'lu sıcak su

kaynağına çok fazla miktarda soğuk suyun karıştığı düşünülmektedir. Aynı doğrultu boyunca yüzeye çıkan J-1 no'lu sıcak su kaynağının sıcaklık değeri 30,7-33,9 °C, pH değerleri 6,27-6,18 ve EC değerleri 1992-2140 µS arasındadır (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2).

Sıcak sular, düşey yükselimi sırasında alüvyon akiferdeki soğuk su ile karşılaştığında sıcaklığında düşme meydana gelmektedir.



Şekil 3.12. Singeç Çayı sağ sahili Keban Metamorfitleri'nden çıkan sıcak su kaynağı (J-1)



Şekil 3.13. Singeç Çayı sağ sahili Keban Metamorfitleri'nden çıkan sıcak su kaynağı (J-2)

İnceleme alanında UTM koordinatları; 521687D-4306628K ve 522085D-4307216K olan iki adet sıcak su sondajı (S-1 ve S-2) açılmış olup, S-1 no'lu sondaj (Pertek

Termal Sağlık Tur. İnş. ve Tic. AŞ. 2007 tarafından açılan ve PT-1 olarak isimlendirilen sıcak su kuyusu) Singeç Vadisi'nin güneyinde bulunmaktadır. Pertek Termal Otele sıcak su bu sondajdan sağlanmaktadır. Bu sıcak su sondajının pH değeri 6,27-6,92, sıcaklık değeri 38,2-36,5 °C ve EC değeri 2360-2300 µS arasındadır. Diğer sıcak su sondajı (S-2) S-1 nolu sondajın hemen 50 m yakınında bulunmaktadır. Örneklemelerde aktif olmadığı için örneklemeler yapılamamıştır. Singeç Çayı yatağı sol sahilde bulunan J-3 ise (Pertek Termal Sağlık Tur. İnş. ve Tic. AŞ., (2007) tarafından kaptajlanarak sularının açık havuza verildiği Kaptaj-1 ve Kaptaj-2 olarak isimlendirilen sıcak su kaynakları) açık havuzdan örneklemenin yapıldığı sıcak su kaynağıdır. Bu açık havuz yazın yöre halkı tarafından kullanılmaktadır. Bu kaynağın açık havuzda ölçülen pH değeri 6.19-6,25, sıcaklık değeri 34,2-33,9 °C ve EC değeri 2200-2260 µS arasındadır (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2).



Şekil 3.14. Singeç Vadisi güneyinde bulunan ve Pertek termal otele suyu verilen sıcak su sondajı (S-1)



Şekil 3.15. Singeç Çayı yatağı sol sahildeki açık havuzaaktarılan sıcak su kaynağı (J-3)

İnceleme alanında bulunan diğer sıcak su kaynaklarından birisi S-1 no'lu sıcak su sondajından doğrudan Pertek Termal Otele verilen UTM koordinatı; 525539D-4299651K olan havuz suyu (H-1) diğeri ise bu havuz suyundan dışarı verilen UTM koordinatı; 525387D-4299666K olan atık sudur (A-1). Havuz suyunun (H-1) pH değeri 6,42-6,43, sıcaklık değeri 36,5-36,7 °C ve EC değeri 2330-2400 μ S arasındadır. Havuzdan çıkan atık suyun (A-1) pH değeri 7,24-7,38, sıcaklık değeri 31,3-32,3 °C ve EC değeri 2220-2210 μ S arasındadır (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2).



Şekil 3.16. Pertek Termal havuzdan dışarı verilen sıcak atık su (A-1)

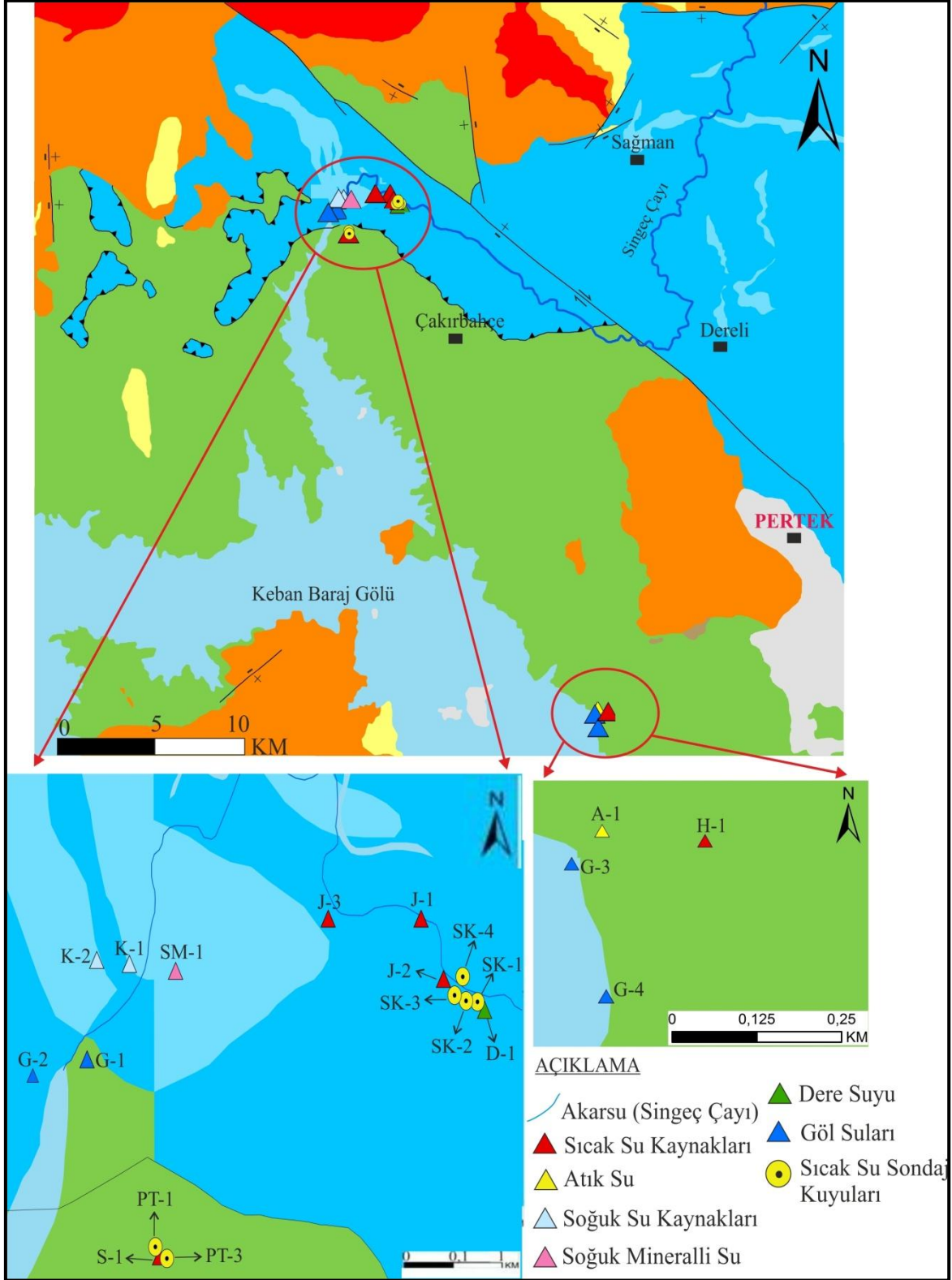


Şekil 3.17. S-1 no'lu sıcak su sondajından Pertek Termal Otele verilen havuz suyu

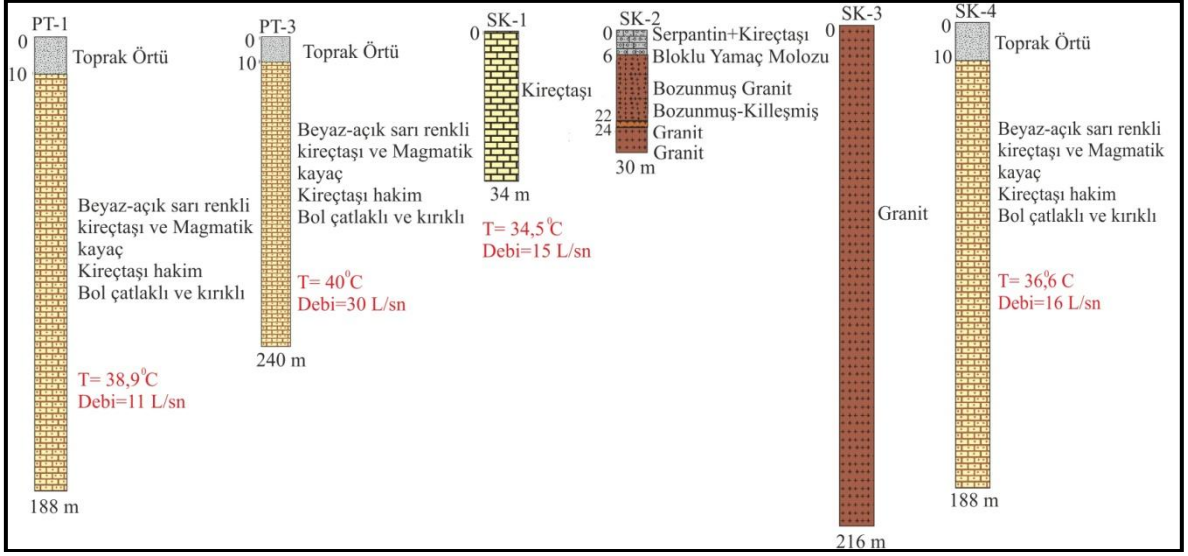
Önceki yıllarda sıcak su kaynakları çevresinde açılan, sondaj kuyularının Google Earth görüntüsü Şekil 3.18'de, sıcak su sondaj kuyuları Şekil 3.19'da ve sıcak su sondaj kuyularına ait loglar Şekil 3.20'de verilmiştir. Kuyu loglarına göre yüzeyden derine doğru geçilen litolojiler genel olarak Keban Metamorfikleri'nden oluşur.



Şekil 3.18. Önceki yıllarda Pertek jeotermal alanında açılan sıcak su sondaj kuyularının Google Earth görüntüsü



Şekil 3.19. Pertek jeotermal alanında açılmış sıcak su sondaj kuyuları



Şekil 3.20. Pertek jeotermal alanında açılmış sıcak su sondaj kuyularına ait loglar (Sondaj logları Şerefoğlu İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti., 2007'den faydalanılarak hazırlanmıştır).

PT-1 ve PT-3 sıcak su sondaj kuyuları, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da görüldüğü gibi birbirine çok yakın yerlerde açılmıştır. 188 m derinlikli PT-1 sıcak su sondajının yüzeyde ölçülen sıcaklığı 38,9 °C ve debisi 11 L/sn'dir. 240 m derinlikli PT-3 sıcak su sondajının yüzeyde ölçülen sıcaklığı 40 °C ve debisi 30 L/sn'dir. Her iki sondaj kuyusunda, 10 m derinlikten sonra kireçtaşı-magmatik kayaç olarak devam etmiştir. Sondaj boyunca devam eden birim, beyaz-açık sarı renkli kireçtaşı ve magmatik kayaç parçalarına sahip olmak üzere bol kırıklı ve çatlaklı bir yapıdadır.

34 m derinlikli SK-1 sıcak su sondajının yüzeyde ölçülen sıcaklığı 34 °C ve debi 15 L/sn verilmiştir. Kuyu derinliği boyunca kireçtaşı geçilmiştir. 30 m derinlikli SK-2 sondajında magmatik kaya devam ettiğinden kuyu terk edilmiştir. 216 m derinlikli SK-3 sondajı SK-2 sondajının devamı niteliğinde açılmış ve yine magmatik kaya devam ettiğinden kuyu terk edilmiştir. SK-4 sondajı 188 m derinlikli sıcaklığı yüzeyde ölçülen sıcaklığı 38,9 °C ve 11 L/sn debiye sahiptir. Kuyu 10 m derinlikten sonra kireçtaşı-magmatik kayaç olarak devam etmiştir. Sondaj boyunca devam eden birim beyaz-açık sarı renkli kireçtaşı ve magmatik kayaç parçalarına sahip olmak üzere bol kırıklı ve çatlaklı bir yapıdadır. Kuyu 188 m'de sonlandırılmıştır.

İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının çevresinde yapılan sondajların loglarına ve arazi gözlemlerine göre, bölgedeki kayaçlar jeotermal sistemin unsurları olarak ele alındığında Keban Metamorfileri'ne ait kristalize kireçtaşları ve mermerlerin sistemin hazne kayacı olduğu görülmektedir.

3.3.3.2. Soğuk Su Kaynakları

İncelenen soğuk sular Singeç Vadisi'nin GB'sında Keban Metamorfitlerinin yamaç molozundan çıkmaktadır. İnce plastik borular ile karayolu kenarına getirilen ve UTM koordinatları; 521616D-4307137K ve 521539D-4307144K olan kaynak sular (K-1 ve K-2) ve Singeç Çayı üzerindeki karayolu köprüsü yanı, Keban Metamorfitleri'nden yüzeye çıkanve UTM koordinatı; 521725D-4307125K olan soğuk mineralli su (SM-1) kaynağıdır. Soğuk su kaynaklarında, kaynak başında, temel fiziko kimyasal özellikler ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Soğuk mineralli su kaynağı (SM-1)

Soğuk su kaynaklarının ve soğuk mineralli su kaynağının akiferini Keban Metamorfitleri oluşturmaktadır. İncelenen soğuk kaynak sularının sıcaklık değerleri 19,5-22 °C, pH değerleri, 7,52-8,31 ve EC değerleri 402-472 arasındadır. Soğuk mineralli su kaynağının sıcaklık değeri, 19,9-21,8 °C, pH değeri, 6,34-6,5 arasında ve EC değeri ise 1983-2020 arasında değişmektedir (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2).

3.3.3.3. Dere Suyu

İnceleme alanında bulunan, Singeç Çayı memba kısmından alınan ve UTM koordinatı; 522454 D-4307057K olan dere suyu (D-1)'nin pH değeri 8,03-7,65, sıcaklık değeri 20-18 °C ve EC değeri 491-596 μ S arasındadır (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2).

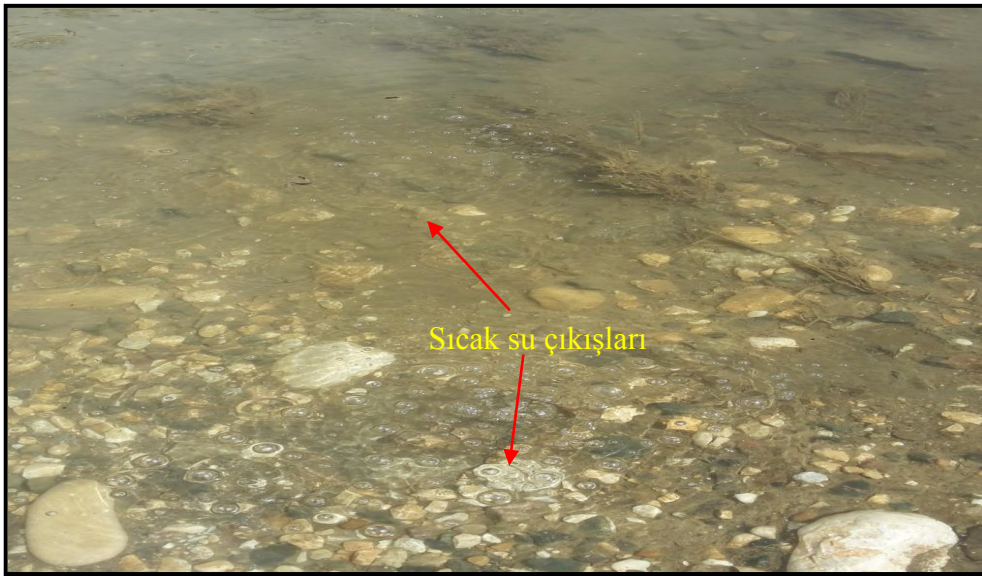


Şekil 3.22. Singeç Çayı vadisi D-1no'lu örnek lokasyonu

3.3.3.4. Göl Suları

Pertek ilçesinde bulunan Keban Baraj gölünün bazı noktalarından jeotermal suların göle karıştığı noktalardan ve jeotermal su etkisinin olmadığı noktadaki göl suyunun kimyasal ve fiziksel özelliklerini incelemek üzere su örnekleri alınmıştır. İnceleme alanındaki UTM koordinatları; 521516D-4306971K, 521388D-4306943K, 525342D-4299617K ve 525393D-4299419K olan göl sularından (G-1, G-2, G-3 ve G-4) alınan su örneklerinin pH değeri 6,79-8,62, sıcaklık değeri 21,7-29,2 °C ve EC değeri 342-1873 μ S arasındadır (Tablo 4.1 ve Tablo 4.2). G-1 no'lu örnek göl alanı içinde kaynayan jeotermal suyun göle karıştığı yeri temsil etmektedir (Şekil 3.23). G-1 ve G-2 no'lu örnek alım noktalarının arasında bulunan sıcak su çıkışları Haziran döneminde göl seviyesinin yükselmesi nedeniyle su altında kalmıştır. Ekim ayında göl suyu seviyesinin düşmesi nedeniyle sıcak su çıkışları yüzeyde gözlenmiştir (Şekil 3.24). G-2 no'lu örnek alım

noktası G-1 no'lu alanın batısında bulunmaktadır ve bu noktadaki ölçüm doğrudan jeotermal su karışımının olmadığı normal göl suyundan yapılmış (Şekil 3.25). G-3 no'lu örneğin alındığı nokta Pertek Termal Otelin havuzundan dışarı verilen atık suyun göl suyuna karıştığı yerdeki göl suyunu temsil etmektedir (Şekil 3.26). Kurak dönemde göl su seviyesi düştüğü ve atık su deşarj debisi azaldığı için atık suyun göl suyuna karıştığı alanda traverten oluşumları gözlenmiştir (Şekil 3.27). G-4 no'lu örneğin alım noktası ise Pertek Termal Otel ile Pertek feribot iskelesi arasında bulunan normal göl suyunu temsil etmektedir (Şekil 3.28).



Şekil 3.23. G-1 no'lu örnek alım noktası ve göl alanı içindeki sıcak su çıkışları



Şekil 3.24. Ekim ayında göl seviyesinin düşmesinden sonra G-1 ve G-2 no'lu örnek alım noktaları arasındaki yüzeyde görülen sıcak su çıkışları



Şekil 3.25. G-2 no'lu örnek alım noktası



Şekil 3.26. G-3 no'lu örnek alım noktası, Pertek Termal havuz atık suyunun göl suyuna karıştığı yer



Şekil 3.27. Pertek Termal havuz atık suyun göl suyuna deşarj edildiği alanda atık sudan çökelen traverten oluşumu



Şekil 3.28. G-4no'lu örnek alım noktası

3.4. Hidrojeokimya

Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayaların kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltı suyunun akım hızına, sıcaklığa, ortamın basıncına, iyon etkinliği ve ortak iyon etkinliğine, ortamın pH'ına, elektriksel iletkenliğe ve diğer maddelerin çözünme oranına bağlı olarak değişir ve bu sular geçtikleri kayaların minerallerini kimyasal bozunuma uğratarak iyonlarca zenginleşirler. Yeraltı sularında bulunan başlıca iyonlar Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^- 'dir. Yeraltı sularının kimyasal analizleri bu suların kullanım alanlarını ve kullanılabilme özelliklerini belirlemede büyük önem taşır. Yeraltı sularında mevsim, yağış ve başka etmenler sebebiyle, yıl içinde değişiklikler gözlenir (Yüksel, 2007).

Literatürde Pertek jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının kimyasal içeriklerini belirlemeye yönelik Pertek Termal A.Ş. tarafından farklı dönemlerde yapılan çalışmalar dışında herhangi bir bilimsel çalışma bulunmamaktadır. Bu eksikliği gidermek için bu tez kapsamında alandaki sıcak ve soğuk sular detaylı olarak incelenmiş ve hidrojeokimyasal özellikleri ortaya konmuştur.

Pertek jeotermal alanındaki sıcak su kaynakları, sıcak su sondajları, soğuk su kaynakları, Termal havuzun atık sıcak suyu ve Keban Baraj Gölü'nden alınan su örneklerinin kimyasal analizleri çalışma süresince suların en alçak ve en yüksek olduğu dönemlerde yapılmıştır. Bu amaçla, çalışma alanındaki yeraltı sularının kimyasal analiz sonuçları AquaChem 3.7 (Calmbach, 1997) ve PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) türleştirme programlarında değerlendirilerek, incelenen suların kalitesi ve kullanım alanlarının belirlenmesi, su-kayaç ilişkileri, termal ve mineralli suların genel kullanılabilme özellikleri, rezervuar sıcaklıklarının tahmini, akifer kimyası ve mineral doygunlukları belirlenmiştir.

Bu çalışma sırasında sıcak ve soğuk sularda yapılan arazi ölçümleri ve laboratuvar analizlerine ait sonuçları, ölçülen elementler ve bunların ölçüm hassasiyetleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir. Suların kullanım amacına göre kalitesinin belirlenmesi için, sularda bulunan başlıca anyonlar (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2}) ve katyonlar (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}) Schoeller, Piper, ABD tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları üzerinde değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Tablo 3.1. İnceleme alanı içindeki suların kimyasal analiz sonuçları (03/06/2015)

Örnek Noktaları	Sıcak Sular				Termal Havuz Atık Su	Termal Havuz Suyu	Soğuk Mineralli Su	Dere Suyu	Soğuk Su Kaynakları		Göl Suları			
	Kaynaklar		Sondaj	A-1					H-1	K-1	K-2	G-1	G-2	G-3
pH	6,18	7,55	6,25	6,27	7,38	6,42	6,34	8,03	7,66	8,31	7,12	8,2	7,72	8,62
T (°C)	33,9	25,5	33,9	38,2	31,3	36,7	21,8	20,01	19,5	21,4	23,5	25	29,2	22,6
Eh (mV)	50	-31	46	45	-20	36	39	-52	-39	-70	-5	-66	-33	-89
EC (µS/cm)	1992	816	2260	2300	2220	2330	1983	491	402	452	431	356	1873	342
Na ⁺ (mg/L)	40,79	18,99	46,49	44,3	44,85	43,3	27,71	6,01	7,36	8,53	19,71	18,54	44,33	20,68
K ⁺ (mg/L)	12,74	4,77	14,18	13,3	12,61	12,99	11,23	1,61	6,52	8,42	2,65	2,54	12,88	3,11
Ca ²⁺ (mg/L)	386,5	106,97	409,57	402,8	390,6	408,3	297,2	83,3	58,06	53,49	46,46	46,2	368,89	47,05
Mg ²⁺ (mg/L)	64,88	44,59	70,27	83,49	80,53	82,38	130,5	14,35	16,66	24,23	14,02	14,19	80,7	14,8
Cl (mg/L)	32	5	37	35	35	33	18	2	2	2	19	18	34	19
SO ₄ (mg/L)	65,24	74,26	74,26	75,9	63,61	74,26	58,69	50,49	43,93	52,95	56,23	49,7	72,62	57,05
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	1690	610	1770	1840	1205	1940	960	350	290	365	208	201	1093	209
NH ₃ -N (mg/L)	0,6	0,46	0,55	0,48	0,21	0,77	0,58	0,22	0,39	0,38	0,61	0,51	1,1	0,6
NO ₂ (mg/L)	0,002	0,0006	0,0002	0,0033	0,01	0,015	0,002	0,003	0,0013	0,0002	0,002	0,0002	0,014	0,002
NO ₃ (mg/L)	0,17	1,36	0,14	0,16	0,32	0,19	0,36	0,55	1,49	1,04	0,33	0,22	0,24	0,3
Ortofosfat (mg/L)	1,18	1,42	1,42	1,42	1,18	1,18	1,18	1,42	1,42	1,65	1,42	1,42	1,18	1,65
Si (mg/L)	30,58	12,04	35,11	31,49	31,72	32,30	23,15	5,42	14,77	13,79	1,84	1,92	31,27	1,71
SiO ₂ (mg/L)	64,19	25,67	74,88	66,32	66,32	68,46	49,21	10,70	29,95	27,81	2,14	2,14	66,32	2,14
Li (mg/L)	0,19	0,016	0,26	0,25	0,22	0,25	0,09	0,006	0,006	0,009	0,011	0,009	0,21	0,018
% Na	7,83	9,48	8,29	7,73	7,96	7,49	5,47	5,29	10,25	11,17	21,04	20,14	8,22	21,49
SAR	0,29	0,37	0,31	0,28	0,3	0,27	0,19	0,19	0,3	0,32	0,98	0,92	0,31	1,01
Fransız sertliği	123,7	45,35	131,7	135,5	131,2	136,5	128,7	26,85	21,45	23,45	17,45	17,45	125,85	17,9
Σkatyon (meq/L)	26,83	10,02	28,72	29,37	28,51	29,5	27,22	5,67	4,78	5,28	4,42	4,37	27,43	4,56
Σanyon (meq/L)	29,97	11,69	31,63	32,74	22,08	34,29	17,47	6,85	5,73	7,14	5,12	4,85	20,39	5,16
TDS (mg/L)	600	200	700	700	600	1600	600	100	200	200	100	100	500	100
TKM (mg/L)	1300	500	1400	1300	1400	1100	1300	300	100	100	300	200	1000	200
TUKM (mg/L)	200	200	200	200	200	200	300	100	100	100	100	100	100	100

Tablo 3.2. İnceleme alanı içindeki suların kimyasal analiz sonuçları (09/10/2015)

Örnek Noktaları	Sıcak Sular				Termal Havuz Atık Su	Termal Havuz Suyu	Soğuk Mineralli Su	Dere Suyu	Soğuk Su Kaynakları		Göl Suları			
	Kaynaklar		Sondaj	A-1					H-1	SM-1	D-1	K-1	K-2	G-1
pH	6,27	7,47	6,19	6,92	7,24	6,43	6,5	7,65	7,52	8,22	6,79	7,99	7,88	8,35
T (°C)	30,7	19,6	34,2	36,5	32,3	36,5	19,9	17,8	20,8	22	21,7	21,8	23,6	23,3
Eh (mV)	47	-30	46	2	-17	32	26	-40	-32	-73	10	-59	-54	-81
EC (µS/cm)	2140	1261	2200	2360	2210	2400	2020	596	448	472	493	380	483	361
Na ⁺ (mg/L)	40,69	20,25	47,34	42,69	45,3	43,11	24,98	4,86	6,73	7,53	18,52	17,53	21,36	18,35
K ⁺ (mg/L)	11,58	5,58	13,28	11,64	11,58	11,58	9,92	2,07	5,66	7,38	2,73	2,28	3,39	2,32
Ca ²⁺ (mg/L)	389,7	182,2	419,64	400,61	366,2	397,91	295,39	103,2	57,04	52,19	56,96	38,29	42,73	32,71
Mg ²⁺ (mg/L)	60,87	62,84	67,1	80,55	78,78	80,57	123,26	17,61	18,4	27,33	17,57	14,64	21,19	13,99
Cl (mg/L)	25	8	31	28	29	30	14	<1	<1	<1	16	16	20	16
SO ₄ (mg/L)	63,06	73,68	94,32	65,61	78,84	84,32	74,97	32,71	44,65	56,58	42,06	41,1	55,61	44,97
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	1210	620	1360	1430	750	1180	1100	410	290	290	290	210	220	140
NH ₃ -N (mg/L)	0,08	0,07	0,15	0,07	0,07	0,08	0,06	0,18	0,07	0,05	0,02	0,1	0,06	0,37
NO ₂ (mg/L)	0,004	0,002	0,001	0,005	0,016	0,016	0,003	0,013	0,003	0,002	0,004	0,003	0,004	0,003
NO ₃ (mg/L)	0,22	1,12	0,15	0,17	0,27	0,12	0,46	1,11	2,05	0,81	0,21	0,23	0,38	11,54
Ortofosfat (mg/L)	0,57	0,01	0,01	0,43	0,99	0,43	0,01	0,85	0,99	0,99	0,29	0,29	0,57	0,15
Si (mg/L)	32,70	17,05	38,23	33,40	33,15	32,82	24,82	6,28	17,69	14,96	4,21	2,67	5,55	2,86
SiO ₂ (mg/L)	68,46	36,37	81,30	70,60	70,60	68,46	51,34	12,84	36,37	29,95	8,56	4,28	10,70	4,28
Li (mg/L)	0,16	0,033	0,19	0,18	0,17	0,17	0,08	0,007	0,006	0,008	0,015	0,009	0,018	0,008
% Na	7,78	6,64	8,28	7,47	8,36	7,54	5,08	3,74	9,13	9,61	16,96	20,76	20,69	23,43
SAR	0,29	0,25	0,31	0,28	0,32	0,28	0,17	0,13	0,27	0,27	0,75	0,97	0,95	1,14
Fransız sertliği	122,8	71,75	132,85	133,7	124,4	133,05	125,2	33,15	219	24,45	21,55	15,65	19,55	14,05
Σkatyon (meq/L)	26,62	15,37	28,97	28,9	27,14	28,78	26,38	6,89	4,82	5,41	5,19	3,95	4,93	3,67
Σanyon (meq/L)	21,87	11,93	25,15	16,75	14,77	24,92	19,99	7,42	5,71	5,95	6,09	4,76	5,34	3,7
TDS (mg/L)	1300	600	1400	1100	900	1300	1100	400	300	400	300	300	300	300
TKM (mg/L)	1000	500	1100	1300	1500	1700	1400	900	300	0	200	200	300	200
TUKM (mg/L)	100	100	200	200	300	200	300	100	100	100	100	100	100	200

3.4.1. Suların Fiziksel Özellikleri

3.4.1.1. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)

Suyun asitliği ve bazlılığının bir belirteci olan pH ($\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$), hidrojeokimyasal süreçlerde çeşitli faktörlere bağlı olarak değişen, birçok elementin ve mineralin suda bulunuş şeklini belirleyen önemli bir parametredir. Doğal yeraltı sularının pH değeri 6,0-8,5 arasında değişir (Hem 1971). Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini artırırken, serbest mineral asitleri ve karbonik asit suyun asit özelliğini artırmaktadır (Hem, 1985). Suların aşındırıcı (düşük pH), ve kabuk bağlayıcı (yüksek pH) özellikleri suların pH değerlerinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ise atmosferdeki CO_2 gazının fiziksel çözünme ile sulara geçmesi ve hidratasyon sonucunda karbonik aside dönüşerek sulara çözücü aşındırıcı bir özellik kazandırmasıdır (Hem, 1985).

