

**TEKMAN (ERZURUM) GÜNEYBATISINDAKİ
SICAK SU KAYNAKLARININ
HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

LÜTFİ TAŞKIRAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ Ana Bilim Dalı

Temmuz 2006

**HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF
THERMAL SPRING WATERS IN
SOUTHWEST OF TEKMAN (ERZURUM)**

LÜTFİ TAŞKIRAN

MASTER THESIS

Department of GEOLOGICAL ENGINEERING

July 2006

**TEKMAN (ERZURUM) GÜNEYBATISINDAKİ SICAK SU KAYNAKLARININ
HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

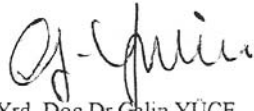
LÜTFİ TAŞKIRAN

Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd.Doç. Dr. Galip YÜCE

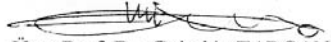
Haziran 2006

Lütfi TAŞKIRAN'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Tekman (Erzurum) Güneybatısındaki Sıcaksu Kaynaklarının Hidrojeokimyasal İncelemesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisans üstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.



Üye: Yrd. Doç. Dr. Galip YÜCE

Üye: Doç. Dr. Halim MUTLU



Üye: Prof. Dr. Gültekin TARCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunungün ve
Sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

ÖZET

Bu çalışma Tekman (Erzurum) güneybatısındaki yaklaşık 430 km²'lik bir alanın jeolojisi ve bu alanda yer alan sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesini kapsamaktadır.

Çalışma alanında temel birim olarak Hınıs Metaofiyoline ait peridotitler bulunmaktadır. Bu temel birimin üzerine tektonik uyumsuzlukla Tersiyer'e ait kaba kırıntılı, kireçtaşı, ince taneli sedimanter birimler ve volkanik kayalar içeren birimler gelmektedir. Bu birimler birbirleriyle düşey ve yanal geçişlidirler. Bu birimlerin üzerine diskordansla Miyosen ve Pliyosen yaşlı volkanitler gelmektedir. Tüm bu birimlerin de üzerine yine aşıl uyumsuzlukla Kuvaterner yaşlı traverten, yamaç molozu ve alüvyon gelmektedir. İnceleme alanında en belirgin faylar, sahanın hemen güneybatısında yer alan Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay zonlarına paralel özellikler gösteren doğrultu atımlı faylar olup, genel uzanımları kuzeydoğu-güneybatı ve kuzeybatı-güneydoğudur. Sıcak sular bu fayların etkisiyle yüzeye çıkmaktadır.

İnceleme alanındaki Adilcevaz formasyonu uygun eklem, kırık ve çatlak sistemleriyle rezervuar kayaç özelliği taşıırken, Miyosen yaşlı volkanitler, altere olmamış, düşük poroziteli yapısıyla örtü kayaç özelliğindedir. Isıtıcı kütle ise, sahadaki tek volkanik çıkış olan Bingöl Dağı'nın lavlarının çıktığı mağma odası olarak değerlendirilmiştir. Kuvaterner birimleri akifer özelliği taşımaktadır.

Su örneklerinden yapılan analiz sonuçlarına göre çalışma alanındaki sıcak sular iki ayrı hidrokimyasal fasiyeste olup, Çerme ve Ilıpınar kaynakları Na-Cl'lü, diğer sular Ca-Mg-HCO₃'lü su tipindedir. İnceleme alanındaki sularda yapılan izotop analiz değerlerine göre soğuk sular ve Yiğitlerdeki sıcak su örneği aynı kökenli ve sığ dolaşımli olup Kiğıhamzan, Meman, Gökoğlan ve Çerme kaynakları da aynı kökenli sulardır. Ayrıca tüm sular meteorik kökenli olup, trityum değerlerine göre Çerme suları derin dolaşımli, Yiğitler sıcak suyu ve soğuk sular sığ dolaşımli sular olarak yorumlanmıştır. İnceleme alanındaki sıcak suların yüzeye çıkış sıcaklıkları 29-57 °C arasında değişmektedir. Uygulanan çeşitli jeotermometre yöntemleri ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları Çerme için 160-170 °C, Gökoğlan ve Kiğıhamzan için 100-110 °C arasında değişmektedir. Ayrıca silis-entalpi grafiğine göre Ilıpınar ve Çerme sularına soğuk sular karışmaktadır. Tüm bu verilere dayanarak bölgede Gökoğlan-Kiğıhamzan'dan Çerme'ye doğru artan (yaklaşık 160 °C) yüksek entalpili bir jeotermal rezervuardan söz edilebilir.

Yörede yer alan sıcak su kaynakları ya boşa akmakta yada ilkel kaplıca uygulamaları yapılmaktadır. Eğer bu jeotermal kaynaklar özellikle modern termal turizm ve balneolojik uygulamalarda kullanılırsa bölgenin ekonomisine ve çevreye olumlu yönde etki sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Tekman, sıcak sular, hidrojeokimya, çevresel izotoplar.

SUMMARY

This study contains geological and hydrochemical assessment approximately 430 km² area that located in the southwest of Tekman near Erzurum.

In the study area the oldest unit is peridotite belong the Hınıs Metaophiolite. After the units that Tertiary aged the limestone, sedimentary rocks and volcanic rocks cover this basement unit. These Tertiary units are crossing each others as perpendicular and horizontally. The Miocene and Pliocene units cover these units with discordance. Finally the Quaternary units that the youngest units in the stratigraphy cover with discordance all the units.

The Adicevaz formation is the reservoir rock with its agreeable joint, crack and fissure systems in the study area. And the volcanites that Miocene aged are the cover rocks that have undestroyed structure and low porosity. Also the heater mass is the magma chamber of Bingöl Mountain lavas. Alluvium is the other important unit, among the geological formation in the study area.

The major faults in study area are seem parallel to the North Anatolian and East Anatolian fault zones that are important strike slip fault zones Southwest of the study area. Their directions are NE-SW and NW-SE. The hot springs in the study area are come out to surface by the influence of these faults.

According to analysis of these thermal and cold waters, there are two types of waters in the study area. Na-Cl in Çerme and Ilıpınar thermal waters and Ca-Mg-HCO₃ are other thermal waters.

According to isotopes analysis results in study area the cold waters and Yigitler thermal waters have the same origin and they have shallow cycle. Kiğıhamzan, Meman, Gökoğlan and Çerme thermal waters have the same origin too. Çerme thermal water has deep cycle. Also the richness of the ¹⁸O isotope value in Ilıpınar sample reveals a reservoir that has high enthalpy. Also all water sample have meteoric origin. In the study area the thermal springs have 29-57 °C temperatures in surface. With some various geothermometer methods in Çerme, the reservoir rock temperature is estimated 160-170 °C, in Gökoğlan and Kiğıhamzan is 100-110 °C. According to all these results we can say that there is a reservoir that has high enthalpy (approximately 160 °C) from Gökoğlan- Kiğıhamzan to Çerme.

The thermal springs in the vicinity are flowing in vain or people using them as primitive spa. If they would use them especially at thermal tourism and balneological practises, they will be more useful for economical improve of this region.

Key words: Tekman, thermal waters, hydrogeochemistry, environmental isotopes.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında bilgi, tecrübe ve desteklerini benden esirgemeyen ve gerek ders aşamasında gerekse tez sürecinde bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Galip YÜCE'ye çok teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin volkanizma-jeotermal ilişkisi kısmında değerli görüşlerini benden esirgemeyen jeomorfolog Talat YILDIRIM'a, yine tezimin hazırlanması esnasında teknik anlamda bana destek olan Jeoloji Yüksek Mühendisi İbrahim YILMAZ'a ve ESOGÜ araştırma görevlisi jeoloji yüksek mühendisi Didem UĞURLUOĞLU'na ve tez süresince bana destek olan tüm arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışma, M.T.A.(Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), Enerji Hammaddeleri Etüt ve Arama Dairesi bünyesinde 2005 yılında gerçekleştirilen “Erzurum-Tekman jeotermal enerji aramaları projesi”nden yararlanılarak gerçekleştirilmesine yardımcı olan Daire Başkanı jeoloji yüksek mühendisi Hayrullah DAĞISTAN'a, jeotermal enerji birimi yöneticisi jeoloji (hidrojeoloji) yüksek mühendisi Dr. Nilgün DOĞDU'ya, Proje başkanı jeoloji mühendisi Hanifi GÜRLER'e ve Kamp şefi jeoloji mühendisi Sinan SARP'a, kimya teknikeri Hasan ÜNAL'a ve diğer proje çalışanlarına teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca beni her konuda destekleyen Anne-Babama ve Eşime teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Tanıtılması	1
1.2 Çalışmada Kullanılan Yöntemler.....	4
2. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ.....	6
2.1 Stratigrafi	6
2.1.1 Peridotit (Pzhp)	6
2.1.2 Navru Formasyonu (Eon)	8
2.1.3 Kozlu Formasyonu (Eok).....	8
2.1.4 Memişkomu Formasyonu (Eom)	8
2.1.5 Mollakulaçdere Formasyonu (Olmim)	10
2.1.6 Adilcevaz Formasyonu (Mia)	11
2.1.7 Hınıs İgnimbriti (Mibh)	12
2.1.8 Yolüstü Yayla Lavı (Miby).....	12

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

2.1.9 Kohkale Tepe Lavı (Mivsk).....	12
2.1.10 Hamurpet Lavı (Plh)	13
2.1.11 Yolüstü Formasyonu (Ply).....	13
2.1.12 Yamaç molozu ve heyelan döküntüsü (Qy/h).....	14
2.1.13 Traverten (Qt)	15
2.1.14 Alüvyon (Qal)	16
2.2 Bölgenin Yapısal Jeoloji	16
3. SAHADAKİ JEOTERMAL SİSTEM VE BÖLGESEL MAGMATİZMA İLE	
<u>VOLKANİZMANIN SİSTEME ETKİLERİ</u>	19
4. <u>HİDROJEOLOJİ</u>	21
5. <u>İNCELEME ALANINDAKİ SICAK VE SOĞUK SULARIN</u>	
<u>HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ</u>	24
5.1 Çalışma Alanındaki Sıcak ve Soğuk Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması	25
5.1.1 Hidrokimyasal fasiyes kavramı	26
5.1.2 Piper (Üçgen) diyagramı ile suların sınıflandırılması.....	27
5.1.3 Schoeller diyagramı ile suların değerlendirilmesi	28
5.1.4 Suların elektriksel iletkenliği	32
5.1.6 Suların pH değerleri.....	35
5.2 Suların Çevresel İzotoplarla (¹⁸ O, ² H, ³ H) Değerlendirilmesi	36
5.2.1 Tritiyum	37
5.2.2 ¹⁸ O ve D(² H) kararlı izotopları.....	38
5.3 Jeotermometre Uygulamaları	47
5.4 Karışım Modelleri	53
5.4.1 Entalpi-silis karışım modeli	54

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	56
<u>7. KAYNAKLAR DİZİNİ</u>	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	2
1.2 Çalışma alanının jeomorfolojik durumunu gösteren uydu görüntüsü.....	4
2.1 Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	7
2.2 İnceleme alanındaki peridotitlerin Kozlu formasyonu ve alüvyonla olan dokanaklarının görünümü.....	9
2.3 Çalışma sahası içindeki peridotit Eosen kireçtaşı üyesinin dokanağı.....	10
2.4 Çalışma sahasındaki Yolüstü Formasyonu çakıltısı ve çamurtaşı-marn-silt aralanmasından bir görünüm.....	14
2.5 İnceleme alanındaki travertenlerden bir görünüm.....	15
2.6 Doğu ve Kuzey Anadolu Fay zonlarının kesişmesinden bir görünüm.....	17
2.7 İnceleme alanındaki çizgisellik durumunu gösteren uydu haritası.....	18
3.1 Çalışma sahası ve yakın çevresinin havadan manyetik anomali haritası....	19
4.1 Çalışma alanındaki birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafik kesit.....	23
5.1 İnceleme alanına ait suların Piper diyagramındaki dağılımı.....	28
5.2a İnceleme alanındaki Kiğıhamzan, Gökoğlan, Meman ve Yiğitler sıcak su kaynaklarının Schoeller diyagramındaki dağılımı (Ca, Mg HCO ₃ 'lü sular).....	29
5.2b İnceleme alanındaki Çerme ve Ilıpınar sıcak su kaynaklarının Schoeller diyagramındaki dağılımı (NaCl'li sular).....	30
5.2c İnceleme alanındaki soğuk su kaynaklarının Schoeller diyagramındaki dağılımı	31
5.3 Çalışma alanındaki su örneklerindeki EC dağılımı.....	34
5.4 Çalışma alanından alınan su örneklerinin PH dağılım modeli.....	36
5.5 Yeraltı sularındaki ² H – ¹⁸ O ilişkisi ve yeraltı sularının ilk baştaki duraylı izotopik kompozisyonlarının değişimine neden olan prosesler.....	39
5.6 Çalışma sahası içindeki sıcak ve soğuk suların ¹⁸ O ve D (² H) ilişkileri.....	41
5.7 İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların trityum-EC grafiği.....	43
5.8 İnceleme alanındaki su örneklerinin döteryum-trityum grafiği.....	44

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.9 İnceleme alanındaki su örneklerinin ^{18}O - trityum grafiği.....	45
5.10 İnceleme alanındaki suların B-Cl grafiği.....	46
5.11 İnceleme alanındaki sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki görünümü ve su-kayaç denge sıcaklıkları.....	52
5.12 İnceleme alanındaki sıcak suların Entalpi-silis diyagramı.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 Çalışmada kullanılan, inceleme alanı içerisindeki su kaynaklarının majör iyon analiz sonuçları ve bazı fiziksel özellikleri.....	25
5.2 Çalışmada kullanılan, inceleme alanı içerisindeki su kaynaklarının iz element analiz sonuçları.....	25
5.3 Suların elektriksel iletkenliğe (EC) göre sulama suyu açısından sınıflaması.	33
5.4 Çalışma alanındaki suların elektriksel iletkenlik değerlerine göre sulama suyu sınıflandırılması.....	35
5.5 İnceleme alanı içerisindeki sıcak ve soğuk suların ^{18}O , ^2H , ^3H izotop Analizleri.....	40
5.6 Çalışmada kullanılan silis jeotermometre denklemleri (Tarcan, 2002).....	48
5.7 Çalışmada kullanılan katyon jeotermometre denklemleri (Tarcan, 2002)...	49
5.8 Çalışma sahasındaki sıcak suların silis ve katyon jeotermometrelerine göre rezervuar tahmini sıcaklıkları.....	50
5.9 Sıcak suların entalpi-silis diyagramına göre belirlenen soğuk yeraltı suları ile karışım oranları.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a	Radyoaktif çürüme katsayısı
b	Çevresel izotoplarda hesaplama katsayısı
β	Jeotermometre hesap katsayısı
Δt	Jeotermometre hesabında sıcaklık değişimi
e	Logaritmik taban
N_0	Başlangıçtaki radyoaktif atom sayısı
N_t	t anındaki radyoaktif atom sayısı
R	Jeotermometre hesap katsayısı
δ	Çevresel izotoplarda binde katsayısı
t	Zaman (yıl,dk.)
T	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
TU	Bir trityum birimi

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AAS	Atomik Absorpsiyon Spektrometresi
Cm	Santimetre
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
Dk	Dakika
Et al.	Ve diğerleri
g	Gram
IAEA	Sıvı Sintilasyon Sayma Tekniği
IAH	Uluslar arası Hidrojeologlar Birliği
IRMS	İzotopik Oran Kütle Spektrometresi
l	Litre
ln	Doğal logaritma
log	Logaritma
M	Molar
m	Metre
mg	Miligram

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Kısaltmalar****Açıklama**

mm

Milimetre

MTA

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

vb.

Ve benzerleri

vd.

Ve diğerleri

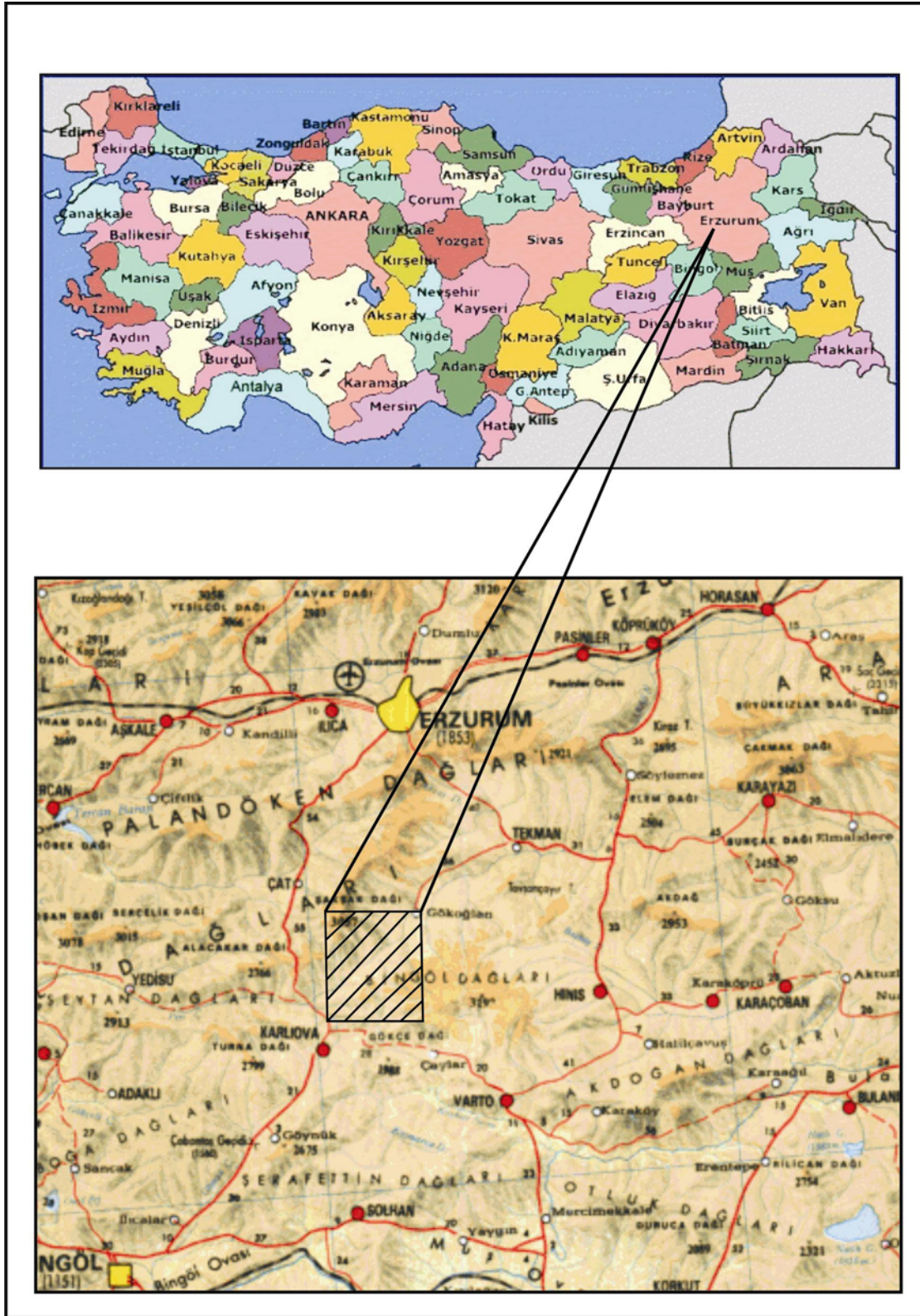
1. GİRİŞ VE AMAÇ

Bu çalışma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışma aynı zamanda Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeotermal Enerji ve Kaplıca Etütleri Birimi'nin 2005 yılında gerçekleştirdiği "Erzurum-Tekman Jeotermal Enerji Aramaları Projesi" kapsamında ve projenin genişletilerek incelenmesi ve değerlendirilmesi sonucu oluşturulmuştur.

Çalışmada, Erzurum'un Tekman İlçesi GB'sinde yer alan çalışma sahası jeolojik olarak incelenmiş, çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk suların hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak çalışılarak, değerlendirilmiştir. Bu amaçla öncelikle inceleme alanının jeoloji haritası yapılmış ve Ek-1'de sunulmuştur. Ayrıca çalışma sahasındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarından örnekler alınarak kimyasal analizleri yaptırılmıştır. Bu kimyasal analizler ışığında suların sınıfı, hidrojeokimyasal fasiyesi, kökensel ilişkileri ve hazne kaya içindeki sıcaklıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca suların oksijen ve hidrojen ^{18}O , ^2H , ^3H izotop analiz sonuçları incelenerek, suların kökenleri ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Bununla birlikte inceleme alanındaki sıcak suların volkanizma ile olan ilişkileri, rezervuar kayaç, örtü kayaç, ısıtıcı kayaç gibi jeotermal öğeleri de belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, çalışma alanının ve yakın civarının 1/500000 ölçekli havadan manyetik haritasından yararlanılmıştır.

1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Tanıtılması

Çalışma alanı, Erzurum İli'ne 100 km uzaklıkta, büyük kısmı Tekman İlçesi sınırları içinde, GB ucu Bingöl İli sınırlarında kalmaktadır. Çalışma sahası, Erzurum- J 46-a1, a2, J 45-b2, İ 46-d3, c4 paftalarında yer alan yaklaşık 430 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu alan Tekman İlçesi GB'sinde kalmaktadır. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası (1/2000000)

Bölgede tipik karasal ve Doğu Anadolu iklimi şartları hüküm sürmekte olup, yazları sıcak ve kurak, kışları çok soğuk ve kar yağışlıdır. Bölgede yıllık ortalama sıcaklık 12.1 °C, yıllık yağış miktarı 817.7 mm'dir (Erzurum Valiliği, 2006).