TS-266 tarafından içme suyunda pH değeri $6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$, WHO ve EPA tarafından içme suyunda pH değeri $6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$ olarak belirtmiştir.

Tablo 3.3. Suların pH'a göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991a).

pH	Sınıfı
> 8	Bazik
8,5 – 7	bazik karakterli
7	Nötr
7-4,5	asit karakterli
< 4,5	Asidik

Çalışma alanında ölçülen pH değerleri sıcak sularda ölçüm yapılan dönemlerin tamamına yakınında 6,18-7,55, soğuk su kaynaklarında 7,52-8,31, soğuk mineralli suda 6,34-6,5, dere suyunda 7,65-8,03 ve göl sularında 6,79-8,62 aralığındadır (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2).

3.4.1.2. Suların Sıcaklıkları (T)

Suların sıcaklığı su tablasının derinliğine, coğrafik enleme, yüksekliğe ve etkin volkanizmaya bağlıdır. Çok soğuk sular (+5'e kadar), soğuk sular (+10'a kadar), çok az ılık sular (+18'e kadar), az ılık sular (+25'e kadar), ılık sular (+37'ye kadar) ve + 40'dan fazla olan sular, sıcak sular diye gruplandırılır (Şahinci, 1991a). Koçak (2002b) tarafından, jeotermal kaynağın başlangıç sıcaklık değerine ve ülkemizdeki kullanım olanakları göz önünde tutularak yapılmış sınıflamaya göre jeotermal alanlar; düşük entalpili alanlar (20-70 °C), orta entalpili alanlar (70-150 °C) ve yüksek entalpili alanlar (>150 °C) olarak üç grupta toplanmaktadır.

İncelenen termal suların sıcaklıkları 19,6-38,2 °C arasında değişmekte olup “ılık sular” ve düşük entalpili alanları sınıfına girmektedirler. Soğuk su kaynaklarının sıcaklıkları, 20-22 °C, soğuk mineralli su kaynağının sıcaklığı 20-21 °C, dere suyunun sıcaklığı 18-20 °C ve göl sularının sıcaklıkları 22-29 °C arasındadır (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2).

3.4.1.3. Suların Elektriksel İletkenliği (EC)

Özgül elektriksel iletkenlik, +25 °C'deki 1 cm³ suyun iletkenliğidir. Suyun özgül iletkenliği iyon cinsine, derişime ve sıcaklığa bağlıdır. Saf suyun özgül elektriksel iletkenliği 0,5-5 micromho/cm, içme sularının elektriksel iletkenliği ise 30-2000 micromho/cm arasında değişmektedir. Özgül elektriksel iletkenlik sulama ve içme sularının sınıflandırılmasında bir ölçüt olarak kullanılmaktadır (Ala, 2001).

Suların EC'leri, suda toplam çözünmüş madde (TDS) miktarına, suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yola, temasta oldukları kayaçların cinsine, çözünürlüklerine, iklime, bölgedeki hidrolojik koşullara ve suyun sıcaklığına bağlıdır. TDS ile artış gösteren EC değeri, sudaki toplam iyon derişiminin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Hem, 1985).

İnceleme alanındaki suların elektriksel iletkenlikleri örnekleme yapılırken aletsel olarak ölçülmüş olup sıcak suların elektiriksel iletkenliği 816-2400 µS/cm, soğuk su kaynaklarının elektiriksel iletkenliği 402-472 µS/cm, soğuk mineralli su kaynağının elektiriksel iletkenliği 1983-2020 µS/cm, dere suyunun elektiriksel iletkenliği 491-596 µS/cm ve göl sularının elektiriksel iletkenliği 356-1873 µS/cm arasındadır (Tablo 3.1 ve

Tablo 3.2). TS-266, WHO ve EPA'ya göre Pertek jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk sular ile göl sularının EC değerleri uygun sınırlar içerisindedir (Tablo 3.7). Sıcak su kaynaklarının (J-1, J-2, J-3 ve S-1) EC ve sıcaklıkları değerlendirildiğinde derin bir dolaşım izlediği söylenebilir.

3.4.1.4. Redoks Potansiyeli (Eh)

Bir çözeltinin yükseltgenme ve indirgenme özelliklerini belirleyen Eh, gerçekte ortamda bulunan element ve iyonların yük değerliklerinin değişimi ile alakalı redoks tepkimeleri sonucunda oluşan voltajın değeridir. Yeraltı suları normal koşullarda oksijence zengin yağış sularıyla beslendiğinden Eh değerleri yüksektir. Bu miktar yüzeyden derine indikçe, zemindeki organik madde miktarı ve maddenin bulunduğu derinlik, zeminin geçirgenliği, yağışların sıklığı gibi parametrelere bağlı olarak azalır (Şahinci, 1991; Gray, 1994). Çalışma alanında ölçülen Eh değerleri sıcak sularda ölçüm yapılan dönemlerin tamamına yakınında -31 ile 50 mV, soğuk su kaynaklarının Eh değeri -73 ile -32 mV, soğuk mineralli su kaynağının Eh değeri 26-39 mV, dere suyunun Eh değeri, -52 ile -40 mV ve göl sularında -89 ile 10 mV aralığındadır. (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2). TS-266, WHO ve EPA tarafından içilebilir sulara Eh için verilen bir aralık yoktur.

3.4.1.5. Sertlik

Sertlik, suda çözünmüş halde bulunan Ca ve Mg bileşiklerinden ileri gelen bir özellik olup bu bileşiklerin çoğu Ca ve Mg'un meydana getirdikleri bikarbonatlar, sülfatlar, klorürler ve nitratlardır. Ca ve Mg bikarbonatlardan kaynaklanan sertlik "geçici sertlik" olup ısıtma ya da suya kimyasal madde katılarak giderilir. Kalıcı sertlik Ca ve Mg'un bikarbonat dışındaki tuzlarından ileri gelir ve ısıtmakla giderilemez. Geçici sertlik ve kalıcı sertliğin toplamından oluşan toplam sertlik, $[5x(rCa^{++} + rMg^{++})]$ bağıntısıyla ($r = \text{mek/L}$) ifade edilir. Sertlik için çeşitli sınıflandırmalar ve hesaplamalar bulunmakla birlikte bu çalışmada Fransız sertliği (Fr) kullanılmıştır. Fransız sertliğinin su sınıfları ve sertlik aralıkları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Suların sertliklerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991a)

Fransız sertliği	0,0 – 7,2	7,2 – 14,5	14,5 – 21,5	21,5 – 32,5	32,5 – 54,0	> 54,0
Su sınıfı	Çok	Yumuşak	Az sert	Oldukça sert	Sert	Çok sert

Haziran (2015) ayında sıcak suların sertlik değerleri 71,75-133,05 soğuk su kaynaklarının sertlik değeri 21,45, soğuk mineralli su kaynağının sertlik değeri, 125,2-128,7, dere suyunun sertlik değeri, 26,85 ve göl sularının sertlik değeri 17,45-125,85 arasında, Ekim (2015) ayında sıcak sularda 71,75-133,7, soğuk su kaynaklarının sertlik değeri, 24,45, dere suyunun sertlik değeri, 33,15 ve göl sularında 14,05-21,55 arasında değişim göstermektedir (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2). Her iki dönemin sertlik değerleri kıyaslandığında sıcak sular her iki dönemde aynı özellik gösterip “çok sert sular” sınıfına; soğuk sular “sert sular” sınıfına ve göl suları “az sert sular” sınıfına girmektedir. Bu sonuçlar sahada hakim akiferlerin kireçtaşı ve mermer olmasıyla örtüşmektedir. Her iki dönemdeki sertlikler kıyaslandığında soğuk su grubunda yer alan SM-1 nolu örnek de “çok sert sular” sınıfına girmektedir. Haziran ayında yapılan analiz sonuçlarına göre G-3 no’lu örnek bu dönemde “çok sert sular” sınıfına girmektedir (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2). Bu durum, yukarıda da belirtildiği gibi sulardaki sertliğin oluşmasında etkili olan Ca ve Mg değerlerinin yağışlı dönemde artmış olmasından kaynaklanmaktadır. Suların sertlik derecelerindeki değişim yağışlara ve suların kayalarla etkileşimine bağlı olabilir. Tablo 3.7’deki içme suyu standartlarına bakıldığında TS-266 ve EPA’nın sertlik için her hangi bir limit değer vermediği, WHO’nun ise 500 mg/l değerini aşmadığı görülmektedir.

3.4.2. Sularda Bulunan İyonlar ve Kökenleri

3.4.2.1. Katyonlar

Kalsiyum (Ca):

Ca^{+2} yeraltı sularına kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, fluorit gibi silikatlı olmayan minerallerin ve albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerdeki kalsiyumun çözünmesi ile karışabilir. Suda H^+ iyonunun bulunması Ca^{+2} ’un çözünmesini kolaylaştırır (Erguvanlı ve diğ., 1973).

Minerallerin çözünürlüğünü etkileyen faktörler jeotermal akışkanlardaki Ca^{+2} seviyesini etkiler. Özellikle CO_2 basıncı önemlidir. Sularda kaynama sırasında CO_2 miktarının azalışı, kalsit çökelimini ifade etmektedir. Bu nedenle yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde kalsiyum içeriği genelde düşük değerlerdedir (Yurttaş, 2008).

Pertek jeotermal alanındaki sularda tespit edilen Ca'un kaynağı Keban Metamorfitleri'ne ait kristalize kireçtaşı ve mermerlerdir.

Haziran-2015 yani yağışlı dönemi izleyen periyotdaki kimyasal analiz sonuçlarına göre, sıcak suların Ca^{+2} değeri 106,97-409,57 mg/l, soğuk su kaynaklarının Ca^{+2} değeri 53,49-58,06 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Ca^{+2} değeri 297,2 mg/l, dere suyunun Ca^{+2} değeri 83,3mg/l ve göl sularının Ca^{+2} değeri 46,20-368,89 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı kurak dönemi izleyen periyotdaki (Ekim-2015) analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Ca^{+2} değeri 182,20-419,64 mg/l, soğuk su kaynaklarının Ca^{+2} değeri 52,19-57,04 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Ca^{+2} değeri 295,39, dere suyunun Ca^{+2} değeri 103,2 mg/l ve göl sularının Ca^{+2} değeri 32,71-56,96 mg/l arasındadır (Tablo 3.2).

Çalışma alanındaki suların, alkalinite ve toplam sertlik parametreleriyle orantılı olarak kalsiyum içerikleride kısmen yüksek çıkmıştır. Kurak ve yağışlı dönemde suların kalsiyum içeriklerinde bariz bir farklılığın olmadığı gözlenmiştir. Ancak kurak dönemde göl seviyesi düştüğü ve atık su deşarj debisi azaldığı için, Pertek Termal Otelin havuzundan dışarı verilen atık suyun göl suyuna karıştığı yerden alınan G-3 no'lu örneğin Ca^{+2} değeride buna paralel olarak azalmıştır. Ayrıca soğuk su karışımının en yüksek olduğu J-2 no'lu örneğin yağışlı dönemde Ca^{+2} içeriğinin belirgin olarak azalması, diğer kaynaklara oranla bu kaynağa yağış sularının etkisinin daha kısa sürede yansıdığını göstermektedir.

Her iki dönemdeki Ca^{+2} değeri dikkate alındığında, TS-266 ve WHO'nun içme suyu standartlarına göre, J-2 no'lu örnek hariç bütün sıcak suların ve soğuk mineralli suyun içme suyu olarak kullanımının uygun olmadığı görülmektedir (Tablo 3.7).

Magnezyum(Mg):

Yeraltı sularında Ca^{+2} dan sonra en fazla rastlanan katyondur. Suda magnezyum iyonlarının bulunuşu, sodyum tehlikesini azaltır. Yeraltı sularında magnezyum değeri 1-40 mg/l arasında değişmektedir ve genelde kalsiyum miktarından daha azdır. Yüksek

konsantrasyondaki Mg^{2+} yüzeye yakın yerel kayalardan Mg^{2+} yıkanmasını (leaching) veya nispeten Mg^{2+} 'ce zengin yeraltı sularıyla ilişkiyi işaret eder (Nicholson, 1993). Sıcak sulardaki daha yüksek magnezyum içerikleri ise sıcak suların soğuk sularla karışımından veya yan kayaç ile reaksiyonundan kaynaklanmaktadır. Doğal sularda 100 ppm'e kadar değişen derişimlerde bulunan Mg, suların sertliğini oluşturan diğer bir iyondur.

Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların Mg değeri 44,59-83,49 mg/l, soğuk su kaynaklarının Mg değeri 16,66-24,23 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Mg değeri 130,5 mg/l, dere suyunun Mg değeri 14,35 mg/l ve göl sularının Mg değeri 14,02-80,70 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Mg değeri 60,87-80,57 mg/l, soğuk su kaynaklarının Mg değeri 18,4-27,33 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Mg değeri 123,26 mg/l, dere suyunun Mg değeri 17,61 mg/l ve göl sularının Mg değeri 14,64-21,19 mg/l arasındadır (Tablo 3.2).

Analiz edilen sulardaki Mg'un kökeni daha çok Keban Metamorfileri içerisindeki dolomitik seviyelerden kaynaklanmış olabilir. Ayrıca asidik magma kökenli kayalarda mika ve amfibollerin, bazik kayalarda olivin ve piroksenlerin altere olması suya Mg iyonunun geçmesini sağlamaktadır (Okan, 2004). Pertek jeotermal alanında asidik bileşime yakın magmatik kayaların (tonalit porfir) varlığında magmatik kayalarla etkileşimde olan sıcak sulara Mg katkısı sağlamış olabilir. İncelenen sıcak ve soğuk mineralli sulardaki en düşük Mg değeri 44,59 mg/l olarak yağışlı dönemde sonunda J-2 no'lu kaynakta, en yüksek değer ise 130,5 mg/l ile soğuk mineralli su kaynağında (SM-1) ölçülmüştür. J-2 no'lu örneğin yağışlı dönemdeki Mg içeriğinin belirgin olarak azalması, yağış sularının etkisinin kısa sürede söz konusu kaynağa yansıdığını ve bu kaynakta soğuk su karışımının yüksek olduğuna işaret etmektedir. Kurak dönemde göl seviyesi düştüğü ve atık su deşarj debisi azaldığı için, Pertek Termal Otelin havuzundan dışarı verilen atık suyun göl suyuna karıştığı yerden alınan G-3 no'lu örneğin de Mg değeri azalmıştır.

İçme suyu standartlarına bakıldığında EPA'nın ve WHO'nun Mg için herhangi bir limit değeri vermediği görülmektedir. Ancak TS-266'nın içme suyu standartlarına bakıldığında, J-2 no'lu örnek hariç, diğer sıcak suların ve soğuk mineralli suyun Mg içeriği açısından içme suyu olarak kullanımının uygun olmadığı görülmektedir (Tablo 3.7).

Sodyum (Na):

Na, periyodik tablodaki alkali metal grubu içinde en yaygın elementtir. Volkanik kayalarda Na, K'a göre biraz daha yaygındır, fakat tortullarda daha azdır. Na çözeltiye karıştıktan sonra durumunu koruma eğilimindedir. Çoğunlukla yeraltı sularına, plajiyoklazların ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışır.

Doğal sularda birincil olarak bulunan Na⁺, alkali metaller (Li, K, Rb, Cs) arasında yer kabuğunda en fazla bulunandır. Evaporitlerin ve sodyum içeren minerallerin yağış suları tarafından kimyasal olarak çözünmesi ile doğal sulara karışırlar. Sodyum jeotermal rezervuar akışkanın ana katyonudur ve konsantrasyonu yaklaşık 200-2000 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların Na değeri 18,99-46,49 mg/l, soğuk su kaynaklarının Na değeri 7,36-8,53 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Na değeri 27,71 mg/l, dere suyunun Na değeri 6,01 mg/l ve göl sularının Na değeri 18,54-44,33 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Na değeri 20,25-47,34 mg/l, soğuk su kaynaklarının Na değeri 6,73-7,53 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Na değeri 24,98 mg/l, dere suyunun Na değeri 4,86 mg/l ve göl sularının Na değeri 17,53-21,36 mg/l arasındadır (Tablo 3.2).

İncelenen tüm sıcak suların Na değeri çok yüksek değildir. Bu durum, sıcak suların Pertek Magmatitleri ile fazla temasta olmadığını, esas dolaşımın Keban Metamorfitleri içerisinde gerçekleştiğini göstermektedir.

İnceleme alanındaki tüm suların Na değerlerinin TS-266, WHO ve EPA'nın belirlediği sınır değerlerine uygun olması sebebiyle bu suların Na açısından içme suyu kullanımına uygun olduğu görülmektedir (Tablo 3.7).

Potasyum (K):

K⁺, yer kabuğunda en çok bulunan elementler sırasında yedincidir. Bununla beraber doğal sularda K⁺ miktarı azdır (Kahvecioğlu ve diğ., 2003; Çeliker, 2008'den). K⁺ ve Na⁺ yer kabuğunda eşit miktarda bulunurken, magmatik kayalarda Na⁺, tortul kayalarda K⁺ egemendir (Şahinci, 1991).

Sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+) konsantrasyonu mineral-akışkan dengesine bağlı olarak, sıcaklıkla kontrol edilir ve jeotermal akışkandaki major katyonlardır. Ancak jeotermal sularda potasyum, sodyuma göre daha düşük seviyelerde bulunur (kabaca Na^+ konsantrasyonunun onda biri kadar K^+). Düşük Na^+/K^+ oranı, yüksek sıcaklıklı zonlar için önemli bir izleyicidir. Yüksek Na^+/K^+ oranları ise daha çok yatay akışın olduğu, sığ yüzey reaksiyonları ve kondüktif soğumayı gösterir (Nicholson, 1993).

Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların K değeri 4,77-14,18 mg/l, soğuk su kaynaklarının K değeri 6,52-8,42 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının K değeri 11,23 mg/l, dere suyunun K değeri 1,61 mg/l ve göl sularının K değeri 2,54-12,88 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların K değeri 5,58-13,28 mg/l, soğuk su kaynaklarının K değeri 5,66-7,38 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının K değeri 9,92 mg/l, dere suyunun K değeri 2,07 mg/l ve göl sularının K değeri 2,28-3,39 mg/l arasındadır (Tablo 3.2).

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de görüldüğü gibi suların Na ve K değerleri karbonatlı kayalardan gelen suların değerlerini temsil etmektedir. Ölçülen en yüksek Na ve K değerleri sıcak sulara aittir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de görüleceği üzere sıcak suların (J-2 hariç) ortalama sıcaklıkları $30\text{ }^\circ\text{C}$ ’nin üzerindedir. Sıcak sular, Bölüm 3.2.1’de belirtildiği gibi Pertek Bindirme Fayı ve bindirme fayını atıma uğratan sağ yönlü doğrultu atımlı fayın Pertek jeotermal alanında oluşturduğu kırık ve çatlaklar üzerinde yer almaktadırlar. Dolayısıyla sıcak sular bu kırık ve çatlaklar boyunca derine inerek ısınır, tekrar yüzeye çıkan derin dolaşımli meteorik kökenli sulardır.

İçme suyu standartlarına bakıldığında EPA’nın ve WHO’nun K için her hangi bir limit değer vermediği ancak TS-266’nın içme suyu standartlarına bakıldığında ise her iki dönemde K değeri dikkate alındığında J-3 ve S-1 no’lu örneğin içme suyu standart değerinin üzerinde olduğundan içme suyu olarak tüketilmesi uygun değildir. J-2 no’lu sıcak su kaynağı, soğuk mineralli su ve soğuk kaynaklarında ise K açısından sorun görülmemektedir (Tablo 3.7).

Silis (SiO_2):

Si, volkanik kayalardan en çok granitlerde ve en az ultramafik kayalarda bulunur (Hitchon ve diğer., 1999). Doğal sularda gözlenen silisin büyük bölümünün, ayrışma

süreçleri sırasında silikat minerallerinin kimyasal bozunumundan kaynaklanması muhtemeldir. Sıcaklık ve pH SiO_2 'in çözünürlüğünü etkileyen nedenlerdir. SiO_2 asit ortamda çok az çözünür. Sıcaklık ve özellikle pH'nın yükselmesi ile SiO_2 'in çözünmesi artar (Şahinci, 1991a).

Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların SiO_2 değeri 25,67-74,88 mg/l, soğuk su kaynaklarının SiO_2 değeri 27,81-29,95 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının SiO_2 değeri 49,21 mg/l, dere suyunun SiO_2 değeri 10,70 mg/l ve göl sularının SiO_2 değeri 2,14-66,32 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların SiO_2 değeri 36,37-81,30 mg/l, soğuk su kaynaklarının SiO_2 değeri 29,95-36,37 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının SiO_2 değeri 51,34 mg/l, dere suyunun SiO_2 değeri 12,84 mg/l ve göl sularının SiO_2 değeri 4,28-10,70 mg/l arasındadır (Tablo 3.2). Yağışlı dönemde atık su deşarj debisinin yüksek olması nedeniyle G-3 no'lu su örneğinin SiO_2 miktarı diğer göl suyu örneklerine göre yüksek değer vermektedir.

İnceleme alanında bulunan sulardaki SiO_2 , Karabakır Formasyonu'na ait volkanik kayaların bünyesindeki silikat minerallerinin kimyasal bozunması ile yeraltı suyuna geçmiş olabilir. TS-266, WHO ve EPA içme suyu standartlarında, SiO_2 miktarı ile ilgili herhangi bir limit değer belirtilmemiştir.

Lityum (Li):

Yeraltı suyunda Li'un iki farklı jeokimyasal özelliği vardır. Birincisi, alkali metal oluşu ve birçok doğal olaylarda Na gibi davranmasıdır. İkinci özelliği ise Li'un, Mg, Fe ve Al'a yakınlığıdır. Doğal sularda Li, Na'a daha yakındır. Kristal içinde ise Mg, Fe ve Al'a benzer. Termal sulardaki Li miktarı ortalama 8,2 ppm kadardır (Şahinci, 1991a). Ancak Pertek jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk yeraltı sularında Li değerleri oldukça düşüktür.

Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların Li değeri 0,016-0,26 mg/l, soğuk su kaynaklarının Li değeri 0,006-0,009 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Li değeri 0,09 mg/l, dere suyunun Li değeri 0,006 mg/l ve göl sularının Li değeri 0,009-0,21 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Li değeri 0,033-0,19 mg/l, soğuk su kaynaklarının Li değeri 0,006-0,008 mg/l, soğuk mineralli su

kaynağının Li değeri 0,08 mg/l, dere suyunun Li değeri 0,007 mg/l ve göl sularının Li değeri 0,008-0,018 mg/l arasındadır (Tablo 3.2).

3.4.2.2. Anyonlar

Klorür (Cl⁻):

Klorür, magmadan HCl, NaCl ve değişik metal klorürler formatında yüzeye taşınır ve yer kabuğunun üst seviyelerinde, asidik magma kayaçlarının kayaç yapıcı mineralleri (mika, amfibol, apatit vb.) içinde zenginleşir. Buna rağmen, kiltaşları, şeyl, marn vb. ince taneli kayaçlar içinde zenginleşen evaporitlerden özellikle Halit (NaCl) minerali klorun asıl kaynağı olarak gösterilebilir. Bu kayaçlarla temas eden sular Cl⁻ yönünden çok daha fazla zenginleşir. Yağış suları az çok Cl⁻ ihtiva ederler. Yeraltına süzülen bu sular yolları boyunca geçtikleri kayaçların içindeki Cl⁻ tuzlarını çözündürerek Cl⁻ bakımından zenginleşirler (Şahinci, 1991a).

Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların Cl değeri 5-37 mg/l, soğuk su kaynaklarının Cl değeri 2 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Cl değeri 18 mg/l, dere suyunun Cl değeri 2 mg/l ve göl sularının Cl değeri 18-34 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Cl değeri 8-31 mg/l, soğuk su kaynaklarının Cl değeri <1 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Cl değeri 14 mg/l, dere suyunun Cl değeri <1 mg/l ve göl sularının Cl değeri 16-20 mg/l arasındadır (Tablo 3.2). İçme suyu standartlarına bakıldığında incelenen bütün suların Cl değerinin belirtilen standart değerlerde olduğu görülmektedir (Tablo 3.7).

Çalışma alanındaki suların klor iyonu düşüktür. Bu düşük klor içeriği sahayı besleyen su kaynaklarının meteorik orijinli olduklarına işaret etmektedir.

Sülfat (SO₄⁻²):

Yeraltı suları bünyelerinde bulunan sülfatın büyük bir kısmını jips ve anhidritten almaktadır (Erguvanlı ve diğ., 1973). Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan demir sülfattan, magnezyum ve sodyum sülfattan ileri gelebilir. Magmatik ve

metamorfik kayalardan veya bunların ürünlerinden oluşan tortul kayalardaki yeraltı sularında 100 mg/l' den az SO_4^{-2} bulunur (Şahinci, 1991).

Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların SO_4^{-2} değeri 63.61-75.90 mg/l, soğuk su kaynaklarının SO_4^{-2} değeri 43,93-52,95 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının SO_4^{-2} değeri 58,69 mg/l, dere suyunun SO_4^{-2} değeri 50,49 mg/l ve göl sularının SO_4^{-2} değeri 49,70-72,62 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların SO_4^{-2} değeri 63.03-94.32 mg/l, soğuk su kaynaklarının SO_4^{-2} değeri 44,65-56,58 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının SO_4^{-2} değeri 74,97 mg/l, dere suyunun SO_4^{-2} değeri 32,71 mg/l ve göl sularının SO_4^{-2} değeri 41,10-55,61 mg/l arasındadır (Tablo 3.2).

Çalışma alanındaki sularda SO_4^{-2} iyonunun kaynağı, piritin (FeS_2)'in oksidasyonu ile oluşan demir sülfat (FeSO_4) ve Karabakır Formasyonu içerisindeki andezitik lav akıntılarına ait volkan gazlarındaki hidrojen sülfür (H_2S) ve kükürtdioksitin (SO_2) oksitlenerek SO_4^{-2} dönüşmesi olabilir. Ayrıca hidrojen sülfür (H_2S) metamorfik kayalar içinde sülfid mineralleri şeklinde çökelir ve ardından bakteriyel etkinlik sonucunda sülfat formuna dönüşerek sıcak suya geçebilir. İncelenen suların kurak ve yağışlı dönemdeki SO_4^{-2} değerinde fazla bir değişiklik görülmemektedir. Sıcak suların esas dolaşımının Keban Metamorfikleri içerisinde gerçekleştiğine kanıt olarak gösterilebilir.

İnceleme alanındaki tüm suların SO_4^{-2} değerlerinin TS-266, WHO ve EPA'nın belirlediği sınır değerlerine uygun olması sebebiyle içme suyuna uygun olduğu görülmektedir (Tablo 3.7).