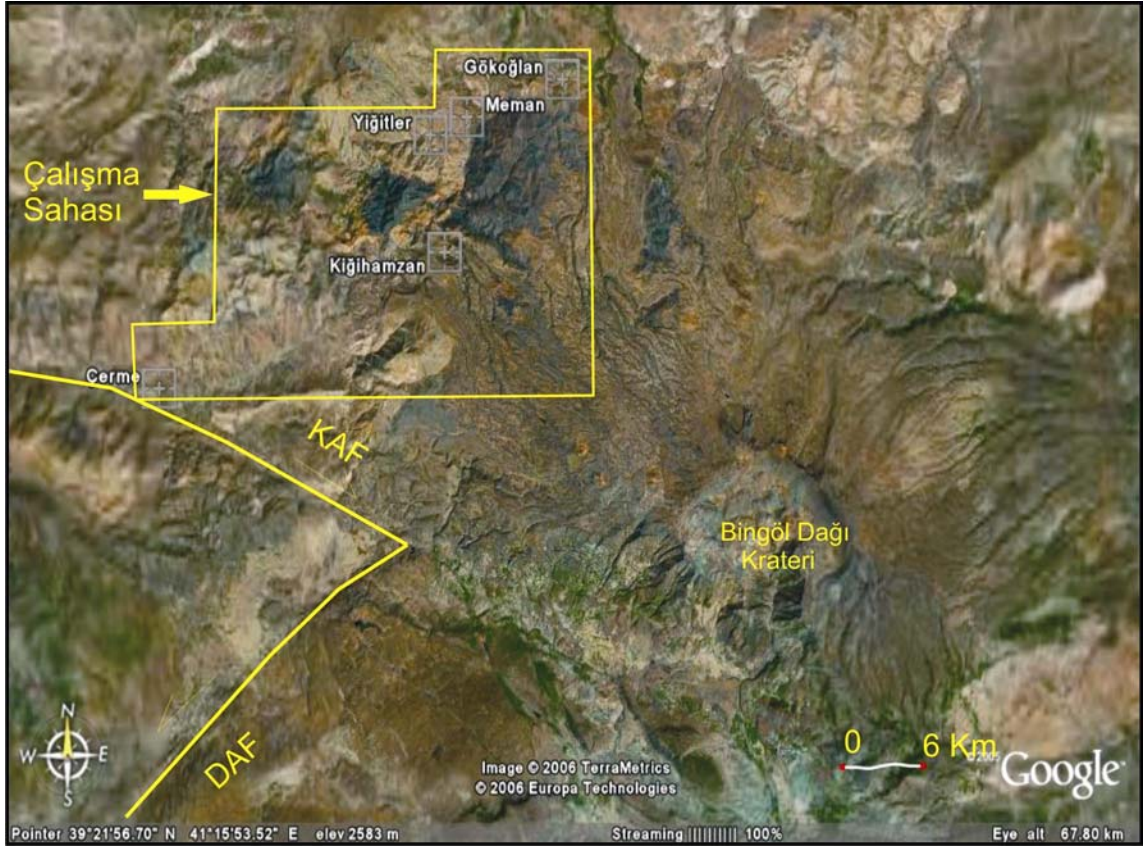
Çalışma alanında yüksek topoğrafyaya sahip kesimler seyrek çam ağaçlarıyla kaplı; yamaçlar bodur bitkilerle kaplı, yada çıplaktır. Düz kesimler ise mera olarak kullanılmakta olup, otlarla kaplıdır.

Çalışma alanında genellikle sarp bir topoğrafya hakimdir. Kuzeyde Şakşak Dağı ve Harhal Dağı çalışma alanının kuzey sınırını belirleyip, önemli yükseltilerdir. İnceleme alanı içinde kalan diğer önemli yükseltiler Kartal Tepe, Tava Tepe, Çengel Tepe, Kandil Tepe gibi yükseltilerdir.

Sahada genellikle KD-GB uzanımlı akarsular boyunca oluşmuş alüvyon birimi alandaki düz ve düşük topoğrafik alanları oluşturmaktadır.

İnceleme alanında Çatak Çayı, Aras Nehri, Büyüksu Dere gibi önemli miktarda debiye sahip akarsuların yanı sıra daha çok mevsimsel akışlı, derin vadiler ve bu vadilerle birleşen, değişken akış yönlerine sahip küçük derelerde mevcuttur.

İnceleme alanının jeomorfolojik durumunu gösteren uydu görüntüsü Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2 Çalışma alanının jeomorfolojik durumunu gösteren uydu görüntüsü (Google Earth'den, 2006).

1.2 Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Bu çalışma, arazi ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki bölümde gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında kayaçların 1/50 000 ölçekli jeolojik haritası yapılmıştır. Kayaçlara, önceki çalışmalar dikkate alınarak isim ve yaş verilmiştir. Bununla birlikte çalışma alanının çeşitli bölgelerindeki kaynaklardan 11 adet su örneği (9 adet sıcak, 2 adet soğuk su) alınmıştır. Alınan su örneklerinin sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri arazide yerinde ölçülmüş; majör iyonlar ve iz elementler (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , CO_3^- , SiO_2 , Al^{+3} , Fe, B, Li, Cr, Co, Pb, Zn, Cd, Mn, Cu, NH_4) ve izotop değerleri ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^3\text{H}$) 2'şer adet örneklenerek analizleri laboratuvarda yapılmıştır. Sular bir litrelik ısıya dayanıklı çift kapaklı polietilen şişelerle örneklenerek, M.T.A.(Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü) su

kimyası laboratuvarında analiz edilmiş ve çıkan sonuçlar incelenip, gerekli çizelgeler ve diyagramlar hazırlanmıştır.

Laboratuvar çalışmalarında; katyonlar için Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (AAS); alkalinite-karbonat bikarbonat ve klorür anyonları için titrasyon, sülfat için gravimetrik ve Si, Al, Fe, Sr, As, Sb, Li, Zn ve Mn analizleri için de AAS kullanılmıştır. Suların EC, pH, sıcaklık ve tuzluluk değerleri fiziko-kimyasal yöntemlerle, toplam, geçici ve kalıcı sertlik değerleri hesaplama yöntemiyle bulunmuştur. İzotop analizleri, D.S.İ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) İzotop Şube Müdürlüğü Laboratuvarında trityum (+ - 0,5 TU hata paylarıyla), $\delta^{18}\text{O}$ ve δD (Dengeleme) yöntemiyle numune hazırlanarak IRMS ölçüm cihazıyla IAEA (Sıvı Sintilasyon Sayma Tekniği) metodu ile ölçülmüştür.

Örnek hazırlanmasında; iyi karıştırılmış 50-100 mL'lik örnekler beherlere konulup, üzerine 5 mL HNO_3 eklenir. Beherler ocakta ısıtılmaya bırakılır. Hemen hemen kuruyana kadar buharlaştırılır ve üzerine 5 mL daha HNO_3 eklenir. Buharlaştırmanın yavaş gelişmesi için beherlerin ağzı saat camıyla kapatılır ve çökelim oluncaya kadar tekrar buharlaştırılır. Çökelim gerçekleşince beherlerin etrafı saf su ile yıkanır ve AAS'nde ölçüm yapılır. Bor Analizi (Kolorimetrik) ise, 2 cc örnek çözeltisine 2-3 damla %37'lik HCl ve 10 cc %95-97'lik H_2SO_4 eklenir. Soğumaya bırakılır ve soğuma gerçekleşince 10 cc Karmin asidi reaktifi koyulur. Soğuması için yaklaşık 45 dk. Beklendikten sonra, 610 mm'de 1 cm'lik kuvette fotometrik ölçüm alınır.

Analizi yapılan su örnekleri, hidrojeokimyasal program (Rockware AQQA 1.1, 2005) ile değerlendirilerek yorumlanmıştır. Bu program yardımıyla çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların jeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. MS Office (XP), Surfer 8.0 (2002 versiyon) ve Corel Draw 13 (2006 versiyon) ve Google Earth (2005) paket programları da raporun yazımında, şekil ve grafiklerin çizilmesinde kullanılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANININ GENEL JEOLJİSİ

2.1 Stratigrafi

Çalışma sahasında volkanik ve sedimanter kaya birimleri bulunmaktadır. İnceleme alanındaki en yaşlı birimi Paleozoyik yaşlı Hınıs Metaofiyolitine ait Peridotitler oluşturur. Bu temel kayaların üzerine tektonik uyumsuzlukla Tersiyer'e ait birimler gelmektedir. Bölgede, Tersiyer birimleri kırmızı – şarabi renkli kaba kırıntılılar (çakıltası, kumtaşı, çamuraşı), kireçtaşı, ince taneli sedimanter kayalar ve volkanik (lav, piroklastik) kayaları içeren üye ve formasyonlardan oluşur. Tersiyer birimlerini oluşturan Orta Eosen yaşlı Kozlu, Üst Eosen yaşlı Memişkomu, Oligosen – Alt Miyosen yaşlı Mollakulaçdere ve Alt Miyosen yaşlı Adilcevaz formasyonları birbirleriyle düşey ve yanal geçişlidir. Bu birimlerin üzerine de açısal uyumsuzlukla Orta Miyosen yaşlı Hınıs İgnimbriti ve Yolüstü Yayla Lavı gelmektedir. Bunları da yine uyumsuzlukla Üst Miyosen yaşlı Kohkale Tepe Lavı ve Orta-Üst Pliyosen yaşlı Yolüstü Formasyonu üzerlemektedir. Tüm bu birimlerin üzerine de Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyon birimleri gelmektedir. Formasyonların adları ve yaşları Tarhan 1989a, 1991b'den alınmıştır. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti Şekil 2.1' de verilmiştir.

2.1.1 Peridotit (Pzhp)

Çalışma alanında Paleozoyik birimler Hınıs Metaofiyolitine ait Peridotitlerdir (Pzhp) (Şekil 2.2). Peridotitler, genellikle serpantinleşmiş dünit ve harzburgitlerden oluşur. Tektonik deformasyonlarla iç yapısı bozulmuş, ezilmiş, milonitleşmiş ve serpantinleşmiştir. Birimi kesen faylar boyunca çıkan sıcak su kaynakları çevresinde, genellikle sarımtırak – kırmızı kahve renkli lisvenit oluşumları gözlenir. Lisvenit, hidrotermal suların serpantinler içerisinde oluşturduğu Mg – Ca silikat kayası

T E R S İ Y E R										SİSTEM																			
KARBONİFER ÖNCESİ	HİNİS METAFİYOLİTİ	Peridotit	Pzhp	Eon	Eok	Eom	Olmim	Mia	Mibh	Mibv	Mivsk	Pih	Ply	Qal,Qt,Qym	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	HİDROLOJİK ÖZELLİK												
																		NAVRO	KOZLU	MEMİŞKOMU	MOLLAĞULUÇİÇERE	ADILCEVAZ	BİNGÖL DAĞI GRUBU	VARTO GRUBU	ÜST	ORTA	ALT	PLİYOSEN	ALT ORTA-ÜST
SERİ	GRUP	FORMASYON	ÜYE	SİMGE																									
KUWATERNER																													

Şekil 2.1 Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti ve formasyonların geçirimsizlik özellikleri

olduğundan, topografyada sarp çıkıntılar oluşturmaktadır. Ayrıca, yer yer opal ve magnezit oluşumları gözlenmektedir (Tarhan, 1997).

2.1.2 Navru Formasyonu (Eon)

Çalışma alanının doğu ucunda küçük bir alanda mostra veren Navru formasyonu, kireçtaşı, marn, kumtaşı, tüf, çakıltası, çamurtaşı, volkanit içermektedir. Birimin yaşı, Tarhan, 1997'ye göre Alt-Orta Eosen 'dir.

2.1.3 Kozlu Formasyonu (Eok)

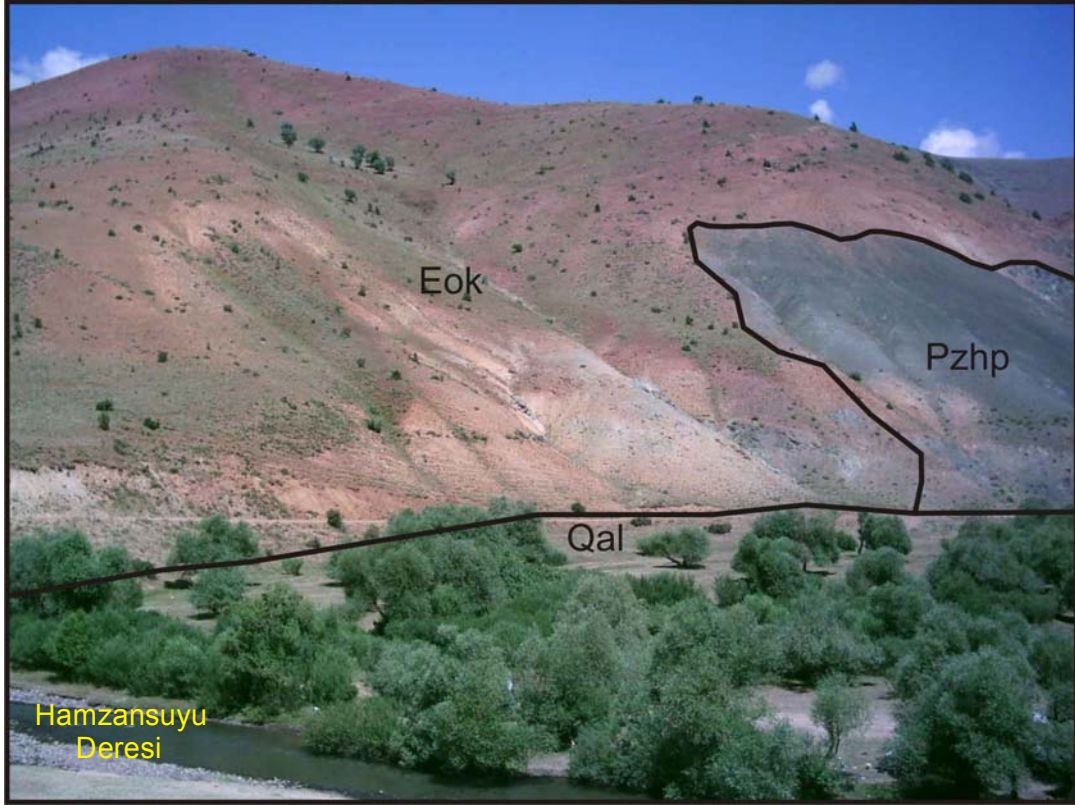
Tarhan, 1997'ye göre Orta Eosen yaşlı birim çakıltası, kumtaşı, kalkarenit, marn, kıltaşı, tüfit, kireçtaşı, lav ve piroklastik kaya türlerinden oluşur (Şekil 2.2). Çalışma alanında (Eokk) üyesi ayırtlanmıştır. Bu birim, farklı düzeylerinde görülen ince-orta katmanlı, bej – gri, boz renkli, yer yer marn, kumtaşı, kalkarenit ara katkılarını içeren kireçtaşlarından oluşur (Tarhan,1997) (Şekil 2.3). Birimin yaşı, içeriğindeki fosillere göre Orta Eosen (Lütesiyen) olarak belirlenmiştir(Tarhan, 1989, 1991a).

Birim, yer yer az miktarda volkanit ara katkı içerir. Tabanındaki peridotileri açısız uyumsuzlukla örter. Üste doğru Memişkomu Formasyonuna tedrici geçiş gösterir.

2.1.4 Memişkomu Formasyonu (Eom)

Formasyon çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı, tüfit, marn, lav ve piroklastik kaya türlerinden oluşur. Bordo – kırmızı renkli çakıltası üyesi ayırtlanmıştır (Eomç). Çok az oranda kireçtaşı ve volkanit arakatıkları içerir. Orta – kalın katmanlıdır. Üste doğru Mollakulaçdere Formasyonuna tedrici geçiş gösterir (Tarhan, 1997).

Çakıltası üyesi, bordo – kırmızı renkli çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından oluşur. Yer yer volkanit arakatıkları içerir. Çakıltası üyesinin yaşı da, Tarhan, 1989, 1991a 'a göre Üst Eosen olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.2 İnceleme alanındaki peridotitlerin Kozlu formasyonu ve alüvyonla olan dokanaklarının görünümü (Bakış KB'ya doğru)



Şekil 2.3 Çalışma sahası içindeki peridotitle Eosen kireçtaşı üyesinin dokanağı (Bakış KD'ya doğru)

2.1.5 Mollakulaçdere Formasyonu (Olmim)

Birimi ilk kez Özcan (1967) adlamış ve tanımlamıştır. Marn, kilitaşı, kumtaşı, tüflü marn, kireçtaşı, tüfit, lav, piroklastik kayaç, çamurtaşı ve evaporitten oluşur. Formasyonun, bölgede farklı çökelme ortamlarını (karasal, evaporit, denizel) temsil eden kaya stratigrafi birimlerinden oluştuğu gözlenmiştir. Yer yer bitki – kömür kırıntılarını içeren, ince – orta katmanlardan oluşur. Memişkomu formasyonu ile uyumlu ve geçişlidir. Üste doğru Adilceviz Forasyonuna tedrici olarak geçer (Tarhan, 1997).

Öncel araştırmacılar (Mercier, 1948; Lahn, 1950; Altınlı, 1966) Doğu Anadolu'da denizel Oligo – Miyosen yaşlı birimlerin varlığına değinmişlerdir.

Mollakulaçdere ve Adilcevaz formasyonlarının kaya türü özellikleri çok benzerlikler gösterir. Genellikle marn ve evaporitten oluşur. Bu formasyona ait bazı kireçtaşı mostralardan elde edilen Alt Miyosen yaşı nedeniyle, birim Adilcevaz formasyonu kapsamına konulmuştur. Oligosen yaşlı birimlerin gerek ortamsal özelliklerinden dolayı ve gerekse içerdiği kıt fauna nedeniyle, yaş tayinlerinde güçlükler ortaya çıkmıştır.

Mollakulaçdere Formasyonundan derlenen örneklerden çeşitli fosiller tayin edilmiş ve bu fosillere ve saha gözlemlerine dayanılarak formasyona Oligosen – Alt Miyosen yaşı verilmiştir (Tarhan, 1989a, 1991a).

Birim içinde çakıltası üyesi (Olmimç) ayırtlanmıştır. Bu birim, kıvırlı-sarımsı renkli ve yer yer de sarımsı yeşil gözlenen çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşından oluşur.

2.1.6 Adilcevaz Formasyonu (Mia)

Birimi ilk kez Demirtaşlı ve Pissoni (1965) tarafından Adilcevaz kireçtaşı, daha sonra daha sonra Akay ve diğerleri (1989) ile Tarhan (1989a) tarafından Adilcevaz Formasyonu olarak adlanmıştır.

Formasyon Alt Miyosen yaşlı olup, tüf içerikli resifal kireçtaşı, tüfit, kalkarenit, kumtaşı, çakıltası ve marn gibi kaya türlerinden oluşur. Yer yer de jips, volkanit (lav, piroklastik) arakatkılarını içerir. Kireçtaşı üyesi (Miak) ayırtlanmıştır (Tarhan,1997). Bu üye masif, resifal, killi – tüflü – çakıllı kireçtaşlarından oluşur. Kireçtaşları yer yer, jips – anhidrit, çakıltası, kumtaşı, marn ve volkanit arakatkıları içerir. Kireçtaşı üyesinin yaşı Tarhan, 1997'ye göre fosil verilerinden Alt Miyosen olarak belirlenmiştir.

Kireçtaşları masif olup, kalınlığı 15 – 200 metre arasında değişir. Makro fosil ve mercan kolonilerini içerir. Mollakulaçdere formasyonu ile uyumlu ve geçişlidir.

2.1.7 Hınıs İgnimbriti (Mibh)

Formasyon, grimsi – siyah, pembemsi – turuncu renkli camsı bir hamur içinde volkanik, metamorfik, metablastik (granitik) kırıntı ve parçalarını içeren, akkor halde akmış volkanitlerin soğumasından oluşmuştur. Hamur, camsı amorf ve akışkan yapı gösteren külden oluşur. Soğuma sütunludur. Yaklaşık kalınlığı 15 – 20 metredir. İgnimbritte izlenen lav bloklarının çevresini saran, volkanik camsı amorf madde ani soğuma sonucu curufumsu bir görünüm kazanmıştır. İgnimbritte görülen volkanokırıntıların uzun eksenleri boyunca yataya yakın dizilimleri ile hamurda bir çizgisellik oluşturur. İgnimbritte gözlenen kristal, kaya kırıntı ve piroklastik (aglomera, tuf, lapilli, volkanik breş) arakatkıları (5 -10 m.) görülür. Genellikle biyotit ve kordiyerit mineralleri içerir (Tarhan,1997). Orta Miyosen yaşta olup, kıtasal kabuk kökenlidir.

2.1.8 Yolüstü Yayla Lavı (Miby)

Birimi, koyu- siyah, grimsi – pembemsi turuncu renkli, bol gaz gözenekli, bloklu lavlardan “aa lavı” oluşturur (Tarhan, 1997). Biyotit – hornblend andezit, andezit, latit, kuvars latit lavların türleri tanımlanmıştır. Olasılıkla okyanus kabuğu kökenli kayaların kısmi ergimelerinden oluşmaktadır. Bu lavların, Bingöl yanardağının Orta Miyosen evresindeki püskürmesinin en son çıkardığı ürünlerine karşılık geldiği düşünülmektedir.

2.1.9 Kohkale Tepe Lavı (Mivsk)

Çıkış yeri Bingöl Dağı volkanıdır. Koyu – siyah renkli, kompakt, kalın kesimleri soğuma sütunludur. Genellikle levhamsı bir yapı gösterirler. Bu lavlar bazalt bazaltik andezit, andezitik bazalt, andezit kaya tipleri olarak belirlenmiştir. Yaklaşık kalınlığı 1 – 50 metre arasındadır (Tarhan, 1997).

Solhan Formasyonunun en yaygın lavlarını bu üye oluşturur. Kohkale ve Küçük Kohkale Tepede (Bingöl Dağı volkan kraterleri çevresinde), Bingöl Yanardağı’nın Üst

Miyosen evresinde çıkardığı en son ürünlerine karşılık gelmektedir. Çift kraterli Bingöl Dağı volkanından çıkan bu lavların, akıcılığı nedeniyle, uzaklara doğru bir lav yaygısı şeklinde yayıldığı gözlenir.

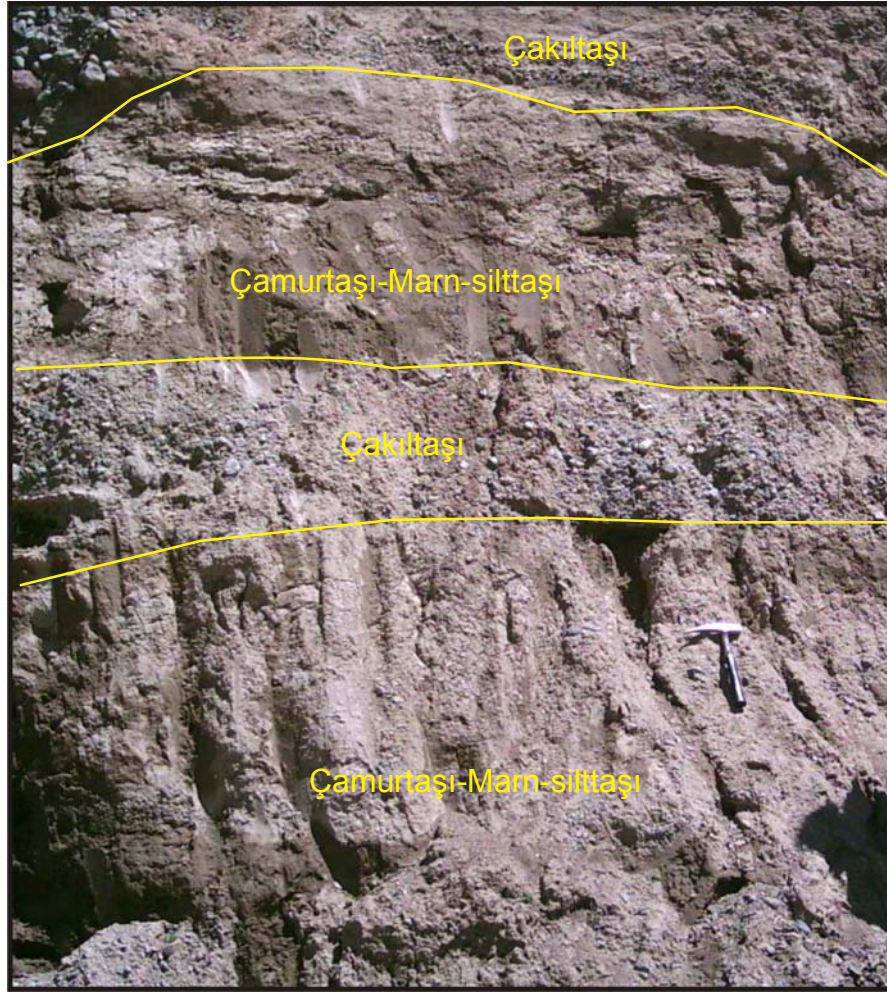
2.1.10 Hamurpet Lavı (Plh)

Hamurpet lavının, siyahımsı – gri, grimsi – turuncu renkli, yer yer gaz gözenekli bloklu (aa lavı) lavlardan ve yer yer de soğuma sütunlu, levhamsı lavlardan oluştuğu gözlenmiştir. Bazaltik andezit, andezitik bazalt, andezit, hornblend – epidot andezit, kuvars latit tipi lavlardan oluşur. Yaklaşık kalınlığı 5 – 50 m. arasında değişir. Olasılıkla, okyanusal ve kıtasal kabuk kökenli kayaların kısmi ergimeleri sonucunda oluşmuşlardır. Genellikle kırık, çatlak ve yarık çıkışlı lavları oluştururlar. Stratigrafik olarak, Alt Pliyosen yaşta olduğu düşünülmektedir (Tarhan, 1997).

2.1.11 Yolüstü Formasyonu (Ply)

Formasyonu ilk kez Tahran (1989a) adlamış ve tanımlamıştır. Birim çakıltası, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı, marn, tüflü marn, kiltası, tüfit ve gölsel kireçtaşıdan oluşur (Şekil 2.4). Yer yer kömür ve aglomera arakatkıları içerir (Halifan – Göynük kömürleri; Tarhan ve diğerleri, 1991). Formasyon gölsel ortamda çökelmiştir. Alt Pliyosen yaşlı Hamurpet lavını uyumsuzlukla örter.

Nakoman (1968), Karlıova havzasında gölsel ve kömür içerikli birimlerin varlığına değinmiştir. Kömürden tayin ettiği polenlere dayanarak, kömür ara katkılı birimlere Orta – Üst Pliyosen yaşını vermiştir. Gerek polen yaşları, saha gözlem ve verileri, gerekse formasyonun stratigrafik konumu nedeniyle, Yolüstü Formasyonuna Orta – Üst Pliyosen yaşı verilmiştir (Tarhan, 1997).



Şekil 2.4 Çalışma sahasındaki Yolüstü Formasyonu çakıltaş ve çamurtaşı-marn-silt ardalanmasından bir görünüm

2.1.12 Yamaç molozu ve heyelan döküntüsü (Qy/h)

Yamaç molozu genellikle yüksek ve dik tepelerin eteklerinde tutturulmamış köşeli blok ve çakıl boyutlarındaki kaya türlerinden oluşur (Tarhan, 1997).

Heyelan döküntüsü; tüfit, tuf, kiltası ve marnlı birimlerde yeraltı sularının oluşturduğu kohezyonsuz düzlemler boyunca, söz konusu birimlerde topografya eğimine bağlı olarak gelişmiştir (Tarhan,1997).

2.1.13 Traverten (Qt)

Genellikle, fay veya bindirme zonları boyunca çıkan yeraltı su kaynaklarının çevresinde biriken çökellerdir (Şekil 2.5). Aktif fay zonları boyunca traverten oluşturan sıcak – soğuk su kaynaklarının, fayların aktifliklerine bağlı olarak sık sık yer değiştirdikleri gözlenmiştir.

Minerallerce zengin ve kalsiyum bikarbonatça doymuş sıcak suyun yeryüzüne ulaşması ve bünyesindeki CO₂ gazını kaybetmesi sonucunda kalsiyum karbonat çökelmiş ve sahada traverten oluşmuştur.



Şekil 2.5 İnceleme alanındaki travertenlerden bir görünüm (Bakış GB'ya doğru)

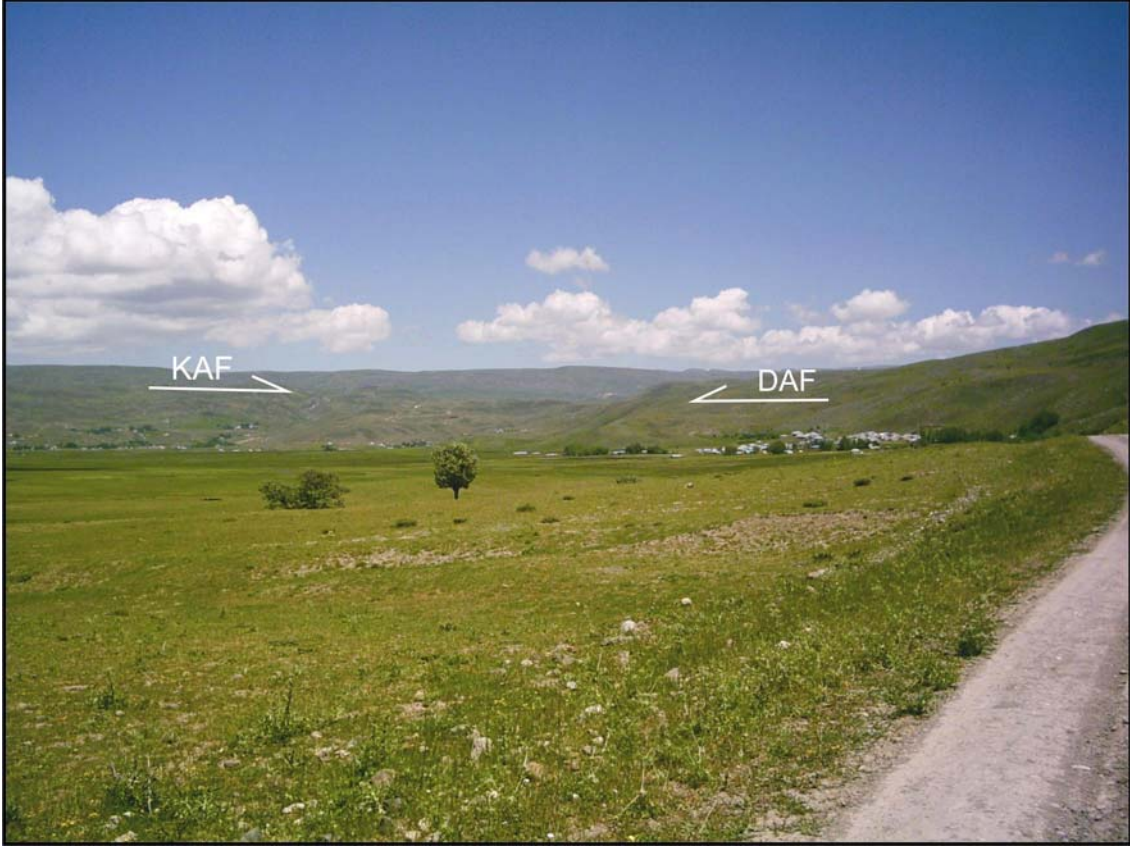
2.1.14 Alüvyon (Qal)

Akarsu ve dere yataklarında çeşitli kaya kırıntı ve parçalarını içeren, tutturulmamış blok, çakıl, kum, mil, kil ve çamurdan oluşur.

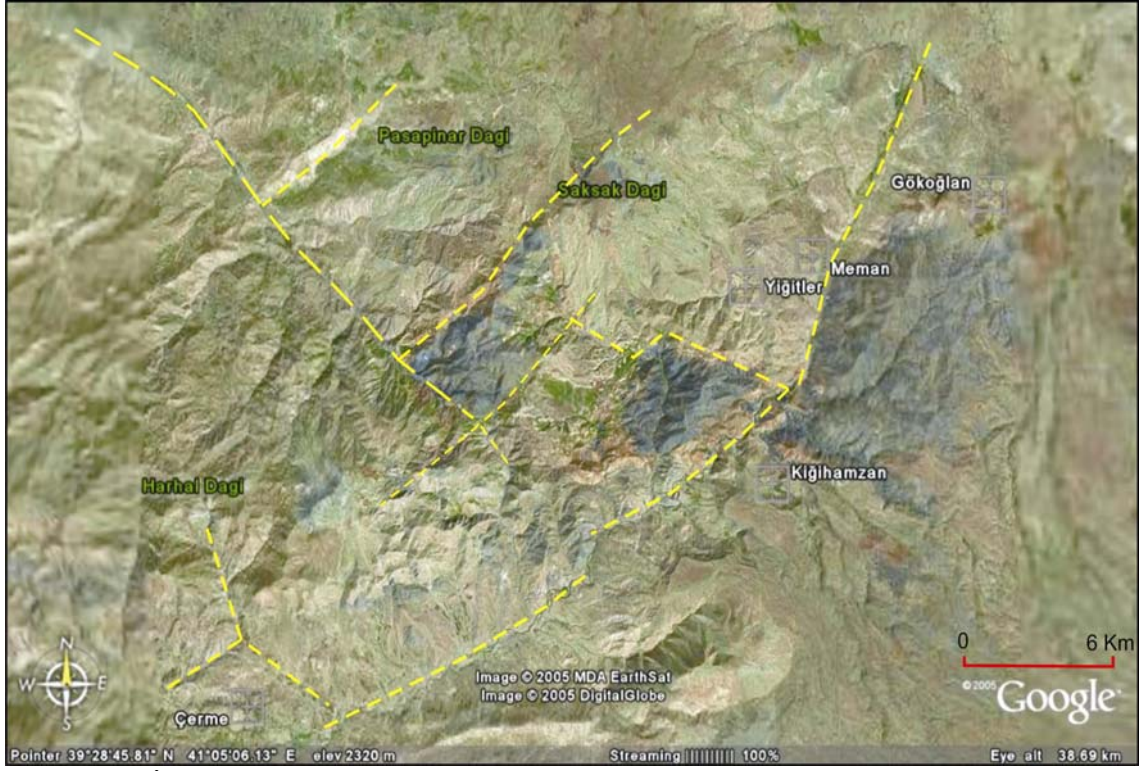
2.2 Bölgenin Yapısal Jeolojisi

İnceleme alanını da içine alacak şekilde bölgenin genel yapısal durumu ve tektoniği incelendiğinde, güncel aktif Doğu ve Kuzey Anadolu fay zonları birbirleri ile yaklaşık 50-60 derecelik bir dar açı ile Alabalık (Mengen) köyü dolayında kesişirler (Şekil 2.6). Ancak, Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu Fay zonlarının Karlıova üçlü kesişmesinin (Arpat ve Şaroğlu 1975; Şaroğlu, 1986) doğu bölümünde, Kuzey Anadolu Fay sistemine bağlı fayların güneydoğuya doğru akordiyon şeklinde açılarak (birbirlerinden uzaklaşarak) doğuya doğru uzandıkları gözlenmiştir (Tarhan, 1991a, b). Karlıova üçlü kesişme noktasının doğu devamında, söz konusu bu fay uzanımlarının Hamurpet gölüne kadar devam ettikleri gözlenmektedir. Kuzey Anadolu Fay sisteminin uzanımları olan bu faylar, Hamurpet Gölü dolayında tekrar Doğu Anadolu Fay sistemine bağlı faylar tarafından dar bir açı ile kesilirler.

Doğu Anadolu'da KB-GD yönlü Kuzey Anadolu ve KD-GB yönlü Doğu Anadolu zonlarına ilişkin fay sistemleri 50-60 derecelik dar açılarla birbirlerini farklı bölgelerde keserek, doğuya doğru makaslanmış zonlar şeklinde uzanım ve yayılım göstererek, Karlıova üçlü kesişmesi gibi makaslanmış alanlar geliştirmişlerdir. Ancak, Karlıova üçlü kesişme noktasının diğerlerine oranla çok daha net ve belirgin olduğu gözlenir (Tarhan, 1997). Nitekim, Orta ve Üst Miyosen'de püskürme yapmış olan Bingöl yanardağı bu üçlü kesişme noktasının hemen yanı başında faaliyet göstermiştir. Bu nedenle, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay sistemlerine bağlı faylar aktif olup, birbirini takiben gelişmiş ritmik devinmeler ve gelecekte olacak yeniden hareketlenmelerle aktiviteleri devam edecektir. Çalışma alanındaki genel çizgiselliği gösteren uydu görüntüsü Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.6 Doğu ve Kuzey Anadolu Fay zonlarının kesişmesinden bir görünüm (Bakış kuzeydoğuya)

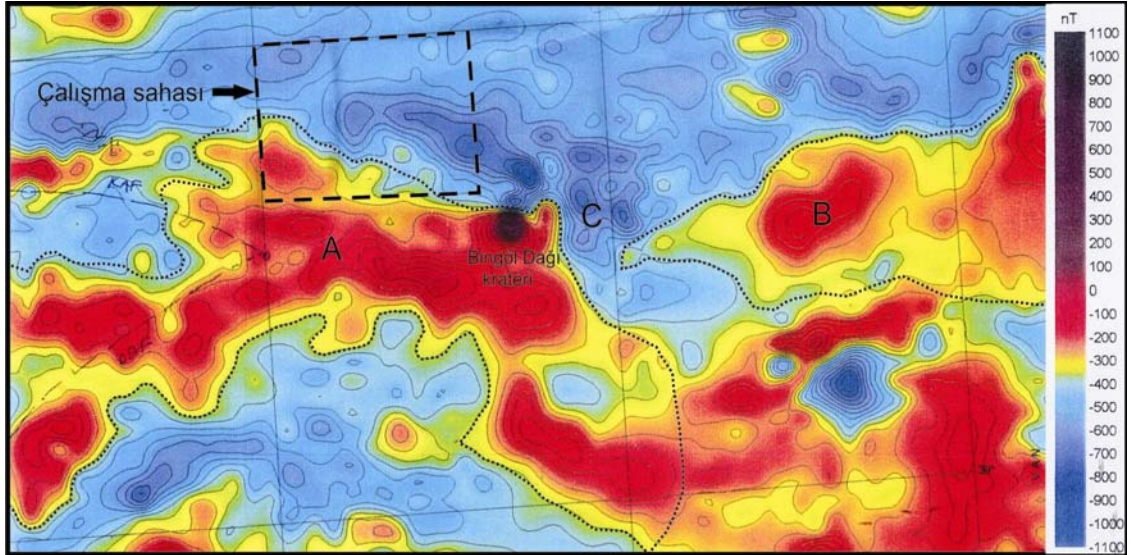


Şekil 2.7 İnceleme alanındaki çizgisellik durumunu gösteren uydu haritası (Google Earth, 2006)

3. SAHADAKİ JEOTERMAL SİSTEMİN ÖZELLİKLERİ VE BÖLGESEL MAGMATİZMA İLE VOLKANİZMANIN SİSTEME ETKİLERİ

Çalışmanın bu bölümünde sahadaki jeotermal sistemin unsurları ile inceleme alanında ve yakın çevresindeki mağmatizmanın ve volkanizmanın bu sisteme etkisi değerlendirilmiştir. Bu amaçla çalışma alanı ve yakın civarının 1/500 000 ölçekli havadan manyetik anomali haritası (Şekil 3.1) incelenerek yorumlanmıştır.

T.Yıldırım'a göre (2006, sözlü görüşme), çalışma sahasındaki volkanik çıkış anlamında değerlendirilecek esas yapı, havadan manyetik anomali haritasında konsantrik kapanımlar şeklinde anomali gösteren Bingöl Dağı krateri'dir. Dolayısıyla volkanizma anlamında tek bir baca çalışmış denilebilir.



Şekil 3.1 Çalışma sahası ve yakın çevresinin havadan manyetik anomali haritası (Kaynak, 2000)

İnceleme alanının yakın civarında gözlenen pozitif anomali yayılımı, papyon şeklinde yayılım gösteren platform bir yükselim olarak değerlendirilmiştir. Bu platform yapının duruşu bir süreksizliğin (fayın) gidişini gösterebilir. Zira kuvvetli pozitif ve

kuvvetli negatif anomalilerin yan yana gözlenmesi bir faya ya da bir cevherleşmeye işaret edebilmektedir. Şekil 3.1'deki pozitif ve negatif anomalileri birbirine uygun olarak uzanması süreksizliğin göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Çünkü bu anomaliyle Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay zonları örtüşmektedir.

Şekil 3.1'de gözlenen A ve B pozitif anomalileri ultrabazik kayalardan kaynaklanmaktadır. Burada C bölgesinde bu pozitif anomalinin kopukluk göstermesi ve negatif anomali vermesinin nedeni Bingöl Dağı volkanitlerinin ultrabazik kayaları üzerleyip araya girmesinden dolayıdır. Bingöl Dağı volkanitlerinin de negatif anomali vermesinin nedeni, ultrabazik sokulumların manyetik değerinin bu volkanitlere göre dominant olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla burada göreceli bir negatiflik söz konusudur (T.Yıldırım, 2006, sözlü görüşme).

Tüm bu değerlendirmeler ışığında sahadaki jeotermal sistemin ısıtıcısı sahadaki tek volkanik çıkış olan Bingöl Dağı lavlarının çıktığı magma odası denilebilir.

Ayrıca Orta Miyosen yaşlı Hınıs ignimbriti ve bu birimden itibaren Üst Miyosen yaşlı Kohkale Tepe lavı ve Alt Pliyosen yaşlı Hamurpet lavı birimleri örtü kayac özelliğindedir. Rezervuar kayac ise, rezervuar olması açısından oldukça uygun eklem yapılarına sahip olup sahanın güneyinde mostra veren Adilcevaz Formasyonu 'dur.

4. HİDROJEOLOJİ

Çalışmanın bu bölümünde inceleme alanındaki akarsuların, sıcak ve soğuk su kaynaklarının genel özellikleri ve kayaçların hidrojeolojik özellikleri (akifer oluşturabilmesi bakımından) ele alınmıştır.

İnceleme alanındaki boşalım kanalları Çatak Çayı, Aras Nehri, Büyüksu Dere, Küpikyayla Dere gibi yaz-kış su bulunduran (kurumayan) akarsulardır. Bu akarsuları besleyen yan dereler düşük debide su taşımaktadırlar. İnceleme alanının drenaj alanını ve birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren harita Ek-2’de sunulmuştur.

Sahada Kuvaterner yaşlı alüvyon ve traveren yeraltı suları için akifer niteliğindedir. Ek-1’de çalışma alanının jeoloji haritasında gösterilen sıcaklıkları yüksek olan su kaynakları sahadaki doğrultu atımlı faylar boyunca yüzeye çıkmaktadır. Sıcak su kaynaklarının sıcaklıkları 29 °C - 57 °C arasında değişmekte olup özellikle sahanın güneybatısındaki kaynaklara soğuk su karışımı olduğu için kaynak sıcaklığı düşmektedir. Çalışma sahasında sıcak yada soğuk su amaçlı yapılmış herhangi bir sondaj çalışması yoktur.