Bikarbonat (HCO_3^-):

Yeraltı sularındaki HCO_3^- iyonunun çoğu atmosfer ve topraktaki CO_2 'den ve karbonatlı kütlelerin erimesinden oluşmaktadır. Dolayısıyla HCO_3^- miktarı CO_2 miktarına ve suyun pH'ına bağlıdır (Erguvanlı ve diğ., 1973). Suların içerdikleri karbonat konsantrasyonu suların yeraltında geçirdikleri mola süreleri ile ilişkili olarak artar. En kısa yoldan ve en kısa sürede rezervuardan yüzeye ulaşan suların kayalar ile olan reaksiyon süreleri de kısa olacağından, karbonatlı kayalardan ve çatlak sistemlerindeki karbonatlı minerallerden çezecekleri HCO_3^- değerleri en düşük seviyede olacaktır (Nicholson, 1993). $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{-2}$ oranı, suyun akış yönünün göstergesidir. Yüksek akım zonundan suyun akışı su-kayaç ilişkisinin artışına, dolayısıyla HCO_3^- üretiminin artışına neden olur. Yanal akışın

artışı ile su-kayaç etkileşimi artar ve ortamdan H₂S kaybolarak HCO₃⁻/SO₄⁻² oranı artar (Nicholson, 1993). HCO₃⁻ değerince zengin sularda su kayaç ilişkisi hakimdir. Sıcak sularda bikarbonatın yüksek olması sıcak sularla evaporitik kayaçların etkileşimde olmadığını gösterir (Nicholson, 1993). Ca⁺²-HCO₃⁻ tipli sular kireçtaşları ile, Ca⁺²-Mg⁺²-HCO₃⁻ tipli sular dolomitler ile sıcak suların etkileşimini belirtir. Yüksek K⁺ içerikli Na⁺-HCO₃⁻ tipli sular ise feldspat, plajiyoklas ve piroksen içeren magmatik ve volkanik kayaçlarla sıcak suların etkileşimini ifade eder (Mazor, 1997).

Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların HCO₃⁻ değeri 610-1940 mg/l, soğuk su kaynaklarının HCO₃⁻ değeri 290-365 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının HCO₃⁻ değeri 960 mg/l, dere suyunun HCO₃⁻ değeri 350 mg/l ve göl sularının HCO₃⁻ değeri 201-1093 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların HCO₃⁻ değeri 620-1430 mg/l, soğuk su kaynaklarının HCO₃⁻ değeri 290 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının HCO₃⁻ değeri 1100 mg/l, dere suyunun HCO₃⁻ değeri 410 mg/l ve göl sularının HCO₃⁻ değeri 140-290 mg/l arasındadır (Tablo 3.2). J-2 no'lu sıcak su örneği hariç diğer sıcak su örneklerinin HCO₃⁻ değerinde kurak dönemde azalma gözlenmektedir. Bu durum kurak dönemde meteorik sudan daha az beslenme oranı ile ilişkilendirilmiştir.

Sıcak su kaynaklarında HCO₃⁻ hakim anyonu oluşturmakta ve anyon sıralaması HCO₃⁻>SO₄⁻²>Cl⁻ şeklindedir. HCO₃ değeri tüm sulardaki en yüksek anyonu oluşturur. Bu durum sularda su-kayaç ilişkisinin hakim olduğunu gösterir. Sıcak su kaynaklarındaki HCO₃ değeri, soğuk su ve göl sularındaki değerinden daha yüksektir. Sıcak su kaynaklarında HCO₃ değerinin yüksek olması kaynağı besleyen suyun etrafında geniş yüzeylemeler veren kireçtaşlarıyla etkileşimi olduğunu belirtisidir. TS-266, WHO ve EPA standartlarında HCO₃ değeri için bir sınırlama bulunmamaktadır.

3.4.3. Ağır Metal Analizleri

Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayaların kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, diğer maddelerin çözünme oranına bağlı olarak değişir ve geçtikleri kayaların minerallerini kimyasal bozunuma uğratarak iyonlarca zenginleşirler. Su içerisinde bulunan bazı elementler miktarına ve etkileşim süresine bağlı olarak sınır değerleri aştığı zaman zehirli etki yapmaktadır (arsenik, kadmiyum, krom, kurşun, cıva, baryum, nitrat, florür, radyoaktif maddeler, amonyum, klorür gibi).

Tablo 3.5. İncelenen sularda bulunan metaller ve iz elementlerin Haziran (2015) dönemi kimyasal analiz sonuçları

Örnek Adı	As (mg/l)	B (mg/l)	Cr (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Pb (mg/l)	Cu (mg/l)	Al (mg/l)
J-1	2.19	2.56	<0.0005	<0.01	0.62	0.0003	0.0013	0.004
J-2	0.009	0.11	0.0024	<0.01	0.00077	0.0004	0.001	0.003
J-3	4.14	3.43	0.002	<0.01	1.69	<0.0001	0.0008	0.004
S-1	1.74	3.04	0.02	<0.01	0.061	<0.0001	0.0035	0.006
H-1	1.99	3.24	0.029	<0.01	0.063	<0.0001	0.0011	0.006
A-1	1.52	2.95	0.0067	0.058	0.061	0.0002	0.0015	0.015
D-1	0.01	0.032	0.0011	<0.01	0.0082	0.0002	0.0014	0.007
SM-1	0.003	1.24	0.0033	0.415	0.136	0.0002	0.001	0.008
G-1	0.005	0.11	0.0006	<0.01	0.0046	0.0001	0.0011	0.006
G-2	0.006	0.094	0.0006	<0.01	0.0021	0.0001	0.001	0.009
G-3	1.30	2.71	0.0018	<0.01	0.057	0.0001	0.0013	0.009
G-4	0.06	0.175	0.0005	<0.01	0.0051	0.0002	0.004	0.012
K-1	0.0014	0.014	0.0007	<0.01	0.0009	0.0002	0.0061	0.01
K-2	0.0033	0.018	0.0012	<0.01	0.0004	0.0001	0.001	0.008

Tablo 3.6. İncelenen sularda bulunan metaller ve iz elementlerin Ekim (2015) dönemi kimyasal analiz sonuçları

Örnek Adı	As (mg/l)	B (mg/l)	Cr (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	Pb (mg/l)	Cu (mg/l)	Al (mg/l)
J-1	3.55	2.29	0.022	<0.01	0.453	<0.0001	0.0012	0.009
J-2	0.01	0.483	0.0061	<0.01	0.0008	<0.0001	0.0008	0.005
J-3	5.26	2.82	0.031	<0.01	1.63	<0.0001	0.001	0.005
S-1	1.18	2.35	0.016	<0.01	0.052	<0.0001	0.001	0.007
H-1	1.67	2.25	0.012	<0.01	0.050	<0.0001	0.0009	0.008
A-1	1.70	2.29	0.013	<0.01	0.040	<0.0001	0.0009	0.005
D-1	0.029	0.055	0.017	0.086	0.010	0.0001	0.0018	0.005
SM-1	0.002	1.15	0.02	<0.01	0.032	<0.0001	0.0009	0.001
G-1	0.05	0.242	0.0016	<0.01	0.044	0.0003	0.0009	0.004
G-2	0.008	0.144	0.0007	0.038	0.0068	0.0001	0.0014	0.006
G-3	0.05	0.418	0.0005	<0.01	0.0037	0.0001	0.0013	0.005
G-4	0.008	0.150	0.0005	<0.01	0.034	<0.0001	0.0009	0.006
K-1	0.0013	0.013	0.0006	<0.01	0.0006	0.0002	0.0009	0.004
K-2	0.0030	0.014	0.001	<0.01	0.0007	0.0002	0.0009	0.014

Demir (Fe)

Yerkabuğunda yaygın olarak demir bulunduğu yeraltı sularında da demir bileşiklerine bol miktarda rastlanmaktadır. Karbonlu kayalardan gelen sularda, genellikle asit ve organik maddeler nedeniyle, fazla miktarda demir iyonları izlenebilir. Genellikle kireçtaşı ve dolomitlerden gelen suların pH'ı 7'den yukarı olduğundan, çok az demir iyonları içerir. Çünkü, sudaki CO₂ gazı kalsiyum iyonları ile dengelenmiştir (Şahinci,

1986). Demir bileşikleri sağlık açısından problemlere yol açmaz ancak fazla miktarda olduğunda suyun tadını ve görünümünü bozabilirler. Demiroksitler havayla temas edince kırmızımsı kahverengine dönüşürler ve suyun rengini bozarlar. Bu tür sular ile yıkanmış eşyalarda, elbiselerde ve tabaklarda lekeler meydana gelir ve borular içinde oluşturdukları kabuklanmalar ile boruların tıkanmasına yol açarlar (Sargın., 2010).

İnceleme alanında bulunan suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların, dere suyunun ve göl sularının Fe değeri <0,01 mg/l, soğuk su kaynaklarının Fe değeri <0,01mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Fe değeri 0,45 mg/l'dir (Tablo 3.5). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Fe değeri <0,01 mg/l, soğuk su kaynaklarının Fe değeri <0,01 mg/l, dere suyunun Fe değeri 0,086 mg/l ve göl sularının Fe değeri <0,01-0,036 mg/l arasındadır (Tablo 3.6).

Yağışlı dönemde yapılan analiz sonucunda SM-1 no'lu örneğin demir içeriği, TS-266, WHO ve EPA'nın belirlediği demir değerinin üzerinde kaldığı gözlenmiştir (Tablo 3.7). Bu değerlerin yüksek olması demir oksit-hidroksitlerinin, karbonatlarının veya sülfür bileşiklerinin daha indirgen bir çevrede çözünmesinden ve bu sayede sıvı fazda çözünmüş Fe^{2+} iyon konsantrasyonunun artmasından ileri gelebilir. Ayrıca yine bu dönemde SM-1 no'lu örneğin Fe içeriğinin artmasında kaynağın akış yolundaki antropojenik bir kirlilikten kaynaklanmış olabilir. Bu olasılıkların geçerliliği kaynak daha korunaklı kaptajlandıktan sonra yapılacak analizler ile daha doğru yorumlanabilecektir.

Mangan (Mn)

Asidik sularda 1 mg/l'den fazla mangan bulunabilir ve uzun süre, demire oranla suda çökelmeden kalabilir. Zamanla su nötr veya alkali özellik kazandığında, önce ferik oksitler, daha sonra mangan bileşikleri çöker. Sıcak sularda mangan miktarı çok fazla olabilir (Şahinci, 1986).

Mangan, yeraltı sularına jeolojik formasyonlardan ve mangan içeren suni gübrelerden karışmaktadır. Mangan içeren sular ile yıkanmış eşyalarda, elbiselerde ve tabaklarda lekeler meydana gelir ve borular içinde oluşturdukları kabuklanmalar ile boruların tıkanmasına yol açarlar (Sargın., 2010).

İnceleme alanında bulunan suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre, sıcak suların Mn değeri 0,0008-1,69 mg/l,

soğuk su kaynaklarının Mn değeri 0,0004-0,0009 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Mn değeri 0,136 mg/l, dere suyunun Mn değeri 0,0008 mg/l ve göl sularında Mn değeri 0,0021-0,057 mg/l arasındadır (Tablo 3.5). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Mn değeri 0,0008-1,63 mg/l, soğuk su kaynağının Mn değeri 0,0006-0,0007 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Mn değeri 0,031 mg/l ve dere suyunun Mn değeri 0,01 mg/l ve göl sularının Mn değeri 0,007-0,044 mg/l arasındadır (Tablo 3.6).

Yağışlı ve kurak dönemde yapılan analiz sonuçlarından elde edilen Mn değeri sıcak su örneklerinde (J-2 hariç) TS-266, WHO ve EPA'nın belirlediği standart değerinin üstünde çıkmıştır (Tablo 3.7). Ayrıca Haziran ayında yapılan analiz sonucuna göre SM-1 nolu örnekte de mangan değeri yüksek çıkmıştır. Bu aylardaki Mn^{2+} iyonunun çözünme/çökeltme süreçlerinde, ORP'den ziyade pH'nin etkili olduğu ve bu süreçler için uygun ortamlar oluşturduğu söylenebilir.

Bakır (Cu)

Cu, yer kabuğundaki kayalarda doğal Cu veya Cu içeren sülfür ve karbonat mineralleri halinde bulunur. Bununla birlikte, Cu minerallerinin çözünürlükleri çok düşük olduğundan, sulardaki bakırın çok az bir kısmı doğal kökenlidir (Hem, 1985). Akarsu, göl ve yeraltı sularında 5 ppm'den fazla bakır bulunuyorsa bunun nedeni, kirlenme veya bazı özel bakır içeren madenlerden oluşabilir.

İnceleme alanında bulunan suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların Cu değeri 0,0008-0,001 mg/l, soğuk su kaynaklarının Cu değeri 0,001-0,006 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Cu değeri 0,001 mg/l, dere suyunun Cu değeri 0,0014 mg/l ve göl sularında Cu değeri 0,001-0,0013 mg/l arasındadır (Tablo 3.5). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Cu değeri 0,0008-0,0012 mg/l, soğuk su kaynaklarının Cu değeri 0,0009 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Cu değeri 0,0009 mg/l, dere suyunun 0,0018 mg/l ve göl sularının Cu değeri 0,0009-0,0014 mg/l arasındadır (Tablo 3.6).

İnceleme alanı yakınında Pertek-Demürek civarında Keban Metamorfikleri ve Pertek Magmatikleri dokanağında sülfürlü cevheleşmelerin varlığı bilinmektedir (Sağiroğlu, 1992). Ancak inceleme alanındaki sıcak ve soğuk kaynakların Cu içeriğinin

oldukça düşük olması, bu alandaki suların söz konusu cevherleşmelerle etkileşimde olmadığını düşündürmektedir.

İnceleme alanındaki tüm suların Cu değerlerinin TS-266, WHO ve EPA'nın belirlediği sınır değerlerine uygun olması sebebiyle bu suların Cu açısından içme suyu kullanımına uygun olduğu görülmektedir (Tablo 3.7)

Krom (Cr)

Kromun ana kaynağı gabro, dünit, harzburjit gibi bazik-ultrabazik kayalar içerisinde yer alan kromitten kaynaklanmaktadır. Krom, doğal sulara çok az çözünür; ancak, çok oksidleyici ve asid ortamlarda kromat iyonu şeklinde bulunabilir (Şahinci, 1986). Yeraltı sularında az miktarda bulunmasına rağmen, atık sulara bağlı olarak besin zinciri ile insan vücudunda yüksek miktarlarda bulunabilmektedir. Günlük krom ihtiyacı 50-200 mikrogram arasındadır. Yüksek dozlarda alınması halinde gastrointestinal sistemi hastalıkları ve kanserleri, kanama diatezi ve ciltte alerjik reaksiyonlara sebebiyet verebilir (Varol ve diğ., 2008'den).

İnceleme alanında bulunan suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların Cr değeri 0,002-0,03 mg/l, soğuk su kaynaklarının Cr değeri 0,007-0,0012 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Cr değeri 0,0033 mg/l, dere suyunun Cr değeri 0,0011 mg/l ve göl sularının Cr değeri 0,005-0,0018 mg/l arasındadır (Tablo 3.5). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Cr değeri 0,006-0,031 mg/l, soğuk su kaynaklarının Cr değeri 0,001-0,006 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Cr değeri 0,019 mg/l, dere suyunun Cr değeri 0,0017 mg/l ve göl sularının Cr değeri 0,0005-0,0016 mg/l arasındadır (Tablo 3.6).

İnceleme alanındaki tüm suların Cr değerlerinin TS-266, WHO ve EPA'nın belirlediği sınır değerlerine uygun olması sebebiyle bu suların Cr açısından içme suyu kullanımına uygun olduğu görülmektedir (Tablo 3.7)

Kurşun (Pb)

Kurşunun başlıca kaynağı magmatik ve metamorfik kayalardaki K-feldispat ve mikaların bozunumundan gelir. Ayrıca kurşun ile potasyum arasında doğrusal bir ilişki saptanmıştır. Kireçtaşı ve dolomitler, genellikle çok az kurşun içerirler ve kireçtaşlarında

bu oran ortalama 5 ppm kadardır. Kireçtaşlarında çoğunlukla %10-%15 kil ve silt vardır. Bu malzemeler, kireçtaşlarındaki kurşun miktarını yükseltirler. Akarsu ve göllerde kurşun azlığı, killer ve organik maddelerin soğurması, Pb-hidroksidlerin, fosfatların ve karbonatların çökmesindedir. Pb-sülfid yataklarının atmosferik sular tarafından yıkanması, benzinli araçların egzoz gazlarından, fabrika ve konutlarda yakılan kömürlerden akarsular ve çevre kurşun kirlenmesi etkisinde kalır (Şahinci, 1986). Ayrıca endüstriyel atıklar vasıtasıyla da yeraltı sularına ulaşabilmektedir (Varol ve diğ., 2008).

İnceleme alanında bulunan soğuk suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların Pb değeri <0,001-0,004 mg/l, soğuk su kaynaklarının Pb değeri 0,0001-0,0002 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Pb değeri 0,0002 mg/l, dere suyunun Pb değeri 0,0002 mg/l ve göl sularının Pb değeri 0,0001-0,0002 mg/l arasındadır (Tablo 3.5). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Pb değeri <0,0001 mg/l, soğuk su kaynaklarının Pb değeri 0,0002 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Pb değeri <0,0001 mg/l, dere suyunun Pb değeri 0,0004 mg/l ve göl sularının Pb değeri <0,0001-0,0003 mg/l arasındadır (Tablo 3.6).

İnceleme alanındaki tüm suların Pb değerlerinin TS-266, WHO ve EPA'nın belirlediği sınır değerlerine uygun olması sebebiyle bu suların Pb açısından içme suyu kullanımına uygun olduğu görülmektedir (Tablo 3.7)

Alüminyum

Alüminyumun, pH 5-9 arasında çözünürlüğü azdır. Alüminyum içeren birçok minerallerin suda çözünürlükleri dönüşümlüdür ve doğal suların pH aralığında çözünürlükleri azdır. Buna karşın, çözünümü dönüşümsüz olan alüminyum minerallerinin sulu ortamda bozunumları yavaştır. Yeraltı sularında doğal süzülme nedeniyle, alüminyum oldukça azdır. Yerkabuğunda önemli miktarda bulunmasına karşın (% 8,6), az çözünmesi nedeniyle, yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. pH'ın 5-9 arasında olduğu sularda, alüminyum 1 ppm'den azdır. Alüminyumun suda bulunuşu, özellikle suyun kökeni ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şahinci, 1986).

Rezervuar akışkanın Al^{+3} konsantrasyonu, genellikle <2 mg/kg'dır. Buna karşın hareketsiz element olarak adlandırılır ve genellikle silis ile birlikte hareket eder.

İnceleme alanında bulunan suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların Al değeri 0,003-0,015 mg/l,

soğuk su kaynaklarının Al değeri 0,01-0,008 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Al değeri 0,008 mg/l, dere suyunun 0,007 mg/l ve göl sularında Al değeri 0,006-0,012 mg/l arasındadır (Tablo 3.5). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların Al değeri 0,005-0,009 mg/l, soğuk su kaynaklarının Al değeri 0,004-0,014 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının Al değeri 0,001 mg/l, dere suyunun Al değeri 0,005 mg/l ve göl sularının Al değeri 0,006-0,009 mg/l arasındadır (Tablo 3.6).

İnceleme alanındaki tüm suların Al değerlerinin TS-266, WHO ve EPA'nın belirlediği sınır değerlerine uygun olması sebebiyle bu suların Al açısından içme suyu kullanımına uygun olduğu görülmektedir (Tablo 3.7)

Arsenik (As)

Doğal sularda arsenik oluşumu akiferin jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal özelliklerine bağlıdır. Ayrıca karbonatlı kayalar, kireçtaşı/dolomit ve travertendeki kırık zonlar boyunca oluşan realgar ve orpiment formundaki epitermal jipsler ve volkano-sedimanter istiflerdeki volkanik kayalar da önemli arsenik kaynakları arasında bulunmaktadır (Doğan ve Doğan, 2007). Arsenik yaygın olarak sülfürce zengin mineral kuşaklarındaki minerallerin içinde eser miktarda veya fosil ve jeotermal alanlarda doğrudan sistemin içinde (yani akışkanın içinde), epitermal altın yataklarında, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki yeraltı suyu hazne kayaları, kıtasal açılma zonları, “soğuk kütlelerin sıcak kütleyle temas ettiği skarn zonu” denilen alanlarda bulunmaktadır. Arsenik çoğunlukla diğer yaygın kayaç oluşturan minerallerin içinde de değişik oranlarda bulunmakta olup, kimyası yoğun olarak kükürtü izlediğinden bol oranda pirit (FeS_2) olmak üzere sülfür minerallerinin bileşiminde bulunma eğilimindedir (Dönmez, 2011). Pertek jeotermal alanındaki incelenen sıcak sularda bulunan As'nin kaynağı Karabakır Formasyonu içerisindeki andezitik lav akıntularına ait volkan gazlarındaki hidrojen sülfür (H_2S) olabilir.

Arseniğin rekabet halinde olduğu fosfat ortamda az miktarlarda, bor, bikarbonat (HCO_3^-) ve sülfat (SO_4^{2-}) ise yüksek derişimlerde bulunmaktadır (Güneş ve Güneş, 2012). Pertek jeotermal alanında incelenen sıcak sularda da (J-2 hariç) arseniğin yüksek miktarda bulunmasına paralel olarak bor, bikarbonat (HCO_3^-) ve sülfat (SO_4^{2-}) miktarının yüksek derişimlerde, fosfatın ise düşük derişimlerde olduğu görülmektedir (Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6).

İnceleme alanında bulunan soğuk suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların As değeri 0,009-4,14 mg/l, soğuk su kaynaklarının As değeri 0,0014-0,0033 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının As değeri 0,0022 mg/l, dere suyunun As değeri 0,01 mg/l ve göl sularının As değeri 0,005-1,30 mg/l arasındadır (Tablo 3.5). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların As değeri 0,01-5,26 mg/l, soğuk su kaynaklarının As değeri 0,0013-0,003 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının As değeri 0,003 mg/l dere suyunun As değeri 0,029 mg/l ve göl sularının As değeri 0,06-0,06 mg/l arasındadır (Tablo 3.6).

Bu değerler dikkate alındığında TS-266, WHO ve EPA'nın içme suyu standartlarına göre, soğuk su karışımının fazla olduğu J-2 no'lu kaynağın arsenik miktarının yağışlı dönemde sınır değerinde, kurak dönemde ise sınır değerinin üstünde olduğu görülmektedir. Diğer sıcak sularda (J-1, J-3, S-1, A-1 ve H-1) ise arsenik miktarı oldukça yüksek olup, bu miktarlar tehlike arz etmektedir. Bu nedenle Pertek Termal suyunun içme amaçlı kullanıma uygun olmadığı düşünülmektedir. Yağışlı ve kurak dönemde dere suyunun (D-1) ve G-3 no'lu örneğin, yağışlı dönemde G-1 no'lu örneğin, kurak dönemde ise G-4 no'lu örneğin As içeriğinin TS-266, WHO ve EPA'nın içme suyu standartlarına uygun olmadığı görülmektedir. Her iki dönemde de soğuk kaynak suların (K-1 ve K-2) ve soğuk mineralli su kaynağının (SM-1) As içeriğinin TS-266, WHO ve EPA'nın içme suyu standartlarına uygun olduğu görülmektedir (Tablo 3.7).

Bor (B)

Sularda borun bulunuş şekli suyun pH'ına bağlı olarak değişir. Asitli sularda (pH 6'danaz) ortoborik asit egemendir. Nötür ve alkali (pH 11'den yukarı) doğal sularda tetra-pentahekza ve diğer poliboratlar gözlenir. Alkali metal boratlar fazla, geri kalan boratlar suda çok az çözünürler. Volkanik kayalarda, başlıca turmalinde bulunur ve biyotit ile amfibolde de vardır. Sıcaklığın yükselmesi ile boratların çözünürlükleri artar. Bu nedenle bor hidrotermal ortamlarda hızlı hareket eder. Borik asit, sıcak sularda çok, soğuk sularda az çözünür. Jeotermal sistemlerde B^{+3} ve Cl^{-} genellikle suların kökenini ve sistemler içinde farklı rezervuarlar arasındaki karışımı belirlemek amacıyla kullanılır (Truesdell, 1975, Arnorsson ve Andresdottir, 1995). Derin yeraltı sularında yüzlerce mg/l bor bulunabilir. Bor tipik halojen elementtir, buharlaşma ile yığılır, özellikle alkali ortamlarda göçü hızlıdır.

İnceleme alanında bulunan suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların B değeri 0,11-3,43 mg/l, soğuk su kaynaklarının B değeri 0,014-0,018 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının B değeri 1,24 mg/l, dere suyunun B değeri 0,032 mg/l ve göl sularında B değeri 0,09-2,71 mg/l arasındadır (Tablo 3.5). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların B değeri 0,48-2,82 mg/l, soğuk su kaynaklarının B değeri 0,013-0,014 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının B değeri 1,15 mg/l, dere suyunun B değeri 0,055 mg/l ve göl sularının B değeri 0,14-0,42 mg/l arasındadır (Tablo 3.6).

Pertek Jeotermal alanındaki sıcak sularda bulunan B'un kaynağı Karabakır Formasyonu'nun volkanitleri ve rezervuar kayaçtaki kireçtaşları olabilir. Sıcak sulardaki örnekleme dönemlerine göre B değişimi incelendiğinde sadece J-2 no'lu örneğin B değerinin düşük olduğu gözlenmiştir. J-2 no'lu örneğin B değerinin düşük olması Cl, Li, ve EC değerlerinde de aynı şekilde gözlenmekte olup, bu durum J-2 no'lu örneğe soğuk su karışımının olduğunu yada hazne kayadan gelen sıcak su debisinin azlığına işaret edebilir.

İnceleme alanındaki sıcak suların (J-2 hariç) B değerlerinin TS-266 ve WHO'nun belirlediği sınır değerlerinin (sırasıyla 1 ve 2 mg/l) üzerinde olması nedeniyle, B açısından içme suyu kullanımına uygun olmadığı görülmektedir (Tablo 3.7). Ayrıca yağışlı dönemde G-3 no'lu örneğin bor değerindeki artış, atık su deşarj debisinin fazlalığı ile ilişkilidir.

3.4.4. Kirlilik Analizleri

Yüzey ve yeraltı sularına karışan azot bileşikleri doğal veya insan kökenli olabilir. Yeraltı sularında çok rastlanan kirlenici maddeler; organik maddeler ve mikroorganizmalar, yağışlar ve yeraltından sulara karışan azot bileşikleri (amonyak, nitrit, nitrat), fosfatlar, ağır metaller ve zehirli bileşiklerdir. Yeraltı sularında nitrat derişimi, tarımsal faaliyetler ve evsel atıkların toprağa ya da toprağın altındaki boşluklara verilmesi gibi nedenlerle giderek artmaktadır. İnceleme sahası içerisinde analizleri yapılan sular elde edilen sonuçlar, Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği, 2005'deki üst limit değerler olan amonyak (0,50 mg/l), nitrit (50 mg/l) ve nitrat (50 mg/l) içeriklerine göre incelenip değerlendirilmiştir. Nitrit ve nitrat açısından yağışlı ve kurak dönemde analiz yapılan tüm sularda söz konusu parametreler limit değerler içindedir. Ancak amonyak açısından kurak dönemde sınır değerler aşılmazken yağışlı dönemde dere suyu ve soğuk su kaynakları hariç

limit değerlerin üzerinde içerikler belirlenmiştir. Tablo 3.7’de verilmiş olan TSE, WHO ve EPA’nın limit değerleri ile olan karşılaştırma ise aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.7. Türk Standartları Enstitüsü (TS-266, 2005), Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO, 2011) ve ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA, 2008) tarafından içme suyunda belirtilen limit değerler

PARAMETRELER	TSE 266	(WHO)	(EPA)
Sıcaklık (°C)	-	-	-
pH	6,5- 9,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Bulanıklık (NTU)	5,00	5,00	1,00
Koku	Normal	-	-
TDS (mg/L)	1500	1000	500
İletkenlik	2500	2500	-
Tuzluluk	-	-	-
Amonyak (mg/L)	0,50	1,50	-
Demir (mg/L)	0,2	0,3	0,3
Mangan (mg/L)	0,05	0,10	0,05
Alüminyum (mg/L)	0,20	0,20	0,20
Sülfat (mg/L)	250	250	250
Magnezyum (mg/L)	50	-	-
Sodyum (mg/L)	200	200	-
Potasyum (mg/L)	12	-	-
Arsenik (mg/L)	0,01	0,01	0,01
Kalsiyum (mg/L)		200	
Klorür (mg/L)	250	250	250
Bor (mg/L)	1	2	
KİMYASAL ÖZELLİKLER			
Sertlik (Fs ^o)	-	50,0	-
Nitrit (mg/L)	0,1	0,1	-
Nitrat (mg/L)	50	50	45
Bakır (mg/L)	2	2	1
Kurşun (mg/L)	0,01	0,01	0,01
Krom (mg/L)	0,05	0,05	0,05

3.4.4.1. Amonyak (NH₃)

Amonyak atmosferde ve yağmur suyunda genellikle karbonat gibi eser miktarda bulunur. Amonyak formu sulara bulunan azotun en fazla indirgenmiş inorganik bileşigidir. Amonyak azotu, sudaki çeşitli aerobik bakteriler sayesinde okside olarak önce

nitrite daha sonra da nitrata dönüştürülür (Atabey, 2005). İçme sularındaki çözünmüş amonyak tat ve renk problemleri oluşturabilmesine rağmen insan sağlığını direkt olarak etkilemez. Bununla birlikte, yüzey sularında amonyak bitki için çok önemli besleyici olan nitrat formuna okside olur. Doğal sulardaki amonyak derişimleri genellikle 0,1 mg/l'den daha düşüktür. Atık sularda ise 30 mg/l'den yüksek derişimlere rastlanabilir. Bu nedenle balıkçılık yapılan sularda amonyak için tolerans sınırı 0,10 mg/l dir.

İnceleme alanında bulunan soğuk suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların NH_3 0,21-0,77 mg/l, soğuk su kaynaklarının NH_3 değeri 0,38-0,39 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının NH_3 değeri 0,58 mg/l, dere suyunun NH_3 değeri 0,22 mg/l ve göl sularının NH_3 değeri 0,51-1,1 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların NH_3 değeri 0,07-0,15 mg/l, soğuk su kaynaklarının NH_3 değeri 0,05-0,07 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının NH_3 değeri 0,06 mg/l, dere suyunun NH_3 değeri 0,18 mg/l ve göl sularının NH_3 değeri 0,02-0,37 mg/l arasındadır (Tablo 3.2).

NH_3 'ün konsantrasyonu yağışlı dönem sonunda J-1, J-3, H-1, SM-1 ve göl sularında TS-266 ve WHO'nun içme suyu standartlarında (Tablo 3.7) belirttiği sınırın üzerinde olduğu görülmektedir. Bu genel durum göz önünde bulundurularak bölgede kirletici kaynaklar azaltılmalıdır. Ayrıca, sıcak su kaynaklarına yakın yerlerde bulunan kanalizasyon ve foseptiklerden bir sızma olup olmadığı kontrol edilmelidir.

3.4.4.2. Nitrit (NO_2)

NO_2 ve NH_3 'ün suda mevcudiyeti daha ziyade suların dışkı maddeleriyle kirlendiğini akla getirir. Aslında bu bileşiklerin kendisi sağlık bakımından zararlı olmasa bile kirlenme indikatör vazifesi gördüğü için önemlidir. Bu sebeple içilecek suyun NO_2 ve NH_3 konsantrasyonu sıfır olmalıdır (Uslu, 1985; Öztekin, 1998; Bakır, 2010).

NO_3 ve NO_2 doğal azot döngüsünde yaygın olarak oluşan maddelerdendir. Bir suda NH_3 bulunması yeni başlayan kirlenmeyi gösterir. NO_3 organik azotun en son oksidasyon ürünüdür. Organik azotun çürümesi sonucu serbest NH_3 , serbest NH_3 'in oksidasyonu ile NO_2 , NO_2 'in oksidasyonu ile NO_3 oluşur.

NO_2 iyonunun varlığı ortamda aktif bir biyolojik olayın işaretidir. Çok düşük NO_2 değerlerde bulunsa bile, kirlenmenin başladığını ve biyolojik olayların sürdüğünü belirtir (Tamgaç vd., 2000; Çeliker, 2008'den).

İnceleme alanında bulunan soğuk suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların NO₂ 0,0006-0,01 mg/l, soğuk su kaynaklarının NO₂ değeri 0,0002-0,0013 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının NO₂ değeri 0,002 mg/l, dere suyunun NO₂ değeri 0,003 mg/l ve göl sularının NO₂ değeri 0,0002-0,014 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların NO₂ değeri 0,001-0,016 mg/l, soğuk su kaynaklarının NO₂ değeri 0,002-0,003 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının NO₂ değeri 0,003 mg/l, dere suyunun NO₂ değeri 0,013 mg/l ve göl sularının NO₂ değeri 0,003-0,004 mg/l arasındadır (Tablo 3.2). TS-266 ve WHO'nun içme suları için belirlediği standartlara göre, incelenen sularda nitrit açısından bir tehlike görülmemektedir.

3.4.4.3. Nitrat (NO₃)

Yeraltı sularına NO₃ çoğunlukla canlıların artıkları ve suni gübreler yolu ile geçer. Sularda 5-10 mg/l'nin üzerinde NO₃'ün bulunması, bu suyun dışarıdan kirletildiğini gösterir. Öte yandan magmatik ve volkanik gazlar sulardaki nitrate yerel olarak kaynaklık etmektedir. NO₃, bitkilerin esas besin maddesidir. Bu bakımdan sulama sularında fazla bulunması zararlı değildir. Çoğu zaman toprağa ve suya gübre olarak NO₃ karıştırılır (Erguvanlı ve diğ., 1973).

Nitratin içme sularında 50 mg/l'den fazla bulunması durumunda çocuklarda methemoglobinemia (karbondioksit zehirlenmesi) hastalığına sebep olduğu tesbit edilmiştir (Uslu ve Türkman, 1987).

Gübrelerden kaynaklanan kirlilik içerisinde ise üzerinde en fazla durulan suların nitrat (NO₃) ile kirlenmesidir. Çünkü NO₃, tarımsal üretimde kullanılan gübrelerle gün geçtikçe artan miktarda uygulanmakta ve toprakta NO₃ birikmektedir. Biriken bu NO₃'ün koşullara göre değişen miktarları yıkanarak toprak derinliğine hareket etmekte ve bir bölümü yeraltı ve yer üstü sularına ulaşmaktadır.

Fazlaca NO₃ bulunan bir suyun yüzeysel kirlenip kirlenmediği konusunda emin olmak için suyun Cl⁻ konsantrasyonuna bakılmalıdır. Fazlaca miktarda NO₃ ile birlikte yine fazla miktarda Cl⁻ bulunması, bir suyun lağım ve kanalizasyon kaçaklarından sızmalarla kirlenmiş olduğunun en kuvvetli belirtisidir (Polat ve diğ., 2007; Bakır, 2010).

İnceleme alanında bulunan soğuk suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların NO₃ değeri 0,14-1,36

mg/l, soğuk su kaynaklarının NO₃ değeri 1,04-1,49 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının NO₃ değeri 0,36 mg/l, dere suyunun NO₃ değeri 0,55 mg/l ve göl sularının NO₃ değeri 0,22-0,33 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların NO₃ değeri 0,12-1,12 mg/l, soğuk su kaynaklarının NO₃ değeri 0,81-2,05 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının NO₃ değeri 0,46 mg/l, dere suyunun NO₃ değeri 1,11 mg/l ve göl sularının NO₃ değeri 0,21-11,54 mg/l arasındadır (Tablo 3.2). TS-266 ve WHO'nun içme suları için belirlediği standartlara göre incelenen tüm sularda nitrat açısından tehlike görülmemiştir.

3.4.4.4. Ortofosfat

Tarım arazilerinin büyük çoğunluğu fosfat bakımından fakir olup bu alanlarda nitelikli gübreler kullanılmaktadır. Yağışlarla yeraltına süzülen fosfat yeraltı sularına çok çabuk geçmez ve hapsolür. Ancak, toprağa uygulanan gübrelerin aşırı yağış suları ile yıkanması veya toprak erozyonu ile su kaynaklarına taşınması şeklinde olmaktadır. Atık sularda da bulunan ya da doğrudan yüzey sularına deşarj edilen fosfat bileşikleri; topraktan suya karışan gübre, insan ve hayvan dışkıları, deterjanlar ve temizlik maddeleri ile yeraltı sularına karışmaktadır.

Ortofosfat değerlerinde görülen artma, çoğunlukla organik fosfor bileşiklerinin hidrolizi ve değerlerde görülen azalma ise çoğunlukla seyrelme ve mikroorganizma asimilasyonu ile ilişkilidir (Erses, vd., 2008). Ortofosfat değerlerinde görülen azalmada etkili olan diğer faktörler ise demir, alüminyum veya kalsiyum iyonlarının katı formları üzerine adsorbsiyon veya organik fosfor bileşikleri şeklinde çökelmedir (Frasconi, vd., 2004).

İnceleme alanında bulunan soğuk suların Haziran-2015 yani beslenmenin olduğu dönem içerisindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre sıcak suların ortofosfat değeri 1,18-1,42 mg/l, soğuk su kaynaklarının ortofosfat değeri 1,42-1,65 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının ortofosfat değeri 1,18 mg/l, dere suyunun ortofosfat değeri 1,42 mg/l ve göl sularının ortofosfat değeri 0,22-0,33 mg/l arasındadır (Tablo 3.1). Beslenmenin olmadığı Ekim-2015 analiz sonuçlarına göre; sıcak suların ortofosfat değeri 0,01-0,99 mg/l, soğuk su kaynaklarının ortofosfat değeri 0,99 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının ortofosfat değeri 0,01 mg/l, dere suyunun ortofosfat değeri 0,85 mg/l ve göl sularının ortofosfat değeri 0,15-0,57 mg/l arasındadır (Tablo 3.2).

Yağışlı dönemde (Haziran-2015) su kaynaklarının içerisine yağmur suyu vasıtası ile çözülmüş oksijen taşınacağı için ortofosfatın bu aylarda elektron alıcısı olarak kullanılması dolayısıyla bu önemli süreçte değerlerinde azalma beklenmemektedir.

Kurak dönemde (Ekim-2015) tüm su örneklerinin ortofosfat değerlerinde görülen düşüşler, su kaynaklarına çevreden su girişlerinin olmadığına işaret etmektedir.

3.4.4.5. Toplam Çözülmüş Madde (TDS)

Su kalitesinin temel ölçütlerinden biri olan toplam çözülmüş madde, su örneği buharlaştırılarak kurutulduğunda geriye kalan ve litre başına mg olarak ifade edilen katı miktardır. Tablo 3.8’de genel olarak suların TDS miktarına göre yapılmış sınıflaması verilmiştir. Suda çözülmüş halde bulunan ana iyonlar (Na, K, Mg, Ca, Cl, SO₄, HCO₃) Mn, F, NO₃, Sr, B ve diğer ikincil bileşenler de TDS’in büyüklüğüne etki eder (Fetter, 2004). Toplam çözülmüş madde (TDS), suların mineral ve iyon zenginliğini gösteren önemli bir parametredir.

Tablo 3.8. Suların çözülmüş toplam madde miktarına göre sınıflandırılması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973)

Sınıf	TDS (mg/L)
Tatlı	0-1000
Hafif tuzlu	1000-10000
Tuzlu	10000-100000
Salamura	>100000

Sularda yüksek oranda TDS bulunması (>2000 mg TDS/l) borular içinde tabakalaşmaya da sebep olabilir, içme suyundaki yüksek konsantrasyonları ishal etkisi gösterebilir. Bu özellikteki bir su, endüstriyel veya sosyal su temininde kısıtlı amaçlar haricinde kullanılamayacağı gibi, sulama suyu amaçlı olarak da kullanılamaz. Doğal sularda, ışık geçirgenliğini azaltıp dip birikintilerine yol açarak ya da doğrudan zarar vererek su canlılarını etkiler. Kanallarda ve arıtma sistemlerinde önlem alınması ihtiyacını ortaya koyar (Erguvanlı ve Yüzer,1973).

Çalışma alanında Haziran döneminde sıcak suların TDS değeri; 200-1600 mg/l, soğuk su kaynaklarının TDS değeri 200 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının TDS değeri 600 mg/l, dere suyunun TDS değeri 100 mg/l ve göl sularının 500-100 mg/l arasında değişmektedir. Ekim dönemi TDS değerleri ise sıcak sularda 600-1400 mg/L, soğuk su

kaynaklarında 300-400 mg/l, soğuk mineralli su kaynağında 1100 mg/l, dere suyunda 400 mg/l ve göl sularında 300 mg/l'dir (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2).

Yağışlı dönemde incelenen bütün sulara ait TDS değerlerinin kurak döneme göre düşük olduğu görülmektedir (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2). Yağışlı dönemde suların TDS değerlerinin düşük çıkması, suların yağışların etkisi ile seyrelmeye maruz kaldığını göstermektedir. Kurak dönemde incelenen TDS değerine göre J-2 no'lu sıcak su örneği hariç diğer sıcak sular (J-1, J-3, S-1) ve soğuk mineralli su (SM-1) hafif tuzlu, J-2 no'lu sıcak su ve diğer sular Tablo 3.8'deki tanımlamaya göre tatlı su sınıfına girmektedir. Bu suların TDS değerleri dikkate alındığında yağışlı dönemde havuz suyu (H-1) hariç her iki dönemde de tüm sıcak ve soğuk sular TS-266'nin içme suyu için belirlediği sınır değerinin altındadır. Ayrıca her iki dönemde dere suyunun (D-1), soğuk su kaynaklarının (K-1 ve K-2) ve göl sularının (G-1, G-2, 3 ve G-4) TDS değerleri dikkate alındığında TS-266'nın, WHO'nun ve EPA'nın içme suyu standartlarına uygun olduğu görülmektedir. Ancak sıcak sular TDS açısından, WHO'nun ve EPA'nın belirlediği sınır değerinin üstünde olduğundan bu suların içilebilir nitelikte olmadığını yansıtmaktadır.

3.4.4.6. Toplam Katı Madde

Katı maddeler su kalitesini olumsuz yönde etkilerler ve içme sularında istenmeyen tat veya koku meydana getirebilirler. Bu sebeplerden dolayı, toplam katı madde tayini su kalitesini belirleyen önemli parametrelerden biridir. En yüksek Toplam Katı Madde değerleri kurak dönemde ölçülmüştür. Bu durum suların Toplam Katı Madde konsantrasyon değerlerindeki zamansal değişimde yağışın dolayısıyla seyrelmenin etkisinin büyük olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanındaki sıcak suların Haziran dönemindeki TKM değeri; 500-1400 mg/l, soğuk su kaynaklarının TKM değeri 100 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının TKM değeri 1300 mg/l, dere suyunun TKM değeri 300 mg/l ve göl sularının 200-1000 mg/l arasında değişmektedir. Ekim dönemi TKM değerleri ise sıcak sularda 500-1700 mg/L, soğuk su kaynaklarında 0-300 mg/l, soğuk mineralli su kaynağında 1400 mg/l, dere suyunda 900 mg/l ve göl sularında 200-3000 mg/L arasında değişmektedir (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2).

Kurak dönemde sıcak sularda J-2 ve S-1 no'lu örneklerde bulunan TKM miktarında yağışlı döneme göre değişiklik görülmemektedir. Buna karşılık J-1 ve J-3 no'lu

örneklerde bulunan TKM miktarında kurak döneme göre artış görülmektedir (Tablo 3.1). TKM konsantrasyon değerindeki bu artış yağışın dolayısıyla seyrelmenin etkisinin az olduğunu göstermektedir. TKM için TS-266, WHO ve EPA herhangi bir içme suyu standardı belirtmemiştir.

3.4.4.7. Toplam Uçucu Katı Madde

Uçucu maddelerin kaybı sonucu geriye kalan katılar, çözülmüş ve askıda katı maddeleri temsil eder. Sulardaki toplam uçucu katı madde miktarı, sıcak sularda kurak dönemde J-1 ve J-2 de azalmış, A-1 de artmış ancak diğer sıcak sularda yağışlı ve kurak dönemde değişmemiş, soğuk sularda her iki dönemde değişmemiş, göl sularında ise kurak dönemde G-4 de artmış diğer göl sularında ise toplam uçucu katı madde miktarı değişmemiştir.

Çalışma alanındaki sıcak suların Haziran dönemindeki TUKM değeri; 200 mg/l, soğuk su kaynaklarının TUKM değeri 100 mg/l, soğuk mineralli su kaynağının TUKM değeri 300 mg/l, dere suyunun TUKM değeri 100 mg/l ve göl sularının 100 mg/l'dir. Ekim dönemi TUKM değerleri ise sıcak sularda 100-300 mg/L, soğuk su kaynaklarında 100 mg/l, soğuk mineralli su kaynağında 300 mg/l, dere suyunda 100 mg/l ve göl sularında 100-200 mg/L arasında değişmektedir (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2). TUKM için TS-266, WHO ve EPA herhangi bir içme suyu standardı belirtmemiştir.

3.4. İnceleme Alanındaki Suların Sınıflandırılması

İncelenen bir su noktası ile ilgili olarak, arazi çalışmaları ve laboratuvar analizleri hidrojeokimyasal çalışmalarda kullanılmak üzere birçok veri üretilir. Örnek noktası arttıkça da sonuçların gruplandırılarak bir arada değerlendirilebileceği diyagramlara ihtiyaç duyulur. Hidrojeokimyasal çalışmaların önemli bir bölümünü oluşturan örneklerin diyagramlara aktarılması değerlendirilmesi işlemi günümüzde Aquachem (Calmbach, 1997) ve diğer su kimyası değerlendirme programlarıyla rahatça yapılabilmektedir.

3.5.1. Suların Hidrojeokimyasal Fasiyes Kavramına Göre Sınıflaması

Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki iz düşüm yerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/l cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisimiktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (International Association of Hydrogeologists, IAH) Sıcak ve Mineralli Sular Komisyonu'nun çalışma raporunda belirtilen sınıflamada ise mek/l cinsinden olmak üzere suda % 20'den fazla çözünmüş bulunan iyonlar (anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere) su tipini belirtmektedir (IAH,1979; Başkan ve Canik, 1983; Tarcan 2003). Sınıflama, önce katyonlar sonra anyonlar sırasıyla yazılarak yapılır. İnceleme alanındaki suların hidrokimyasal fasiyes kavramına göre sınıflamasında IAH (1979) sınıflaması dikkate alınmıştır.

IAH (1979) su sınıflandırma yöntemine göre çalışma alanındaki, sıcak ve soğuk sular, soğuk mineralli su ve dere suyu Ca-Mg-HCO₃ tipinde, Keban barajının göl suları Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tipindedir. Soğuk ve sıcak sular genel olarak birbirine paralellik gösterir, ancak sıcak sular daha yüksek iyon konsantrasyonuna sahiptir.

3.5.2. Piper (Üçgen) Diyagramı

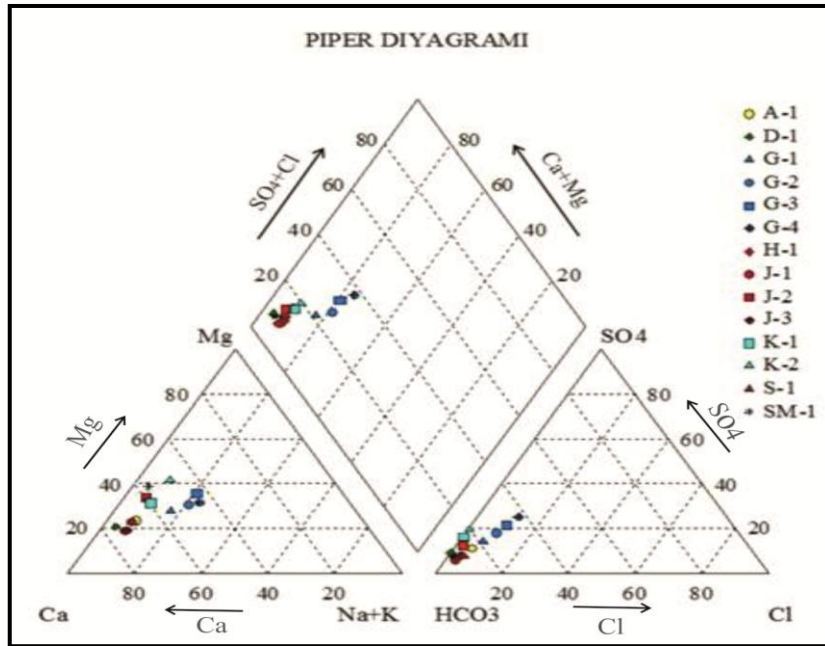
Suların kimyasal sınıflanmasını yapmak ve kimyasal bileşimlerinin şekillenmesinde etken olan litolojiyi tanımlamak için Piper üçgen grafikleri (Piper, 1944) çizilmiştir. Başlangıçta kurak ve yağışlı dönem grafikleri ayrı ayrı çizilmiş, ancak grafikler arasında belirli bir farklılık gözlenmediği için tek bir grafik olarak verilmiştir (Şekil 3.29)

Haziran (2015) ve Ekim (2015) ayları analiz sonuçlarına göre, incelenen sular Piper diyagramında 1. ve 5. bölgede gruplanmışlardır (Şekil 3.29). Bu bölge sularının karbonat sertliği %50'den fazla olup $Ca^{+2}+Mg^{+2}>Na^{+}+K^{+}$ dur. Aynı zamanda bu bölgede CaCO₃ ve MgCO₃'lı sular bulunmaktadır.

Piper diyagramından elde edilen su sınıflamaları, Şekil 3.30'da verilen yarı logaritmik Schoeller diyagramında ortaya çıkan litolojiyle birebir örtüşmüş ve suların

kimyasal bileşimlerinde etken olan litolojik birimin karbonatlı kayaçlar olduğu doğrulanmıştır.

J-1, J-2, J-3 ve S-1 no'lu sıcak su kaynakları, soğuk su kaynaklarının düştüğü alanla aynı alanda yer almıştır. Buradan da jeotermal sistemlerdeki baskın hidrojeokimyasal süreçlerin su kayaç etkileşimi ve yüzeye erişinceye kadar soğuk sularla değişik oranlardaki karışımı süreci olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Su kayaç etkileşimi önemli bir etkidir. Bu süreç iyon değişim sürecini de beraberinde getirmektedir. Son süreç ise soğuk yeraltı sularıyla karışım sürecidir.



Şekil 3.29. İnceleme alanındaki tüm suların Haziran (2015) ve Ekim (2015) dönemine ait Piper diyagramı

3.5.2.1. Suda Çözülmüş Bileşenler Arasındaki İlişkiler

Suda çözülmüş bileşenler arasındaki ilişkilerin araştırılması birçok hidrojeokimyasal problemlerin çözümünde yardımcı olabilir. Özellikle alandaki var olan ve/veya baskın hidrojeokimyasal süreçleri belirlemede oldukça önemlidir. Bileşenler arasındaki ilişki araştırmanın basit yollarından birisi de bileşenlerin doğrusallık ilişkisinin regresyon analiziyle belirlenmesidir. Bir çok hazır istatistiksel program doğrusallık ilişkisini korelasyon matrisi olarak da verebilmektedir. Burada örnek olarak verilen korelasyon matrisi Aquachem programından (Calmbach, 1997) alınmıştır. Bilindiği gibi

$y=a+bx$ şeklinde tanımlanan bir doğruya a doğrunun y eksenindeki kestiği noktayı, b ise doğrunun eğimini yansıtır. Yani a sabit katsayı, b ise eğim katsayısı olarak da adlandırılabilir. Doğrunun iyi bir doğrusallık ilişkisinde olup olmadığı hesaplanan korelasyon katsayılarının (r) değerlendirilmesiyle anlaşılır. Pozitif (+) korelasyon iki parametre arasındaki doğru orantıyı, negatif (-) korelasyon ise ters orantıyı belirtir. Korelasyon katsayısı sıfır ile bir arasında değişen ($0 < r < 1$) bir parametre olup, 1'e yaklaşan değerler iyi bir doğrusal ilişki olduğunu belirtir (Tarcan, 2003). Aquachem programında hesaplanan Pertek sularının korelasyon matrisi Tablo 3.9'da verilmiştir. Aquachem gibi programlar korelasyon matrisi yanı sıra, doğru denkleminde belirtilen a ve b katsayılarını da matris halinde verebilmektedir. Ancak burada (Tablo 3.9'da) iyonlar arasında oluşturulan doğru denklemlerinden ziyade doğrusal ilişki olup, olmadığı ele alınmıştır. Anlamlı bir doğrusallık ilişkisi verebilecek parametreler bold olarak belirtilmiştir (Tablo 3.9). Tablo 3.9'da gösterilen korelasyon matrisinde görüleceği gibi sodyum iyonu bikarbonat iyonuyla iyi bir doğrusal ilişki ($r=0.88$) ve doğru orantı (pozitif korelasyon) göstermektedir.

Tablo 3.9. Pertek jeotermal alanından gelen sulardaki kimyasal parametrelerin korelasyon katsayıları ve doğrusallık ilişkileri (Derişimler mg/L, toplam 14 su örneği değerlendirilmiştir)

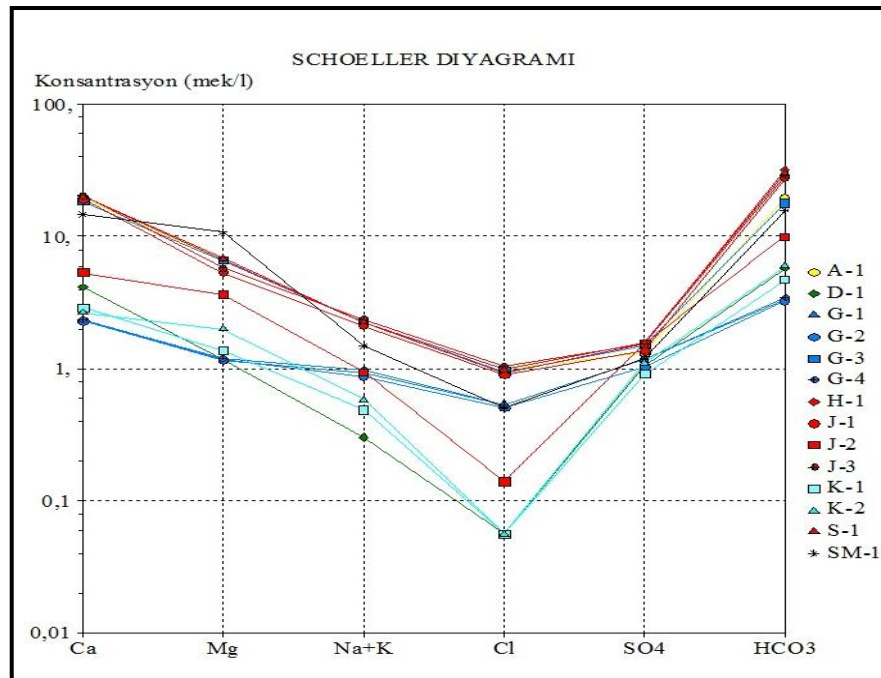
	Ph	EC	Na	Ca	Mg	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	B	SiO ₂	Sr	Mn	Fe	Li	Cu	Ni
Ph	1	-0,83	-0,7	-0,82	-0,73	-0,74	-0,87	-0,61	-0,6	-0,75	-0,77	-0,77	-0,52	-0,31	-0,74	0,3	-0,5
EC		1	0,91	0,99	0,88	0,92	0,96	0,78	0,86	0,95	0,94	0,96	0,43	0,24	0,95	-0,35	0,32
Na			1	0,92	0,7	0,83	0,88	0,96	0,83	0,97	0,83	0,96	0,49	-0,04	0,96	-0,36	0,18
Ca				1	0,83	0,93	0,97	0,8	0,84	0,97	0,95	0,98	0,49	0,16	0,97	-0,33	-0,29
Mg					1	0,8	0,79	0,55	0,77	0,71	0,78	0,75	0,22	0,6	0,72	-0,38	0,49
K						1	0,91	0,69	0,82	0,91	0,98	0,92	0,5	0,14	0,91	-0,24	0,27
HCO ₃							1	0,75	0,85	0,94	0,94	0,95	0,56	0,13	0,94	-0,34	0,32
Cl								1	0,69	0,89	0,67	0,87	0,45	-0,1	0,89	-0,33	0,15
SO ₄									1	0,83	0,83	0,82	0,51	0,04	0,82	-0,48	0,09
B										1	0,92	0,99	0,55	-0,02	0,99	-0,3	0,16
SiO ₂											1	0,94	0,52	0,09	0,93	-0,2	0,22
Sr												1	0,52	0,03	0,99	-0,3	0,2
Mn													1	-0,08	0,51	-0,23	0,16
Fe														1	-0,02	-0,2	-0,95
Li															1	-0,29	0,15
Cu																1	-0,23
Ni																	1

Tablo 3.9'a göre K^+ , Na^+ , HCO_3^- ve SiO_2 arasında korelasyon katsayısı 0,83-0,98 aralığında değişen doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Özellikle termal suların etkileşimde buldukları akifer kayaçlardaki karbonat ve silikatlara bağlı çözünürlük tepkimelerinin etkisinde olduklarını göstermektedir. Mg^{+2} , Ca^{+2} ve SO_4^{-2} arasındaki pozitif korelasyon

($r=0,77-0,84$) termal suların çeşitli derinliklerde karışım tepkimelerinden (soğuk yeraltı suları ile olan etkileşim) de etkilenmiş olabileceğini göstermektedir. Tablo 3.9'da görüldüğü gibi inceleme alanındaki sulara Cl^- ile K^+ , Na^+ ve HCO_3^- ve SiO_2 arasında da oldukça iyi pozitif bir korelasyon ($r =0,67-0,96$) bulunmaktadır. Bu doğrusal ilişki özellikle termal suların uzun süre akifer olan kayaçla etkileşimde olabileceğinin bir göstergesidir.

3.5.3. Schoeller Diyagramı

Çalışma kapsamında incelenen suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisini ortaya koymak, anyon ve katyon miktarlarının görsel olarak kolaylıkla değerlendirilebilmesi için yarı logaritmik Schoeller diyagramı kullanılmıştır. Kurak ve yağışlı dönem grafiklerinde belirli bir farklılık gözlenemediği için tek bir grafik olarak Şekil 3.30'da ve sulardaki iyonların sıralanışı Tablo 3.10 ve 3.11'de verilmiştir. Şekilde, incelenen suların iyonlarını birleştiren doğruların birbirlerine paralel olması aynı akiferden beslendiğini göstermektedir. Örnekler $Ca^{++}>Mg^{++}>Na^+>K^+$ ve $HCO_3^->SO_4^{-2}>Cl^-$ şeklinde anyon-katyon dizilimi sergilemiştir. Bu dizilim karbonatlı kayaçlardan gelen suların dizilimlerine benzemektedir. Bu veri, akifer sisteminin arazi çalışmalarındaki litolojik tanımlamasıyla da örtüşmektedir.