Çalışma alanındaki birimlerin litolojik özellikleri geçirimsizlik yönünden incelendiğinde, alandaki en yaşlı birim olan peridotitler çok düşük geçirimsizlik özelliğinden dolayı hidrojeolojik açıdan geçirimsiz kayaç özelliği taşımaktadır. Benzer şekilde sahanın özellikle kuzeydoğusunda ve güneyinde yüzeylenen altere olmamış, masif yapıdaki volkanitler (Mibh, Miby, Mivsk), düşük geçirgenlikli özelliğiyle örtü kayaç niteliğindedir.

Eosen yaşlı Memişkomu, Oligosen yaşlı Mollakulaçdere formasyonları ile Pliyosen yaşlı bazalt ve andezitler, altere zonlar boyunca gözlenen kırık ve çatlaklı yapılarıyla yarı geçirimli birim özelliğini taşımaktadırlar.

Eosen yaşı Navru ve Kozlu formasyonları ile Kuvaterner yaşı birimler ise yüksek permeabilite özellikleriyle çalışma alanındaki geçirimli birimler olup akifer özelliği taşımaktadır. Ayrıca Miyosen yaşı Adilcevaz formasyonu içerdiği kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu eklem, kırık ve çatlaklarıyla sıcak sular için rezervuar kayaç özelliği taşımaktadır.

Çalışma sahasındaki kayaçların geçirimlilik özelliklerini içeren stratigrafik kesit Şekil 2.1’de verilmiştir.

5. İNCELEME ALANINDAKİ SICAK VE SOĞUK SULARIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sularla soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya çıkarılması amacıyla örneklenerek kimyasal analizleri yapılmıştır. Kimyasal analizlerde suların pH ve EC değerleri suların majör iyonları ve iz elementleri saptanmıştır. Suların kimyasal analiz değerleri Çizelge 5.1’de ve 5.2’de sunulmuştur. Piper üçgen diyagramı, yarı Logaritmik Schoeller diyagramı, üçgen diyagramlar, doygunluk grafiği, karışım grafiği, jeotermometreler ve izotoplarla ilgili grafik ve çizelgelerin yanında sıcak suların sıcaklık ve bazı iyon dağılımlarını gösteren çeşitli şekiller ve kimyasal durumu yansıtan grafik, diyagram ve çizelgeler bu çalışmada kullanılmıştır. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerinin saptanmasında AqQa, 2005 (Rockware Versiyon 1.1) programları kullanılmıştır.

Yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmelerde, suda çözünmüş başlıca iyonlardan her birinin litrede miligram (mg/L) olarak analiz edilen derişimleri kullanılarak, anyon ve katyon yüzdeleri (mek/L) hesaplanmıştır.

$$E = [(\Sigma \text{Katyon} - \Sigma \text{Anyon}) / \Sigma \text{İyon}] \cdot 100 \dots \dots \dots (1)$$

Suların kimyasal analizlerinde yapılabilecek hatalar (e), yukarıda verilen (1) nolu eşitlikten (mek/L cinsinden) hesaplanabilir. Hata yüzdesinin %5’in üzerinde olmaması istenir (Özen, 2002).

Çizelge 5.1 İnceleme alanındaki su kaynaklarının majör iyon analiz sonuçları ve bazı fiziksel özellikleri

Kaynak Adı	KGH - 1	KGH - 2	GKO - 1	GKO - 2	MMN	YGT	ÇRM - 1	ÇRM - 2	ILP	KGH - S	ÇRM - S
Analiz Tarihi	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	10.06.2000	12.08.2005	12.08.2005
Sıcaklık (°C)	56,9	56,3	35	34	53	51,6	34,9	34,4	29	11,4	11,2
pH	6,8	6,48	6,7	6,37	6,70	6,46	7,2	6,75	6,8	8,17	7,87
EC (mmho/cm)	1235	1315	1808	1850	1407	1515	19630	19570	21100	431	580
Toplam Sertlik (Ao)	27,1	17,89	49,8	47,17	41	37,8	200	184,4		11,06	10,55
K ⁺ (mg/l)	11,5	10,2	14	17	9	11	50	47	180	18	20
Na ⁺ (mg/l)	70	64	78	74,5	38,5	40	3250	3112	3158	39	45
NH ₄ ⁺ (mg/l)	2,48	2,55	1,24	Yok	3,1	Yok	3,70	Yok	<0,1	Yok	Yok
Ca ²⁺ (mg/l)	111	100	194	176	194	190	1119	1160	1154	20	75
Mg ²⁺ (mg/l)	50	47,7	98	98	60	55	190	97	2,3	36	3
B (Toplam)	1,5	1,1	0,5	0,6	0,40	0,37	4	3,89	3,5	0,8	0,9
Cl ⁻ (mg/l)	77	70	74	63	35	40	6257	6000	6500	15	16
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	556	600	1136	1196	912	942	574	671	429	305	364
CO ₃ ²⁻ (mg/l)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	0,45	<10
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	60,5	54,9	83	80	75,30	77,68	1969	1913	1790	18	20
NO ₂ ⁻ (mg/l)	Yok	Yok	Eser	Eser	Eser	Eser	Var	Var	<0,1	Yok	Eser
NaCl (mg/l)		0,07		0,09		0,08		1,12		0,02	0,03
Su Tipi	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Mg-HCO ₃	Ca-HCO ₃
Debi (l/sn)	3	3,5	4,5	3	5,5	2,7	4	4,5	1,8	2	2,5
Hata payları (%)	2	1,3	1,1	1	2	2,4	2,6	1	3	0,2	0

Çizelge 5.2 İnceleme alanındaki su kaynaklarının iz element analiz sonuçları

Kaynak Adı	KGH - 1	KGH - 2	GKO - 1	GKO - 2	MMN	YGT	ÇRM - 1	ÇRM - 2	ILP	KGH - S	ÇRM - S
Analiz Tarihi	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	12.08.2005	10.06.2000	12.08.2005	12.08.2005
pH	6,8	6,48	6,7	6,37	6,70	6,46	7,2	6,75	6,8	8,17	7,87
Fe (Toplam)	1	0,89	0,5	0,4	1,80	1,91	4,20	5,11		0,2	0,40
Li ⁺ (mg/l)	0,20	0,13	0,12	0,9	<0,1	<0,1	0,23	0,25		0,04	0,01
Mn (Toplam)	0,07	0,02	0,04	0,04	0,18	0,13	0,10	0,15		0,01	<0,01
Pb ²⁺ (mg/l)	0,09	0,01	0,04	0,03	0,05	0,06	0,18	0,13		0,01	<0,01
Zn ²⁺ (mg/l)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03		<0,03	<0,03
Cd ²⁺ (mg/l)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,03	0,03		<0,03	<0,03
Cr (mg/l)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,06	0,08		<0,03	<0,03
Ni ²⁺ (mg/l)	0,09	0,05	0,08	0,05	0,04	0,04	0,14	0,11		<0,03	<0,03
Co (mg/l)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,05	0,04		<0,03	<0,03
SiO ₂ (mg/l)	64	55	58	56	47	45	32	30	8,6	23	21
Cu (mg/l)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,04	0,04		<0,03	<0,03

5.1 Çalışma Alanındaki Sıcak ve Soğuk Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması

Sahadaki sıcak ve mineralli suların hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanındaki kaynaklardan su örnekleri alınmıştır. Bununla beraber, çalışma alanındaki iki sıcak su sahasından (Kığıhamzan ve Çemre) iki adet soğuk su örneği de alınmıştır. Örneklenen yeraltı sularının kimyasal analiz değerleri kullanılarak sıcak suların sınıflaması, fasiyes tipleri, doygunluk değerleri ve kullanılabilirlikleri belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki sular, içerdikleri anyon ve katyon miktarlarına (mek/l) göre şöyle sıralanabilir:

- **Kiğıhamzan sıcak su kaynakları (KGH-1 ve KGH-2)** → Ca-HCO₃'lı sular.
- **Gökoğlan sıcak su kaynakları (GKO-1 ve GKO2)** → Ca-HCO₃'lı sular.
- **Meman sıcak su kaynağı (MMN)** → Ca-HCO₃'lı sular.
- **Yiğitler sıcak su kaynağı (YGT)** → Ca-HCO₃'lı sular.
- **Çerme sıcak su kaynakları (ÇRM-1 ve ÇRM-2)** → Na-Cl'lü sular.
- **Ilıpınar sıcak su kaynağı (ILP)** → Na-Cl'lü sular.
- **Kiğıhamzan soğuk su kaynağı (KGH-S)** → Mg-HCO₃'lı sular.
- **Çerme soğuk su kaynağı (ÇRM-S)** → Ca-HCO₃'lı sular.

5.1.1 Hidrokimyasal fasiyes kavramı

Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlarındaki izdüşüm yerlerine göre Back, (1966) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre suda çözünen başlıca iyonlardan anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/l cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. IAH (Uluslararası Hidrojeologlar Birliği) sınıflamasında ise suda çözünmüş başlıca iyonların , anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere yine mek/l olarak % 20'den fazla çözünmüş bulunan iyonlar su tipini belirtmektedir (Başkan ve Canik, 1983). Bu çalışmada hidrokimyasal fasiyes kavramı IAH sınıflamasına göre uyarlanarak kullanılmıştır.

Piper (üçgen) ve Scholler (yarı logaritmik) diyagramları gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardır.

5.1.2 Piper (Üçgen) diyagramı ile suların sınıflandırılması

Bu diyagram, anyon ve katyonların (% mek/L cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

İnceleme alanındaki sulara ait Piper diyagramı Şekil 5.1’de verilmiştir.

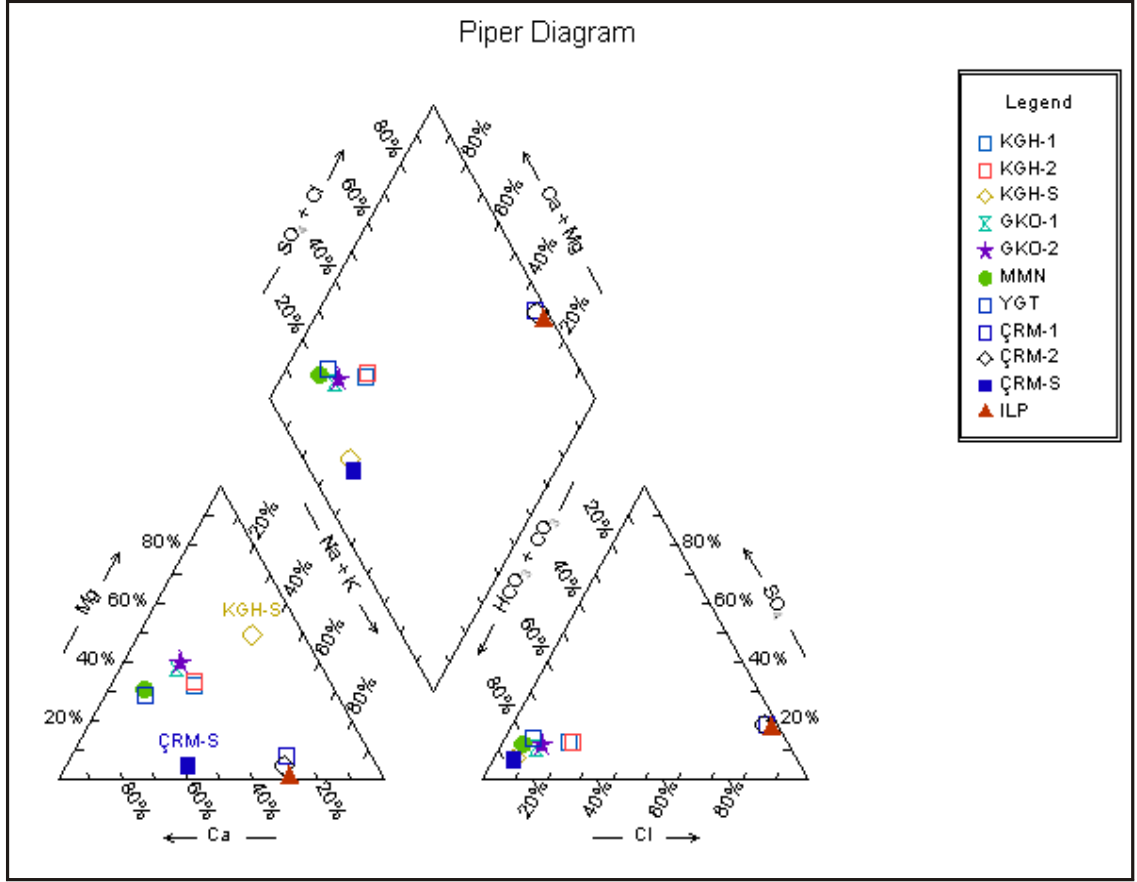
Suları isimlendirmek, birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimleri araştırmak ve kökeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların hidrojeokimyasal fasiyes tipinin belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyes kavramı, suların içerdikleri başlıca iyonların oranlarına dayalı olarak sınıflandırılması esasına dayanmaktadır. 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 hiçbirisi miktar olarak %50’yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir.

Çalışma alanındaki suları Piper diyagramına göre değerlendirdiğimizde(Şekil 5.1), ÇRM-1, ÇRM-2 ve ILP isimli örneklenmiş sıcak sular; $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ ve $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^{-2} + \text{CO}_3^{-2}$ olup **tuzlu ve sodalı sular** olarak görülmektedir.

Geriye kalan su örnekleri ise;

$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$ ve $\text{HCO}_3^{-2} + \text{CO}_3^{-2} > \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{-2}$ **özellikte olup, karbonatlı ve sülfatlı sular** olarak görülmektedir.

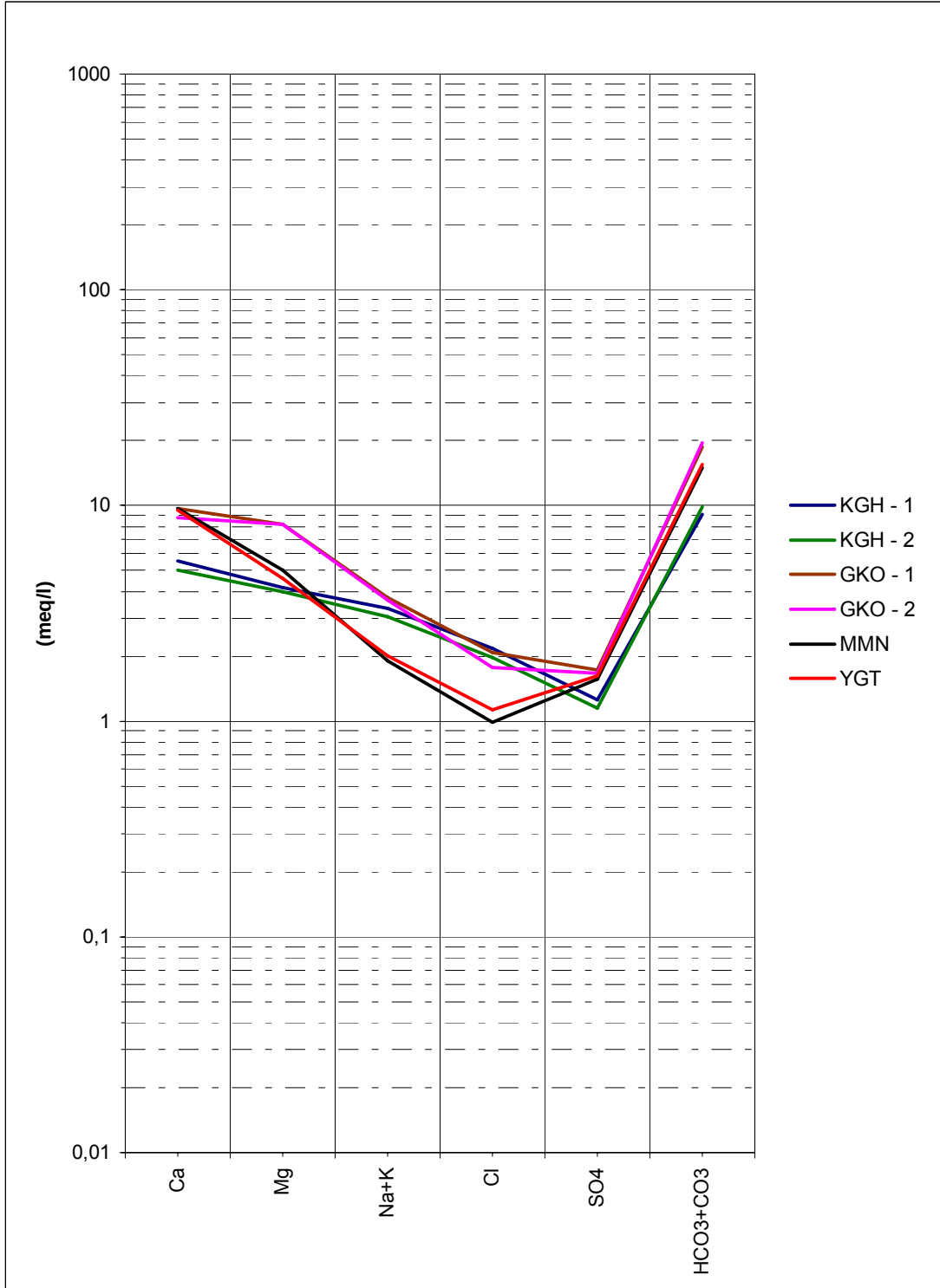
Ayrıca, yine ÇRM-1, ÇRM-2 ve ILP sıcak su örneklerinde, karbonat olmayan alkalilik > karbonat alkaliliği olan sular olup NaCl, Na₂SO₄’lü sular olarak değerlendirilirken, diğer kalan tüm su örneklerinde, karbonat sertliği > karbonat olmayan sertlik olan CaCO₃ ve MgCO₃’lü sulardır.



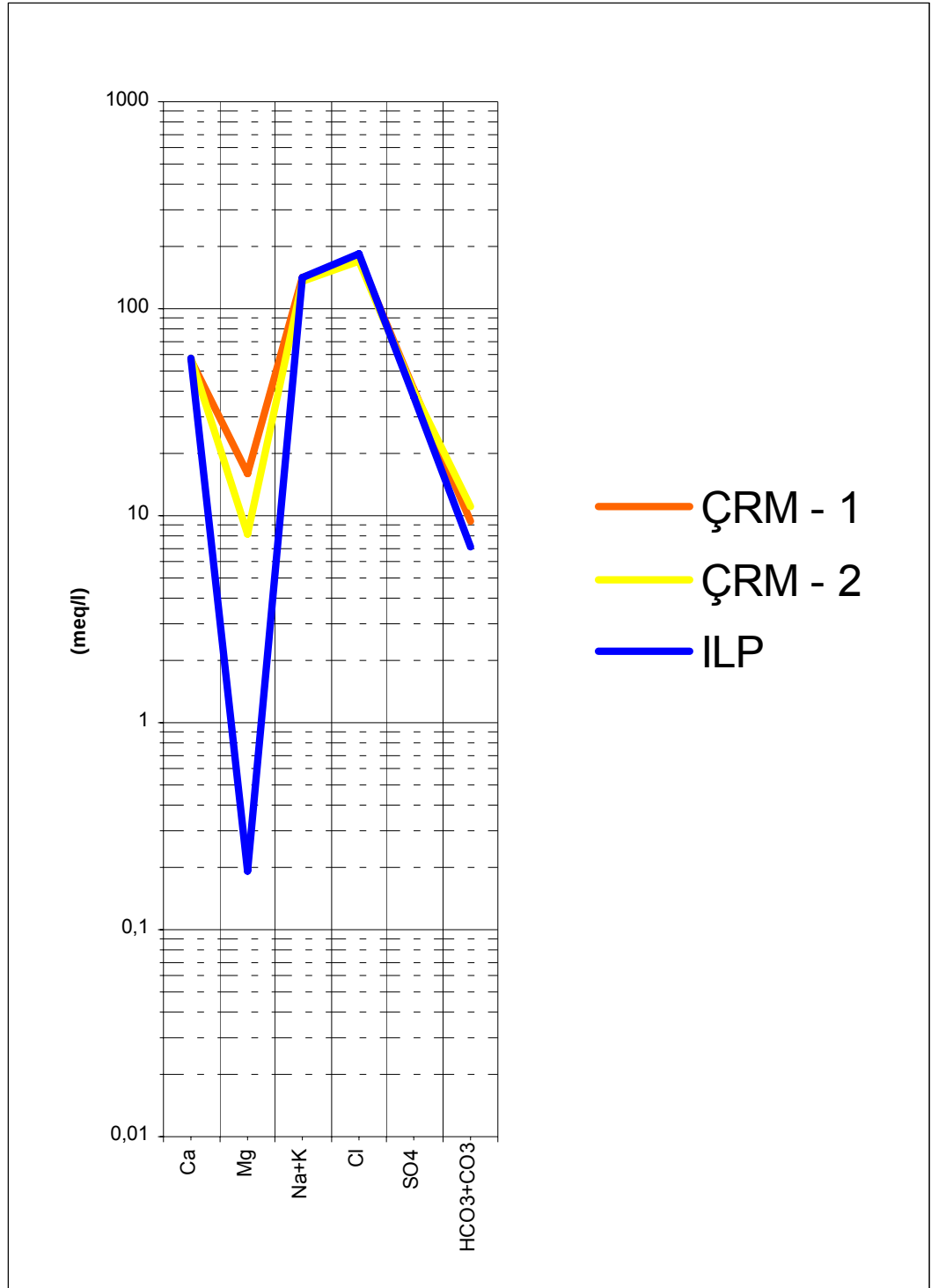
Şekil 5.1 İnceleme alanına ait suların Piper diyagramındaki dağılımı