Şekil 3.30. İnceleme alanındaki tüm suların Haziran (2015) ve Ekim (2015) dönemine ait Schoeller diyagramı

Tablo 3.10. Haziran (2015) dönemi analiz sonuçlarına göre sulardaki iyon sıralanışı

İYONLARIN SIRALANIŞI		
ÖRNEK NO	KATYONLAR	ANYONLAR
J-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
J-2	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
J-3	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
S-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
H-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
A-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
SM-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
G-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
G-2	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
G-3	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
G-4	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
K-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
K-2	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
D-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$

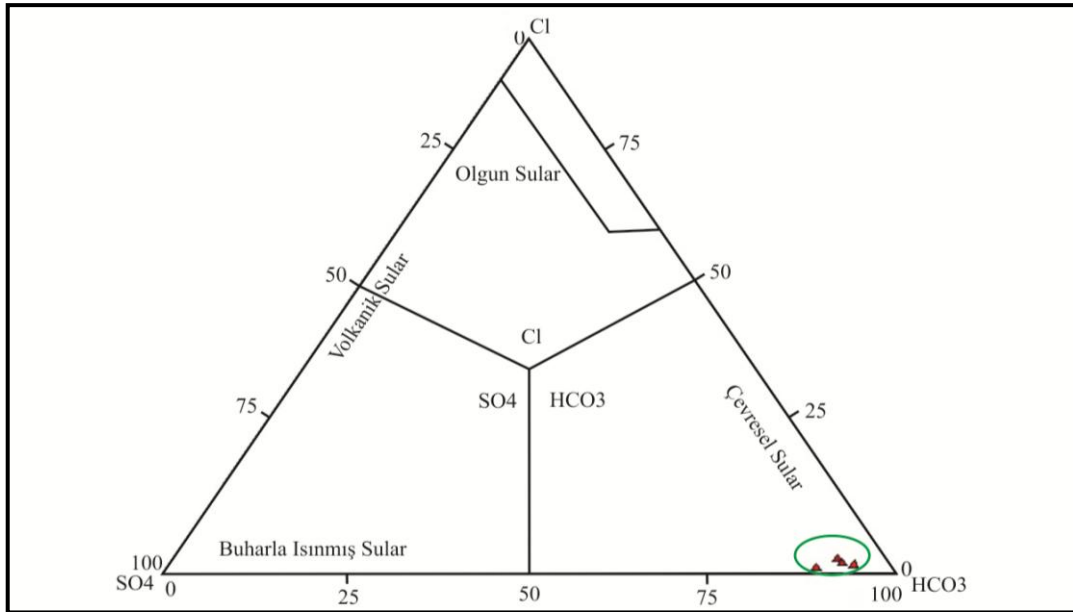
Tablo 3.11. Ekim (2015) dönemi analiz sonuçlarına göre sulardaki iyon sıralanışı

İYONLARIN SIRALANIŞI		
ÖRNEK NO	KATYONLAR	ANYONLAR
J-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
J-2	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
J-3	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
S-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
H-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
A-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
SM-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
G-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
G-2	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
G-3	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
G-4	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
K-1	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
K-2	$rCa^{+2} > rMg^{+2} > r(Na^{+} + K^{+})$	$rHCO_3^{-} > rSO_4^{-2} > rCl^{-}$
D-1	$rHCO_3^{-} > rCa^{+2} > rMg^{+2} > rSO_4^{-2} > r(Na^{+} + K^{+}) > rCl^{-}$	

3.5.4. Cl-SO₄-HCO₃ Üçgen Diyagramı

Doğal suları sınıflandırmada değişik araştırmacılar tarafından ortaya atılmış ve halen kullanılagelen birçok diyagram bulunmaktadır. Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramı (Giggenbach, 1988) da bu tür diyagramlardan biridir. Basit bir diyagram olan Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramı suları bir ölçüde kökensel bazda sınıflandırmaya yarayan bir grafikdir (Nicholson, 1993). Bu üçgen diyagram da diğer üçgen diyagramlar gibi örnekler arasında göreceli ilişkiyi hızlı bir şekilde görmeyi sağlayan bir ön değerlendirme verir.

Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarından alınmış su örnekleri bu diyagrama aktarıldığında Şekil 3.31'deki gibi HCO₃ köşesinde dar bir aralık içinde toplandıkları ve çevresel suları temsil ettikleri görülmektedir. Bu durum incelenen suların, çeşitli seviyelerde bikarbonat içeriği yüksek sığ yeraltı suları tarafından seyrelmeye uğratıldığına işaret etmektedir.

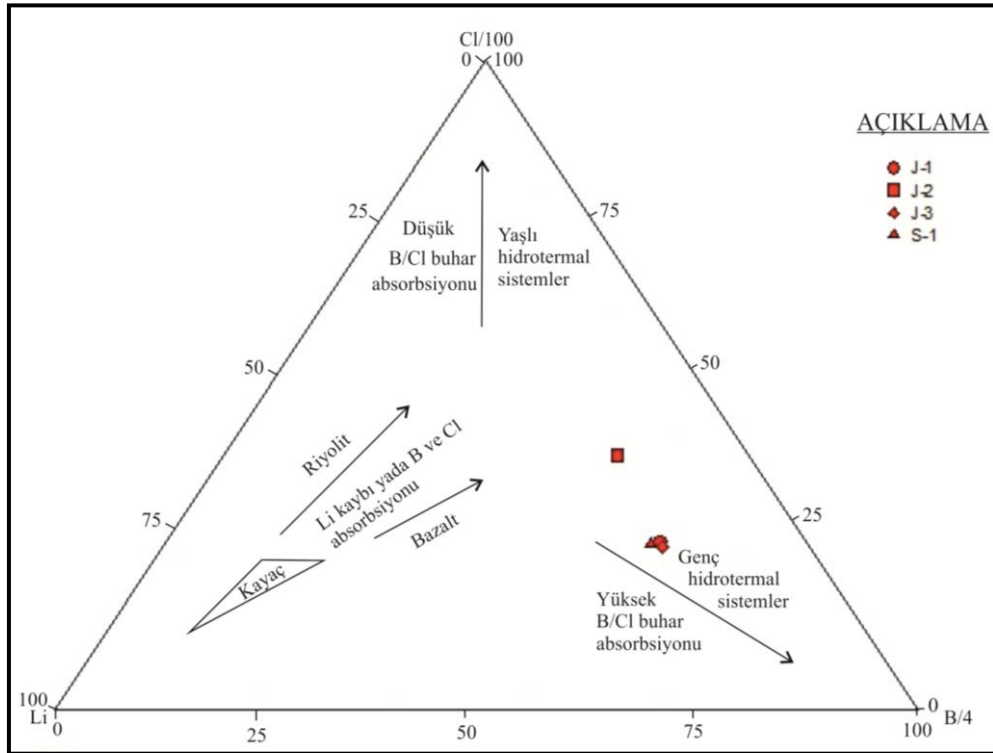


Şekil 3.31. Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramında sıcak su kaynaklarına ait su örneklerinin konumları

3.5.5. Cl-Li-B Üçgen Diyagramı

Bu diyagramda, ikincil süreçlerden belki de en az etkilenen alkali metal olan Lisıcak sularda korunumlu diğer iki bileşenin (Cl ve B) muhtemel kökeninin görecelitalahmininde kullanılmaktadır. Li çözeltiye bir kez ilave olduğunda büyük oranda çözeltide kalır. Li içeren bir akışkana B ve Cl eklendiğinde, akışkandaki oranları kabuksal kayacınkine benzer. Uçucu özelliği nedeniyle B, ısınma sürecinin ilk evrelerinde atıldığında, termal akışkanın B miktarı jeotermal sistemin olgunluğunu bir ölçüde yansıtır (Giggenbach, 1991). Çalışma alanındaki sıcak suların Cl-Li-B diyagramındaki yerleri Şekil 3.32’de verilmiştir.

Pertek Jeotermal alanındakısıcak sular (J-2 hariç) Cl-B-Li değerlerine göre benzer oranlara sahip oldukları için diyagramda aynı bölgeye düşmüşlerdir. Şekil 3.32’e göre sıcak su noktalarına ait sular, genç hidrotermal sistemleri temsil eden alanda yoğunlaşmışlardır. J-2 no’lu sıcak su kaynağının diğer sıcak su kaynaklarına göre diyagram üzerinde farklı noktada yer alması J-2 no’lu kaynağa çok fazla miktarda soğuk su karışımının olduğunu düşündürmektedir.



Şekil 3.32. Cl-Li-B üçgen diyagramında sıcak su kaynaklarına ait su örneklerinin konumu

3.5.6. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına bakıldığında suların sınıflandırılması, özgül elektriksel iletkenlik (EC) değeri ve sodyum adsorpsiyon oranlarına (SAR) göre yapılmaktadır.

Sulama sularının sınıflandırılmasında bir yaklaşım olarak ifade edilen SAR, su içerisinde bulunan bileşenlerin mek/L değerlerinden faydalanılarak,

$$SAR = Na / [(Ca+Mg) / 2]^{1/2} \quad (3.1)$$

denkleminde bulunur ve sulama suları, aşağıdaki gibi sınıflandırılır (Şahinci, 1991);

Suyun Özelliği SAR (%)

Çok iyi özellikte olan sulama suları < 10

İyi özellikte olan sulama suları 10-18

Orta özellikte olan sulama suları 18-26

Kötü özellikte olan sulama suları 26 >

Sulama suları bu diyagramda 16 gruba ayrılmıştır. Su kaynaklarının yer aldığı alanlar aşağıdaki gibi belirtilen sodyum tehlikesi ve tuzluluk özelliklerinin her ikisini de içerir (Şahinci, 1991):

Tuzluluk Özellikleri:

C1: (EC < 250 µS/cm), az tuzlu sular olup, bütün topraklardaki bitkilerin sulaması için uygundur.

C2: (EC 250-750 µS/cm), orta tuzlu sular olup, akaçlama özelliğindeki fazla olmayan topraklardaki bitkiler sulanabilir.

C3: (EC 750-2250 µS/cm), tuzlu sular olup, akaçlaması iyi olmayan arazilerde sulama için kullanılması doğru değildir eğer kullanılırsa tuza dayanıklı bitkiler tercih edilmelidir.

C4: (EC > 2250 µS/cm), çok tuzlu sular olup, akaçlaması ve geçirgenliği çok iyi olan topraklardaki, tuza çok dayanıklı bitki türlerinin sulanması için uygundur.

Sodyum Tehlikesinin Özellikleri:

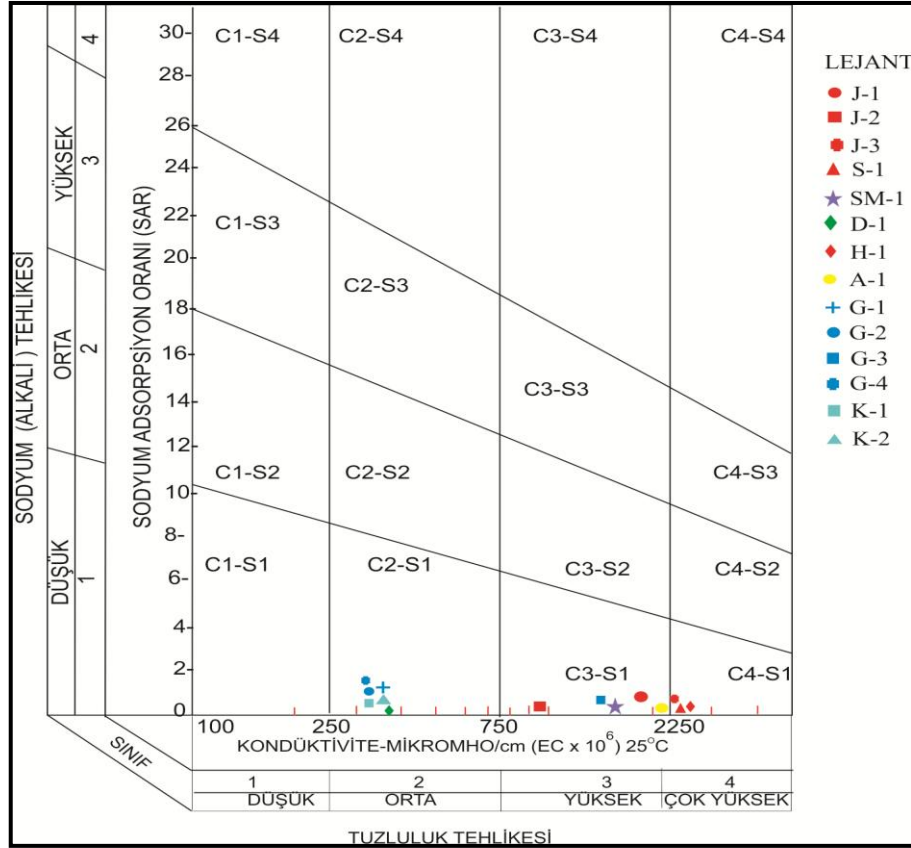
S1: Az sodyumlu su özelliğindedir ve bütün topraklarda sodyum tehlikesi olmadığından kullanılabilir.

S2: Orta sodyumlu su özelliğindedir ve bol jipsli veya geçirgen arazilerde kullanılabilir.

S3: Yüksek sodyumlu su özelliğindedir ve çoğu toprak türünde sodyum tehlikesine sebep olabilir.

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

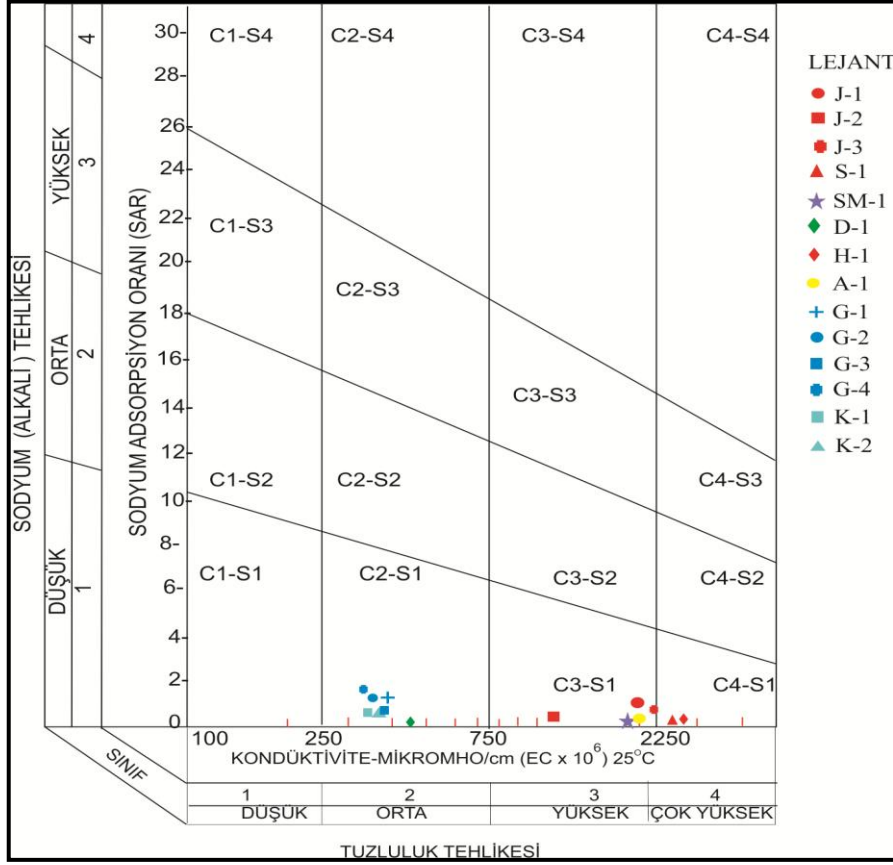
C1-S1, C2-S1, C3-S1 her türlü sulamada, C4-S1, C3-S2 bazı özel koşullarda kullanılabilir. C4-S2, C4-S3 sulamada kullanılmamalıdır.



Şekil 3.33. İnceleme alanındaki suların Haziran (2015) dönemine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Kimyasal analizler sonucunda elde edilen sodyum adsorpsiyon oranı (SAR); Haziran (2015) döneminde sıcak sularda 0,25-0,32, soğuk su kaynaklarında 0,30 -0,32, soğuk mineralli su kaynağında 0,19, dere suyunda 0,19 ve göl sularında 0,75-1,14 arasında, Ekim (2015) döneminde sıcak sularda 0,25-0,32, soğuk su kaynaklarında 0,27, soğuk mineralli su kaynağında 0,17, dere suyunda 0,13 ve göl sularında 0,75-1,14 arasında değişmektedir (Tablo 3.8). G-4, G-2, G-1, K-1, K-2, D-1 no'lu örnekler C2-S1 sınıfında; J-1, içerisinde çok miktarda soğuk su karışan J-2, SM-1, G-3, A-1 nolu örnekler C3-S1 sınıfında ve S-1, J-3, H-2 nolu örnekler C4-S1 sınıfında yer almaktadırlar. C2-S1 sınıfı sular orta tuzlu, az sodyumlu sular, tuzluluk ve sodyum tehlikesi olmadan kullanılabilir. C3-S1 sınıfı sular tuzlu, az sodyumlu sular olup sulamada tuza dayanıklı bitkiler seçilerek

kullanılabilir. C4-S1 sınıfı sular çok tuzlu, az sodyumlu sular olup sulamada tuza çok dayanıklı bitkiler seçilerek kullanılabilir (Şekil 3.33).



Şekil 3.34. İnceleme alanındaki suların Ekim (2015) dönemine ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Haziran 2015 döneminde C3-S1 sınıfında yer alan G-3 no'lu örneğin Ekim 2015 döneminde C2-S1 sınıfında olduğu görülmektedir (Şekil 3.34). Bunun nedeni, Haziran ayında G-3 no'lu örneğin alındığı yerde göl suyuna karışmakta olan atık suyun deşarj debisi yüksek olduğundan bu dönemde göl suyundaki kirlenme fazla olmuştur ve G-3 no'lu su örneği C3-S2 sınıfında yer almıştır. Ekim ayında ise göl suyuna karışmakta olan atık suyun deşarj debisi düşük olduğundan göl suyundaki kirlenme azaldığı için G-3 no'lu örnek bu dönemde C2-S1 sınıfında yer almaktadır.

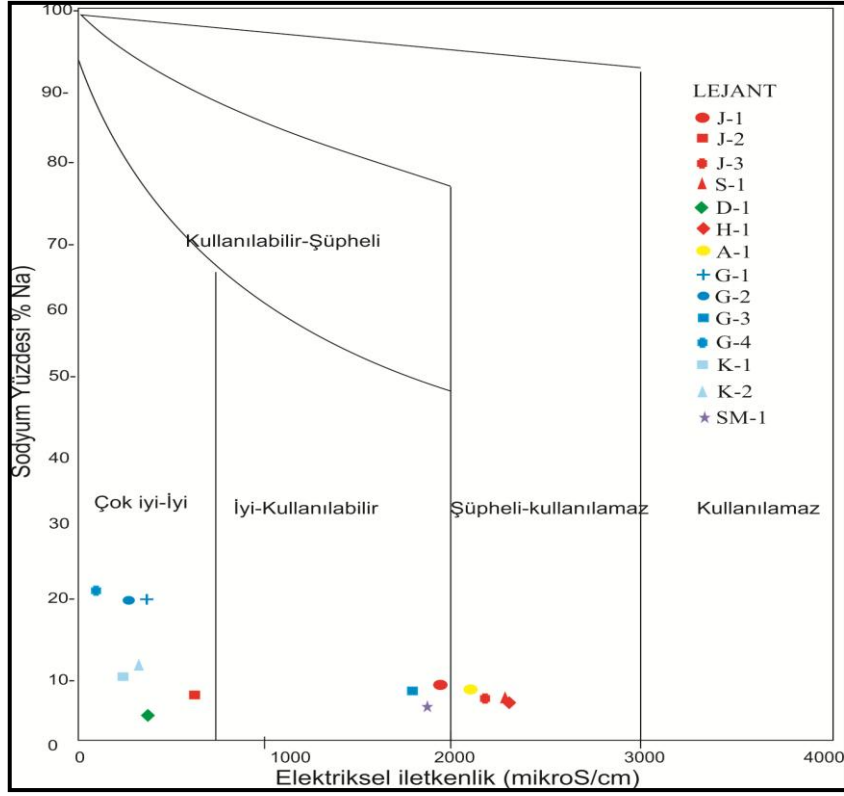
3.5.7. Wilcox Diyagramı

Wilcox diyagramı, suların %Na'u ve EC değerlerinden yararlanılarak sulama için kullanımının belirlenmesinde oluşturulmuş grafik yöntemlerinden biridir. Wilcox diyagramında düşey ekseninde suyun %Na'u, yatay ekseninde ise suyun EC değeri bulunmaktadır. Bu iki bileşenin kesiştiği yer suyun sulama için kullanım derecesini belirlemektedir.

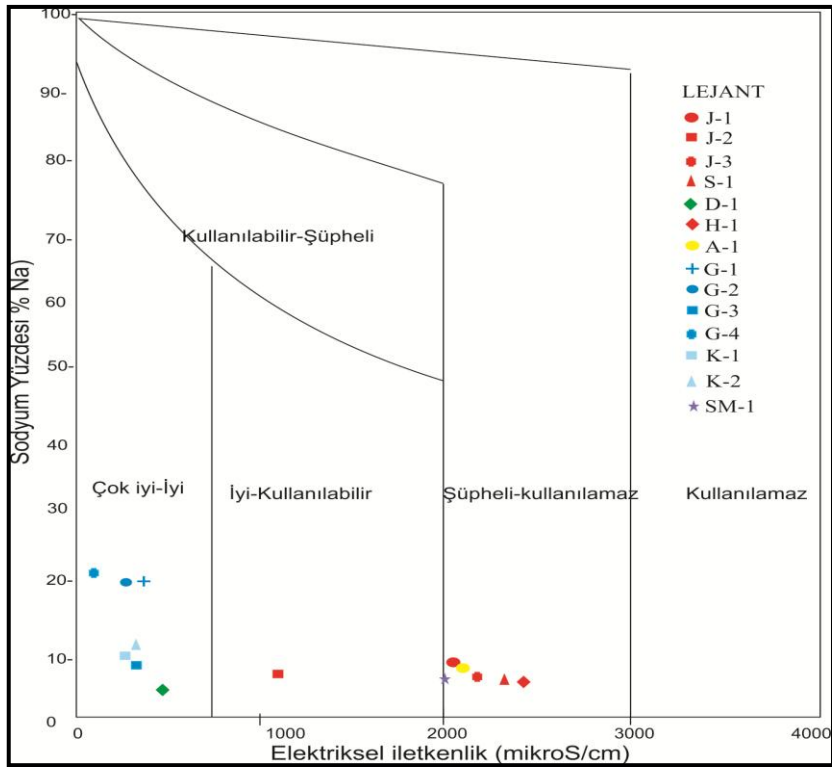
Sodyum miktarı sulama sularında önemli bir yer tutmaktadır. Sularda bulunan Na, toprağın genel yapısını bozabilir, geçirgenliğini azaltabilir ve sulama işleminden sonra zeminin üst kısımlarında soğurulan sodyum, toprağın yüzeyinde tabaka şeklinde sert bir kabuk meydana getirebilir ve bitki köklerinin havalanması engelleyebilir. Türüne bakılmaksızın, sodyum açısından doymuş topraklardaki bitkiler çok az gelişir veya gelişmezler. Sularda bulunan sodyum %'si iyonların mek/L cinsinden değerleri kullanılarak aşağıdaki denklemden bulunmaktadır (Şahinci, 1991):

$$\%Na = 100 (Na+K) / (Ca+Mg+K+Na) \quad (3.2)$$

İnceleme alanındaki suların Haziran (2015) dönemi için sıcak sularda %Na değeri %6,64-%8,36, soğuk su kaynaklarında %10,25-%11,17, soğuk mineralli su kaynağında %5,47, dere suyunda %5,29 ve göl sularında %16,96-%23,43 arasında, Ekim (2015) dönemi için sıcak sularda %Na değeri %6,64-%8,36, soğuk su kaynaklarında %9,13-%9,61, soğuk mineralli su kaynağında %5,08, dere suyunda %3,74 ve göl sularında %16,96-%23,43 arasında değişmektedir (Tablo 3.1 ve Tablo 3.2). Wilcox diyagramına J-1, K-1, K-2, D-1, G-1, G-2, G-4 no'lu örnekler aynı karakterde olup diyagramda “Çok İyi-İyi” sular sınıfında; G-3, SM-1, içerisine çok miktarda soğuk su karışan J-2 “İyi-Kullanılabilir” sular sınıfında ve A-1, S-1, J-3, H-1 “Şüpheli-Kullanılamaz” sular sınıfında yer almaktadırlar (Şekil 3.35).



Şekil 3.35. İnceleme alanındaki suların Haziran (2015) dönemine ait Wilcox diyagramı



Şekil 3.36. İnceleme alanındaki suların Ekim (2015) dönemine ait Wilcox diyagramı

Haziran 2015 döneminde “İyi kullanılabilir” sular sınıfında yer alan G-3 no’lu örneğin Ekim 2015 döneminde “Çok iyi-iyi” sular sınıfında olduğu görülmektedir (Şekil 3.36). Bunun nedeni, Haziran ayında G-3 no’lu örneğin alındığı yerde göl suyuna karışmakta olan atık suyun deşarj debisi yüksek olduğundan bu dönemde göl suyundaki kirlenme fazla olmuştur ve G-3 no’lu su örneği “İyi kullanılabilir” su sınıfında yer almıştır. Ekim ayında ise göl suyuna karışmakta olan atık suyun deşarj debisi düşük olduğundan göl suyundaki kirlenme azaldığı için G-3 no’lu örnek bu dönemde “Çok iyi-iyi” su sınıfında yer almaktadır.

3.6. Minerallerin Sudaki Çözünürlüklerinin Değerlendirilmesi

Suların sahip olduğu mineral doygunlukları suda bulunan iyonların ve minerallerin Gibbs serbest enerjileri ile iyon etkinliklerinin bilinmesiyle bağlantılıdır. Bir mineralin sudaki çözünürlüğü olarak tanımlanan doygunluk indeksi değeri $\log(Q/K)$ veya $\log(IAP/K)$ şeklinde ifade edilebilir. Doymuluk indeksi her mineral için sıcaklıkla ve kısmen de basınçla değişen değerler içerir. Termodinamik metotlarla hesaplanabilen doymuluk indeksi (DI yada SI) sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanır (Tarcan, 2002):

SI=0 ise su söz konusu mineral ile dengededir (doygundur)

SI>0 ise su söz konusu mineral ile aşırı doygundur (minerali çöktürme özelliğindedir)

SI<0 ise söz konusu mineral ile doymun değildir (minerali çözündürme özelliğindedir).

Mineral doymuluk indeksi değerlerinin hesaplanması ile üretim ve iletim sırasında oluşabilecek çökeller önceden tahmin edilebilir ve buna bağlı olarak üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek tedbirler belirlenebilir (Tarcan, 2002).

Sıcak su kaynaklarından alınan 12 adet örneğin kimyasal analiz sonuçlarına göre doymuluk indeksi değerleri, Phreeqc (Parkhurst ve Appelo, 1999) bilgisayar programı yardımıyla bütün örnekler için ayrı ayrı hesaplanarak Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12. Sıcak su örneklerinin yüzey koşullarında kimyasal bileşimine göre belirli mineraller için hesaplanmış doygunluk indeksi değerleri

Örnek No	Dönem	Sıcaklık	Albit	Anhidrit	Aragonit	Dolomit	Kalsit	Kalsedon	Kuvars	Jips
J-1	Haz.15	25,5	-0,67	-1,68	1,5	2,89	1,65	0,58	1,01	-1,67
J-1	Eki.15	30,7	-0,81	-1,65	0,2	0,29	0,34	0,55	0,96	-1,46
J-2	Haz.15	33,9	-3,11	-1,88	-0,58	-0,83	-0,44	0,08	0,48	-1,71
J-2	Eki.15	19,6	-1,23	-1,78	0,71	1,53	0,85	0,39	0,84	-1,54
J-3	Haz.15	33,9	-1,18	-1,58	0,28	0,51	0,41	0,55	0,95	-1,4
J-3	Eki.15	34,2	-1,03	-1,51	0,16	0,33	0,3	0,58	0,98	-1,34
S-1	Haz.15	35,6	-1,24	-1,6	0,41	0,88	0,55	0,48	0,88	-1,43
S-1	Eki.15	33,2	-0,78	-1,63	0,77	1,55	0,9	0,53	0,94	-1,45
H-1	Haz.15	36,7	-1,2	-1,6	0,6	1,25	0,73	0,48	0,88	-1,44
H-1	Eki.15	36,5	-1,03	-1,52	0,42	0,89	0,56	0,49	0,89	-1,36
A-1	Haz.15	31,3	-0,36	-1,67	1,3	2,61	1,44	0,53	0,94	-1,48
A-1	Eki.15	32,3	-0,84	-1,57	0,97	1,98	1,11	0,54	0,95	-1,38

Pertek jeotermal alanındaki sıcak sular genel olarak aragonit, kalsit, dolomit, kuvars ve kalsedon minerallerine doygun olup, bu mineralleri çökeltme; albit, anhidrit ve jips minerallerine ise doygun olmayıp bunları çözme eğilimindedirler. Bu durum sıcak suların rezervuar kayaçlarının mermer ve kristalize kireçtaşı olmasından kaynaklanmaktadır. Aragonit, dolomit ve kalsit yağışlı dönemde J-2 no'lu örnek de doygunluk altı değerinde, diğer bütün örneklerde değişen çözünürlüklerdedir.

3.7. Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermal sistemlerin üst noktalarından, kaynaklardan veya sondaj kuyularından, alınan sular kaynama veya kondüksiyon nedeniyle soğuyabilir. Kaynaklardan veya sondajlardan alınan sıcak ve mineralli suların soğuma bölgesinin alt kısımlarındaki akifer sıcaklığının hesaplanmasında, jeotermometreler kullanılmaktadır. Akiferdeki suyun yüzeye çıkışı sırasında soğuk sularla karışması suyun soğumasına neden olur (Arnorsson vd., 1983). Sıcak ve mineralli suların yeraltında yüzeye ulaşırken temasta bulunduğu yani etkileşimde bulunduğu kayalarla ısı alışverişi, soğuk yeraltı suları ile karışımı, akifer sıcaklığının atmosferle ilişkisini kesen geçirimsiz örtü kayaların çok ince oluşu veya bulunmaması gibi sebepler suların sıcaklıklarının azalmasında etkilidir. Suyun yeraltında aldığı yol kısa olursa ve debisi de yüksek ise, akifer kaya sıcaklığına yakındır (Şahinci, 1991).

Jeotermal suyun akifer sıcaklığının tahmin edilmesi, sıcak ve mineralli suların uygun şekilde kullanılabilmesi yönünden çok önemlidir. Jeotermal alanlarda akifer

sıcaklıklarının doğrudan ölçülmesi masrafa ve zaman kaybına yol açması nedeniyle akifer sıcaklığının belirlenebilmesi için geliştirilmiş birçok jeotermometre bulunmaktadır.

Jeotermal sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi için kullanılan kimyasal ve izotop jeotermometreleri oldukça önemli bir jeokimyasal araçtır. Kullanılan bu jeotermometreler üretim esnasında haznenin üretime karşı verdiği tepkiyi izlemek ve takip etmek için oldukça önemli bir unsurdur. Jeotermometreler başlıca üç grupta toplanmıştır:

1. Çözünürlük jeotermometreleri,
2. Gaz jeotermometreleri,
3. İzotop jeotermometreleri.

Çözünürlük ve gaz jeotermometreleri, kimyasal jeotermometreler adıyla incelenmiştir. Bu kapsamda, Pertek jeotermal alanındaki suların akifer sıcaklıklarının hesaplanmasında çözünürlük jeotermometrelerinden yararlanılmıştır. Jeotermal sular, derin akiferden yüzeye çıkışları esnasında içinden geçtiği soğuk kayaçlarla etkileşimde bulunduğundan soğuyabilir veya hidrostatik basınç azalmasına bağlı olarak kaynayabilirler. İletimle meydana gelen soğuma yalnız başına suyun kimyasal ve izotopik bileşimini değiştirmede etkili değildir. Oluşan soğuma birincil ve ikincil minerallerin çözünürlüklerini değiştirebilir. Sonuçta, iletimle oluşan soğuma, suyun yüzeye erişimi esnasında minerallerin çözünmesi veya çökmesi sonucunda suyun kimyasal bileşimde bazı değişikliklere neden olmaktadır. Kaynama, yüzeye yükselen jeotermal suda sürekli değişikliklere neden olmaktadır. Böylece, gaz fazının ayrılması ile sudaki çözünenlerin miktarı artmaktadır. Kimyasal ve izotopik jeotermometreler jeotermal incelemeler esnasında, soğuma bölgesi altındaki hazne sıcaklığının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreleri uygularken iletimle meydana gelen soğuma ile birlikte suyun kimyasal bileşiminde bir değişiklik oluşmadığı kabul edilir (D'Amore ve Arnórsson, 2000).

Jeotermal alanlarda yapılan jeotermometre deneyleri, farklı kimyasal ve izotop jeotermometrelerin bazen birbirleri ile uyumlu sonuçlar verdiğini, bazen de aralarında çok fazla farklılıklar olduğunu göstermiştir. Aralarındaki uyumun fazla olması, bu konuda kabul edilen varsayımların bir sonucu olarak belirtilmiştir ancak, bulunan hazne akışkan sıcaklıkları arasında çok farklılık olması da eşitlikler arasında herhangi bir dengenin olmadığını göstermektedir. Oluşan sıcaklık farklılıkları, sıcak suların yüzeye ulaşmaları esnasında kaynama ve soğuk sularla karışımı gibi çeşitli parametrelerden etkilendiği anlamına gelebilir (D'Amore ve Arnórsson, 2000)

3.7.1. Çözünürlük Jeotermometreleri

Arnórsson ve Svavarsson (1985)'unda belirttiği gibi 1960 ve 1980 yılları arasında çok sayıda çözünürlük jeotermometresi geliştirilmiştir. Geliştirilen jeotermometreler arasında en önemli olanların ve yaygın bir şekilde kullanılanların, silis (kuvars ve kalsedon), Na/K ve Na-K-Ca jeotermometreleri olduğu ifade edilmiştir. Geliştirilmesine devam edilen jeotermometreler esas olarak Na/Li, Li/Mg, K/Mg oranlarına ve Na-K-Mg ilişkisine dayanmaktadır. Kuramsal olarak her katyon oranı ve sudaki yüksüz derişimlere sahip olanlar eşitlikte yer almak şartıyla bir jeotermometre olarak kullanılabilir (D'Amore ve Arnórsson, 2000).

Ellis (1979), Fournier (1977), Fournier vd. (1974), Truesdell (1976) ve White (1970)'ın yaklaşımına bakıldığında, çözünürlük jeotermometreleri sıcaklığa bağlı mineral-akışkan dengesine dayanmaktadır ve başarıyla uygulanabilmeleri için aşağıdaki varsayımların dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir (Nicholson,1993):

1. Jeotermometrelerde kullanılan bileşenlerin veya elementlerin derişimleri sadece sıcaklıkla değişebilen mineral-akışkan reaksiyonlarıyla kontrol edilir.
2. Denge reaksiyonlarında kullanılan mineraller veya akışkan-kayaç sisteminde çözünmüş türler akiferde yaygın olarak bulunmaktadır.
3. Reaksiyonlar jeotermal akifer koşullarında dengeye ulaşmıştır.
4. Jeotermal akışkan hızlı bir şekilde ile yüzeye çıkmaktadır ve jeotermal suyun akiferden uzaklaşmasıyla tekrar denge tepkimesi oluşmamıştır.
5. Derindeki jeotermal akışkanda karışım veya seyrelme bulunmamaktadır (Bu varsayım, seyrelme yada karışım varsa önemsenmeyebilir).

Bu varsayımların ilk üç maddesi SiO₂ ve Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılmaktadır. Son iki varsayımın ise tam olarak gerçeği yansıtmadığı belirtilmiştir. Çünkü akiferden yüzeye doğru çıkan sıcak suyun soğuması veya soğuk sularla karışımı kimyasal yapısını değiştirebilir.

Jeotermal sularda çözünürlük jeotermometrelerinin uygulanabilmesi için çeşitli araştırmacı tarafından geliştirilmiş birçok jeotermometre eşitliği bulunmaktadır. Bu çalışmada akifer kaya koşullarındaki jeotermal suyun sıcaklığını hesaplamakta kullanılan jeotermometrelerin formülleri ve bu formülleri geliştiren araştırmacılar Tablo 3.13'de, jeotermometrelerin özellikleri ve bunların geçerlilik durumları ile ilgili veriler aşağıda

farklı başlıklar altında verilmiştir. Bu jeotermometre eşitliklerinin kullanılmasıyla çalışma alanı için hesapladığımız haznedeki jeotermal sulara ait sıcaklıklar Tablo 3.14’de verilmiştir.

3.7.1.1. Silis Jeotermometresi

Silis jeotermometreleri mineral çözünürlüğüne dayalı bir jeotermometredir. Silisin çözünürlüğü diğer mineraller gibi sıcaklık ve basınçla değişmektedir. Bu jeotermometrelerin esası bu temel bağıntıya dayanmaktadır. Silis jeotermometre eşitlikleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kaya sıcaklığına veya sıcak suyun yüzeye yükselirken soğumasına yönelik olarak hazırlanmıştır (Şahinci, 1991b). Silisin değişik türleri için hazırlanmış jeotermometre formülleri Tablo 3.13’de verilmiştir. Kuvars çözünürlüğü, sıcaklığı 120-180 °C’den daha fazla olan jeotermal sistemlerde çözünmüş olan silisi kontrol etmektedir (Fournier 1991). Silis 250 °C’den yüksek sıcaklıklarda hızlıca çözünüp çökeldiğinden silis jeotermometresi için geçerli sıcaklık değeri yaklaşık 250 °C’ye kadardır (Nicholson, 1993). Sıcaklığı 180 °C’den düşük olan jeotermal sistemlerde ise kuvarstan çok kalsedon ile bir denge durumu söz konusudur. Bunun için sıcaklığı 180 °C’den düşük jeotermal rezervuarlarda kalsedon jeotermometresinin, 180 °C’nin üzerindeki jeotermal rezervuarlarda ise kuvars jeotermometresinin kullanılmasının daha uygun olduğu belirtilmektedir (D’Amore and Arnórsson 2000).

Çalışma alanında bulunan Pertek sıcak su kaynaklarının kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak silis jeotermometre eşitlikleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.13’de verilmiştir. Bu verilere göre, kuvars jeotermometrelerinden amorf silis jeotermometresinin ve β kristobalit jeotermometresinin eksi değerler verdikleri veya ölçülen kaynak ve sondaj sıcaklığından düşük değerler verdikleri gözlenmiştir. Bu jeotermometrelerin dışında kullanılan öteki silis jeotermometrelerin sonuçlarına göre, incelenen sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları 74-127 °C arasındadır (Tablo 3.14).

Tablo 3.13. Bu çalışmada kullanılan çözünürlük jeotermometreleri

Jeotermometre türü	Kaynak	Anlam Aralığı (°C)	Tablo sıra no
Silis jeotermometresi			
$t^{\circ}\text{C}=[1309/(5,19-\log\text{SiO}_2)]-273$ (Kuars) (SiO ₂ , buhar kaybı yok)	Fournier (1977)	25-250	1
$t^{\circ}\text{C}=[1522/(5,75-\log\text{SiO}_2)]-273$ (Kuars) (SiO ₂ , 100°C'de maksimum buhar kaybı)	Fournier (1977)	25-250	2
$t^{\circ}\text{C}=[1032/(4,69-\log\text{SiO}_2)]-273$ (Kalsedon)	Fournier (1977)	0-250	3
$t^{\circ}\text{C}=[1000/(4,78-\log\text{SiO}_2)]-273$ (α -Kristobalit)	Fournier (1977)		4
$t^{\circ}\text{C}=[781/(4,51-\log\text{SiO}_2)]-273$ (Opal)		25-250	5
$t^{\circ}\text{C}=[731/(4,52-\log\text{SiO}_2)]-273$ (Amorf silis)	Fournier (1977)	25-250	6
($t < 250^{\circ}\text{C}$ ve SiO ₂ derişimi mg/Kg'dır)			
Na/K Jeotermometresi			
$t^{\circ}\text{C}=856/[\log(\text{Na}/\text{K})+0,857]-273$	Truesdell (1976)	100-275	7
$t^{\circ}\text{C}=833/[\log(\text{Na}/\text{K})+0,780]-273$	Tonani (1980)	25-250	8
$t^{\circ}\text{C}=933/[\log(\text{Na}/\text{K})+0,993]-273$	Arnorsson ve diğer. (1983)	250-350	9
$t^{\circ}\text{C}=1319/[\log(\text{Na}/\text{K})+1,699]-273$	Arnorsson ve diğer. (1983)		10
$t^{\circ}\text{C}=1217/[\log(\text{Na}/\text{K})+1,483]-273$	Fournier (1979b)		11
$t^{\circ}\text{C}=1178/[\log(\text{Na}/\text{K})+1,470]-273$	Nieva ve Nieva (1987)		12
$t^{\circ}\text{C}=1390/[\log(\text{Na}/\text{K})+1,750]-273$	Giggenbach ve diğer. (1983)		13
($t < \sim 120^{\circ}\text{C}$ ve Na, K derişimi mg/Kg'dır)			
Na-K-Ca Jeotermometresi			
$t^{\circ}\text{C}=\frac{1647}{\{\log(\text{Na}/\text{K})+\beta[\log(\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}})+2,06]+2,47\}}-273$ Mg düzeltme formülleri: $R=[\text{Mg}/(\text{Mg}+0,61\text{Ca}+0,31\text{K})]\times 100$ $t\text{Mg}=10,664-4,7415\log R+325,87(\log R)^2-1,032\times 10^5(\log R)^2/T_{\text{NaKCa}}-1,968\times 10^7(\log R)/T^2_{\text{NaKCa}}+1,605\times 10^7(\log R)^3/T^2_{\text{NaKCa}}\dots(5<R<50)$ $t\text{Mg}=-1,03+59,971\log R+145,05(\log R)^2-36711(\log R)^2/T_{\text{NaKCa}}-1,67\times 10^7\log R/T^2_{\text{NaKCa}}\dots(R<5)$ $t^{\circ}\text{C}=t_{\text{NaKCa}}-t\text{Mg}$ (Na, K, Ca derişimi mol/Kg'dır)	Fournier ve Truesdell (1973)		14 15
Na/Li Jeotermometresi			
$t^{\circ}\text{C}=1000/[\log(\text{Na}/\text{Li})+0,389]-273$ Cl < 0,3 mol/Kg	Fouillac ve Michard (1981)		16
$t^{\circ}\text{C}=1195/[\log(\text{Na}/\text{Li})+0,130]-273$ Cl > 0,3 mol/Kg	Fouillac ve Michard (1981)		17
$t^{\circ}\text{C}=1590/[\log(\text{Na}/\text{Li})+0,779]-273$			18
(İlk iki eşitlikte Na/Li derişimleri mol/Kg, son eşitlikte ise mg/Kg'dır)	Kharaka ve diğer. (1982)		
K/Mg Jeotermometresi			
$t^{\circ}\text{C}=4410/[\log(\text{K}/\text{ÖMg})+14,0]-273$	Giggenbach (1988)		19
Li/Mg Jeotermometresi			
$t^{\circ}\text{C}=2200/[5,470-\log(\text{Li}/\text{ÖMg})]-273$	Khakara ve Mariner (1989)		20

Tablo 3.14. Hazne akışkan sıcaklıkları (formüller sıra no'suna göre Tablo 3.13'de verilmiştir)

Ömek No	Sıcaklık	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
J-1	25,5	115	114	86	64	*	*	355	375	350	325	339	323	343	***	*	95	**	238	39	37
J-1	19,6	118	90	90	68	*	*	337	355	333	315	327	311	332	***	*	85	**	226	40	*
J-2	33,9	74	78	42	24	*	*	314	331	313	301	311	296	318	***	*	18	**	140	38	40
J-2	30,7	87	90	56	37	*	*	331	349	328	311	323	307	329	***	*	42	**	173	37	42
J-3	33,9	122	118	94	71	*	*	350	379	345	323	336	320	341	***	*	105	**	250	38	34
J-3	34,2	127	124	99	76	*	*	334	352	331	313	325	310	331	***	*	86	**	227	45	*
S-1	35,6	116	115	87	66	*	*	347	367	343	321	334	318	339	***	*	105	**	251	38	40
S-1	33,2	119	117	91	68	*	*	329	347	326	310	321	306	328	***	*	88	**	230	39	40
H-1	36,7	118	116	89	67	*	*	347	366	342	321	334	318	339	***	*	108	**	255	40	33
H-1	36,5	118	117	90	68	*	*	326	344	324	308	320	304	326	***	*	87	**	229	37	36
A-1	31,3	117	116	88	66	*	*	335	353	331	313	325	310	331	***	*	98	**	242	40	33
A-2	32,3	119	117	91	68	*	*	317	334	315	303	313	298	320	***	*	84	**	225	39	33

*: Jeotermometre değeri, ölçülen yüzey sıcaklığı kadar ya da daha düşük çıktığından kullanılmamıştır, **: Cl<0.3 mol/Kg olduğundan bu formül geçerli değildir, ***geçerli sıcaklık aralığında olmadığından tabloda gösterilmemiştir.

3.7.2. İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler

İyon değişimi denge sabitleri sıcaklığın etkisine bağlıdır. Sularda iyon değişiminden etkilenen çok sayıda mineral bulunmaktadır ve bu minerallerden faydalanılarak birden fazla jeotermometre türü geliştirilmiştir. İyon değişimi ve bozuşma tepkimelerinde denge sabitleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedirler. Bu şekildeki reaksiyonlarda çözünen katı madde miktarları değişen sıcaklığa göre farklılık göstermektedir (Fournier, 1977). Sıcaklığa göre gelişen su ve mineral dengelerinden yararlanılarak hazne sıcaklığının belirlenmesi doğrultusunda çeşitli türde jeotermometreler geliştirilmiştir (Gemici, 1999).

3.7.2.1. Na/K Jeotermometresi

Yüksek hazne kaya sıcaklığına sahip jeotermal sistemlerde Na ve K'un sıcaklığa göre farklılık kazanması, alkali feldispat mineralleri arasında aynı zamanlı oluşan iyon değişimi tepkimeleri nedeniyle oluşmaktadır. Deneysel olarak uygulanan jeotermometre bağıntıları White (1957, 1965), Ellis ve Mahon (1967), Ellis (1970), Truesdell (1976), Fournier (1979a,b) ve Giggenbach (1988) tarafından geliştirilmiştir. Na-K jeotermometresi, rezervuarlarda genelde uzun süreli geçiş süresine bağlı olup, olgun yeraltı suları ile beslenen jeotermal rezervuarlarda kullanımının daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Ellis (1979) tarafından ifade edilen bu jeotermometre eşitliklerinin 180-350 °C arasında uygun sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Özellikle 120 °C'den düşük sıcaklıklarda bu sonuçlar bir anlam taşımamaktadır. Eğer suyun içerisinde fazla miktarda Ca iyonu bulunuyorsa, uygulanan Na/K jeotermometreleri hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında, çok yüksek değerler verebilirler. Na/K jeotermometreleri silis jeotermometrelerine göre kaynama ve karışım süreçlerinden, jeotermometrede kullanılan oranlara bağlı olarak daha az etkilenir (Güleç, 2005).

Tablo 3.14'te belirtilen hazne akışkan sıcaklıkları Pertek sıcak su kaynakları için 298-375 °C arasındadır. Çözelti içindeki Na'un azalması, jeotermometre bağıntısında sıcaklığın çok yüksek çıkmasına neden olabilir. Bundan dolayı Pertek jeotermal alanı için Na/K jeotermometresinin uygulanmaması önerilmektedir.

3.7.2.2. Na-K-Ca Jeotermometresi

Sıcaklığı daha az ve Ca oranı yüksek jeotermal sulara uygulanan Na/K jeotermometrelerinden hesaplanan sıcaklıklar genellikle daha yüksek sonuçlar vermektedir. Nedeni ise, bu şartlar altında Ca, Na ve K'un, silikat mineralleri ile iyon değişimi tepkimelerine girmek için hazır olduğu düşünülmektedir. Bunun sonucunda Fournier ve Truesdell (1973), Na-K-Ca jeotermometresi için Tablo 3.13'deki 14 ve 15 no'lu formülleri önermiştir. Na-K-Ca jeotermometrelerinin uygulama metodu ise aşağıda anlatılmıştır (Nicholson, 1993):

- 1) İlk önce $\text{Log}[(\sqrt{\text{Ca/Na}})+2,06]$ hesaplanır. Bu denklemin sonucu pozitif ise t'nin değerini hesaplamasında $\beta= 4/3$ kullanılır. Elde edilen sıcaklık değeri (t) 100 °C'den az ise bu sıcaklık kullanılır.
- 2) Denklemden bulunan sıcaklık değeri 100 °C'den büyük veya $\text{Log}[(\sqrt{\text{Ca/Na}})+2,06]$ denkleminin sonucu negatif çıkarsa, $\beta= 1/3$ alınarak t hesaplanır.

Hazne akışkan sıcaklığının yaklaşık 180 °C'den yüksek olduğu sularda bu jeotermometre sonuçları güvenilir bir değer vermemektedir. Çözeltide bulunan Ca'un sudaki derişimi karbonat mineralleri tarafından kontrol edilmekte olup, PCO_2 seviyesi büyük oranda Ca derişimi ile artmaktadır. Bu jeotermometrenin CO_2 'ce zengin akışkanlarda ve akışkanın hazneyi terk etmesinden sonra karbonat mineralleri çökelişi gerçekleşmeyen durumlarda güvenli bir şekilde uygulanabilmesi için Na-K-Ca jeotermometresi için Mg düzeltmesi geliştirilmiştir (Nicholson, 1993).

Bu düzeltme işlemi için aşağıdaki sıralama izlenmektedir:

- 1) Na-K-Ca jeotermometresiyle hesaplanan t değeri $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den az ise düzeltme yapılmamalıdır. Ancak t değeri $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den fazla ise düzeltme yapılması gerekmektedir. Düzeltme işleminin yapılabilmesi için aşağıdaki işlemler uygulanmaktadır.
- 2) Tabloda belirtilen bağıntıdan R değeri hesaplanmaktadır (derişimler mg/Kg).
- 3) $R > 50$ ise hesaplanan sıcaklık değeri dikkate alınmaz ve suların yüzeyde ölçülen sıcaklıklarıyla haznede ölçülen sıcaklıklarının yaklaşık birbirine eşit olduğu kabul edilmektedir.
- 4) $5 < R < 50$ ya da $R < 5$ durumları için gerekli düzeltme bağıntıları Tablo 3.13'deki gibi verilmiştir.
- 5) Hesaplanan t_{Mg} değerinin sonucu negatif veya $R < 1,5$ ise Mg düzeltmesi uygulanmaz.
- 6) Sonuç olarak, hesaplanan t_{Mg} değeri Na-K-Ca jeotermometresinden hesaplanan değerden çıkartılarak Mg düzeltmeli sıcaklık değeri bulunmaktadır.

Pertek jeotermal alanındaki sıcak sulara uygulanan Na-K-Ca jeotermometresine göre bu jeotermometreyle hesaplanan hazne akışkan sıcaklıkları $176-191\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Fakat çalışma alanındaki sıcak su kaynakları için Mg düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometresi uygulandığında, kendisi için belirtilen geçerlilik koşullarını sağlamadığından yani hesaplanan hazne kaya akışkan sıcaklıkları $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den küçük olduğundan bu jeotermometreyle elde edilen sonuçlar güvenilir değildir ve bu sonuçlar dikkate alınmamıştır.

3.7.2.3. Na/Li Jeotermometresi

Ellis ve Wilson (1960) ve Koga (1960), jeotermal sularda Na/Li oranının en az olduğu bölümlerin jeotermal sistemin en yüksek sıcaklıklı bölümleri olduğunu belirtmişlerdir. Fouillac ve Michard (1981) farklı jeotermal sistemlerdeki Na/Li ile sıcaklık arasındaki bağlantıya göre bir jeotermometre denklemi geliştirmişlerdir. Na/Li oranına bağlı diğer bir jeotermometre denklemi Kharaka vd. (1982) tarafından belirtilmiştir (Tablo 3.13). Sedimanter ve volkanik kayaçların yaygın olduğu bölgelerdeki düşük ve yüksek sıcaklıklı jeotermal alanların hazne kaya sıcaklığını belirlemek için bu jeotermometrenin kullanılmasının daha olduğu düşünülmektedir (Nicholson, 1993). Na/Li jeotermometresi su içerisinde bulunan toplam çözünmüş katı madde ve etkileşimde bulunduğu kayaç türünden oldukça fazla etkilenmektedir. Çünkü, Li elementi jeotermal suyun minör bileşeni; Na ise

jeotermal suyun majör bileşeni olup, Li'da oluşabilecek çok az bir değişim Na/Li oranının büyük oranda değişmesine neden olacaktır (Arnórsson, 2000). Bu nedenle bu jeotermometriyi kullanırken abartılı sonuçlar çıkması muhtemeldir. Ancak Pertek jeotermal alanı için hesaplanan Li/Na jeotermometre sonuçları abartılı değil, silis jeotermometresi sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

3.7.2.4. K/Mg ve Li/Mg Jeotermometreleri

Düşük sıcaklıklarda Mg ile yer değiştirme reaksiyonları hızlı olduğu için, K/Mg ve Li/Mg oranları jeotermal alanlarda boşalımdan önceki su-kayaç etkileşimini simgeleyen oranlar olarak değerlendirilebilirler. K/Mg jeotermometresi en başta Giggenbach vd. (1983) tarafından önerilmiş ve Giggenbach (1988) tarafından ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Pertek jeotermal alanındaki sıcak su kaynakları için hesaplanan K/Mg jeotermometresine göre bulunan hazne akışkan sıcaklıkları 36-54 °C arasındadır.

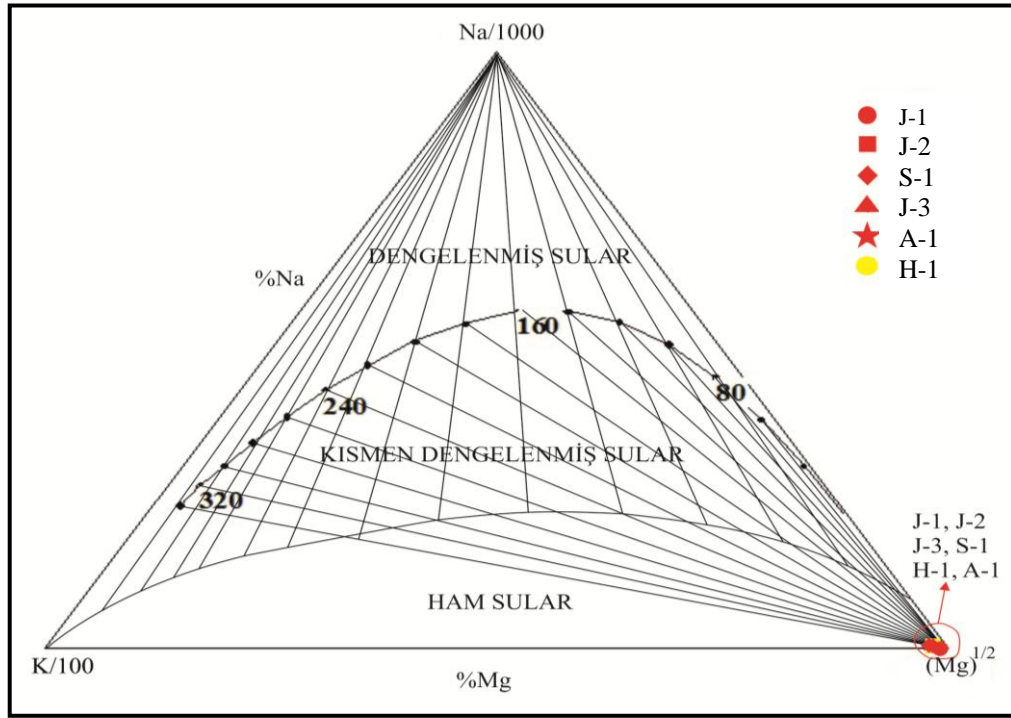
Kharaka ve Mariner (1989) Li/Mg oranına bağlı olan bir jeotermometre geliştirmişlerdir (Tablo 3.13). Geliştirilen bu jeotermometreler 50-300 °C aralığındaki sıcaklıklar için geçerlidir ve özellikle düşük-orta sıcaklıklı, akışkan ile hazne kaya arasındaki mineral dengesinin tam sağlanamadığı jeotermal sistemler için kullanışlıdır (Nicholson, 1993). Li/Mg jeotermometresiyle hesaplanan hazne akışkan sıcaklıkları belirtilen sıcaklık aralığında bulunmadığından bu jeotermometrenin kullanılması güvenilir değildir.

Yukarıda anlatılan çözünürlük jeotermometreleri birlikte değerlendirildiğinde, her sıcak su kaynağında farklı oranlarda olmakla birlikte, tam olarak bir uyum olmadığı görülmektedir. Konunun başında da açıklandığı gibi bu uyumsuzluk, soğuma, kaynama ve suyun yüzeye yükselimi sırasında akışkanın hızı, su-kayaç etkileşim süresi gibi ortam şartlarının, jeotermometre uygulamalarını etkilediği belirtilmiştir.