5.1.3 Schoeller diyagramı ile suların değerlendirilmesi

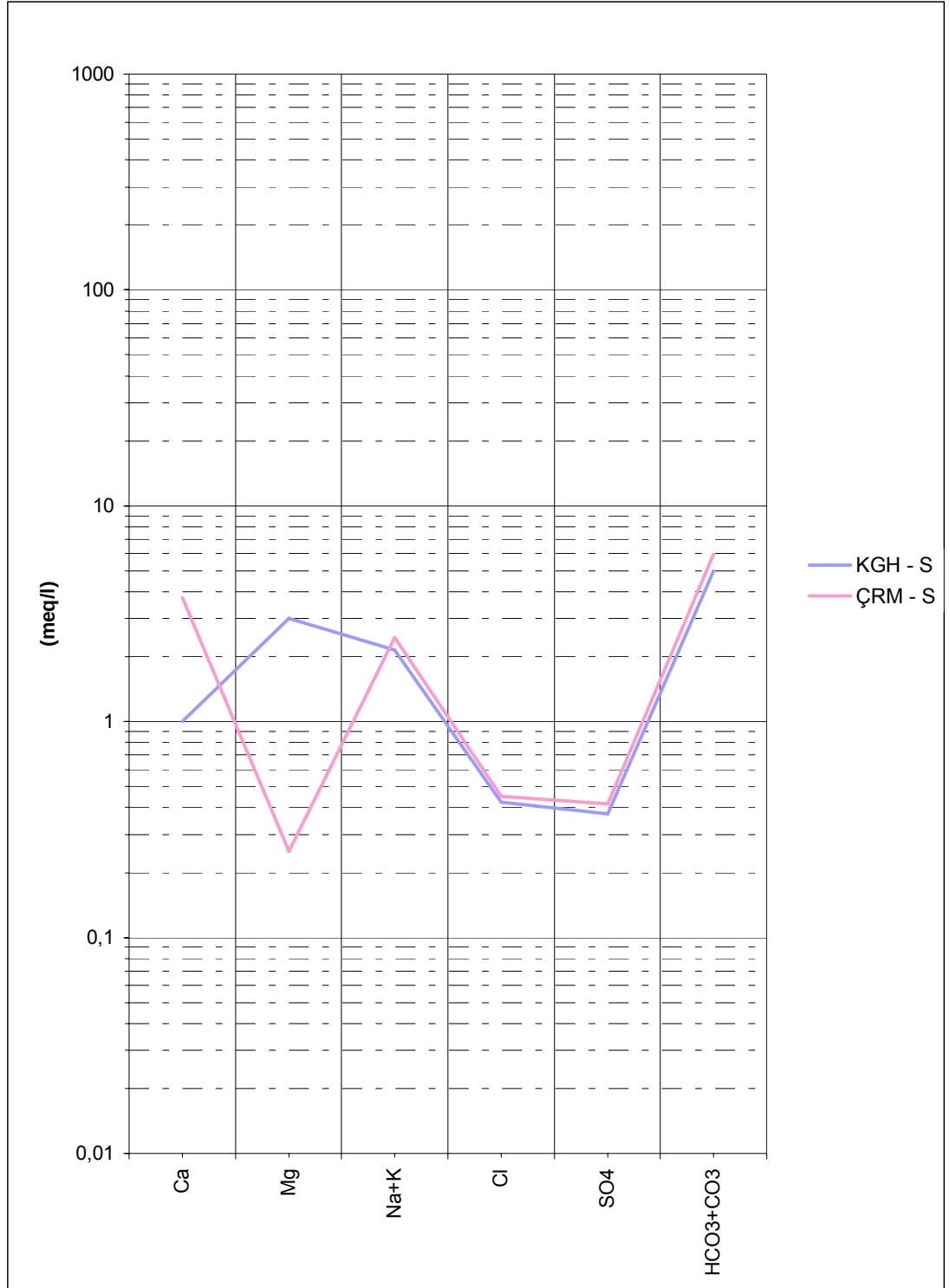
Bu diyagramda yatay eksene belirli aralıklar ile iyonlar sıralanır. Düşey eksen logaritmik ölçeklidir. Bir su örneği, bu diyagramda gösterilirken, her iyonun mek/l değeri, kendine ait logaritmik eksenle işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir. Birleştirilen noktalar, kırık çizgileri oluşturmakta ve bu çizgiler bir su örneğini temsil etmektedir. Schoeller diyagramında benzer kökenli, aynı akifere ve beslenme alanına sahip sular benzer dağılım gösterirler. İnceleme alanına ait suların Schoeller diyagramında gösterdiği dağılım Şekil 5.2a, 5.2b ve 5.2c’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2a İnceleme alanındaki Kiğıhamzan, Gökoğlan, Meman ve Yiğitler sıcak su kaynaklarının Schoeller diyagramındaki dağılımı (Ca, Mg HCO₃'lü sular)



Şekil 5.2b İnceleme alanındaki Çerme ve Ilıpınar sıcak su kaynaklarının Schoeller diyagramındaki dağılımı (NaCl'li sular)



Şekil 5.2c İnceleme alanındaki soğuk su kaynaklarının Schoeller diyagramındaki dağılımı

Diyagrama göre, inceleme alanındaki su örneklerinden ÇRM-1, ÇRM-2 (Çerme kaynakları) ve ILP (Ilıpınar kaynağından) adlı su örnekleri Na-SO₄-Cl sınıfında olup, diğer sıcak sular Ca-Mg-HCO₃ sınıfında, soğuk sulardan KGH-S (Kiğıhamzan soğuk su kaynağı) adlı su örneği Mg-HCO₃ su tipinde, ÇRM-S (Çerme soğuk su kaynağı) adlı su örneği Ca- HCO₃ tipinde su özelliği göstermektedir. Ayrıca Ilıpınar sıcak suyunda Mg iyonu değeri oldukça düşüktür. Bunun nedeni yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde magnezyumun, ikincil alterasyon minerallerinden illit, montmorillonit ve özellikle klorit tarafından soğurulması nedeniyle magnezyum miktarının düştüğü (0,1 mg/L gibi) ileri sürülmektedir (Öngay, 2004).

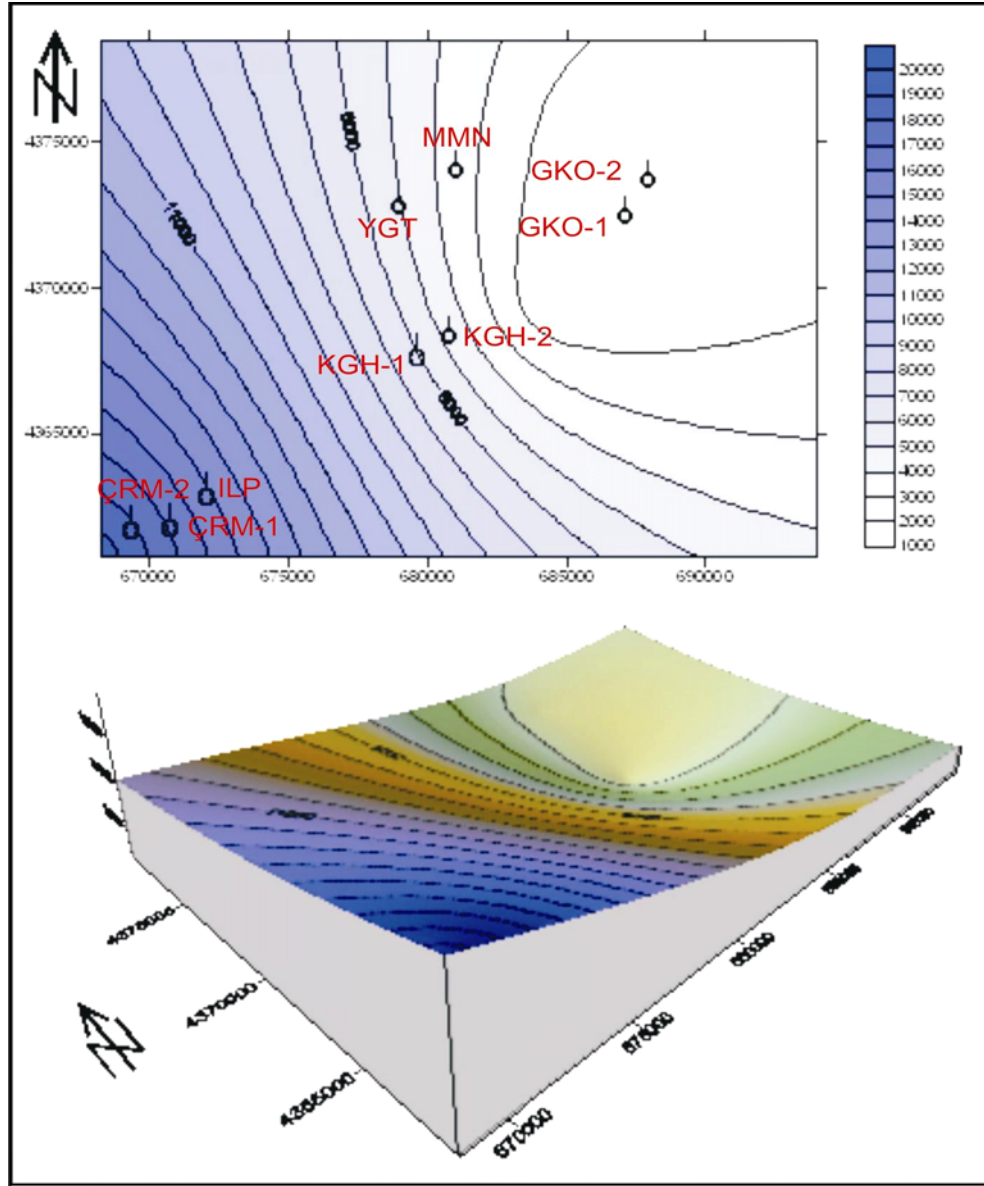
5.1.4 Suların elektriksel iletkenliği

Saf su elektriği çok az geçirdiğinden iyi bir yalıtkandır. Ancak, saf suya çok az miktarda karıştırılan mineral çözeltisi, suyun iletkenliğini yükseltir. 1cm³ suyun elektriksel iletkenliğine “özellik elektriksel iletkenlik” denir. Suyun özgül iletkenliği iyon cinsine, derişime ve sıcaklığına bağlıdır. Elektriksel iletkenlik sıcaklıkla artar ve birbirleriyle karşılaştırmak için, genellikle 25°C ’ye indirgenerek verilir. Suların elektriksel iletkenliği yüksek ise, çürütme özelliği fazladır. 25°C’ de saf suyun iletkenliği 0,055 mikromho/cm’ dir. Laboratuarda elde edilen saf suların elektriksel iletkenlikleri 0,5 ile 5 mikromho/cm; içilecek suların 30–2000; çok tuzlu petrol sularının ise 10 000 mikromho’dan fazladır (Şahinci, 1991). Suların elektriksel iletkenliğe bağlı EC sınıflaması Çizelge 5.3’de, inceleme alanından alınan su örneklerinin EC değerlerine göre sınıflaması Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Suların elektriksel iletkenliğe (EC) göre sulama suyu açısından sınıflaması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

EC	SUYUN SINIFI
< 250	Çok iyi
250 – 750	İyi
750 – 2000	Kullanılabilir
2000 – 3000	Şüpheli
> 3000	Kullanılamaz

İnceleme alanındaki sular, elektriksel iletkenlik (EC) değerlerine göre, soğuk sular “iyi”, sıcak su örneklerinden ÇRM-1, ÇRM-2 ve ILP suları “kullanılamaz”, diğer sıcak sular “kullanılabilir” sular sınıfındadır. Çalışma alanındaki EC dağılımı Şekil 5.3’te gösterilmiştir.



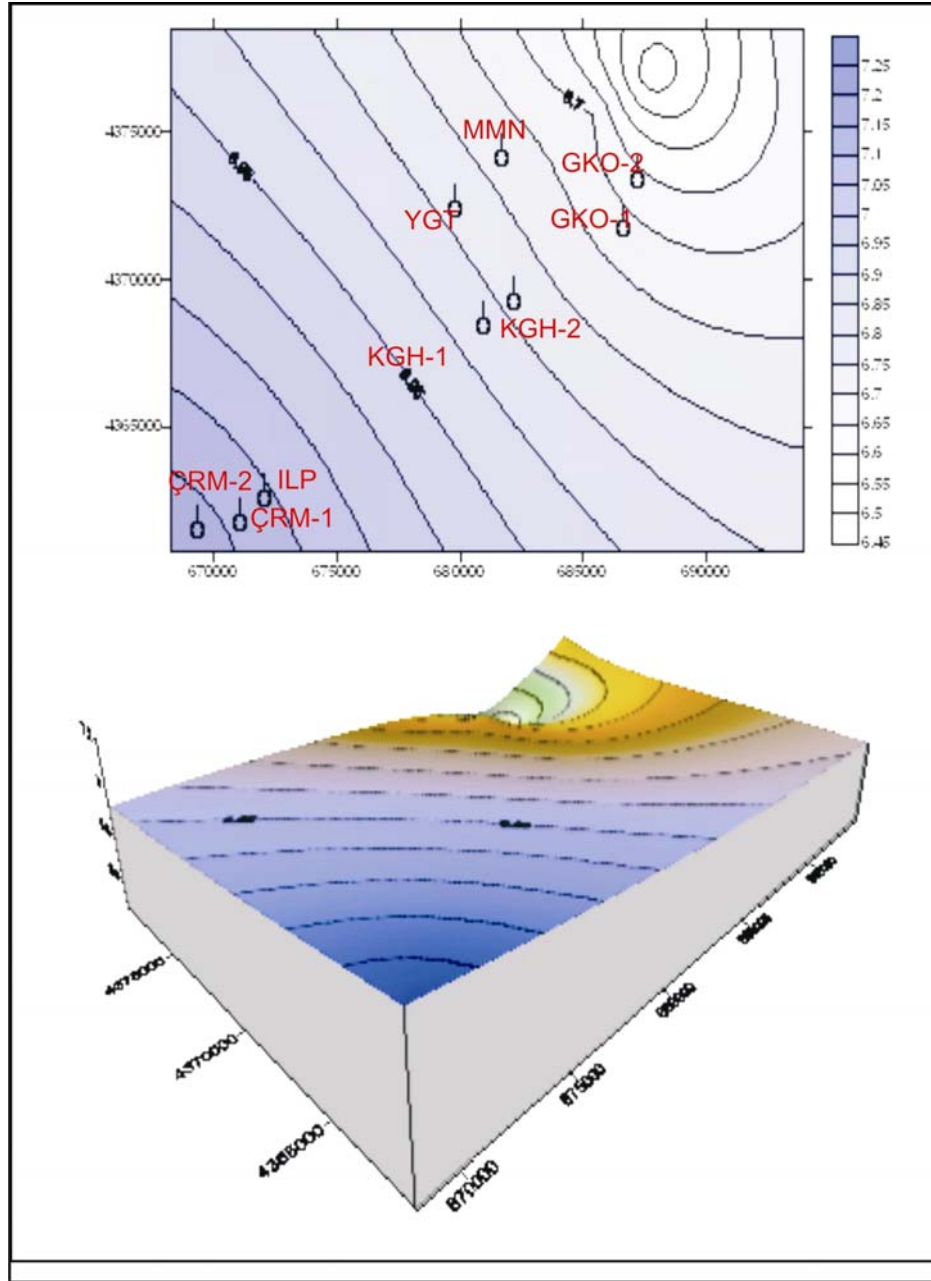
Şekil 5.3 Çalışma alanındaki su örneklerindeki EC dağılımı

Çizelge 5.4 Çalışma alanındaki suların elektriksel iletkenlik değerlerine göre sulama suyu sınıflandırılması

Örnek Adı	Örnekleme yeri	EC ($\mu\text{mho/cm}$)	Suyun sınıfı
KGH-1	Kiğıhamzan	1235	Kullanılabilir
KGH-2	Kiğıhamzan	1315	Kullanılabilir
KGH-S	Kiğıhamzan	431	İyi
GKO-1	Gökoğlan	1808	Kullanılabilir
GKO-2	Gökoğlan	1850	Kullanılabilir
MMN	Meman	1407	Kullanılabilir
YGT	Yiğitler	1515	Kullanılabilir
ÇRM-1	Çerme	19630	Kullanılamaz
ÇRM-2	Çerme	19570	Kullanılamaz
ÇRM-S	Çerme	580	İyi
ILP	Ilıpınar	21100	Kullanılamaz

5.1.6 Suların pH değerleri

Su içersindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunu 10 tabanına göre negatif logaritması pH olarak tanımlanmaktadır. PH değeri 7'nin altında olan sular asit özellik kazanırken pH değeri 7'nin üstündeki sular ise bazik karakter kazanırlar (Erguvanlı ve Yüzer,1973). Soğuk yeraltı sularının pH değerleri 4-9 arasındadır. Jeotermal suların pH değerleri kaynamaya bağlı olarak değişiklik sunar. Karbondioksitin ortamdan uzaklaşması akışkanın daha alkali olmasına neden olur. pH akışkanın tuzluluk ve sıcaklığından da etkilenmektedir (Nicholson, 1993). Yöredeki sıcak suların pH değerleri genelde 7'nin üstünde olup 6,37 ile 8,17 arasında değişmektedir. Çalışma alanından alınan su örneklerinin pH dağılım modeli Şekil 5.4'te sunulmuştur.



Şekil 5.4 Çalışma alanından alınan su örneklerinin pH dağılım modeli

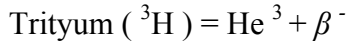
5.2 Suların Çevresel İzotop Analiz Sonuçlarının (^{18}O , ^2H , ^3H) Değerlendirilmesi

Hidrojeolojik çevrimin çeşitli kesimlerindeki su hareketlerinin incelenmesi için ^{18}O , ^2H , ^3H izotopları bir izleyici olarak kullanılırlar ve hidrojeolojik sistemlerle ilgili gerek

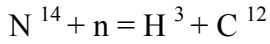
statik ve gerekse dinamik parametrelerin saptanması olanağını sağlarlar. İzotoplar arasında özellikle döteryum ($\delta^2\text{H}=\text{D}$) ve $\delta^{18}\text{O}$ kaynakların beslenme alanlarının ve kökenlerinin belirlenmesinde, su–hazne kayaç ilişkilerinin saptanmasında, trityum($^3\text{H}=\text{T}$) ise suların bağıl yaşlarının saptanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, izotop jeotermometreleri kullanılarak jeotermal sistemlerin hazne kaya sıcaklıklarının saptanması ve sıcak–soğuk su karışımları gibi sorunların çözümü mümkün olmaktadır.

5.2.1 Trityum

İzotop hidrolojisinde çoğunlukla su molekülünün $\text{H}^3 \text{H}^1 \text{O}^{16}$, $\text{H}^2\text{H}^1 \text{O}^{18}$ ve $\text{H}^1 \text{H}^1 \text{O}^{16}$ türleri kullanılır. Bunlardan ^3H (trityum) hidrojenin radyoaktif izotopu olup yarılanma yaşı 12,36 yıldır. Eski beta ışınımı yaydığından kolayca radyoaktif sayaçlarda saptanabilir (Filiz, 1982).



Trityumun doğal ve yapay iki kökeni vardır. Doğal kökeni kozmik ışınlardaki nötronların (n) N^{14} üzerine etkimesiyle oluşur.



Trityumun yapay kökeni nükleer patlamalardır. 1952 yılından sonra atmosferde nükleer denemeler sonucu trityum miktarı hızla artmıştır. Yağışlarda doğal trityum miktarı, bölge ve iklim kuşaklarına bağlı olarak 5–20 trityum birimi (TU) arasında iken nükleer patlamalar sonucu binlerce trityum birimine erişmişlerdir. Bir trityum birimi (TU), $1 \times 10^{18} \text{H}^1$ atomunun içindeki bir atom trityum miktarıdır.

Radyoaktif izotoplarda parçalanma hızı yan etkilerle değişmez.

$$N_t = N_0 \cdot e^{-at}$$

bağıntısı, çürüme ile zaman arasındaki doğrusal ilişkiyi verir. Bağıntıda ;

N_t = t anındaki radyoaktif atom sayısı,

N_0 = Başlangıçtaki radyoaktif atom sayısı,

a = Radyoaktif bozuşma katsayısı,

t = Zaman olarak verilmiştir.

Bağıntıyı “e” tabanından kurtarıp trityum radyoaktif çürüme katsayısını “a” yerine

koyarsak trityum yarı ömrü ,
 $t_{1/2} = \ln 2 / 0,0564 = 12,268$ yıl olarak bulunur.

5.2.2 ^{18}O ve $\text{D}(^2\text{H})$ kararlı izotopları

$\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ (döteryum), su molekülünün duraylı izotoplarından. Bunların ölçümleri kütle spektrometresinde yapılmakta ve sonuçlar δ ile gösterilmektedir. δ değerleri uluslararası başvuru standardı olarak kabul edilmiş olan SMOW (Standart Mean Ocean Water)'a göre verilmektedir. SMOW, Atlas okyanusu sularının çeşitli noktalarından alınmış deniz suyunun bir karışımıdır. δ yaklaşık olarak 2 ppm ^{18}O ve 0,3 ppm ^2H 'yi karşılamaktadır. δ 'nın tanım eşitliği Craig tarafından 1961'de geliştirilen bağıntıyla tanımlanır (Özen, 2002 : Filiz, 1982).

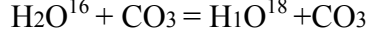
$$\delta = (\text{Örneğin izotop oranı} / \text{Standart izotop oranı} - 1) \times 1000$$

Buharlaşma ve hazne kaya yapısındaki minerallerle akışkan (su) arasındaki kimyasal tepkimelerde H ve O değişimi, suyun ilkel izotop yapısını etkiler. Suyun hafif izotopları buharlaşma ile ortamdan kolayca ayrılırken, ağır izotoplar sıvı faza geçer ve geride kalan artık buhar, ağır izotoplarca fakirleşir. Böylece birbirini izleyen aynı bulut kütesinden gelen yağışlarda, bulutlar yağışlarının bir kısmını yüksek bölgelere bıraktıklarından, kıta içlerine düşen yağışlar ağır izotoplarca fakirleşir. Şiddetli buharlaşma etkisinde kalan suların ağır izotopları buharlaşma göstermeyen sulara göre daha fazladır. Ağır izotop zenginleşmesi, buharlaşmanın şiddetiyle orantılıdır. Bununla birlikte aynı yörede farklı buharlaşma etkisinde kalan sular ^{18}O döteryum arasında doğrusal bir ilişki gösterirler.

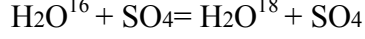
$$\% \delta \text{H}^2 = a \% \delta^{18}\text{O} + b$$

Bağıntıda “a”, 3'den büyük, 8'den küçüktür, “b” ise 10'dan küçüktür. Buharlaşma doğrusunun eğimi, yağış doğrusunun eğiminden azdır ve yağış eğrisinin sağında, altında yer alır. Bu iki doğrunun kesim noktası, buharlaşmadan önceki suyun izotop içeriğini tanımlar.

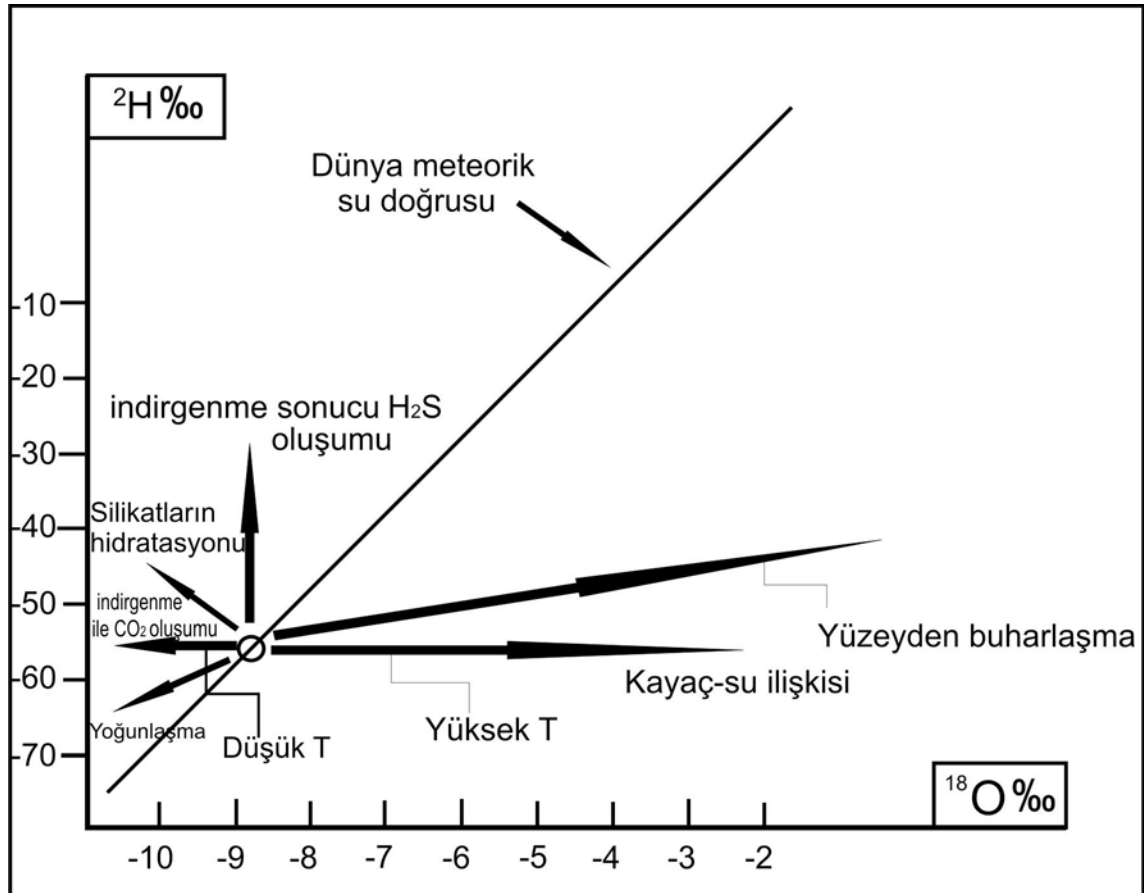
Jeotermal sistemlerin hazne kayalarını oluşturan silikat ve karbonat mineralleri, genellikle $\delta^{18}\text{O}$ 'ce zengindir. Kimyasal tepkime sonucu, hazne kayadaki sıcak akışkanın $\delta^{18}\text{O}$ oranı artar.



ya da :



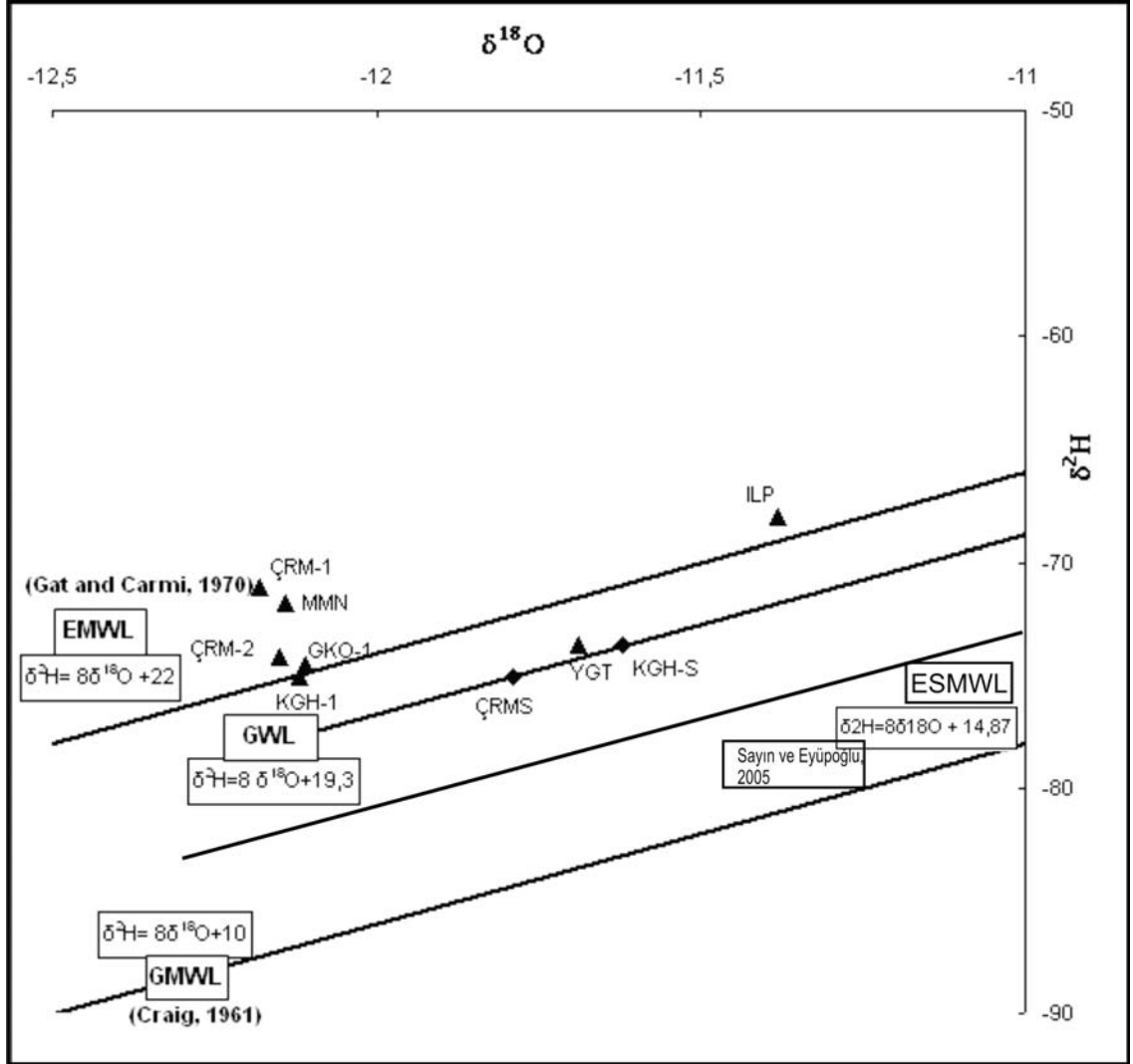
Çok yüksek sıcaklıkta kaya - akışkan arasındaki ^{18}O oranları bire erişir. Buna karşın kayalarda hidrojen mineralleri yok denecek kadar az olduğundan , döteryum miktarında fazla bir değişiklik gözlenmez. Böylece $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramları üzerinde termal sular soğuk yeraltı sularının ve yağış sularının sağında yer alır. Ayrıca yatay bir doğru üzerinde hazne kaya içindeki akışkanın ısı alış verişine bağlı ^{18}O evrimi gözlenebilir. Bu doğrunun yağış suları doğrusunu kestiği nokta ilksel suyun izotop yapısını belirler.



Şekil 5.5 Yeraltı sularındaki $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ ilişkisi ve yeraltı sularının ilk baştaki duraylı izotopik kompozisyonlarının değişimine neden olan süreçler (Balderer, 1999)

Çizelge 5.5 İnceleme alanı içerisindeki sıcak ve soğuk suların $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H izotop analizleri

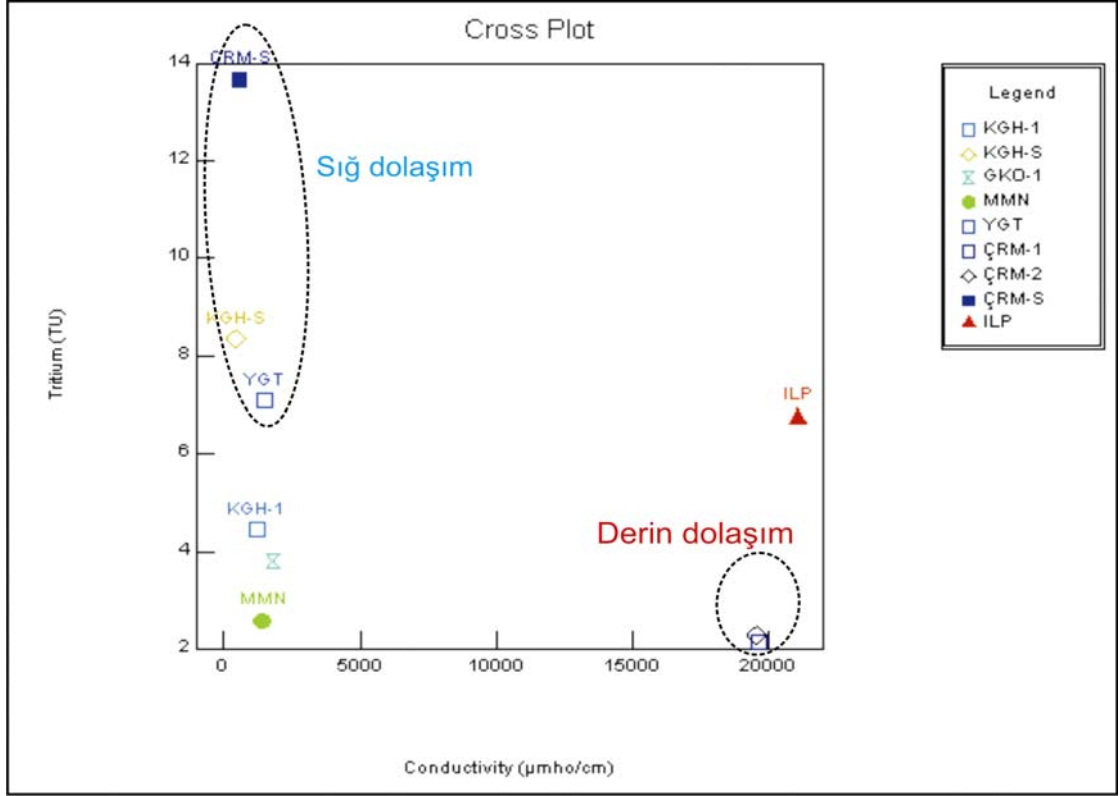
Örnek Adı	Örnekleme Yeri	$\delta^{18}\text{O}$ δ (SMOW)	$\delta^2\text{H}$ δ (SMOW)	^3H (TU)
KGH-1	Kığıhamzan	-12.12	-75.09	4.40
KGH-S	Kığıhamzan	-11.62	-73.65	8.30
GKO-1	Gökoğlan	-12.11	-74.54	3.75
MMN	Meman	-12.14	-71.8	2.55
YGT	Yiğitler	-11.69	-73.63	7.05
ÇRM-1	Çerme	-12.18	-71.1	2.10
ÇRM-2	Çerme	-12.15	-74.21	2.25
ÇRM-S	Çerme	-11.79	-75.1	13.61
ILP	Ilıpınar	-11.38	-68.03	6.70



Şekil 5.6 Çalışma sahası içindeki sıcak ve soğuk suların ^{18}O ve D (^2H) ilişkileri
 GMWL: Dünya meteorik su çizgisi; EMWL: Doğu Akdeniz meteorik su çizgisi; GWL: sahadaki soğuk yeraltı suları çizgisi ESMWL: Erzurum-Şenyurt meteorik su çizgisi
 (Örnek adları Çizelge 5.1 ile aynıdır)

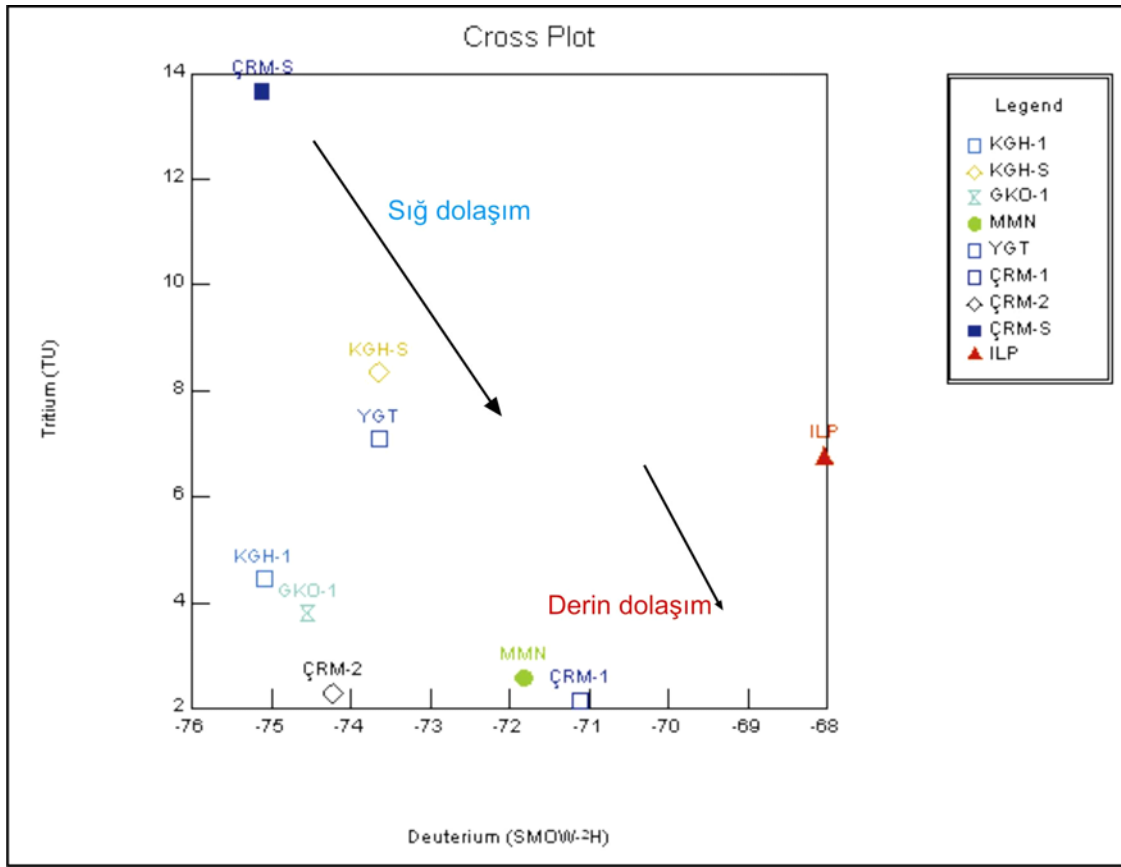
İnceleme alanındaki sularda yapılan izotop analiz değerlerine göre soğuk sular ve Yiğitlerdeki sıcak su örneği aynı kökenli ve sık dolaşımli olup Kiğıhamzan, Meman, Gökoğlan ve Çerme kaynakları da aynı kökenli sulardır. Ilıpınar kaynağındaki ^{18}O ve ^2H zenginleşmesi ise bu suyun yüksek entalpili başka bir rezervuardan gelebileceğinin göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Şekil 5.6'da Erzurum Şenyurt Yağış İstasyonunun verilerine göre çizilen Erzurum Şenyurt meteorik doğrusu (ESMWL) (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005'den alınmıştır), beklenenin aksine, karasal yağış kompozisyonundan saparak, Doğu Akdeniz meteorik doğrusuna (EMWL) yaklaşmaktadır. Bunun nedeni,

bölgedeki yağışların Keban Barajı ve Van Gölü'nden olan buharlaşmadan etkilenmesidir (M. Sayın, 2006, sözlü görüşme). Soğuk sular (GWL), EMWL ile ESMWL doğrusu arasında kalırken, sıcak suların döteryumca zenginleşerek EMWL doğrusu üzerinde yer aldığı görülmektedir. Sıcak su örneklerinin Akdeniz meteorik doğrusuna yakın çıkmasının nedeni, düşük nemlilikteki ılık hava kütlelerinde kuvvetli kinetik evaporasyonun ortaya çıkmasından, yani düşük nemlilik koşulları altında oluşan buharın yüksek döteryum fazlalığına sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Craig, 1961). Bununla beraber sahadaki sedimanter kayaçların içeriğinde özellikle de Çerme ve Ilıpınar ve Meman kaynaklarının bulunduğu yerlerdeki formasyonlarda yörenin eski bir göl ortamı olması itibariyle (Tarhan, 1997) jips bulunmakta ve jipslerdeki ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sülfat da indirgen ortamlarda oksijenini kaybederek H_2S oluşumuna yol açmaktadır. Sıcak sularda bu şekilde olduğu düşünülen H_2S gazı (ki arazide kaynakların örneklenmesi sırasında kuvvetli bir şekilde çürük yumurta kokusu hissedilmiştir) muhtemelen sıcak suların döteryum içeriğinin bir miktar artmasına neden olduğu öngörülmektedir (Balderer, 1999). Tritiyum değerlerine göre Çerme suları derin dolaşımli, Yiğitler sıcak suyu ve soğuk sular sığ dolaşımli sular olarak yorumlanmıştır. Çalışma sahasındaki su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD (^2H) ilişkileri Şekil 5.6'da verilmiştir.

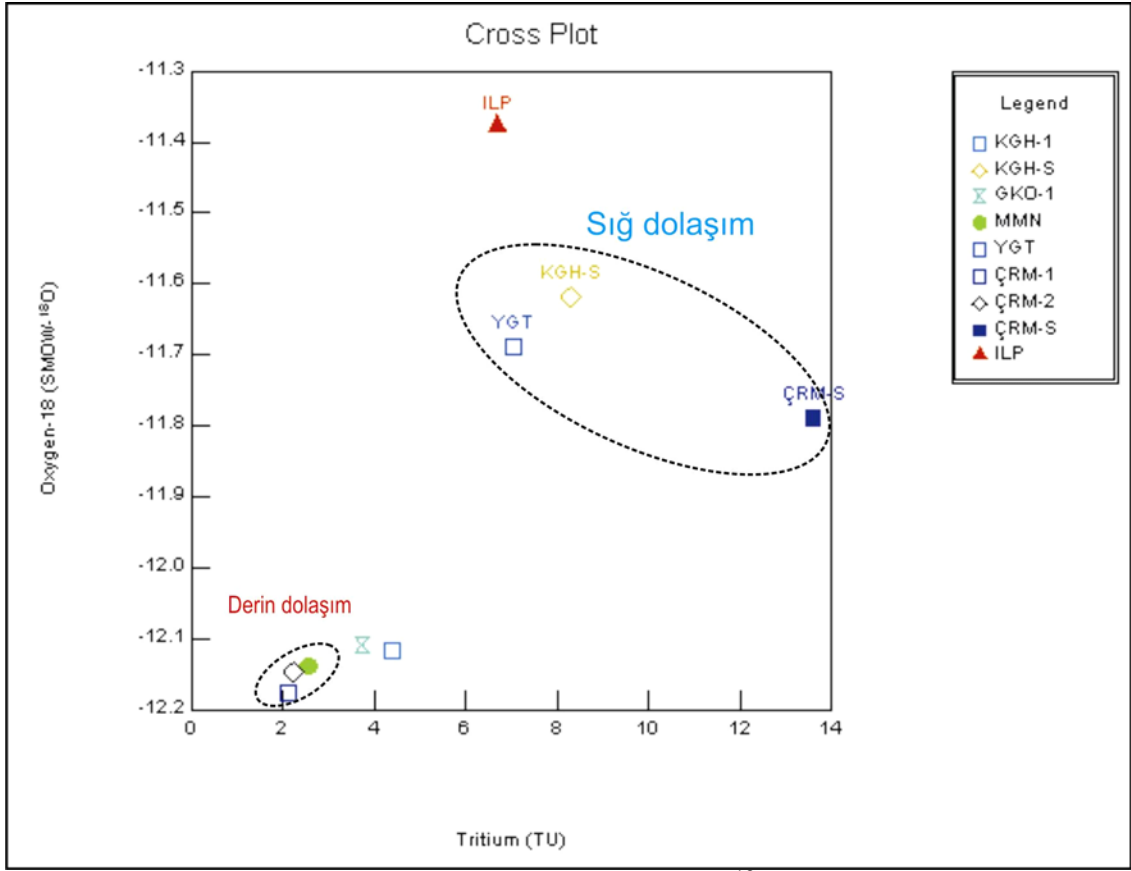


Şekil 5.7 İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların trityum-EC grafiği

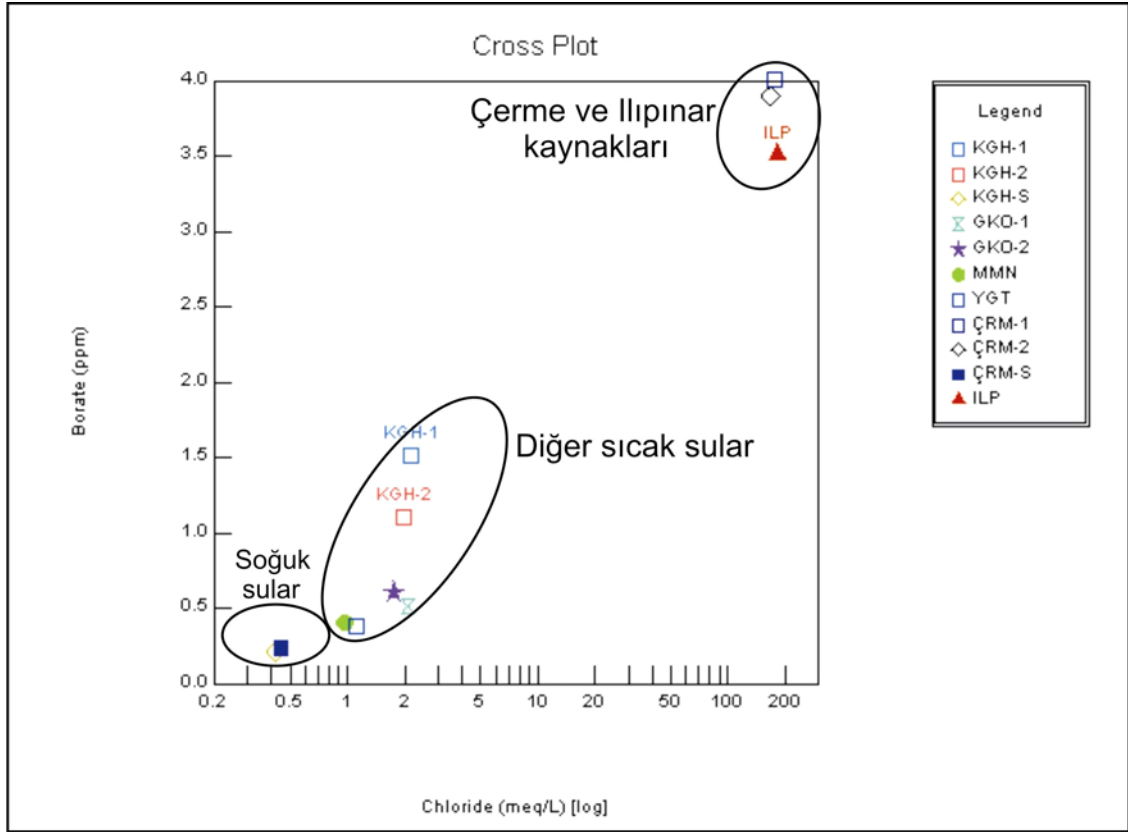
Şekil 5.7'deki grafiğe göre, ÇRM-S, KGH-S ve YGT suları yüksek trityum değerleri ve düşük EC değerleriyle akiferle temas süresi az ve güncel sularla beslenmiş, dolayısıyla sığ dolaşımli sular olarak yorumlanmıştır. Buna göre, YGT kaynağının çıkış mekanizması, yüzey sularının sığ derinlikte hızla ısınarak fay kontrollü olarak yüzeye çıkması şeklindedir. Tam tersi durumdaki ÇRM-1, ÇRM-2 suları daha derin dolaşımli sular olarak değerlendirilmiştir. Benzer yaklaşım Şekil 5.8'deki döteryum-trityum grafiğinde ve Şekil 5.9'deki trityum-¹⁸O grafiğinde de gözlenmektedir.



Şekil 5.8 İnceleme alanındaki su örneklerinin döteryum-trityum grafiği



Şekil 5.9 İnceleme alanındaki su örneklerinin ^{18}O - trityum grafiği



Şekil 5.10 İnceleme alanındaki suların B-Cl grafiği

Şekil 5.10'de sulara korunumlu olan Cl iyonu değerlerine karşı, sıcak sular için karakteristik olan Bor elementi değerleri grafiği verilmiştir. Dolayısıyla bu iki uç elemana göre suların birbiriyle ilişkisi değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu grafiğe göre, Çerme ve Ilıpınar sıcak suları, yüksek bor ve Cl içerikleriyle bir grup oluşturup, sahada bir uç eleman özelliği gösterirken; Kiğıhamzan, Gökoğlan, Meman ve Yiğitler sıcak suları, düşük bor ve Cl değerleriyle diğer bir uç eleman olan soğuk yeraltı sularının arasında değerlerle bir dizilim göstermektedir. Ancak bu, suların birbiriyle karışım açısından ilişkisini yansıtmayıp, suların kimyasal kompozisyonları açısından durumlarını göstermektedir.

5.3 Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermometreler akiferdeki akışkanın sıcaklığının tahmininde kullanılmaktadır. Bu çalışmada çözünürlüğe dayalı jeotermometrelerden silis jeotermometreleri ve iyon değişimine bağlı (katyon) jeotermometreleri kullanılmıştır.

Minerallerin çözünürlükleri sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olarak değişir. Ancak silis dışında minerallerin çözünürlükleri jeotermometre olarak kullanılmaz. Doğal sularda yer alan silis molekül oluşumu veya uçucu maddelerin ortamdan ayrılması gibi nedenlerden etkilenmez (Fournier, 1977).

Silis jeotermometre bağıntıları, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kaya sıcaklığına veya suyun yükselirken soğumasına bağlı olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan silis jeotermometre bağıntıları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Çalışmada kullanılan silis jeotermometre denklemleri (Tarcan, 2002)

Jeotermometre Adı	Bağıntı	Kaynak
1- Kuvars	$T = 1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier 1977
2-Kuvars (Maksimum buhar kayıplı)	$T = 1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier 1977
3- Kalsedon	$T = 1032 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier 1977
4- α -Kristobalit	$T = 1000 / (4.78 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier 1977
5- β - Kristobalit	$T = 781 / (4.51 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier 1977

İyon değişim denge sabitleri sıcaklığın etkisindedir. Suda iyon değişimine uğrayan birçok mineral bulunur ve bunlardan yararlanılarak bir çok ampirik jeotermometre geliştirilmiştir. İyon değişimi ve bozuşma reaksiyonlarında denge sabitleri sıcaklığa bağlıdır. Bu türdeki reaksiyonlarda çözünmüş katı madde oranları değişen sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir (Fournier,1977). Sıcaklığa bağlı olarak gelişen su-mineral dengeleri kullanılarak akifer sıcaklığının tahminine yönelik çeşitli jeotermometreler geliştirilmiştir. Çalışmada kullanılan katyon jeotermometre bağıntıları Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Çalışmada kullanılan katyon jeotermometre denklemleri (Tarcın, 2002)

Jeotermometre Adı	Bağıntı	Kaynak
1- Na-K	$T = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Giggenbach, et al., 1983
2- Na-K-Ca * (mol)	$T = 1647 / (\log \text{Na/K} + \beta \log \sqrt{\text{a/Na} + 2.24}) - 273.15$	Fournier and Truesdell, 1973
3- Na-K-Ca-Mg ** (mek/l) (Magnezyum düzeltilmeli)	$R = (\text{Mg}/\text{Mg} + \text{Ca} + \text{K}) \times 100$	Fournier and Potter, 1979
4-Mg-Li	$T = 2200 / (5.470 - \log (\text{Li}/\text{Mg}^{0.5})) - 273.15$	Kharaka and Mariner, 1989
5- Na-Li	$T = 1590 / (0.779 + \log (\text{Na}/\text{Li})) - 273.15$	Kharaka, et al., 1982

* $T > 100^\circ\text{C}$ ise $\beta = 1/3$

$T < 100^\circ\text{C}$ ise $\beta = 4/3$

$T < 100^\circ\text{C}$ ve $\log(\sqrt{\text{Ca/Na}}) + 2.06 < 0$ ise $\beta = 1/3$ olarak alınır.

** $R = \text{Mg} / (\text{Mg} + 0.61\text{Ca} + 0.31\text{K}) \times 100$

$T^\circ\text{C} = T_{\text{Na-K-Mg}} - \Delta t_{\text{MG}}^\circ\text{C}$

$\Delta t_{\text{MG}}^\circ\text{C} = -1.03 + 59.971 \log R + 145.05 (\log R)^2 - 36711 (\log R)^2 / T - 1.67 \times 10^7 \log R / T^2$

R 5 ile 50 arasında ise ;

$$\Delta t_{MG}^0C = 10,66 - 4,7415 \log R + 325,87 (\log R)^2 - 1,032 \times 10^5 (\log R)^2 / T - 1,968 \times 10^7 (\log R)^2 / T^2 + 1,605 \times 10^7 (\log R)^3 / T^2$$

Eğer $R < 1,5$ ise Mg düzeltmesi uygulanmaz.

Eğer $R > 50$ ise Rezervuar sıcaklığı ölçülen kaynak sıcaklığı olarak alınır.

Çizelge 5.8 Çalışma sahasındaki sıcak suların silis ve katyon jeotermometrelerine göre rezervuar tahmini sıcaklıkları

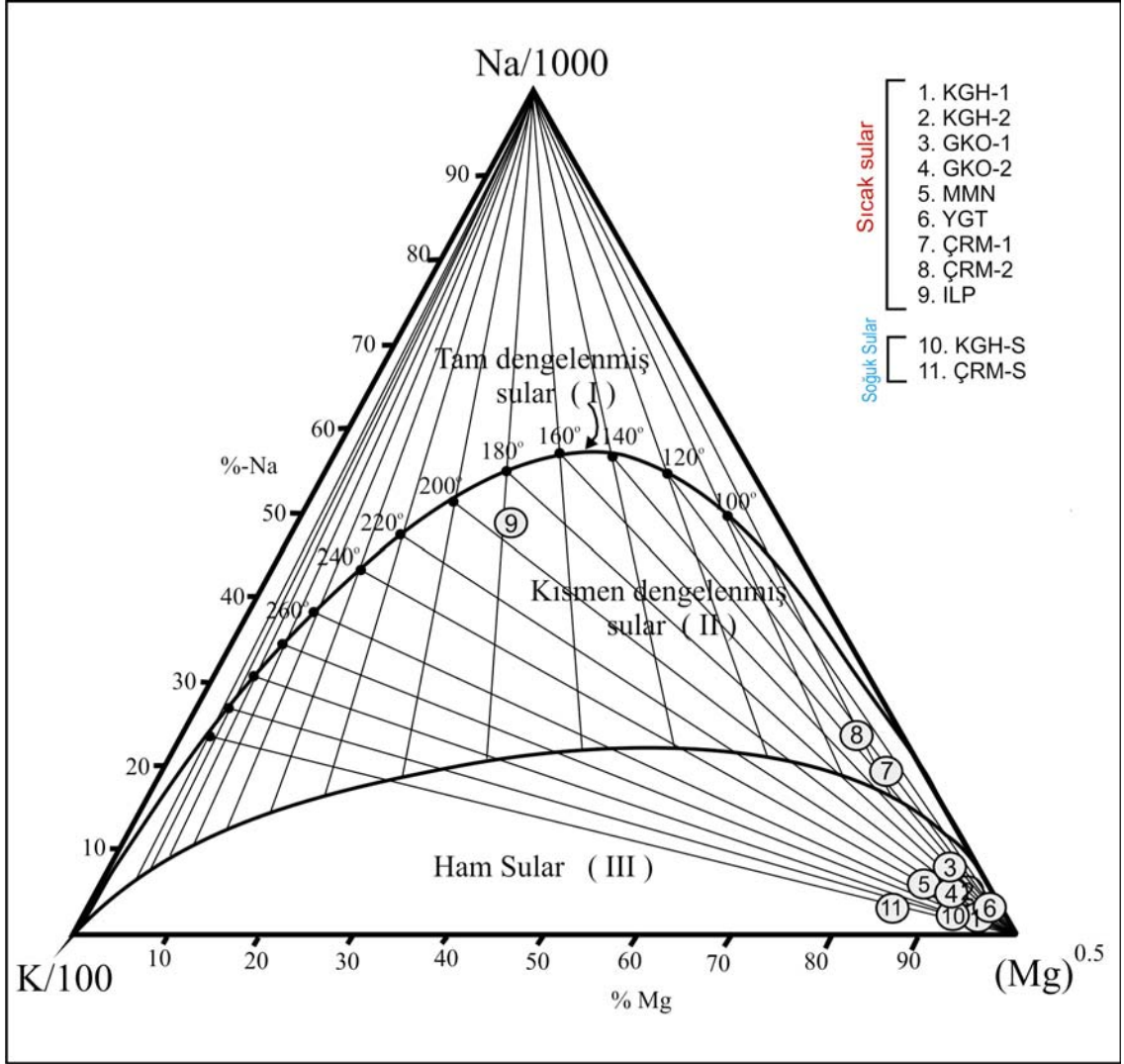
Örnek Adı	KGH1	KGH2	GKO1	GKO2	MMN	YGT	ÇRM1	ÇRM2	ILP
T °C	56,9	56,3	35	34	53	51,6	34,9	34,4	29
Kuvars	114.41	106.99	109.09	107.38	99.516	97.492	81.924	79.25	34.273
Kuvars (Maksimum buhar kayıplı)	113.39	107.02	108.83	107.36	100.57	98.822	85.258	82.912	42.75
Kalsedon	85.492	77.457	79.727	77.879	69.419	67.252	50.711	47.892	1.4657
α-Kristobalit	63.831	56.506	58.576	56.891	49.167	47.188	32.049	29.465	< 0
β Kristobalit	16.375	9.4661	11.416	9.8283	2.575	0.72116	< 0	< 0	< 0
Na-K	262.3	260.28	273.19	298.72	302.71	322.47	< 150	< 150	173.23
Na-K-Ca	62.513	60.462	58.799	65.522	40.154	46.043	109.3	99.08	166.71
Na-K-Ca-Mg	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0	> 350	> 350	166.71
Mg-Li	40.46	32.748	24.739	64.789	-	-	30.381	38.202	-
Na-Li	205.42	184.98	169.4	316.72	-	-	49.494	53.078	-

Çizelge 5.8’de görüldüğü gibi farklı jeotermometre uygulamaları farklı sonuçlar vermektedir. Çünkü, her jeotermometre belirgin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal koşullar için geçerlidir. Bu koşulların gerçekleşmediği durumlarda jeotermometrelerden elde edilen değerler sağlıklı sonuçlar olmayacaktır. Bazı jeotermometre sonuçlarında olanaksız sonuçlar elde edilmektedir. Bazı değerlerin eksi, bazı değerlerin ise yüzeyde ölçülen sıcaklıktan daha düşük değerler vermesi, bu kimyasal jeotermometre uygulamaları için uygun su-kayaç denge koşullarının tam olarak gerçekleşmediğini göstermektedir. Bu nedenle jeotermometre sonuçlarını değerlendirirken oldukça dikkatli olunması gerekmektedir.

Bu jeotermometrelerin geçerliliği pek çok değişik araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Giggenbach (1988) tarafından Na-K-Mg üçgen diyagramı akifer sıcaklığının tahmini ve sıcak ve mineralli suların akiferi oluşturan kayalar ile kimyasal dengeye ulaşp ulaşmadıklarının belirlenmesi dolayısıyla katyon jeotermometrelerin uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla geliştirilmiştir.

Giggenbach (1988), su-kayaç dengesi temelinde çeşitli iyonlara dayalı olarak geliştirmiş olduğu yöntemde üçgen diyagramları kullanarak su örneklerinin iyon içeriklerine göre kimyasal jeotermometre olarak kullanılmasına uygun olup olmadığını araştırmıştır. Giggenbach (1988) bu çalışmada Na, K ve Mg iyonlarının mg/L değerlerini ele alarak, suları başlıca üç grupta toplamıştır. Bunlar sırasıyla; I) Tam dengelenmiş sular, II) Su kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu ve III) Su-kayaç ilişkisindeki kimyasal dengenin sağlanmamış olduğu (ham sular) sular. I bölgesinde yer alan sularda Na-K-Mg jeotermometrelerinin sağlıklı sonuçlar verebileceği belirtilmektedir. Diyagramın ham veya olgunlaşmamış su kesimindeki (III bölgesindeki) örneklerde su ve kayaç arasındaki denge sağlanmamış olduğundan bu bölgede yer alan sularda jeotermometre uygulamaları akifer sıcaklığının bulunmasında sağlıklı sonuçlar vermeyecektir (Tarcan, 2002).

Şekil 5.11’de inceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumları görülmektedir.



Şekil 5.11 İnceleme alanındaki sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki görünümü ve su-kayaç denge sıcaklıkları

Tüm su örneklerinin diyagramdaki konumları incelendiğinde, 7, 8 ve 9 numaralı örneklerin kısmen dengelenmiş sular bölümünde yer aldığı (II nolu bölge), geri kalan sıcak ve soğuk su örneklerinin ise ham sular bölgesinde kalan, su-kayaç dengesini tamamlayamamış olan sular oldukları görülmektedir. Dolayısıyla ham sular kesimine düşen sular için, katyonlara bağlı olarak oluşturulan jeotermometrelerin jeotermal sistemin akifer sıcaklığının tespitinde kullanılması yanıltıcı sonuçlar verecektir ve akiferin gerçek sıcaklığını yansıtmayacaktır.

5.4 Karışım Modelleri

Birçok alandaki jeotermal sular, yüzeye erişirken belli oranlarda soğuk sularla karışarak, sıcaklıkları yeraltı sıcaklıklarından daha düşük değerlerle yüzeye çıkar. Bu karışım ayrıca sıcak suyun kimyasal yapısında değişiklikler oluşturur. Bu karışım sonucunda mineral dengesi gerçekleşmez veya kısmen-tam olabilir. Bu durum yan kayacın litolojisi, akışkanın debisi, sıcaklığı, yüzeye çıkış hızı gibi etkenlere göre değişebilir (Öngay, 2004). Eğer kimyasal denge durumuna karışım sonrası ulaşılsa jeotermometrelerden elde edilen sonuçlar derindeki akifer sıcaklığı değil, karışım sıcaklığını verir.

Karışım sonucu sıcak suyun kimyasal özelliklerindeki ve sıcaklığındaki değişiklikler kullanılarak, jeotermal sistemin hazne kaya sıcaklığının ve karışım oranlarının saptandığı çeşitli karışım modelleri geliştirilmiştir.

Fournier and Truesdell (1974), karışım sularındaki sıcak su bileşeninin karışım sularındaki sıcak su bileşeninin karışım öncesi sıcaklığının tahmininde kullanılan iki model geliştirmişlerdir. 1. Model sıcak akışkandaki silis miktarı ve sıcaklık ilişkisine dayalı olarak geliştirilmiştir. 2. Model ise sıcaklık ve klorür içeriğine bağlı olarak geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında 1. Model kullanılarak sıcak suların karışım durumu tespit edilmeye çalışılmıştır.

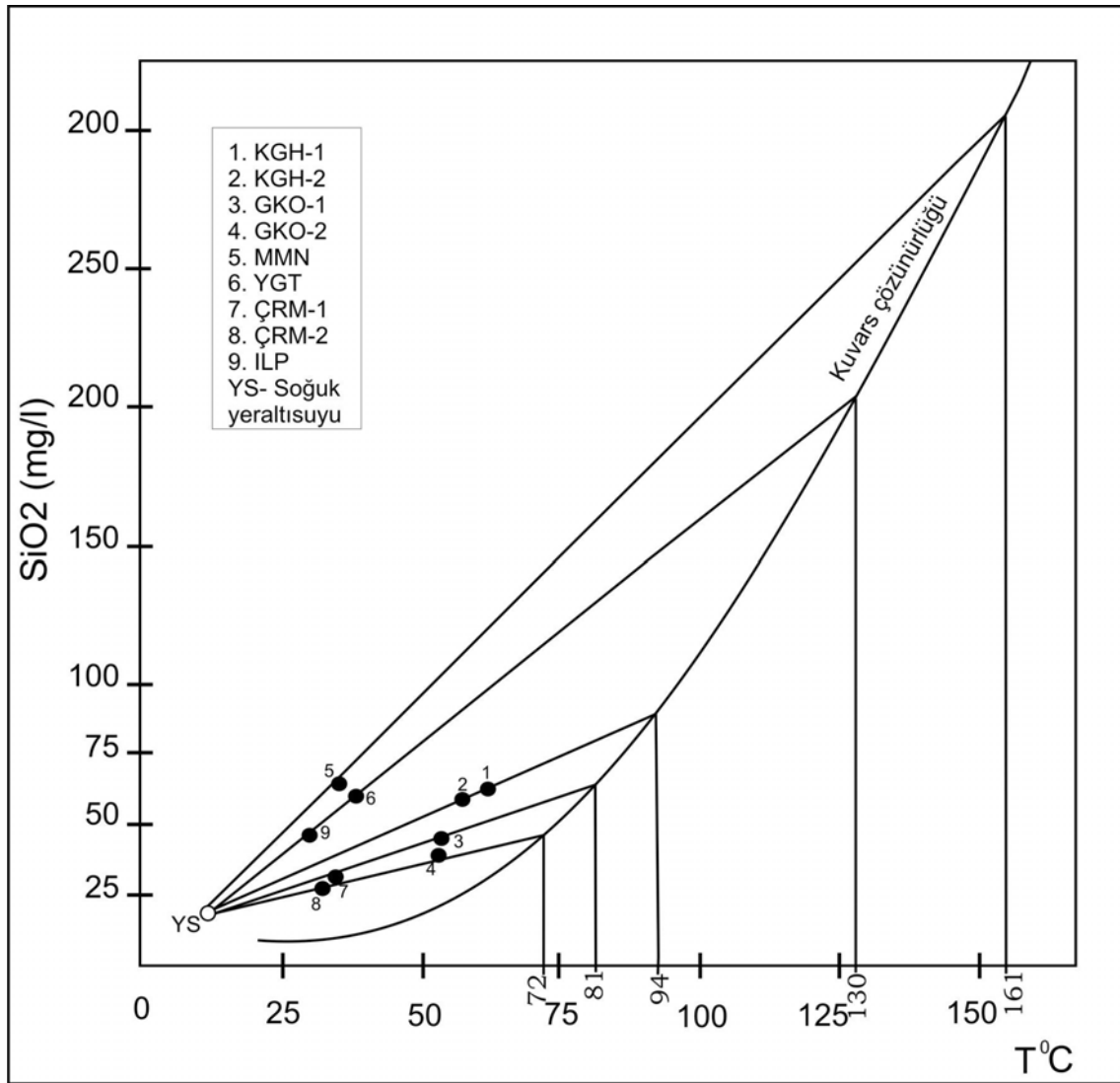
5.4.1 Entalpi-silis karışım modeli

Entalpi silis diyagramları karışık sıcak ve mineralli suların akifer sıcaklığının sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak tahmininde kullanılan bir tekniktir. Modelin başarılı olabilmesi üç temel varsayıma dayanır.

- i) Karışım sonrası sıcaklık kaybı yoktur,
- ii) Kuvarsın çözünürlüğü akiferdeki akışkanın silis içeriğini kontrol eder,
- iii) Akışkan akiferden ayrıldıktan ve soğuk su ile karışım gerçekleştikten sonra silis çökelimi veya çözülmesi yoktur. İkinci varsayım derinlerdeki jeotermal akışkanın kuvarsa doymuş olmasından dolayı her zaman için geçerlidir. Çok yüksek sıcaklıklı sistemlerde kuvarsın hızla çökmesinden ötürü üçüncü varsayımın yerine gelmemesinden dolayı hatalar olabilmektedir (Nicholson, 1993).

Sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan silis-entalpi karışım modeli diyagramı kullanılarak, karışım öncesi buhar ve ısı kaybının olmaması ve karışım öncesi buhar kaybının olması (adiyabatik soğuma) durumunda akifer sıcaklığı tahmin edilebilmektedir.

Şekil 5.12 incelendiğinde, silis-entalpi grafiğine göre akifer sıcaklığının 72-161 °C arasında olabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Silis-entalpi diyagramı, sıcak suların soğuk sularla karışım oranının hesaplanmasında da kullanılır. Buna göre elde edilen karışım oranları Çizelge 5.9'da verilmiştir. Tüm bu sonuçlara göre, en çok soğuk su karışımı 9 numaralı sıcak su örneğinde gözlenirken en az karışım 1 ve 2 numaralı örneklerde görülmektedir.



Şekil 5.12 İnceleme alanındaki sıcak suların Entalpi-silis diyagramı

Çizelge 5.9 Sıcak suların entalpi-silis diyagramına göre belirlenen soğuk yeraltı suları ile karışım oranları (örnek numaraları Şekil 5.13 ile aynıdır)

Örnek No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Karışım suyundaki soğuk su oranı(%)	15	19	44	62.5	12.5	25	65	67.5	69

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İnceleme alanında en yaşlı birim olan Paleozoyik yaşlı Hınıs metaofiyolitine ait peridotitlerin üzerine tektonik uyumsuzlukla Tersiyer yaşlı kaba kırıntı, kireçtaşı, ince taneli sedimanter birimler ve volkanik kayalar içeren formasyon ve üyeler gelmektedir. Tersiyer birimleri birbirleriyle düşey ve yanal geçişlidir.

Bu birimlerin üzerine açılal uyumsuzlukla Miyosen ve Pliyosen yaşlı volkanitler gelmektedir. Tüm bu birimlerin üzerine de yine açılal uyumsuzlukla Kuvaterner yaşlı traverten, yamaç molozu ve alüvyon gelmektedir.

İncelme alanı içerisindeki sıcak sular, tektonizma ve volkanizmanın etkisindedir. Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay zonlarının hemen kuzeydoğusunda yer alan sahadaki sıcak su kaynakları, bu faylar tarafından oluşan ve bu fay zonlarına paralel ikincil makaslama fayların etkisiyle yüzeye çıkmaktadır.

Çalışma alanının güneyinde mostra veren Adilcevaz formasyonunun (kireçtaşları), tektonizma etkisiyle ikincil gözeneklilik ve geçirgenlik özellikleri artarak, kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu eklem, kırık ve çatlaklar oluşmuş ve bu formasyon rezervuar kayaç özelliği kazanmıştır. Alterasyon gözlenmeyen düşük porozite özelliğine sahip Miyosen yaşlı volkanitler, örtü kayaç özelliğindedir. Bingöl Dağı lavlarının çıktığı magma odası da ısıtıcı kütle özelliği taşımaktadır. Alüvyon sahadaki soğuk suların çıktığı birim olarak akifer özelliği taşımaktadır.

İnceleme alanında yeni ve ayrıntılı olarak 9 sıcak ve 2 soğuk su örneği alınmış ve analizleri yaptırılmıştır. Yapılan analiz sonuçları Aqua 1.1 (2005) bilgisayar programına aktararak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde Çerme ve Ilıpınar sıcak suları Na-Cl 'lü sular sınıfında, diğer sıcak sular Ca-HCO₃'lü sular sınıfında ve soğuk sular Ca-Mg-HCO₃'lü sular sınıfındadır. Çerme ve Ilıpınar sıcak sularının Na-Cl miktarının fazla olması bu yöredeki formasyonların evaporitleri içermesi ve suların bu birimlerde dolaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Schoeller yarı logaritmik diyagramına göre Çerme ve Ilıpınar suları benzer kökenli, diğer suların ise kendi arasında benzer kökenli oldukları görülmüştür. Suların EC değerleri yüksek olup Çerme ve Ilıpınar sıcak suları kullanılamaz özellikte, diğer sular kullanılabilir-iyi özelliktedir. Yöredeki sıcak suların Ph değerleri genelde 7'nin üzerinde olup 6,37 ile 8,17 arasında değişmektedir.

İnceleme alanındaki sularda yapılan izotop analiz değerlerine göre soğuk sular ve Yiğitlerdeki sıcak su örneği aynı kökenli ve sık dolaşımli olup Kiğıhamzan, Meman, Gökoğlan ve Çerme kaynakları da aynı kökenli sulardır. Ilıpınar kaynağındaki ¹⁸O zenginleşmesi ise bu suyun yüksek entalpili bir kaynaktan gelebileceğinin göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca tüm sular meteorik kökenli olup Keban Barajı buharlaşmasından etkilenen (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005) Erzurum-Şenyurt meteorik doğrusuna yakın düşmektedir. Ayrıca soğuk sularda da buharlaşma söz konusudur. Su örneklerindeki değerlerin Akdeniz meteorik doğrusuna yakın çıkmasının nedeni, düşük nemlilikteki ılık hava kütlelerinde kuvvetli kinetik evaporasyonun ortaya çıkmasından, yani düşük nemlilik koşulları altında oluşan buhar yüksek döteryum fazlalığına sahiptir (Craig, 1961). Bununla beraber sahadaki sedimanter kayaların içeriğinde özellikle de Çerme ve Ilıpınar ve Meman kaynaklarının bulunduğu yerlerdeki formasyonlarda yörenin eski bir göl ortamı olması itibariyle (Tarhan, 1997) jips bulunmakta (ve jipsler, CaSO₄.2H₂O) de indirgen ortamlarda H₂S'e dönüşmektedir. Bu da muhtemelen sulardaki döteryumu bir miktar artırmıştır. Kaynaklarda örnek alımı sırasında hissedilen H₂S gazından kaynaklan çürük yumurta kokusu da bu düşüncüyü güçlendirmektedir. Tritiyum değerlerine göre Çerme suları derin dolaşımli, Yiğitler sıcak suyu ve soğuk sular sık dolaşımli sular olarak yorumlanmıştır.

İnceleme sahasındaki sıcak suların yüzey sıcaklıkları 29-57 °C arasında değişmektedir. Çalışma sahasındaki suların büyük çoğunluğunda su-kayaç ilişkisi dengelenmemiştir. Bu da katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyile bakılmasını gerektirir. Bir kısım sular ise(ÇRM-1, ÇRM-2, ILP), kısmen dengelenmiş olup 150-190 °C arasında hazne sıcaklığını gösteren doğru üzerinde yer almaktadır.

Çeşitli jeotermometre yöntemleri ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları, Çerme için 160-170 °C, Gökoğlan ve Kiğıhamzan için 100-110 °C olarak hesaplanmıştır. Jeotermometre sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde inceleme alanı içinde Gökoğlan'dan Çerme'ye doğru artan (yaklaşık 160 °C) yüksek entalpili bir jeotermal hazneden söz edilebilir.

Ayrıca silis-entalpi diyagramına göre Ilıpınar ve Çerme kaynaklarına soğuk su karışımının olduğu dolayısıyla bu suların yüzeye çıkarken soğuduğu ortaya çıkmaktadır.

Çalışma alanındaki Ilıpınar ve Çerme sıcak sularının Na ve Cl değerleri yüksek olduğundan suların kullanımı sırasında çevreye olan etkileri araştırılmalıdır.

İnceleme alanı içindeki jeotermal alanların özellikle termal turizm ve balneolojik uygulamalarda kullanımı bölgenin ekonomisine ve çevreye olumlu yönde etki sağlayacaktır.

7. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Altınlı, İ.E., 1966, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'nun jeolojisi, MTA Dergisi, 66, 35-74.
- Arpat, İ.E. ve Şaroğlu, F., 1975, Türkiye'deki bazı önemli tektonik olaylar, TJK Bülteni, 18/1, 91-101.
- Back, W., 1996, Hydrochemical facies and groundwaterflow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain, U.S. Geology Survey Professional paper, 498-A, 42 p.
- Balderer, W., 1999, Application of isotope techniques in hydrogeology, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Başkan, M.E. ve Canik, B., 1983, AIH Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası, MTA No:189, Ankara, 80 s.
- Craig H., 1961, Isotopic Variations in Meteoric Waters Science, 133, 1833-1834.
- Demirtaşlı, E. ve Pissoni, C., 1965, Ahlat-Adilcevaz bölgesinin jeolojisi (Van Gölü kuzeyi), MTA Dergisi, 64, 22-36.
- Erguvanlı, K.ve Yüzer, E., 1973, Yeraltı Suları Jeolojisi, İTÜ Maden Fakültesi.
- Filiz, S., 1982, Ege Bölgesindeki Önemli Jeotermal Alanların ^{18}O , ^2H , ^3H , ^{13}C izotoplarıyla incelenmesi, Doçentlik Tezi. E.Ü.Y.B.F. 146 s. (Yayınlanmamış).
- Fournier, R. O., and Truesdell, A. H., 1973, An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural waters. Geochim. Et Cosmochim. Acta, V. 37, 1255-1275.
- Fournier, R.O., and Truesdell, A.H., 1974, Geochemical indicators of subsurface temperature-part 2, Estimation of temperature and fraction of hot water mixed with cold water. U.S. Geological survey Journal of Research, V.2, no.3, 263-270.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fournier, R.O. 1977 A, Review of Chemical and Isotopic Geothermometers for Geothermal Systems In: Proceeding of the Symp. On Geoth. Energy, Cento Scientific Programme, 133-143
- Fournier, R. O and Potter R.W., 1979, Magnesium Correction to the Na-K-Ca Chemical Geothermometer. *Geochim et Cosmochim Acta*, 37, 1255-1275.
- Gat, J.R. and Carmi, I., 1970, Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area, *Journal of Geophysical Research*, 75, 3039-3048.
- Gemici, Ü., 1999, Çeşme Yarımadası'nın Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, 155 s.
- Giggenbach, W.F. Gonfiantini, R., Jangi, B.L. and Truesdell, A.H., 1983, Isotopic and Chemical Composition of Parbati Walley Geothermal Discharges, NW Himalaya, *Indiano Geothermics*, 5, 51-62
- Giggenbach, W.F., 1998, Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Kaynak, M., 2001, 1/500.000 ölçekli Türkiye rejyonal havadan manyetik haritası, MTA raporu, 10196.
- Khraka, Y.K., Lico, M.S., Law, L. M., 1982, Chemical thermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California Basins. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 66, 558.
- Khraka, Y.K., Gunter, W.D., Aggarwall, P.K., Perkins, E.H., and De Braal, J.D., 1988, Solmineq. 88: A computer Program Code for Geochemical Modelling of water-Rock Interactions. I.S n: U. Geological Survey Water Investigations Report, 88-05.
- Lahn, E., 1950, Erzurum havalisinin jeolojik bünyeleri, *MTA Dergisi*, 2/19, 233-243.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mercier, J., 1948, Hınıs 65/2 paftası izahnamesi, MTA raporu, 2258, 34 s.
- Nakoman, E., 1968, Karlıova-Halifan linyitlerinin sporo-pollinik etütleri, TJK Bülteni, 11/1-2, 68-90.
- Nicholson, K., 1993, Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Thecniques, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Öngay, E., 2004, Balıkesir-Pamukçu jeotermal alanı ve çevresinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 146 s.
- Özcan, A., 1967, Erzurum-Hınıs bölgesinde Erzurum-J47a3, a4 paftalarının detay petrol etüdü, MTA raporu, 4128.
- Özen, T., 2002, Dikili sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrojeolojik incelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 209 s.
- Sahinci, A. 1991a, Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. D.E.Ü. Müh.- Mim. Yayınları, 83-131.
- Sayın, M., Eyüpoğlu, S.Ö., 2005, Türkiye'deki yağışların kararlı izotop içeriklerinin kullanılarak yerel meteorik doğrularının belirlenmesi, II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, Gümüşdüz, İzmir.
- Şaroğlu, F., 1986, Doğu Anadolu'nun Neotektonik döneminde jeolojik ve yapısal evrimi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 256 s.
- Tarcan, G., 2002, Jeotermal Su Kimyası, Jeotermal Enerji ve Araştırma ve Uygulama Merkezi (Jenarum) Yaz Okulu ders notları, İzmir, 230-272
- Tarhan, N., 1989, Hınıs-Varto (Erzurum-Muş) dolayının jeolojisi ve petrolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 209 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Tarhan, N., 1991a, Hınıs-Varto-Karlıova (Erzurum-Muş-Bingöl) dolayının jeolojisi ve petrolojisi, MTA raporu, 9428.

Tarhan, N., 1991b, Hınıs-Varto-Karlıova (Erzurum-Muş-Bingöl) dolayının Neojen vokanitlerinin jeolojisi ve petrolojisi, MTA Dergisi, 113, 45-60.

Tarhan, N., Yusufoglu, H., Bağısakçı, S., Papak, İ. ve Karabalık, N., 1991, Bingöl-Karlıova-Yedisu dolayının jeolojisi ve petrolojisi, MTA raporu, 9448.

Tarhan, N., 1997, 1/100 000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları Erzurum-G 32 paftası, MTA yayınları, Ankara, 13 s.

TEKMAN (ERZURUM) GÜNEYBATISINDAKİ SICAK SU KAYNAKLARININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

LÜTFİ TAŞKIRAN

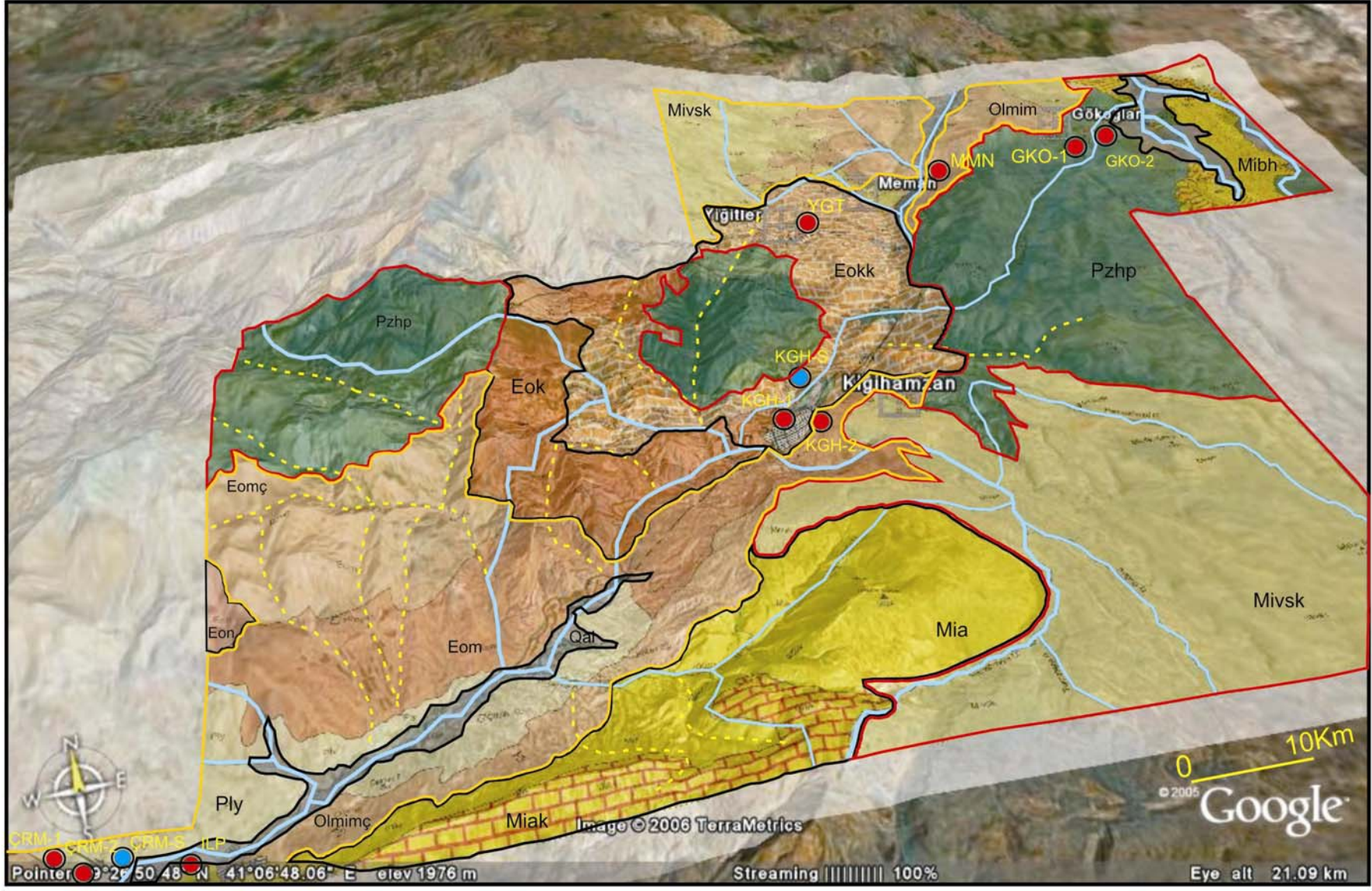
EKLER

- Ek.1. Tekman (Erzurum) Güneybatısının Jeolojik Haritası
- Ek.2. Çalışma Alanının Hidrojeoloji Haritası
- Ek.3. Çalışma Alanından Jeolojik Kesitler

Danışman: Yrd.Doç. Dr. Galip YÜCE

Haziran 2006

EK-2 İnceleme alanının hidrojelolojik haritası



AÇIKLAMALAR

KUVATERNER

KARBONİFER ÖNCESİ

Eosen

oligosen

Miyosen

Pliyosen

- Qy/h;** Yamaç molozu ve heyelan döküntüsü
Qal; Alüvyon
Qt; Traverten
Açısız Uyumsuzluk
- Ply** Ply; çakıltı, kumtaşı, çamurtaşı, marn, tüfit, kireçtaşı, aglomera
Açısız Uyumsuzluk
- Mivsk;** bazalt, bazaltik andezit, andezitik bazalt, andezit
Açısız Uyumsuzluk
- Mibh;** biyotit-hornblend andezit, andezit, latit
Mibh; kordiyerit-silimanit ignimbrit, hornblend-biyotit ignimbrit
Açısız Uyumsuzluk
- Mia;** resifal kireçtaşı, kalkarenit, kumtaşı, çakıltı
Kireçtaşı Üyesi; resifal kireçtaşı
- Olmim;** marn, kumtaşı, çakıltı, çamurtaşı, tüfit, aglomera, lav, jips, kireçtaşı
Çakıltı Üyesi; çakıltı, kumtaşı, çamurtaşı, silttaşı
- Eom;** marn, kumtaşı, çakıltı, kumtaşı, kireçtaşı
Çakıltı Üyesi; çakıltı, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı
- Eok;** kireçtaşı, marn, kalkarenit, killi kireçtaşı, çakıltı, kumtaşı
Kireçtaşı Üyesi; Kireçtaşı
- Eon;** kireçtaşı, marn, kumtaşı, tüfit, çakıltı, çamurtaşı, volkanit
- Pzhp** Peridotit; dunit, harzburgit, serpantinit

Tektonik Uyumsuzluk

SİMGELER

- Akarsu, sulu dere
 Kuru dere
 Sıcak su kaynağı
 Soğuk su kaynağı
 Geçirimsiz birim
 Yarı Geçirimli birim
 Geçirimli birim

Hidrojeolojik Özellik
Geçirimsiz
Yarı Geçirimli
Geçirimli
Geçirimsiz

EK-3 ÇALIŞMA ALANINDAN JEOLOJİK KESİTLER