3.7.2.5. Na-K-Mg Jeotermometresi

Na-K-Mg'un jeotermal sulardaki göreceli miktarlarına bağlı olarak Giggenbach (1988) suları "ham sular", "kısmen dengelenmiş sular" ve "dengelenmiş sular" olarak üç kısma ayırmıştır. Dengelenmiş sular, belirtilen tüm bileşenleri yönünden dengede olan

suları yansıtmaktadır. Bu nedenle Pertek jeotermal alanındaki sıcak su kaynaklarına ait örnekler Na-K-Mg üçgen diyagramına yerleştirilmiştir. Bu diyagramda denge durumunda olan sular kısmında bulunan suların analizleri katyon jeotermometresi olarak kullanılabilir. Diğer kısımlarda yer alan sular için ise katyon jeotermometrelerinin kullanılması güvenilir sonuçlar vermeyebilir. Pertek sıcak su kaynaklarının, su ve kayaç arasındaki dengenin sağlanamadığı alana düşmüş olması yüksek oranda soğuk sularla karışmış olması ile açıklanabilir. Sıcaklık izoterminin ise 100-125 °C arasına denk geldiği görülmektedir. Ayrıca Pertek sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg diyagramında, denge halinden çok uzakta olduğu ve “ham sular” grubuna girdiği gözlenmektedir (Şekil 3.37). Bu nedenle suların hazne kaya sıcaklığının hesaplanmasında katyon jeotermometrelerinin kullanılması yanlış sonuçlar verebilir.



Şekil 3. 37. Sıcak su noktalarına ait su örneklerinin Na-K-Mg üçgen diyagramında gösterimi (Giggenbach, 1988)

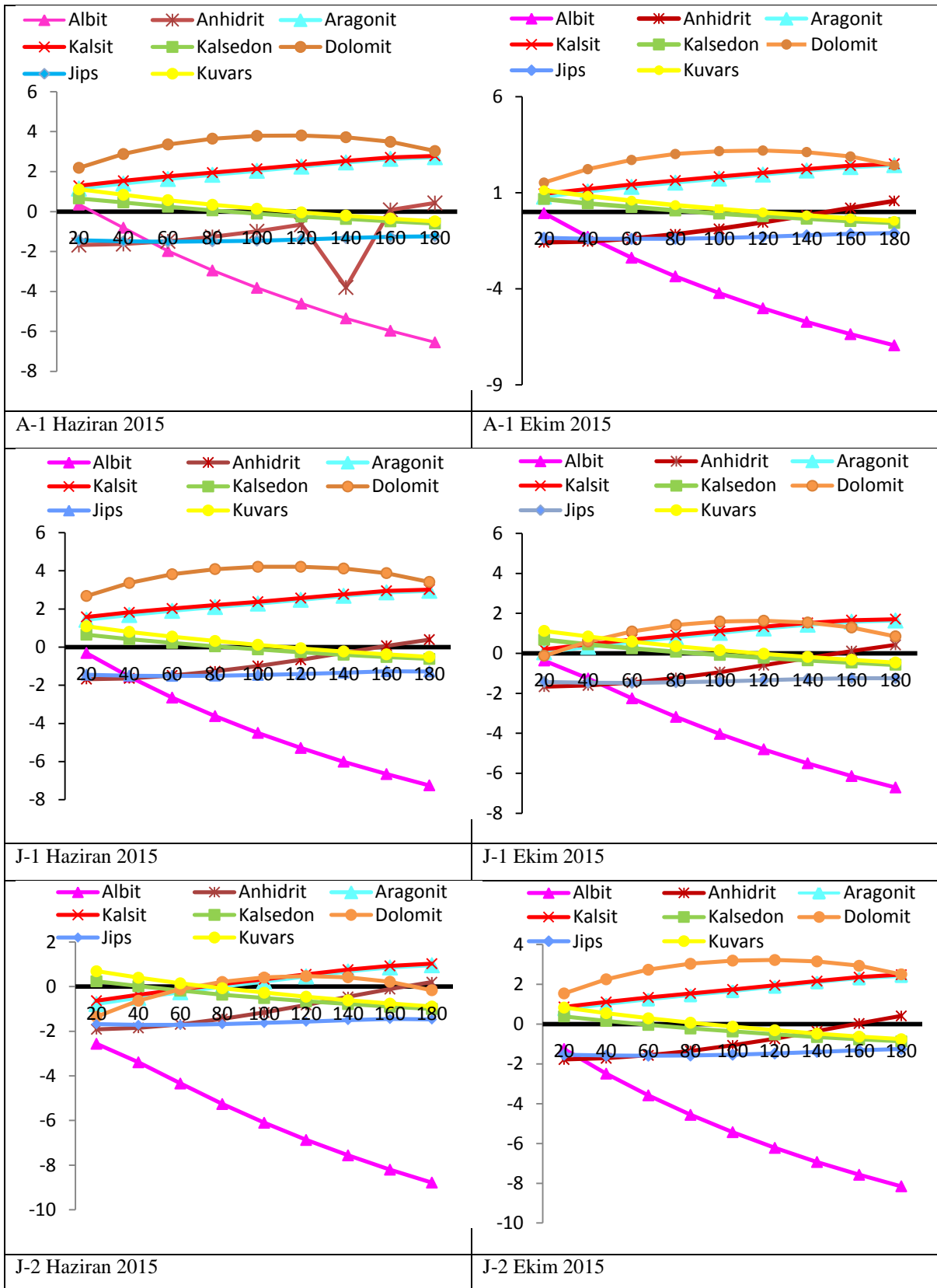
3.7.2.6. Mineral Denge - Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi

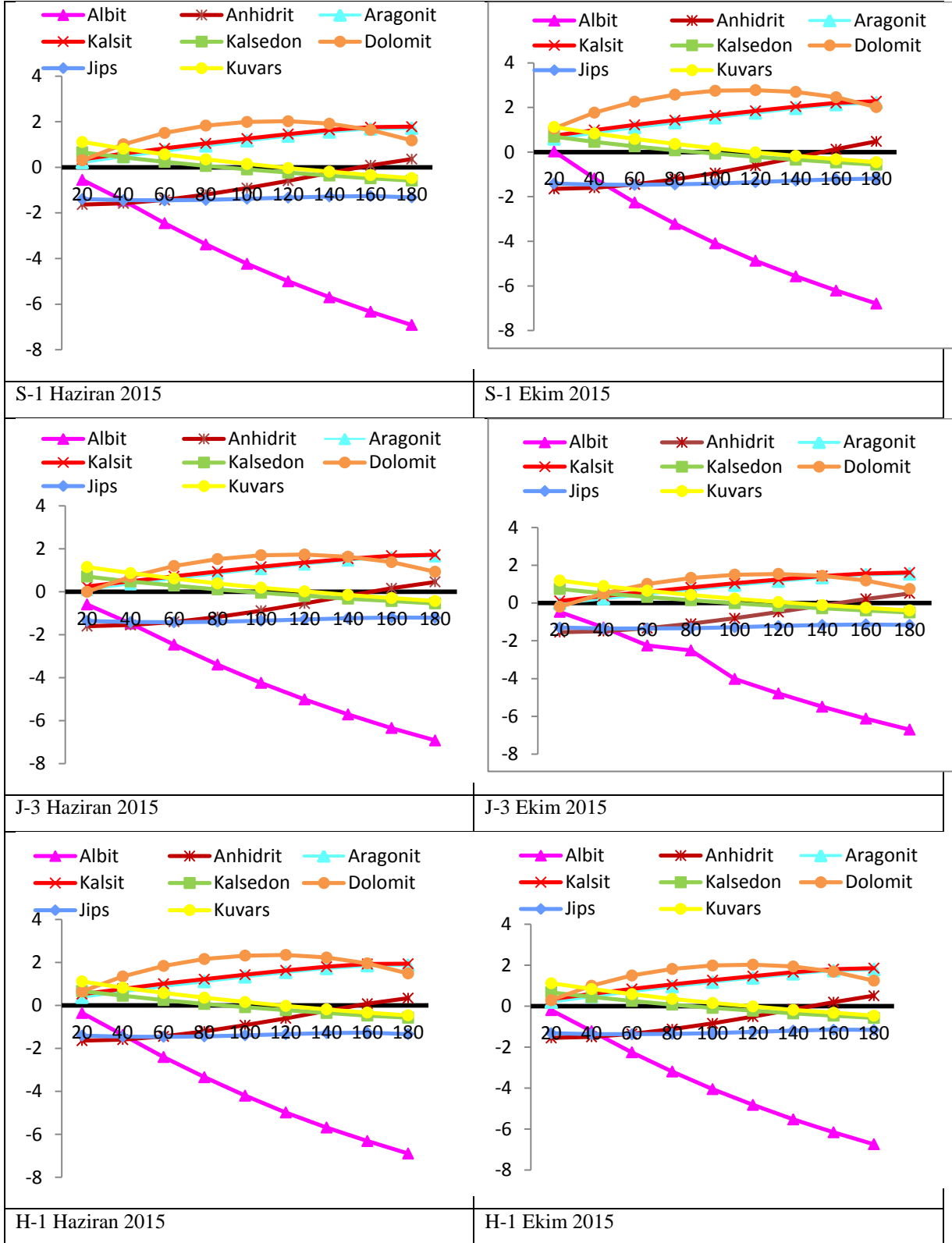
Reed ve Spycher (1984), jeotermal alanlardaki hazne sıcaklığını hesaplayabilmek için mineral doygunluk indekslerinin kullanılmasını belirtmişlerdir. Bu yöntem hidrotermal minerallerin sıcaklığa dayanan doygunluklarının değişimine bağlıdır. Denge sabitleri başta

sıcaklık olmak üzere basınçtan da etkilenebilir. Arnórsson vd. (1983) hidrotermal mineraller için bu etkinin 0-200 bar aralığındaki basınçlarda dikkate alınmamasını belirtmişlerdir. Jeotermal suyun doygunluk indeksi belirlenirken suyun sahip olduğu bileşenler ve genellikle çökelen mineraller dikkate alınmaktadır. Değişik sıcaklıklar için Phreeqc (Parkhurst ve Appelo, 1999) paket programında sular için ayrı olarak hesaplanan doygunluk indeksi değerleri Excel programına aktarılarak doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramı hazırlanmıştır. Yorumlama kısmında ise doygunluk indeksi değerleri denge doğrusunu (SI=0) belirli bir sıcaklık noktasında kesiyor ise suyun hazne sıcaklığı bu sıcaklık noktası olarak değerlendirilebilir. Doğrular, denge doğrusunun üzerinde keşiyorsa bu durum, sudan buhar ayrıldığını ve değişik sıcaklıktaki su karışımını, denge doğrusu altında keşiyorsa, değişik sıcaklıktaki akışkanların karışımını ve bu akışkanların sıcaklıklarını belirtmektedir (Tarcan, 2002).

Pertek jeotermal alanındaki sıcak su kaynaklarına ait kimyasal analiz sonuçlarından faydalanılarak albit, aragonit, anhidrit, kuvars, kalsit, kalsedon, dolomit ve jips minerallerinden oluşan 12 adet doygunluk indeksi-sıcaklık grafikleri oluşturulmuş ve Şekil 3.38’de gösterilmiştir. Hazırlanan grafiklere bakıldığında albit, anhidrit, ve jips gibi minerallerin bütün sıcak su kaynaklarında doygunluk altında değerler vermesi, suyun bu mineralleri çözüdürücü özellikte olduğunu göstermektedir. Kalsit, aragonit, kuvars, dolomit ve kalsedon minerallerinin ise sıcak sulara doygunluk üstü değerler vermesi, suyun bu mineralleri çökeltici özellikte göstermektedir. Böylece sular kalsit, aragonit, ve dolomite doygun olan sular olarak tanımlanabilir. Dolomite ve kalsite ve doygun olan suların kullanımı sırasında kabuklaşma problemi dikkate alınmalıdır. Çalışma alanındaki bütün sıcak suların doygunluk indeksinin anhidrit için neğatif olması bu suların çürütücü özellikte olduklarını göstermektedir. Sonuç olarak bu durum sondaj borularının bir süre sonra kullanılamaz duruma gelmesine sebep olmaktadır.

Su içerisinde çözünerek bozuşan minerallerin çözünürlükleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle değişik sıcaklıklardaki sistemlerde, değişik mineraller dengede olacaktır. Minerallerin doygunlukları kullanılarak suyun hazne sıcaklıkları tahmin edilebilir. Bazı mineraller belirli bir sıcaklıkla yaklaşık dengede ise sıcak akışkanın bu minerallere doygun olduğu, bu sıcaklığın ise akifer sıcaklığını yansıttığı düşünülebilir (Mutlu, 1998).





Şekil3.38. Sıcak su örneklerinin doygunluk indeksi grafikleri

Bu diyagramların değerlendirilmesi sonucunda jeotermal alandaki sıcak suların ortalama minimum 70 °C ile maksimum 140 °C arasında değişen rezervuar sıcaklığına sahip olduğu söylenebilir.

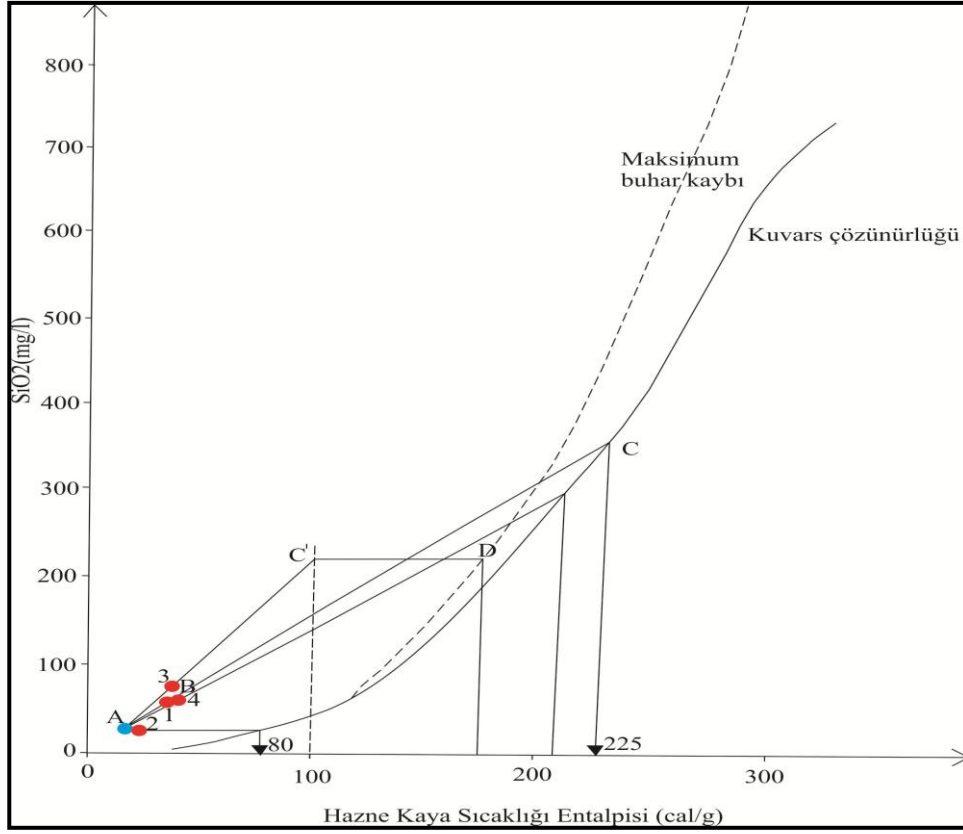
3.8. Karışım Modelleri

Karışım modelleri, keşfedilen yeni bir jeotermal sahanın rezervuar sıcaklığını belirlemek yada bir jeotermal sahanın gelişim sürecinde ve sahanın geliştirilmesinde kullanılabilen modellerdir. Jeotermal sular, yüzeye çıkış sırasında diğer sularla karışabilir. Silika miktarının jeotermal suyun kökeninde olduğu gibi korunarak varsayıldığı, Entalpi-Silika (Fournier, 1985) değişimi ile karışım oranları, maksimum hazne kaya sıcaklığı açıklanabilir.

3.8.1. Entalpi-Silis Karışım Modeli

Sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan silis-entalpi karışım modeli, abak diyagramı kullanılarak karışım öncesi sıcaklık-buhar kaybının olduğu ve olmadığı her iki durumda da uygulanabilmektedir (Fournier, 1977b). Diyagramda (Şekil3.39) A noktası bölgenin soğuk sularınıyansıtan SiO₂ (mg/l) ve entalpi (cal/g) değeridir.

Diyagrama Pertek Jeotermal Alanı'ndaki sıcak suların silis değerleri ve ölçülen sıcaklıkları işaretlenerek elde edilen noktalar (B noktası) A noktası ile birleştirilmiş ve budoğru uzatılarak kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktadan (C noktası) yatay eksene dikme inilmek suretiyle dikmenin yatay ekseni kestiği nokta olan hazne kaya sıcaklıkları elde edilmiştir. C noktası karışım suyundaki sıcak suyun karışımdan önceki entalpi ve silis değerini vermektedir. Buraya kadar anlatılan işlem karışımdan önce sıcaklık-buhar kaybının olmadığı koşullarıyansıtır.



Şekil 3.39. İnceleme alanındaki sıcak suların Entalpi-Silis diyagramı (Fournier,1977b)

Karışımdan önce buhar kaybı (adyabatik soğuma) olması durumunda ise AB doğru parçası kuvars çözünürlüğü eğrisini kesmediğinden diyagramda kesikli çizgi ile gösterilen maksimum buhar kaybı eğrisi dikkate alınmalıdır. Bu nedenle suyun yüzeyde buharlaştığı entalpi değerinden (100 cal/g) bir dikme çıkılarak, dikmenin AB doğrusunu kestiği C' noktasından yatay eksene bir paralel çizilmiştir. Bu paralelin maksimum buhar kaybı eğrisini kestiği D noktasından da yatay eksene dikme inilerek, hazne sıcaklıkları elde edilmiştir. Silis-entalpi diyagramına göre Pertek jeotermal sisteminin hazne kaya sıcaklığı 80-225 °C arasında değişmektedir (Şekil 3.39). İnceleme alanındaki sıcak suların bu yöntemle hesaplanan karışım suyundaki sıcak su oranı (AB/AC' oranı) % 12-%40 arasında değişmekte olup, tablo 3.15'de gösterilmiştir

Tablo 3.15. İnceleme alanındaki sıcak suların silis entalpi karışım modeline göre hesaplanan sıcak su karışım oranları

Örnek Numarası ve Adı	1. J-1	2. J-2	3. J-3	4. S-1
Entalpi-Silis Karışım Modeli	20	12	40	27

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada, Pertek jeotermal alanı ve çevresindeki suların, hidrojeokimyasal özellikleri ve kökeninin belirlenmesi amaçlanmıştır; bu amaç doğrultusunda Pertek jeotermal alanında bulunan suların oluşum mekanizması, fiziksel ve kimyasal özellikleri, tespit edilerek çalışma alanındaki sıcak sular soğuk su kaynakları, göl suları ve dere suyu ile karşılaştırılmıştır. Sıcak suların hazne sıcaklığı kimyasal jeotermometrelerle hesaplanarak jeotermal açıdan önemi belirlenmiş elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1. Çalışma alanı, Tunceli Pertek İlçesi sınırları içerisinde yer almakta olup, yaklaşık 50 km²'lik bir alanı kaplamaktadır.

2. Çalışma alanında, yaşlıdan gence doğru kristalize kireçtaşı, mermer, ve amfibolitlerden oluşan Permian-Triyas yaşlı Keban Metamorfikleri; diyorit, granodiyorit, tonalit ve monzonit bileşimli derinlik kayalarından oluşan Üst Kretase yaşlı Pertek Magmatikleri (Granitoyidi); sınırlı alanlarda Harami Formasyonu'na ait kristalize kireçtaşları; taban konglomerası ve kireçtaşlarından oluşan Orta Eosen-Üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu; andezitik ve bazaltik lav ile tüf ve volkanoklastitlerden oluşan Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu yüzeyler. Alanın en genç birimi ise Pertek ilçe merkezi ve Singeç Vadisi boyunca birikmiş Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır.

3. Bölgede, K-G doğrultulu sıkışma rejimi Geç Kretase sonrası dönemde devam etmiş ve Keban Metamorfikleri, yaklaşık D-B uzanımlı Bindirme Fayı ile Pertek Granitoyidi üzerine itilmiştir. Orta Miyosen sonrasında ise bu bindirme fayını öteleyen, yaklaşık KB-GD uzanımlı sağ yanal doğrultu atımlı bir fay ve çok sayıda makaslama kırık ve çatlakları oluşmuştur. Söz konusu fay ve makaslama kırıkları meteorik suların dolaşımı için gerekli olan süreksizliklerin oluşmasına önemli katkılar sağlamıştır. Bu kırık sistemleri aynı zamanda Pertek jeotermal alanındaki soğuk ve sıcak su kaynaklarının yüzeye ulaşmasını da denetlemektedir.

4. Keban Metamorfikleri'ne ait kristalize kireçtaşları ve mermerler karstik ve çok çatlaklı olmalarından dolayı geçirimsizliği yüksek olup, sıcak ve soğuk su kaynakları için akifer oluştururlar. Bu akifer kayanın beslenme bölgesinde, sadece sınırlı alanlarda, yarı geçirimli sedimanter (Kırkgeçit Formasyonu) ve volkanik örtü kayaları (Karabakır Formasyonu) bulunmaktadır. Bu nedenle, Pertek jeotermal sistemi jeolojik yapısı, ısıtıcı

kaya, hazne kaya ve kısmen var olan örtü kayasıyla jeotermal bir sistemde olması gereken özelliklere sahiptir.

5. Thornthwaite yöntemi ile 1950-2015 yılları arası 65 yıllık uzun dönem ‘‘Yağış-Sıcaklık’’ verileri kullanılarak hesaplanan su bütçesine göre, Tunceli’nin yıllık yeraltı suyu beslenimi 393,17 mm olup bu yağışın %46’sı yeraltına süzölmektedir. Ayrıca Thornthwaite yöntemine göre incelenen bölge nemli, mezotermal (orta sıcaklıktaki iklim), yağış düzenine göre yazın çok kuvvetli su noksanı olan, yaz konsantrasyonu için kabul edilen sınıflamaya göre ise karasal iklime sahiptir.

6. Bölgedeki sıcak su sondajlarının derinlikleri 34-216 m arasında olup, 11-30 L/sn arasında verime sahiptirler.

7. Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarının sıcaklığı 25,5-38,2 °C arasında, pH’ı 6,18-7,55 ve elektriksel iletkenlikleri 816-2400 µS/cm arasındadır. Yeraltı suyunu temsilen alınan soğuk su kaynaklarının sıcaklığı 20-22 °C, pH’ı 6,5-8,22, elektriksel iletkenlik değerleri 402-2020 µS/cm; soğuk mineralli su kaynağının sıcaklığı 21 °C, pH’ı 6,34-6,5 arasında ve elektriksel iletkenlik değerleri 1983-2020 µS/cm arasında, dere suyunun sıcaklığı 17,8 °C, pH’ı 7,65-8,03 ve elektriksel iletkenlik değeri 491-596 µS/cm; göl sularının sıcaklıkları 21,7-23,6 °C, pH’ı 6,79-8,35 ve elektriksel iletkenlikleri 342-1873 µS/cm arasındadır.

8. Çalışma alanındaki sıcak su kaynakları ile beslenme alanındaki soğuk su kaynakları, dere suyu ve göl sularından yağışlı ve kurak dönemi yansıtabak şekilde kimyasal analiz için 14 farklı su noktasından toplam 28 adet su örnekleme yapılmıştır. Ayrıca önceki çalışmalarda yapılmış kimyasal analiz sonuçlarından da karşılaştırma yapmak amacı ile yararlanılmıştır. Bu çalışmalarla, jeotermal alanlardaki termal ve mineralli suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi, yeraltı suyu sistemi ve bu sistem içerisinde geçirdikleri fizikokimyasal süreçlerin ortaya konulabilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma alanındaki yeraltı sularının kimyasal analiz sonuçları AquaChem 3.7 (Calmbach, 1997) ve PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) türleştirme programlarında değerlendirilerek, yeraltı sularının kalitesi ve kullanım alanlarının belirlenmesi, su-kayaç ilişkileri, sıcak suların genel kullanılabilirlik özellikleri, rezervuar sıcaklıklarının tahmini, akifer kimyası ve mineral doygunlukları incelenmiştir.

9. Araziye yerinde ve laboratuvarında yapılan ölçümlere göre kurak ve yağışlı dönemsu örnekleri genel olarak $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^{+} > K^{+}$ ve $HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-}$ şeklinde bir katyonyon dizilimi sergilemekte ve suların karbonat sertliği %50’den fazladır. AIH

sınıflamasına göre Pertek Jeotermal Alanı'ndaki sıcak sular, soğuk sular, soğuk mineralli su ve dere suyu Ca-Mg-HCO₃ su tipini, Keban Barajı göl suları ise Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tipini yansıtırlar.

10. Suda başlıca çözünmüş maddeler (K⁺, Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁻² ve SiO₂) arasındaki ilişkiler hidrojeokimyasal değerlendirmelerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Suların Na, K, Ca, Mg, HCO₃ ve SO₄ iyonları arasındaki ilişkiler incelendiğinde; K⁺, Na⁺, HCO₃⁻ ve SiO₂ arasında korelasyon katsayısı 0,83-0,98 aralığında değişen doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Özellikle termal suların etkileşimde buldukları akifer kayaçlardaki karbonat ve silikatlara bağlı çözünürlük tepkimelerinin etkisinde olduklarını göstermektedir. Mg⁺², Ca⁺² ve SO₄⁻² arasındaki pozitif korelasyon (r=0,77-0,84) termal suların çeşitli derinliklerde karışım tepkimelerinden (soğuk yeraltı suları ile olan etkileşim) de etkilenmiş olabileceklerini göstermektedir. Cl⁻ ile K⁺, Na⁺ ve HCO₃⁻ ve SiO₂ arasında da oldukça iyi pozitif bir korelasyon (r=0,67-0,96) bulunmaktadır. Bu doğrusal ilişki özellikle termal suların uzun süre akifer kayaçlarla etkileşimde olabileceğinin bir göstergesidir.

11. Schoeller diyagramına göre incelenen suların aynı akiferden beslendiği görülmektedir. Ayrıca söz konusu diyagrama göre sulara bulunan baskın katyonun Ca⁺², baskın anyonun ise HCO₃⁻ olması, sahada en yaygın birim olan Keban Metamorfikleri'nin litolojik bileşimi (kristalize kireçtaşı, mermer, amfibolit ve kalkşist) ile uyumludur.

12. Pertek jeotermal alanındaki sıcak sular Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagrama göre değerlendirildiğinde çevresel suları temsil etmektedirler. Jeotermal sistemlerde genellikle suların kökeni ve sistemler arasındaki farklı rezervuar karışımı belirlemek amacıyla kullanılan Cl-Li-B üçgen diyagramına göre, sıcak sular genç hidrotermal sistemleri temsil eden alana daha yakın konumlanmışlardır.

13. Çalışma alanındaki suların sulamaya uygunluğunun belirlenmesi için ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı hazırlanmıştır. Buna göre sıcak sular C4-S1 sınıfında olup çok tuzlu, az sodyumlu sulardır. Sıcak sulardan J-2 ve A-1 nolu örnekler C3-S1 sınıfında oluptuzlu, az sodyumlu sulardır. Soğuk sular C2-S1 sınıfında olup orta tuzlu az sodyumlu ve soğuk mineralli su ise C3-S1 sınıfında tuzlu az sodyumlu sulardır. Dere suyu (D-1) C2-S1 sınıfında orta tuzlu az sodyumlu sudur. Göl suları C2-S1 sınıfında orta tuzlu az sodyumlu ve G-3 nolu örnek Haziran döneminde C3-S1sınıfında bulunurken Ekim döneminde C2-S1 sınıfında olup orta tuzlu az sodyumlu su sınıfında bulunmaktadır. Bunun nedeni Haziran ayında atık suyun deşarj debisi yüksek olduğundan göl suyundaki

kirlenmenin de fazla olmasıdır. Ekim ayında ise atık suyun deşarj debisinin düşük olması nedeni ile göl suyundaki kirlenme az olduğundan G-3 bu dönemde C2-S1 sınıfında bulunmaktadır. İnceleme alanındaki sular Wilcox diyagramına göre değerlendirilmiştir. Buna göre, G-1, G-2, G-4, K-1, K-2, D-1, J-1 no'lu örnekler aynı karakterde olup diyagramda “Çok İyi-İyi” sular sınıfında; G-3, SM-1, J-2 “İyi-Kullanılabilir” sular sınıfında ve A-1, S-1, J-3, H-1 “Şüpheli-Kullanılamaz” sular sınıfında yer almaktadırlar.

14. İnceleme alanındaki tüm sular ağır metal analizleri kapsamında Fe, Mn, Al, As, Pb, B, Cu, Cr değerleri TS-266, WHO ve EPA standartlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda yağışlı dönemde, SM-1 no'lu su örneği Fe elementi açısından, kurak ve yağışlı dönemde J-2 hariç diğer sıcak su örnekleri ile yine yağışlı dönemde SM-1 no'lu su örneği Mn elementi açısından, yağışlı dönemde J-2 no'lu sıcak su örneği sınır değerinde, kurak dönemde ise sınır değerinin üstünde olmak üzere diğer sıcak su örnekleri her iki dönemde As açısından, yağışlı ve kurak dönemde J-2 no'lu sıcak su örneği hariç diğer sıcak su örnekleri ve SM-1 no'lu su örneği ile yağışlı dönemde atık su deşarj debisinin yüksek olması nedeniyle de G-3 no'lu su örneği B (bor) açısından TS-266, WHO ve EPA tarafından içme suları için belirtilen sınır değerlerin üstünde çıkarak suların bu elementler açısından içmek için uygun olmadığını yansıtmışlardır. Bütün sulara bulunan Al, Pb, Cu ve Cr değerleri ise TS-266, WHO ve EPA tarafından içme suları için belirtilen sınır değerlerin altında kalarak suların bu elementler açısından içilebilir nitelikte olduğunu yansıtmışlardır.

15. Sulara NO_2 , NO_3 , NH_3 ve PO_4-P gibi kirlilik analizleri yapılmış ve sıcak sulardan J-1, J-3 ve H-1, soğuk mineralli su (SM-1) örneklerinin NH_3 açısından standartlara uygun olmadığı belirtilmiştir. Bunların dışındaki diğer suların yapılan kirlilik analizlerinde standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

16. Mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması jeotermal alanlarda suların üretim ve iletimi aşamasında borularda oluşabilecek kabuklaşma problemlerinin çözümü açısından çok önemlidir. Oluştığı yerlerdeki mekanik tesisatın çalışmasını engeller. Isı transferini olumsuz etkiler ve bütün bunların sonunda daha az enerji üretilmesine neden olur. İnceleme alanındaki sulara mineral doygunlukları hesaplanmış ve Pertek termal sularının genel olarak kalsit, aragonit, kalsedon, kuvars ve dolomit minerallerine doygun olduğu; albit, anhidrit ve jips minerallerine doygun olmadığı belirlenmiştir.

17. Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklığının tahmin edilmesi temel suların uygun şekilde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Çalışma alanındaki termal ve/veya termal

özelliik gösteren suların silis jeotermometrelerine göre hesaplanan akifer sıcaklıkları genel olarak 74-127 °C arasındadır. İnceleme alanındaki termal sular, Na-K-Mg değerlerine göre “olgun olmayan sular” sınıfındadır. Dolayısıyla bu suların hazne kaya sıcaklığının belirlenmesinde katyon jeotermometreleri ile hesaplanan sonuçlar fazla güvenilir değildir.

18. Sıcak su örneklerinin silis karışım modeline göre; sıcak su karışım oranları, %12-%60, hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları ise 175-225 °C arasındadır.

19. Trityum oranı (TU) değerlerine göre sıcak su kaynaklarının beslenme yaşları PT-1 kaynağı için 1952 öncesi beslenme (submodern) yaşlı; Kaptaj-2, Kaptaj-1 ve Singeç Köprü yanı kaynakları için Submodern-Genç yaşlı su sınıfında; soğuk suların, Singeç Çayı'nın ve Keban Baraj Gölü'nün beslenme yaşları ise modern sular sınıfındadır.

20. Trityum değerlerine göre çalışma alanındaki sıcak sular derin, soğuk sular ise sığ dolaşımıdır.

5. ÖNERİLER

Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu'na göre, jeotermal kaynakların koruma alanları belirlenerek jeotermal sistemin bozulmasını, kirlenmesini ve sürdürülebilir özelliğinin kaybolmasını engelleyecek tedbirler ilgili jeotermal uzmanlarınca belirlenerek alınmalıdır. Bu kapsamda; jeotermal sistemde termal kuyu açarken mutlaka her kuyu için ayrıntılı jeofizik çalışmalar (rezistivite-sismik), SP-Gamma Ray ve termal gradyan logları alınmalıdır. Jeofizik çalışmalarla birlikte ayrıntılı jeolojik çalışmalar yapılmalı, jeotermal sondaj yapılacak bölgede açılacak kuyu yerini kesen jeolojik kesitler çizilmeli ve ayrıca ayrıntılı tektonik çalışmalar da yapılmalıdır. Yapılan ve yapılacak olan tüm jeolojik, jeofizik ve kimyasal çalışmalar düzenli olarak arşivlenmelidir.

Pertek jeotermal alanındaki sıcak su kaynakları, sondaj kuyuları ve soğuk su kaynakları yılda bir defa olmak üzere iki yıl süresince kimyasal analizleri yapılmalıdır. Analiz sonuçlarına göre, değişikliğin yok veya az olması durumunda iki yada üç yılda bir analizler tekrarlanarak termal sistemde zamana bağlı olabilecek değişiklikler takip edilmelidir. Termal havuza verilen sıcak suyun analizi ise yönetmeliklerde belirtilen sıklıklarda tekrarlanmalıdır.

Bu tez kapsamında 2015 yılı yağışlı ve kurak dönemde gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre; Pertek jeotermal alanındaki soğuk kaynak suları içilebilir özelliktedir. Ancak sıcak sularda Ca, Mg, K (J-3 ve S-1 no'lu örnekte yüksek değerde), Mn, As, B ve NH₃ (J-1 ve J-3 no'lu örnekte yüksek değerde) değerleri TS-266, WHO ve EPA içme suyu standartlarının üzerindedir. Soğuk mineralli suda Fe ve Mn değerleri TS-266, WHO ve EPA içme suyu standartlarının üzerindedir. İçme suyu olarak tüketilmemesi tarafımızdan önerilmektedir.

Pertek sıcak suları, halen Pertek Termal Sağlık Tur. İnş. ve Tic. A.Ş. tarafından modern bir tesisi ile balneolojik amaçlı hizmet vermektedir. Termal tesisten çıkan atık su Keban Baraj Gölü'ne deşarj edilmektedir. Keban Barajının kirlenmesine neden olmaktadır. Jeotermal suyun kirletici etkilerinden toprak ve su sisteminin korunması için önlem alınmalıdır. Bu nedenle jeotermal suyun kirletici etkilerinden korunmak ve akışkanın kullanım sonrası re-enjeksiyon yapılarak tekrar yeraltına geri basılması gerekmektedir. Ancak jeotermal sistemin yüzeye çıkış ve kullanım sonrası sıcaklığının düşük olması nedeniyle rezervuarı daha da soğutacağından rezervuara re-enjeksiyonu uygun değildir.

Böyle bir durumda rezervuara re-enjeksiyon uygulaması sistemi daha da soğutacak ve kullanılmaz hale getirecektir. Bunun yerine jeotermal alanın dışına enjeksiyon yapılması daha uygun olacaktır.

Sıcak su kaynaklarının 40 °C'nin altında olması kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Ancak Pertek ve çevresi tarım için uygun arazilere sahip olmasına rağmen iklimin uygun olmamasından dolayı ürün çeşitliliği yoktur. Oysaki günümüzde oldukça önemli olan organik sebze ve meyve yetiştiriciliği için Pertek sıcak su kaynakları kullanılarak seracılık geliştirilebilir. Ayrıca 20-30 °C sıcaklıklar yüzme havuzları, fermentasyon ve damıtma tesisleri gibi değişik alanlarda kullanılabilir. Balık çiftlikleri kurulup Pertek sıcak su kaynakları kullanılarak kültür balıkçılığı yapılabilir. Bu tür küçük tesisler iş alanının oldukça kısıtlı olduğu yörede az da olsa iş olanağı sağlar. Ayrıca yaz turizmini canlandırmak amacıyla bu tür tesislerin yapılması yöreye ekonomik açıdan katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Akgül, B.**, 1993. Piran Köyü (Keban-Elazığ) çevresindeki magmatik kayaçların petrografik ve petrolojik özellikleri, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 128s.
- Akgül, M.**, 1991. Baskil-Elazığ granitoidinin petrografik ve petrolojik özellikleri, *Geosound*, **18**, 67-78.
- Aksoy, E.**, 1993. Elazığ batı ve güneyinin jeolojik özellikleri, *TÜBİTAK Yerbil. Derg.*, **1,1**, 113 - 123.
- Aksoy, E.** 1994. Pertek (Tunceli) Çevresinin Jeolojik Özellikleri ve Pertek Bindirme Fayı, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, **6(2)**, 1-18.
- Aksoy, E. ve Tatar, Y.**, 1990. Van ili doğu kuzeydoğu yöresinin stratigrafisi ve tektoniği, *Doğa Müh. ve Çevre Bil. Dergisi*, **14**, 628-644.
- Ala, Z.**, 2001. Burdur yerleşim alanı ve çevresinin hidrojeoloji incelemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üni., 66s.
- Appelo, C.A.J., ve Postma, D.**, 1993. Geochemistry, groundwater ve pollution, A. A. Balkema Publisher, Rotterdam, pp.590.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., and Svavarsson, H.**, 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland III. Chemical geothermometry in geothermal investigations, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **46**, 1513–1532.
- Arnorsson, S., ve Svavarsson, H.**, 1985. Application of chemical geothermometry to geothermal exploration and development, *Geotherm. Resources Council Trans.* **9**, 293-298.
- Arnorsson, S., and Andresdottir, A.**, 1995. Processes controlling the distribution of boron and chlorine in natural waters in Iceland, *Geochemica et Cosmochimica Acta*, **59**, 4125-4146.
- Arnorsson, S.**, 2000. Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use, IAEA publication, Vienna, 351s.
- Atabey, E.**, 2005. Tıbbi Jeoloji, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 194s.
- Avşar, N.**, 1983. Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri, *Türkiye Yerbilimleri Dergisi*, **1, 1**, 113-123.
- Apha, Awwa, Wpcf**, 1989. Standart Methods for Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, USA.

- Back, W.,** 1966. Hydrochemical Facies and Groundwater Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain, *U.S. Geol. Survey Professional Paper*, p.42.
- Bakır, S.,** 2010. Baskil (Elazığ) ve yakın çevresindeki tarım arazilerinde gübre kullanımının yeraltı ve yerüstü sularında oluşturduğu kirlilik, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bil. Enst., 86s.
- Başkan, M.E., ve Canik, B.,** 1983. IAH Map of Mineral and Thermal Waters of Turkey Aegean Region, MTA, Ankara.
- Bingöl, A.F.,** 1984. Geology of the Elazığ area in the Eastern Taurus region: *Proceedings of the Int. Symp. On the Geology of the Taurus Belt.*, Ankara, s. 209-216.
- Bingöl, A.F.,** 1988. Petrographical and petrological features of intrusive rocks of Yüksekova Complex in the Elazığ region (Eastern Taurus), *The Journal of Fırat Univ.*, 3,2, 1-7.
- Bingöl, A.F., ve Beyarslan, M.,** 1996. Elazığ Magmatitleri'nin Jeokimyası ve Petrolojisi, *30. Yıl Sempozyumu Bildirileri*, Trabzon, s. 208-224.
- Bulut Öztürk, G.,** 2012. Kale (Malatya) ilçesiyeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., 65s.
- Bülbül, A.,** 2009. Alaşehir (Manisa) sıcak ve soğuk su sistemlerinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniv., Fen Bil. Ens., İzmir, 170s.
- Calmbach, L.,** 1997. *AquaChem Computer Code-Version 3.7.42*, Waterloo Hydrogeologic, Canada.
- Çeliker, M.,** 2008. Uluova'nın (Elazığ) hidrojeolojisinin coğrafi bilgi sistemleri ile incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üni. Fen Bil. Enst., 102s.
- Çetindağ, B.,** 1985. Palu-Kovancılar (Elazığ) dolayının hidrojeoloji incelemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 110s.
- Çetindağ, B.,** 1989. Elazığ-Ören Çayı çevresinin hidrojeoloji incelemesi, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 270s.
- D'Amore, F., ve Arnórsson, S.,** 2000. Geothermometry, Isotopic And Chemical Techniques In Geothermal Exploration, Development And Use, International Atomic Energy Agency, Vienna, 351s.
- Deniz, O.,** 2010. Çanakkale Çan çevresindeki jeotermal sistemlerin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniv., Fen Bil. Ens., İzmir, 261s.

- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., and Şengör, A. M. C.,** 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia a young collision zone, *Geol. Soc. Spec. Publ.*, **19**, 3-36.
- Doğan M., ve Doğan A.U.,** 2007. Arsenic mineralization, source, distribution, and abundance in the Kutahya region of the western Anatolia, Turkey, *Environmental Geochemistry and Health*, **29**, 119–129.
- Dönmez, M.,** 2011. İçme suyundan arsenik giderimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Samsun, 194s.
- Ellis, A. J.,** 1979. Chemical geothermometry in geothermal systems, *Geothermics*, **25**, 219-226.
- Ellis, A.J., ve Mahon W.A.J.,** 1967. Natural Hydrothermal Water/Rock Interactions, Part II, *Geochim. et Cosmochim Acta*, **31**, 519-538.
- Ellis, A.J., ve Wilson, S.H.,** 1960. The Geochemistry of Alkali Metal Ions in the Wairakei Hydrothermal System, *N.Z.J. Geol. Geophys.*, **3**, 593-617.
- Ellis, A.J.,** 1970. Quantitative interpretation of chemical characteristics of hydrothermal systems, *Geothermics, Special Issue*, **2**, (1), 516-528.
- Enerson Müh. Ltd. Şti.,** 2008. Tunceli-Pertek jeotermal sahası yapay uçlaşma/özdirenç ve manyetik etüdü jeofizik raporu, Ankara.
- Ercan, T., ve Asutay, H.J.,** 1993. Malatya-Elazığ-Tunceli-Bingöl-Diyarbakır dolaylarındaki Neojen-Kuvaterner yaşlı volkanitlerin petrolojisi, *Suat Erk Jeoloji Sempozyumu Bildirileri*, Ankara, 2-5 Eylül, s. 291-303.
- Erguvanlı, K., ve Yüzer, E.,** 1973. Yeraltı suları Jeolojisi (Hidrojeoloji), *İTÜ Kütüphanesi*, **967**, 340s.
- EPA,** 2008. Office of Water National Primary Drinking Water Standards, Environmental Protection Agency.
- Erses, A.S., Onay, T.T., Yenigün, O.,** 2008. Comparison of Aerobic and Anaerobic Degradation of Municipal Solid Waste in Bioreactor Landfills, *Bioresource Technology*, **99**, 5418-5426.
- Fetter, C.F.,** 2004. Uygulamalı Hidrojeoloji, (Çev: M. Afsin ve K. Kayabalı), Gazi Kitabevi, Ankara, 588s.
- Fouillac, C., ve Michard, G.,** 1981. Sodium/lithium ratio in water applied to geothermometry of geothermal reservoirs, *Geothermics*, **10**, 55-70.
- Fournier, R.O.,** 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems, *Geothermics*, **5**, 41-50.

- Fournier, R.O.**, 1977b. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. In: *Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy, Centro Scientific Programme*, Ankara, 199-210.
- Fournier, R.O.**, 1979b. Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hot spring systems, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **5**, 1-16.
- Fournier, R.O.**, 1991. Water Geothermometers Applied to Geothermal Energy, In: *D'amore, F. (Co-ordinator), Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*, pp. 37-69, Rome, Italy.
- Fournier, R.O., ve Truesdell, A.H.**, 1974. Geochemical indicators of subsurface temperature-Part 2, estimation of temperature and fraction of hot water mixed with cold water, *J. Res. U.S. Geol. Survey*, **2**, 263-270.
- Fournier, R.O., ve Truesdell, A.H.**, 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **37**, 1255-175.
- Fournier, R. O.**, 1985. The behaviour of silica in hydrothermal solutions. Geology and geochemistry of epithermal systems, *Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology*, **2**, 45-61.
- Frasconi, D., Bronzini, F., Giordano, G., Tedioli, G., Nocentini, M.**, 2004. Long-term Characterization, Lagoon Treatment and Migration Potential of Landfill Leachate: A Case Study in An Active Italian Landfill, *Chemosphere*, **54**, 335-343.
- Gemici, Ü.**, 1999. Çeşme Yarımadası'nın Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, *Doktora Tezi*, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 192s.
- Gerçek, C.**, 2009. Tunceli Pertek Jeotermal Sahası Kaynak Koruma Alanları Etüt Raporu, Tunceli.
- Giggenbach, W.F.**, 1988. Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, *Geochim. et Cosmochim Acta*, **52**, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., vd.**, 1983. Isotopic and chemical composition of Partabi Valley geothermal discharges, northwest Himalaya, *Geothermics*, **12**, 199-222.
- Güleç, N.**, 2005. Applications of geothermometry. *Geothermal geochemistry and some new geothermal approaches* s.85-103, Eds. M. Y. Savaşçın ve O. Mertoğlu, İzmir.
- Güneş, T.S., ve Güneş, C.**, 2012. Jeotermal Kaynaklı Arseniğin Yeraltısuyu ve Yüzeysel Sulardaki Jeokimyasal Davranışı: Birlikte Çökeltme, Adsorbsiyon, pH-Eh, *Dokuz Eylül Üni., Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **41**, 43-64.
- Gray, N.F.** 1994. Drinking Water Quality, Problems and Solutions, John Wiley & Sons Ltd., England, 315s.

- Hem, D. J.**, 1971. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, U.S. Geological Survey Water Supply Paper, Second Edition, p. 93.
- Hem, J.D.**, 1985. Study and interpretation of the chemiccal characteristics of natural water, Geological Water Supply, U.S., p. 263.
- Hempton, R.M.**, 1984. Result of detailed mapping near Lake Hazar (Eastern Taurus Mountains), In: Tekeli O. ve Göncüoğlu, M.C., eds., *Geology of the Taurus Belt. Proceedings of International Symposium*, Ankara, Turkey, 26-29 September, s. 223-228.
- Hitchon, B., Perkins, E.H., ve Gunter, W.D.**, 1999. Introduction to groundwater geochemistry, Geoscience Publ., Canada, 310s.
- IAH (International Association of Hydrogeologists).**, 1979. *Map of Mineral and Thermal Water of Europe*, Scale: 1:500.000, IAH, United Kingdom.
- İbiliöglu, D.**, 2010. Bağlarca (Elazığ GB'sı) yöresindeki Eosen istifinin Ostrakod içeriği ve ortamsal yorumu, *Dumlupınar Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **23**, 59-70.
- İnceöz, M.**, 1994. Harput (Elazığ) yakın kuzeyi ve doğusunun jeolojik özellikleri, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 112s.
- Khakara, Y.K., ve Mariner, R.H.**, 1989. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins, pp. 99-117, Eds. Naser, N.D. & Mc Culloh, T.H., Springer Verlag.
- Kharaka, vd.**, 1982. Chemical geothermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California Basins. *Am. Assoc., Petrol. Geol. Bull.* **66**, 558.
- Kipman, E.**, 1981. Keban'ın jeolojisi ve Keban şaryajı, *İstanbul Üni., Yerbilimleri Dergisi*, **1, 2**, 75-81.
- Koçak, A.**, 2002b. Jeotermal Sistemler ve Hidrolojik Modelleme, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Notları, İzmir, s.119-131.
- Koga, A.**, 1960. Geochemistry of the waters discharged from drillholes in Qtake and Hatchobaru areas (Japan), *Geothermics, Special Issue* **2, 2**, (2), 1422-1425.
- Küçük Atabey, M.N.**, 2012. Gemici Köyü (Baskil) çevresi yeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., 74s.
- Kürüm, S.**, 1994. Elazığ kuzeybatısındaki genç volkanitlerin petrolojik özellikleri, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 107s.
- Kürüm, S., Öztüfekçi, Ö.A., Akgül, B. ve Boztuğ, D.**, 2011. An example for arc-type granitoids along collisional zones: The Pertek Granitoid, Taurus Orogenic Belt, *International Journal of Geosciences*, **2**, 214-226.

- Mazor, E.**, 1997. Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology, *Applied Approach*, 158-166.
- Mutlu, H.**, 1998. Chemical geothermometry and fluid mineral equilibria for the Ömer-Gecek thermal waters, Afyon area, Turkey: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, (3), 303-321.
- Naz, H.**, 1979. Elazığ-Palu dolayının jeolojisi, TPAO, Ankara.
- Nicholson, K.**, 1993. Geothermal fluids, chemistry ve exploration techniques, Springer-Verlag, Berlin, pp. 263.
- Nieva, D., ve Nieva, R.**, 1987. Development in geothermal energy in Mexico, part12-A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources, *Heat recovery systems and CHP*, 7, 243-258.
- Okan, Ö.**, 2004. Kolan (Karakoçan) sıcak su kaynakların hidrojeokimyasal incelemesi, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 114s.
- Özen, T.**, 2009. Salihli jeotermal alanlarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniv., Fen Bil. Ens., İzmir, 239s.
- Özen, T., Tarcan, G.**, 2005. Dikili-Kaynarca jeotermal sistemlerinin hidrojeolojik ve jeokimyasal değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2, 87-100.
- Özgül, N., ve Turşucu, A.**, 1984. Stratigraphy of the Mesozoic carbonate sequence of the Munzur Mountains (Eastern Taurus), In: Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C., eds., *Geology of the Taurus Belt. Proceedings of International Symposium*, Ankara, Turkey, 26-29 September, s. 223-228.
- Özgül, N.**, 1976. Toroslar'ın bazı temel özellikleri, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 1, 65-78.
- Özgül, N.**, 1976. Torosların bazı temel jeolojik özellikleri, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 1, 29-41.
- Özkul, M., ve Üşenmez, Ş.**, 1986. Elazığ kuzeydoğusunda Eosen derin deniz konglomeralarının sedimantolojik incelenmesi, *G.Ü. Müh. Fak. Dergisi*, 1, 2, 53-73.
- Özkul, M.**, 1988. Elazığ batısında Kırkgeçit Formasyonu üzerinde sedimantolojik incelemeler, *Doktora Tezi*, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 186s.
- Öztekin, Ö.**, 1998. Elazığ ili içme ve kullanma sularının fiziko-kimyasal özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü. Fen Bil. Enst., 124s.

- Öztüfekçi, Ö.A., Boztuğ D., Kürüm S., Akgül B.,** 2010. Pertek İntüzif Kayaçlarında İzotopik ve Jeokimyasal Veriler, Doğu Anadolu, Türkiye. *IV. Ulusal Jeokimya Sempozyumu*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 26-28 Mayıs, s. 49-50.
- Pakay Parkın, H.,** 2012. Germencik-İncirliova (Aydın) çevresindeki jeotermal alanların hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Ün., Fen Bil. Enst., 113s.
- Parkhurst D.L., ve Appelo, C.A.J.** 1999. User's guide to PHREEQC (version 2):A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, ve inverse geochemical calculations, *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, USGS- 99-4259*, Reston, Virginia.
- Perinçek, D.,** 1979a. Palu-Karakoçan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları, TPAO raporu, Ankara.
- Piper, A.M.,** 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, *American Geophysical Union Transactions*, **25**, 914-923.
- Polat, R., vd.,** 2007. İzmir-Nif Dağı çevresindeki yeraltı suyu nitrat kirliliği boyutunun mevsimsel değerlendirilmesi, *7. Ulusal Çevre mühendisliği kongresi yaşam çevre teknoloji*, İzmir, 24-27 Ekim.
- Reed, M., ve Spycher, N.,** 1984. Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **48**, 1479-1492.
- Sağiroğlu, A.,** 1992. Pertek-Demürek (Tunceli) skarn tipi manyetit ve ilişkili bakır cevherleşmeleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **35, 2**, 63-70.
- Sargın, A.H.,** 2010. Yeraltı Suları, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Rapor, Ankara.
- Sirel, E., Metin, S., ve Sözeri, B.,** 1975. Palu (KD Elazığ) denizel Oligosen'inin stratigrafisi ve mikropaleontolojisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **18**, 175-180.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E., ve Naz, H.,** 1985. Elazığ-Hazar-Palu alanının jeolojisi, *Petrol İşl. Gen. Müd. Dergisi*, **29**, 83-191.
- Şahinci, A.,** 1986. Yeraltı suları jeokimyası, Reform matbaası, İzmir, s.394
- Şahinci, A.,** 1991a. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Maatbası, İzmir, s.548.
- Şahinci, A.,** 1991b. Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri, Reform Matbaası, Beyler-İzmir, 548s.
- Şaşmaz, A. ve Sağiroğlu, A.,** 1990. Billurik Dere (Elazığ) cevherleşmelerinin özellikleri ve kökeni, *MTA Dergisi*, 110, 45-54.

- Şengör., A.M.C.,** 1980. Türkiye'nin neotektoniğinin esasları, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Konferanslar Serisi*, **2**, 1-40.
- Şengör., A.M.C., ve Yılmaz, Y.,** 1983. Türkiye'de Tetis'in evrimi: Levha tektoniği açısından bir yaklaşım, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Yerbilimleri Özel Dizisi*, **1**, 75.
- Şerefoglu İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.,** 2007. Pertek-Singeç jeotermal projesi kapsamında açılan sondaj kuyuları raporu, Tunceli.
- Tamgaç, Ö., F.,** 2000. Afyon Ömer-Gecek Jeotermal Sahasının Koruma Alanları, Test ve Potansiyel Değerlendirme Raporu, MTA, Ankara.
- Tarcan, G.,** 2002. Jeotermal su kimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Notları, İzmir, s. 230-271.
- Tarcan, G.,** 2003. Jeotermal su kimyası ders notları, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Kitabı, İzmir, s.198-247.
- Tatar, Y.,** 1987. Elazığ Bölgesinin Genel Tektonik Yapıları ve Landsat Fotoğrafları Üzerinde Yapılan Bazı Gözlemler., Hacettepe Üniversitesi, *Yerbilimleri Dergisi*, **14**, 295-308.
- Tatar, Y.,** 1992. On some tectonic structures in E and SE Turkey and their significance to the geodynamics of the Arabian Plate, *1 st Int. Symp. On East Medit. Geology, Geosound Spec. Issue*, 91-102.
- Tonani, F.,** 1980. Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration, *Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp.*, Strasbourg, 428-443.
- Truesdell A. H.,** 1975. Summary of Section III Geochemical Techniques in Exploration, *Proceedings of the Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, San Francisco, 25-50.
- Truesdell, A.H.,** 1976. *Summary of section III geochemical techniques inexploration. Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, San Francisco, 1975.
- TS-266,** 2005. Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular (Water intended for human consumption), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Turan, M., Aksoy, E. ve Bingöl, A.F.,** 1993. Doğu Toroslar'ın Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **7 (2)**, 1-23.
- Turan, M., ve Türkmen, İ.,** 1995. Stratigraphi and sedimentological features of Kuşçular Formation (Lower Paleocene), *Turkish journal of Earth Sciences*, **5**, 109-121.

- Türkmen, İ.**, 1991. Elazığ Doğusunda Çaybağı Formasyonu'nun (Üst Miyosen-Pliyosen) Stratigrafisi ve Sedimentolojisi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **34**, 45- 53.
- Uslu, O.**, 1985. Çevresel Etki Değerlendirilmesinin Çerçevesi, *Çevresel Etki Değerlendirilmesi Sempozyumu*, İzmir, 5-7 Haziran, s.11.
- Uslu, O., ve Türkman A.**, 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü, TC. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi, Ankara, 364s.
- Varol, S., Davraz, A., ve Varol, E.**, 2008, Yeraltı suyu Kimyası ve Sağlığa Etkisinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi, *TAF Prev Med Bull*, **7(4)**, 351-356.
- Walker, R.G.**, 1978. Deep-water sandstone facies and ancient submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps, *AAPG Bulletin*, **62**, 932-966.
- WHO**, 2011. Guidelines for Drinking Water Quality. Recommendations, vol. 1, 2nd Edition, *World Health Organization*, Geneva.
- White, D.E.**, 1957. Magmatic, connate and metamorphic waters, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **68**, 1659-1682.
- White, D.E.**, 1965. Saline water of sedimentary rocks, In: Fluids in subsurface environments-A symposium, *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.*, **4**, 342-366.
- White, D.E.**, 1970. Geochemistry applied to the discovery, evaluation and exploitation of geothermal energy resources, *Geothermics, Special Issue 2*, **(1)**, 58-80.
- Yılmaz, Y.**, 1984, Türkiye'nin Jeolojik Tarihinde Magmatik Etkinlik ve Tektonik Evrimle İlişkisi: *Türkiye Jeoloji Kurumu Ketin Sempozyumu*, İstanbul, s. 63-81.
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., ve Güner, Y.**, 1987. Initiation of the neomagmatism in the Eastern Anatolia, *Tectonophysics*, **134**, 177-199.
- Yazgan, E.**, 1984. Geodynamic evolution of eastern Taurus belt: In: Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C., eds., *Geology of the Taurus Belt. Proceedings of International Symposium*, Ankara, Turkey, s.199-208.
- Yurttas, Ö.**, 2008, Ilıcabaşı jeotermal alanının(Aydın) hidrojeolojisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Ün., Fen Bil. Enst., 135s.
- Yüksel, A.**, 2007. Üçtepe yöresinin (İmamoğlu-Adana) hidrojeolojik incelemesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 53s.

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Tunceli’de doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Tunceli’de tamamladım. 2009 yılında Niğde Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladım. 2013 yılında Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldum. 2014 yılında Tunceli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladım.