

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLAN (KARAKOÇAN)
SICAK VE MİNERALLİ SU KAYNAĞI'NIN
HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

150092

Özlem ÖZTEKİN OKAN

DOKTORA TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2004



T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLAN (KARAKOÇAN)
SICAK VE MİNERALLİ SU KAYNAĞI'NIN
HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

Özlem ÖZTEKİN OKAN

DOKTORA TEZİ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez, 21.10.2004 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği ile başarılı olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Bahattin ÇETİNDAG

Üye: Prof. Dr. Fikret KAÇAROĞLU

Üye: Doç. Dr. Mustafa AFŞİN

Üye: Doç. Dr. Ayhan ÜNLÜ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Zülfü GÜROCAK

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.11.2004 tarih ve 2004-66-1 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

“Kolan (Karakoçan) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı'nın Hidrojeokimyasal İncelemesi” başlıklı bu çalışma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji (Hidrojeoloji) bilim dalında doktora tezi olarak hazırlanmış ve Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından FÜBAP-490 nolu proje ile desteklenmiştir. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP)'ne teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanması, arazi ve büro çalışmalarında yönlendirici ve bilgilendirici katkı ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Bahattin ÇETİNDAG'a sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Arazi çalışmaları esnasında yardımcı olan Karakoçan eski Kaymakamı Sayın Süleyman ELBAN'a ve tüm kaymakamlık personeline ayrıca, güvenliğimizi sağlayan tüm birimlere teşekkür ederim.

İzotop analizlerinin yapılmasında ve yorumlanmasında yardımcı olan başta DSİ Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Kalite Kontrol Dairesi Şube Müdürü Mesut SAYIN olmak üzere tüm izotop laboratuvarı elemanlarına içtenlikle teşekkür ederim.

Arazi ve büro çalışmalarında hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen bölümümüz Araş. Gör. Selçuk ALEMDAĞ ve Araş. Gör. Calibe KOÇ'a teşekkür ederim.

Paleontolojik kesitleri inceleyen bölümümüz öğretim üyelerinden Yrd. Doç. Dr. Meral KAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Bölümümüz öğretim üyelerinden Doç. Dr. İbrahim TÜRKMEN'e sedimantolojik kesitlerin incelenmesindeki, Yrd. Doç. Dr. Bünyamin AKGÜL ve Araş. Gör. A. Didem KILIÇ'a petrografik kesitlerin incelenmesindeki, Yrd. Doç. Dr. Murat İNCEÖZ'e bölgenin tektonik haritalarının çıkarılmasındaki yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım ile ilgili bilgi alışverişinde bulunduğum Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Yrd. Doç. Dr. Suzan PASVANOĞLU'na ve Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden Doç. Dr. Mehmet ÇELİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarımın farklı aşamalarında yardımlarını gördüğüm Üniversitemiz Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Uzman Yakup CUCI'ye, Araş. Gör. Işıl ARSLAN ve Araş. Gör. Sibel ASLAN'a, Kimya Mühendisliği'nden Yrd. Doç. Dr. Soner ALTUNDOĞAN'a, Uzman Faruk GÜR'e, Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürü Sayın Atilla GÜR'e, Su Ürünleri Araştırma Enstitüsünden M. Ali KOÇER'e, DSİ. X. Bölge Müdürlüğü'nde görev yapan Yüksek Jeoloji Mühendisi Veysi GÜMÜŞ'e, bölümümüz Araş. Gör. Mahmut PALUTOĞLU'na ve Jeoloji Mühendisi Gökhan GÖVERCİN'e teşekkür ederim.

İnce kesitlerin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen bölümümüz laboratuvar teknisyeni Fuat İSTEK'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım esnasında göstermiş oldukları sonsuz sabır ve manevi desteklerinden dolayı başta sevgili eşim Hakan OKAN ve annem olmak üzere aileme içtenlikle teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	IV
TABLolar LİSTESİ.....	VII
EKLER LİSTESİ.....	IX
SİMGELER.....	X
KISALTMALAR.....	XI
ÖZET.....	XII
ABSTRACT.....	XIV
1. GİRİŞ.....	1
1. 1. Çalışmanın Amacı.....	1
1. 2. Materyal ve Yöntem.....	1
1. 3. Coğrafya.....	2
1. 4. Önceki Çalışmalar.....	5
2. JEOLojİ.....	8
2. 1. Keban Metamorfizmi.....	8
2. 2. Kırkgeçit Formasyonu.....	10
2. 3. Karabakır Formasyonu.....	16
2. 4. Alüvyon.....	21
2. 5. Traverten ve Kaynak Tüfleri.....	21
3. YAPISAL JEOLojİ.....	23
4. HİDROJEOLojİ.....	27
4. 1. Akifer Formasyonlar.....	27
4. 2. Porozite ve Permeabilite.....	27
4. 3. Soğuk Su Kaynakları.....	28
4. 4. Sıcak ve Mineralli Su Kaynakları.....	30
5. SU KİMYASI.....	33
5. 1. Sularda Bulunan İyonlar ve Kökenleri.....	33
5. 1. 1. Katyonlar.....	33
5. 1. 2. Anyonlar.....	40
5. 1. 3. Sularda Bulunan Diğer Elementler.....	43
5. 2. Suların Sertlik ve Asitlik Özellikleri.....	44

5. 3. Suların Tahsil Sonuçlarının Grafiklerle Gösterilmesi.....	45
5. 3. 1. Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramları.....	45
5. 3. 2. Piper Diyagramı.....	49
5. 3. 3. Vektörel ve Sütun Diyagramlar	52
5. 4. Hidrokimyasal Fasiyeler	58
5. 5. Doymuluk İndislerinin Yorumlanması.....	58
5. 6. Jeotermometre Uygulamaları	63
5. 6. 1. Katyon Jeotermometreleri.....	64
5. 6. 1. 1. Li- Mg Jeotermometresi.....	66
5. 6. 1. 2. Li- Na Jeotermometresi.....	66
5. 6. 2. SiO ₂ Jeotermometresi.....	68
5. 6. 3. Karışım Modelleri.....	68
5. 6. 4. Mineral Denge-Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi.....	70
5. 7. Sıcak ve Mineralli Kaynakların Sınıflandırılması.....	72
5. 8. Sıcak ve Mineralli Su Oluşukları.....	72
6. İZOTOP HİDROLOJİSİ.....	74
6. 1. Giriş.....	74
6. 2. Jeotermal İncelemelerde İzotopların kullanılması.....	75
6. 3. İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi.....	78
6. 3. 1. ¹⁸ O- ² H İlişkisi.....	78
6. 3. 2. ¹⁸ O-Cl İlişkisi.....	80
6. 3. 3. ¹⁸ O- ³ H İlişkisi.....	80
6. 3. 4. ³ H-Cl İlişkisi.....	81
6. 3. 5. ³ H-Sıcaklık ve ³ H-EC İlişkisi.....	82
6. 4. Sıcak ve Mineralli Kaynakların Kökenleri.....	83
7. SICAK VE MİNERALLİ SULARIN KAPTAJ ŞEKLİ, KORUNMA ALANLARI, TIBBİ VE EKONOMİK ÖNEMLERİ.....	85
7. 1. Kaynakların Kaptaj Şekli ve Korunma Alanları.....	85
7. 1. 1. Korunma Alanlarının Belirlenmesi.....	85
7. 1. 2. Korunma Alanlarının Sınırları.....	86
7. 1. 3. Korunma Alanlarında Alınacak Önlemler.....	88
7. 2. Sıcak ve Mineralli Kaynakların Tıbbi ve Ekonomik Önemleri.....	88
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	91

KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	99
EK	



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2. Yağış ve buharlaşma terlemenin 1958- 2002 yılları arası değişim grafiği.....	4
Şekil 2.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	9
Şekil 2.2. Keban metamorfitlelerinin inceleme alanındaki dağılımı. Hamam Dağı'nın B yamaçları.....	10
Şekil 2.3. Kortan Mahallesinin yaklaşık 500 m. GD'sunda vadi içerisinde yüzeylenen Kırkgeçit Formasyonu'nun çakıltaşları.....	11
Şekil 2.4. Kırkgeçit Formasyonu'nun kumtaşı- marn ardalanması. MTA sıcak su sondajının yaklaşık 100 m. G'de yol yarması.....	12
Şekil 2.5. Yaşaroğlu Köyü'nün 750 m. KD'sunda, İncebelek Tepe ile Çevrik Tepe arasındaki yol yarmasında görülen Kırkgeçit Formasyonu'nun kumtaşı tabakaları.....	12
Şekil 2.6. Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları (Kilise Tepe). Kuşaklı Köyü'nün 1,5 km. KB'sı.....	13
Şekil 2.7. Körtemişeyh Dere içinden geçen normal fayın aynası.....	13
Şekil 2.8 a ve b. Körtemişeyh Dere içinde Kırkgeçit Formasyonu'nun kireçtaşlarında gelişen karstik boşluklar.....	14
Şekil 2.9. Kırkgeçit Formasyonunu ile Keban metamorfitleleri arasındaki normal fay. Hamam Dağı'nın G yamaçları.....	15
Şekil 2.10. Karabakır Formasyonu ile Keban metamorfitleleri arasındaki normal fay. Hamam Dağı'nın K yamaçları.....	16
Şekil 2.11. Karabakır Formasyonu'nun çakıltaşları. Ortakom'un 1 km. G'deki yol yarması.....	17
Şekil 2.12. Berber Tepe'de yüzeyleyen tüfit seviyeleri.....	18
Şekil 2.13. Karabakır Formasyonunun tüf- tüfit- bazalt ardalanması.....	18
Şekil 2.14. Karabakır Formasyonunun kireçtaşları.....	19
Şekil 2.15. Subaşı Mahallesi'nin 2,5 km. KB'sında Karabakır Formasyonu'nun tüfitleri üzerinde görülen aglomeralar.....	20
Şekil 2.16. Karabakır Formasyonunun kireçtaşları ile tüfleri arasındaki yanal geçiş.....	20
Şekil 2.17. Kireçtaşı içerisinde gelişen konkresyon yapı. Beyaztaş Tepe'nin 350 m. K'i..	21
Şekil 2.18. Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (1 nolu kaynak) çevresinde oluşan travertenler.....	22
Şekil 2.19. Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı civarında oluşmuş travertenler ve Peri suyu vadisi boyunca kırık ve çatlaklarda oluşan sarkıtlar.....	22

Şekil 3.1. Bölgenin, inceleme alanını da içine alan 1/ 100 000 ölçekli tektonik haritası...	23
Şekil 3.2. Travertenler üzerinde gelişen açılma çatlakları.....	24
Şekil 3.3. Bütünlü Mahallesi'nin içinde bulunduğu vadide, Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları içerisinde gelişen asimetrik senklinal.....	25
Şekil 3.4. Keban metamarfitlerine ait rekrystalize kireçtaşlarında ölçülen 521 adet eklem yönelimine ait kontur diyagramı.....	25
Şekil 3.5. Keban metamarfitlerine ait rekrystalize kireçtaşlarında belirlenen başlıca eklem setlerinin büyük daireleri.....	26
Şekil 4.1. İncelenen sıcak ve soğuk sulardan numune alınan noktaları gösterir harita.....	29
Şekil 4.2. Peri suyunun sol sahilindeki Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı.....	30
Şekil 4.3. Peri suyunun sağ yamacındaki Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı. Bakış B'ya doğru.....	31
Şekil 4.4. Peri suyunun sağ yamacındaki Bağın sıcak ve mineralli su kaynağının toplandığı havuz. Bakış yönü KD'ya doğru.....	32
Şekil 4.5. Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı.....	32
Şekil 5.1. Eski tarihlere ait suların Schoeller diyagramı.....	47
Şekil 5.2. İncelenen sıcak ve soğuk suların Schoeller diyagramı (23. 09. 2001).....	47
Şekil 5.3. İncelenen sıcak ve soğuk suların Schoeller diyagramı (02. 07. 2002).....	47
Şekil 5.4. İncelenen soğuk ve sıcak suların Schoeller diyagramı (22. 05. 2003).....	48
Şekil 5.5. İncelenen soğuk ve sıcak suların Schoeller diyagramı (11. 06. 2003).....	48
Şekil 5.6. İncelenen sıcak ve mineralli suların farklı tarihlerdeki analizlerinin Schoeller diyagramı.....	48
Şekil 5.7. İncelenen soğuk suların Schoeller diyagramı.....	49
Şekil 5.8.a-e. İncelenen suların Piper diyagramları.....	52
Şekil 5.9a-d. İncelenen suların vektörel diyagramları.....	55
Şekil 5.10a-c. İncelenen sıcak ve soğuk suların sütun diyagramları.....	56
Şekil 5.11.a-e. İncelenen suların minerallere doygunluk indislerinin grafiksel değerlendirilmesi.....	63
Şekil 5. 12. Sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramı (Giggenbach, 1991) üzerindeki dağılımları.....	66
Şekil 5. 13. İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi- SiO ₂ diyagramı.....	69
Şekil 5. 14. İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi- Cl diyagramı.....	69
Şekil 5. 15a- f. İncelenen sıcak ve mineralli suların sıcaklık-mineral denge diyagramları.	71
Şekil 5. 16a- c. Kolan jeotermal alanında gözlenen kaynak konileri.....	73

Şekil 6.1. Şematik $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ grafiği.....	76
Şekil 6.2. Önemli jeotermal sistemlere ait su ve buharın izotop bileşimleri. X, meteorik suyun bileşimini, • ise derin jeotermal akışkanların izotop bileşimlerini göstermektedir	77
Şekil 6.3. Jeotermal akışkanlar(■) ile meteorik suların(○) farklı oranlarda karışması sonucunda $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ 'ın beraber artış gösterdiği jeotermal sistemlerin izotop bileşimleri.....	77
Şekil 6.4. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O} - \delta^2\text{H}$ diyagramları.....	79
Şekil 6.5. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O} - \text{Cl}$ diyagramı.....	80
Şekil 6.6. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O} - ^3\text{H}$ diyagramı.....	81
Şekil 6.7. İncelenen suların $^3\text{H} - \text{Cl}$ diyagramı.....	82
Şekil 6.8. İncelenen suların sıcaklık- ^3H diyagramı.....	82
Şekil 6.9. İncelenen suların EC- ^3H diyagramı.....	83
Şekil 6. 10. Kolan jeotermal alanının genelleştirilmiş yeraltı suyu dolaşım modeli.....	84
Şekil 7. 1. Sıcak ve mineralli su kaynaklarının korunma alanları.....	87
Şekil 7.2a-c. Kolan sıcak ve mineralli su kaynaklarının etrafındaki konaklama yerlerinden genel görünüm.....	89
Şekil 7.3. Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları çevresinden genel bir görünüm.....	90

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1 İnceleme alanının 1958- 2002 yılları arası denestirmeli nem bilançosu.....	3
Tablo 4.1. Akifer formasyonların tabanı delikli kutu ile ölçülen permeabilite değerleri ...	28
Tablo 4.2. Akifer formasyonların toplam porozite değerleri.....	28
Tablo 5.1. İnceleme alanı içerisinde bulunan suların kimyasal analiz sonuçları (23.09.2001).....	34
Tablo 5.2. İnceleme alanı içerisinde bulunan suların kimyasal analiz sonuçları (02.07.2002).....	35
Tablo 5.3. İnceleme alanı içerisinde bulunan suların kimyasal analiz sonuçları (22.05.2003).....	36
Tablo 5.4. İnceleme alanı içerisinde bulunan suların kimyasal analiz sonuçları (11.06.2003).....	37
Tablo 5.5. İncelenen sıcak ve mineralli suların önceki yıllara ait kimyasal analiz sonuçları.....	38
Tablo 5.6. İncelenen sıcak ve mineralli suların önceki yıllara ait kimyasal analiz sonuçları.....	39
Tablo 5.7. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar ile kaynak tuf ve travertenlerin kimyasal analiz sonuçları.....	40
Tablo 5.8. İncelenen sulardaki SiO ₂ miktarı.....	41
Tablo 5.9. Sularda bulunan iyonların sıralanışı.....	46
Tablo 5.10. Sularda oluşabilecek tuzlar (%).....	57
Tablo 5.11 . İnceleme alanı su numunelerinin önceki tarihlere ait mineral doygunluk değerleri.....	59
Tablo 5.12. İnceleme alanı su numunelerine ait mineral doygunluk değerleri (23.09.2001).....	59
Tablo 5.13. İnceleme alanı su numunelerine ait mineral doygunluk değerleri (02.07.2002).....	60
Tablo 5.14. İnceleme alanı su numunelerine ait mineral doygunluk değerleri (22.05.2003).....	60
Tablo 5.15. İnceleme alanı su numunelerine ait mineral doygunluk değerleri (11.06.2003).....	60
Tablo 5. 16. Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş jeotermometre eşitlikleri.....	64

Tablo 5.17. İncelenen sıcak ve mineralli suların hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklıkları (°C).....	67
Tablo 5.18. İncelenen sıcak ve mineralli sularda karışım modellerine göre saptanan sıcak su karışım oranları.....	70
Tablo 5. 19. İnceleme alanında kullanılan jeotermometrelerin genel değerlendirilmesi...	72
Tablo 6.1. İnceleme alanına ait suların izotop analiz sonuçları (23. 09. 2001).....	78
Tablo 6.2. İnceleme alanına ait suların izotop analiz sonuçları (02. 07. 2002).....	78



EKLER LİSTESİ

EK: Kolan (Karakoçan–Elazığ) Sıcak ve Mineralli Sular Bölgesinin Jeoloji Haritası ve Kesitleri.



SİMGELER

Ca⁺²: Kalsiyum

Mg⁺²: Magnezyum

Na⁺: Sodyum

K⁺: Potasyum

Cl: Klorür

SO₄: Sülfat

HCO₃: Bikarbonat

CO₂: Karbondioksit

³H: Tritiyum

²H: Döteryum

¹⁸O: Oksijen-18

Sr: Stronsiyum

Zn: Çinko

Al: Alüminyum

Li: Lityum

Fe: Demir

Mn: Manganez

Cr: Krom

Cu: Bakır

I: İyod

Br: Brom

F: Flor

SiO₂: Silis

Si: Silisyum

CaCO₃: Kalsiyum Karbonat

MgO: Magnezyum Oksit

FeO: Demir Oksit

CaO: Kalsiyum Oksit

KISALTMALAR

mek: Miliekivalen

mek/l: miliekivalen / litre

cal/gr: kalori / gram

mg/l: miligram / litre

TU: Tritiyum birimi

EC: Elektriksel İletkenlik

MTA: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

DSİ: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

ICP: Inductively Coupled Plasma



ÖZET

Doktora Tezi

KOLAN (KARAKOÇAN) SICAK VE MİNERALLİ SU KAYNAĞI'NIN HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Özlem ÖZTEKİN OKAN

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

2004, Sayfa: 99

Kolan sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerini konu alan bu çalışmada yaklaşık 45 km²'lik bir alanın 1/ 25 000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış, jeoloji ve hidrojeoloji kesitleri çıkarılmış, suların kimyasal ve izotop özellikleri belirlenmiştir.

İnceleme alanında tabandan tavana doğru Permo- Triyas yaşlı Keban metamorfileri, Lütesiyen- üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu, üst Miyosen- Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu, Kuvaterner yaşlı alüvyon ve alüvyonlarla yanal geçişli travertenler yüzeylemektedir. Çakıltası, kumtaşı, marn, kireçtaşı litolojisindeki Kırkgeçit Formasyonu Keban metamorfilerinin rekristalize kireçtaşları üzerinde tektonik olarak bulunmaktadır. Karabakır Formasyonu kendinden daha yaşlı Kırkgeçit Formasyonu ile Keban metamorfileri üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Keban metamorfileri ile arasındaki sınır tektonik dokanaktır. Karabakır Formasyonu'nun bölgedeki litolojisi çakıltası, kumtaşı- kireçtaşı ardalanması, kireçtaşları ile yanal geçişli tuf, tüfit, aglomera ve bazalt ardalanması şeklindedir.

İncelenen Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynaklarının akifer formasyonu Keban metamorfilerinin rekristalize kireçtaşlarıdır. Kırkgeçit Formasyonu'nun geçirimsiz seviyeleri örtü kaya durumundadır.

Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynaklarının toplam mineralizasyonları 3371,9 mg/l ile 4695,3 mg/l arasında, sıcaklıkları ise 38°C ile 46°C arasında değişmektedir. Sularda en fazla bulunan katyon Ca⁺², en fazla bulunan anyon ise HCO₃⁻'dir. Sıcak sular AIH sınıflamasına göre "Ca, Mg, HCO₃ ve CO₂'li sıcak ve mineralli sular" grubuna girmektedir. Jeotermometre çalışmalarının genel değerlendirilmesi sonucunda Kolan jeotermal alanının ortalama hazne kaya sıcaklığı 67°C olarak hesaplanmıştır.

İncelenen sıcak ve mineralli sular genel olarak kalsit, dolomit, aragonit ve kuvars minerallerine doymun olup bu mineralleri çökeltme; anhidrit, jips, halit ve kalsedon minerallerine ise doymun olmayıp bunları çözme eğilimindedir. Kaynaklar çevresinde oldukça kalın kaynak tıf ve travertenleri şeklinde CaCO_3 çökeltisi meydana gelmiştir. Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli sularının korunması için üç korunma alanı belirlenmiştir.

Kolan jeotermal alanındaki sıcak ve mineralli su kaynakları, Keban metamorfitleti içerisinde gelişmiş senklinalin kanatlarından tabaka yüzeyleri, kırık, çatlak hatları gibi geçirimli kuşaklar boyunca derinlere doğru süzölen meteorik suların, içerisinde dolaştığı kayaçlarla tepkimeye girip minerallerce zenginleşmesi ve jeotermal gradyanla ısınarak, senklinal eksenini kesen iki fay hattı boyunca yeryüzüne çıkmaktadır.

İzotop çalışmaları sonucunda Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli sularının meteorik kökenli, derin ve uzun yeraltı suyu dolaşımına sahip sular olduğu ve bu suların yükselimleri esnasında %32- 34 oranında soğuk sularla karıştıkları belirlenmiştir.

Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli sularından banyo ve içme tarzında yararlanılmaktadır. Ancak, yöre halkının bu kaynaklardan yararlanabilmesi için sıcak ve mineralli sular etrafına daha modern tesisler yapılmalıdır. Bu sulardan seracılık alanında ve bölgede çok fazla miktarda bulunan CO_2 'den de kuru buz üretiminde yararlanılabilir.

Anahtar Kelimeler: Kolan, Bağın, Karakoçan, Sıcak ve Mineralli Su, İzotop, Jeotermometre, Korunma Alanı.

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THE KOLAN (KARAKOÇAN) THERMAL AND MINERAL WATER SPRINGS

Özlem ÖZTEKİN OKAN

Fırat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

2004, Page: 99

1/25 000 scaled geological map of the study area about 45 km² was drawn, geology and hydrogeology cross-sections were prepared, chemical and isotopical compositions of the waters were determined within the scope of the study which aims of determination of the hydrochemistry of the Kolan (Karakoçan) Thermal and Mineral Water Springs.

In the studied area from bottom to top Permo-Trias Keban metamorphites, Lutesian-upper Oligocene Kırkgeçit Formation, upper Miocene lower Pliocene Karabakır Formation and Quaternary alluvium and travertines are present. Alluvium passes laterally into the travertines. The recrystallized limestone of Keban metamorphites is overlain with a tectonic unconformity by Kırkgeçit Formation which consists of conglomerate, sandstone, marl, limestone alternations. Keban metamorphites and Kırkgeçit Formation are overlain by an angular unconformity by Karabakır Formation. The boundary between Karabakır Formation and Keban metamorphites is also tectonic. Karabakır Formation is represented by conglomerate, sandstone-limestone alteration and laterally transitive limestone and tuff, tuffite, agglomerate and basalt alterations.

The aquifer formation of the Kolan and Bağın thermal and mineral water is the recrystallized limestones of Keban metamorphites. The impermeable units of Kırkgeçit Formation are the nap rocks of the aquifer.

Total mineralization of Kolan and Bağın thermal and mineral waters is between 3371,9 mg/l - 4695,3 mg/l and their temperatures range from 38 °C to 46 °C. The most abundant ions in waters are Ca⁺² and HCO₃⁻. The waters are classified as "Ca, Mg, HCO₃ and CO₂ bearing

thermal and mineral waters” on the basis of IAH classification. It was concluded by the geothermometer studies that the mean temperature of the reservoir in the Kolan geothermal field is 67 °C.

Saturation calculations indicate that waters are over saturated with respect to calcite, dolomite, aragonite and quartz and are under saturated to anhydrite, gypsum, halite and chalcedony. Due to the super saturation with respect to CaCO₃ there is a thick tuff and travertine deposit formed around the Kolan and Bağın thermal waters.

Three protection zones are determined for the Kolan and Bağın thermal and mineral waters.

In the Kolan geothermal field, meteoric waters percolating through the permeable zones such as bedding planes and fault fracture lines in the syncline in recrystallized limestones of Keban metamorphites, react with rocks in which they circulate. As a result of water-rock interaction, the “waters that are heated by geothermal gradient become mineralized, and rise to the surface along the fault zones cutting the syncline axis.

On the basis of isotope studies, Kolan and Bağın thermal and mineral waters are of meteoric origin deeply circulated waters, recharged from high elevations and are mixed with cold waters in a little proportion.

Kolan and Bağın thermal and mineral waters are used for drinking and balneologic purposes. But, in order to create more favorable conditions for suburb people to utilize these spring waters, the construction of modern facilities around the springs is necessary. These waters can be used in greenhouses and CO₂ gas in the area can also be used for the production of dry ice.

Key Words: Kolan, Bağın, Karakoçan, Thermal and Mineral Water, Isotope, Geothermometer, Protection Area.

1. GİRİŞ

1. 1. Çalışmanın Amacı

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne Doktora tezi olarak sunulan bu çalışmada, Kolan sıcak ve mineralli su kaynaklarının kökenleri, oluşumları, hidrojeokimyasal özellikleri, akifer ve yan kayalarla ilişkileri, korunma alanları ve geliştirilmeleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında jeoloji, hidrojeoloji, su kimyası ve izotop hidrolojisi üzerinde durulmuştur.

İnceleme alanında, 2000-2003 yılları arasında jeoloji çalışmaları ve bölgedeki sıcak ve soğuk su kaynaklarının yağışlı ve kurak dönemlerde gözlemleri yapılmıştır. Araziden derlenen su ve kayaç örneklerinin laboratuvarında analizleri yapılarak elde edilen veriler yorumlanmıştır.

Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları ile çevredeki soğuk su kaynakları arasındaki ilişkiler hidrojeokimyasal yönden ele alınarak sıcak ve mineralli suların kökenleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Köken belirleme çalışmalarında suların izotop incelemeleri de yapılmıştır. Sıcak ve mineralli su kaynaklarının rezervuar sıcaklıkları kimyasal jeotermometrelerle saptanmış, sıcak ve soğuk suların karışımı, başlıca iyon oranları arasındaki ilişkiler, yeraltı sularının kimyasal evrimi kuramsal olarak incelenmiştir. Ayrıca kaynakların kirlenici etkilerden korunabilmesi için jeoloji ve hidrojeoloji incelemelerin ışığında kaynak koruma alanları da tespit edilmiştir.

1. 2. Materyal ve Yöntem

Çalışma, literatür araştırmaları, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları şeklinde dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

Literatür araştırmaları arazi çalışmalarından önce başlatılmış ve çalışmanın her aşamasında devam etmiştir. Bu çalışma kapsamında inceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji ve hidrojeolojisini konu alan rapor, makale, kitap vb. gibi çalışmalar derlenmiştir.

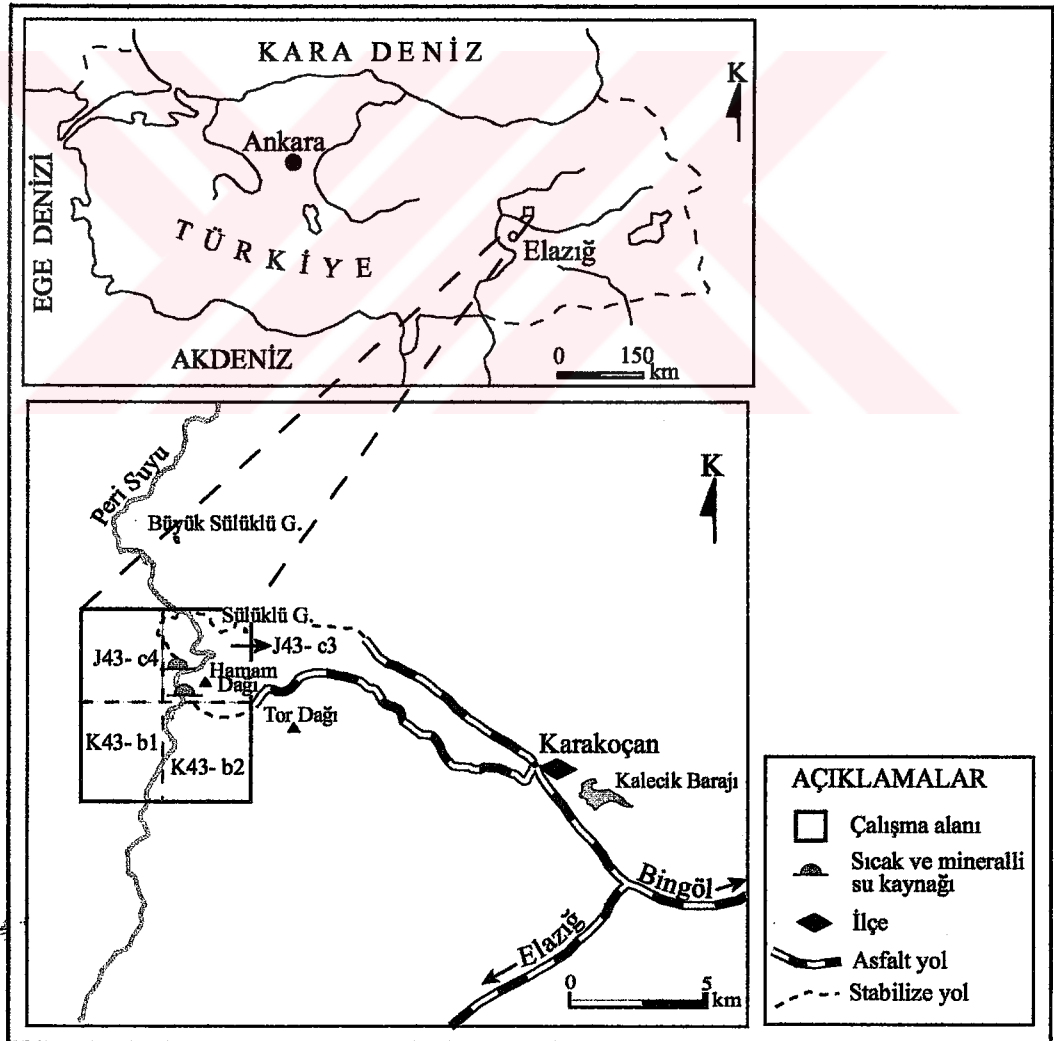
Arazi çalışmalarında yaklaşık 45 km² 'lik bir alanın 1/25 000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. 2000- 2003 yılları arasında yeraltı su seviyesinin en düşük ve en yüksek olduğu dönemlerde soğuk ve sıcak su kaynaklarından numuneler alınıp, kimyasal ve izotop analizleri yaptırılmıştır. Suların kimyasal analizleri DSİ X. Bölge Müdürlüğü'nde, izotop analizleri ise DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi İzotop Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Çevresel kararlı izotopların (¹⁸O ve ²H) tayininde kütle spektrometresi kullanılmıştır. Radyoaktif izotop ³H'un ölçümünde ise sıvı sintilasyon sayma tekniği kullanılmıştır. Suların silis içerikleri ise Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarında ICP yöntemiyle belirlenmiştir. İnceleme alanı içerisinde yüzeyleyen farklı

litolojideki formasyonlardan alınan kayaç örneklerinin ince kesitleri yapılarak polarizan mikroskopta incelenmiştir. 5 adet tüm kayaç örneğinin ana oksit içerikleri, Kanada'daki ACME laboratuvarında ICP analizi yaptırılarak belirlenmiştir. Hidrojeoloji çalışmalarında ise laboratuvarında farklı özellikteki gevşek ve sıkışmış numunelerin permeametre (tabanı delikli kutu) ile permeabiliteleri, ayrıca sıkılama, hacim ve ağırlık ölçümü yöntemleri ile de poroziteleri tayin edilmiştir.

Büro çalışmalarında ise gerek araziden gerekse laboratuvar çalışmalarından elde edilen tüm veriler değerlendirilerek yorumlanmıştır.

1. 3. Coğrafya

İnceleme alanı, Elazığ iline bağlı Karakoçan ilçesinin 24 km. kuzeybatısında yaklaşık 45 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı 1/ 25 000 ölçekli Elazığ K43- b2, K43- b1, Erzincan J43- c3, J43- c4 paftalarında yer alır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Peri suyu ile Ohi Dere inceleme alanının önemli akarsularıdır. Peri suyu kuzeyden güneye doğru bir akış gösterir ve Karakoçan'ın Tunceli ile sınırını teşkil eder. Ohi Dere ise Dedebağ Köyü'nün yaklaşık 500 m. kuzeyinde Peri suyu ile birleşmekte ve batıdan doğuya doğru akmaktadır.

Çalışma alanındaki önemli yerleşim yerleri Yoğunağaç, Yaşaroğlu, Kuşaklı köyleri ile Kortan ve Bütünlü mahalleleridir.

İnceleme alanının morfolojik olarak en yüksek kotunu 1522 m. rakımıyla Tor Tepe, en alçak kotunu ise 930 m.'de Peri suyu ile Ohi dere oluşturur.

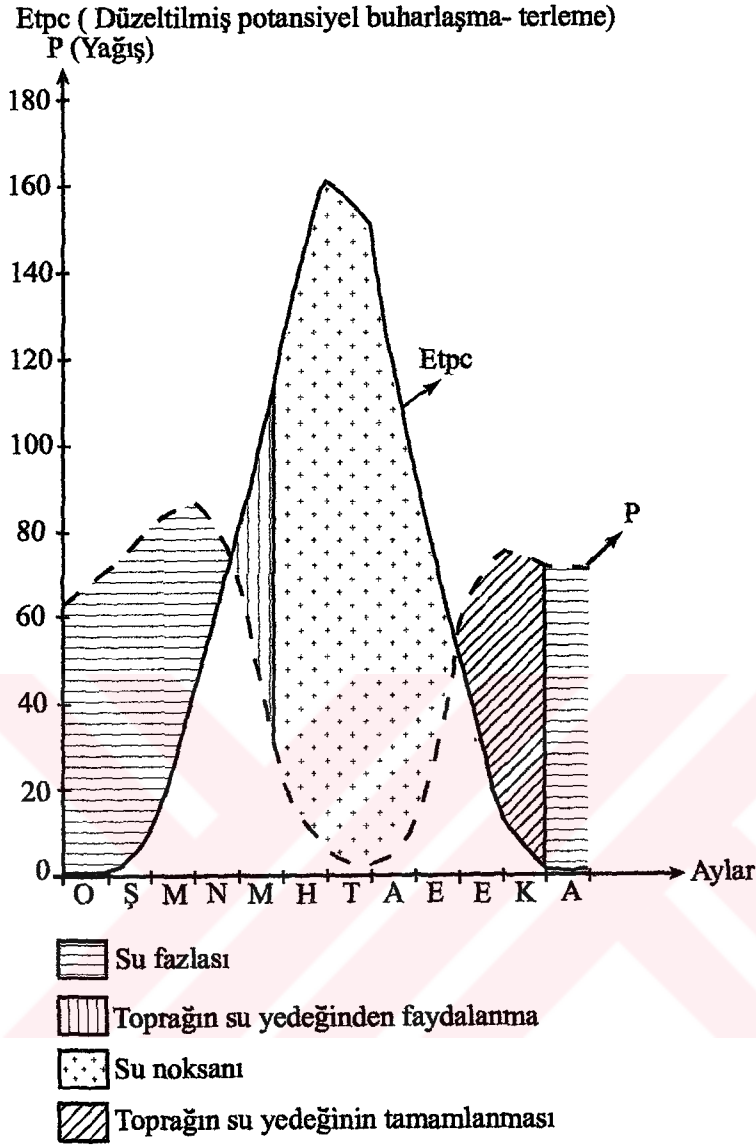
Oldukça engebeli ve sarp bir topoğrafyanın gözlendiği çalışma alanında Hamam Dağı (1282 m.), Tor Tepe (1522 m.), İncebelek Tepe (1279 m.) ve Seyran Tepe (1094 m.) önemli yükseltilerdir. İnceleme alanının büyük bölümü meşe ormanlarıyla kaplıdır. Ancak bu ormanların büyük bir kısmı çeşitli sebeplerle tahrip edilmiştir. Bölge uzun süre terörle mücadele ettiğinden çoğu köy ve mezra boşaltılmış durumdadır. Halkın başlıca geçim kaynakları tarım ve hayvancılıktır.

Elazığ Meteoroloji istasyonundan elde edilen verilere göre 2002 yılında bölgenin sıcaklık ortalaması 10^o,41 C olup, en düşük sıcaklık Ocak ayında - 7^o, 7 C, en yüksek sıcaklık ise Temmuz ayında 24^o,3 C'tir. 2002 yılında bölgeye düşen toplam yağış ise 515,1 mm.'dir.

Thorntwaite (1948) formülüne göre inceleme dönemi ve 1958- 2002 yılları arası için yağış ve buharlaşma- terlemenin yıllık değişim grafikleri hazırlanmıştır (Tablo 1.1, Şekil 1.2).

Tablo 1.1. İnceleme alanının 1958- 2002 yılları arası denestirmeli nem bilançosu (Thorntwaite formülüne göre).

AYLAR	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
Aylık sıcaklık ortalaması (t°C)	-3,2	-2,15	3,84	10,68	15,51	21,06	25,61	24,91	19,42	12,54	5,35	0,1	
Sıcaklık indisi (i)	0	0	0,67	3,16	5,55	8,82	11,86	11,37	7,80	4,02	1,11	0,003	54,36
Potansiyel buharlaşma-terleme: Etp (mm)	0	0	10,02	39,71	65,61	99,04	128,87	124,15	88,80	49,29	15,66	0,074	621,22
Enlem düzeltme katsayısı (38 ^o ,5 enlem için)	0,85	0,84	1,03	1,105	1,230	1,24	1,255	1,175	1,04	0,96	0,84	0,825	
Düzeltilmiş Etpc (mm)	0	0	10,32	43,88	80,70	122,81	161,73	145,88	92,35	47,32	13,15	0,06	718,2
Yağış (mm)	62,93	66,31	81,66	87,34	70,76	21,90	6,29	1,95	10,90	57,76	75,18	71,12	613,1
Faydalı su yedeği (mm)	100	100	100	100	90,06	0	0	0	0	10,44	72,47	100	672,97
Gerçek buharlaşma-terleme Etr (mm)	0	0	10,32	43,88	80,70	111,96	6,29	1,95	10,90	47,32	13,15	0,06	326,53
Su fazlası (mm) (sellenme+ süzülme)	61,93	66,31	71,34	43,46	0	0	0	0	0	0	0	43,53	286,57
Su noksanı (mm)	0	0	0	0	0	10,85	155,44	143,93	81,45	0	0	0	391,67



Şekil 1.2. Yağış ve buharlaşma terlemenin 1958- 2002 yılları arası değişim grafiği.

Bu grafikte Ocak ayından başlayıp Nisan'ın sonuna kadar olan dönemde su fazlalığı; Haziran ile Eylül ayları arasında ise su noksanlığı vardır ve Ekim ile Aralık ayları arasında ise bölgeye düşen yağış miktarı artmakta ve toprağın su yedeği yine bu aylar arasında tamamlanmaktadır. Aralık ayında bölgede yine su fazlalığı meydana gelmektedir.

Elazığ Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden edinilen, Karakoçan ilçesinin 44 yıllık (1958- 2002 yılları arası) aylık toplam yağış ve sıcaklık ortalaması değerlerine göre bölgenin iklim formülü Thornthwaite formülleri kullanılarak çıkarılmıştır. Buna göre bölgenin iklim formülü $C_2 B_2' s_2 b_2'$ şeklindedir. Burada C_2 , nemlilik indisine göre yarı nemliliği, B_2' sıcaklık

şartlarına göre mezotermal iklimi, s_2 yağış düzenine göre yaz mevsiminde çok fazla olan su noksanlığını, b_2' sıcaklık düzenine göre ikinci dereceden denizel iklimi belirtir.

1.4. Önceki Çalışmalar

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

Bayır (1964), Elazığ, Palu- Karakoçan ovalarının hidrojeoloji raporlarını hazırlamıştır. Araştırmacı, Palu ovasında Kuvaterner'e ait çakıl ve killi kumu işletilebilir akifer formasyon olarak tanımlamış, su tablası derinliğinin ise yüzeyden itibaren 4 m. dolayında olduğunu belirtmiştir.

Bulut (1967), Elazığ, Palu-Karakoçan ovalarında çalışarak bu ovaların yeraltı suyu rezervine ilişkin rapor hazırlamıştır.

Kipman (1976), Keban civarında yaptığı çalışmalarda Keban metamorfitletlerini yaşlıdan gence doğru mermer (rekristalize kireçtaşı), alt şist (kalkşist) ve üst şist (kalkfillit) olmak üzere üç ayrı birime ayırmıştır.

Naz (1979), Elazığ-Palu dolayında yaptığı çalışmasında, Kovancılar-Bingöl karayolu üzerinde Peri suyunun güneyinde Karabakır Formasyonu'na ait beyaz, pembe, kahverenkli tuf, yamaç molozu ve bunlarla ara seviyeli bazaltların hakim olduğu bir litolojiden bahsetmiştir.

Turan (1984), Baskil-Aydınlar (Elazığ) civarında yaptığı araştırmada, Keban metamorfitletlerinin mermer ve rekristalize kireçtaşlarıyla temsil olunan düşük derecede metamorfize olmuş platform tipi karbonatlardan oluştuğunu belirtmiştir. Otokton ve allokon tip olarak iki konumda bulunan metamorfitletlerin, olasılıkla Jura- Erken Kretase arasında metamorfizmaya uğradığını ifade etmiştir.

Çetindağ (1985), Elazığ, Palu-Kovancılar dolayının hidrojeolojisini incelediği çalışmasında, Kırkgeçit, Karabakır formasyonlarının su taşıdığını ve bunların diğer formasyonlarla dokanaklarında küçük debili kaynakların oluştuğunu belirtmiştir.

Kürüm (1987), Keban ilçe merkezi civarında yaptığı çalışmada Keban metamorfitletlerinin Permo-Karbonifer yaşlı mermer, Permian yaşlı kalkşist ve Triyas yaşlı kalkfillitlerden oluştuğunu kabul ederek, mermerlerin doğudan batıya doğru itilerek hem kalkşistlere (Keban ilçesi yakını) bindirdiğini hem de çalışma alanının doğusunda, batıdan doğuya doğru bindirdiğini belirtmiştir.

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

Türkmen (1988), Elazığ ilinin yaklaşık 50 km doğusunda bulunan Palu-Çaybağı bölgesinin sedimentolojik özelliklerini incelemiş ve bu bölgede Yüksekova Karmaşığı (Elazığ magmatitleri) üzerine uyumsuz olarak gelen Kırkgeçit Formasyonu'nun, Lütesiyen-üst Eosen yaş aralığında oluştuğunu, genellikle kumtaşı, marn ve kireçtaşı ile karakterize edildiğini belirtmiştir.

Çetindağ (1989), "Elazığ Ören Çayı Havzasının Hidrojeoloji İncelemesi" başlıklı doktora tez çalışmasında yaklaşık 350 km²'lik bir alanın 1 / 25.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamış ve inceleme alanında bulunan kaynak, adi kuyu ve sondaj kuyularının beslenme, köken ve fiziko-kimyasal özelliklerini açıklamıştır.

Akgül (1993), Piran köyü (Keban) çevresindeki magmatik kayaların petrografik ve petrolojik özelliklerini incelemiş ve çalışma alanındaki en yaşlı birimin Keban metamorfite olduğunu, mermer ve kalkfillit formasyonlardan oluşan birimin Yüksekova Karmaşığı (Elazığ magmatitleri) ile oluşturduğu dokanağın bazı kesimlerde intrüzif bazı kesimlerde ise tektonik olduğunu belirtmiştir.

Aksoy vd. (1996), Elazığ Havzasının Tersiyer'deki evrimi incelemişler ve bu havzanın Tersiyer birimlerini alt Paleosen yaşlı karasal, üst Paleosen- alt Miyosen yaşlı denizel ve üst Miyosen- Kuvaterner yaşlı karasal çökellerin oluşturduğunu ifade etmişlerdir.

Üstündağ, (1996) , Elazığ- Baskil yolu kuzeyinde Ören Tepe yöresi ile Aksaray (Elazığ) mahallesinin güneyinde yer alan Rızvan Tepe ve Boz Tepe yörelerini içine alan iki sahada Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu'na ait kireçtaşlarını incelemiş ve birimin çökeliyi sırasında Ören Tepe ve Boz Tepe yörelerinde düşük enerjili ramp tipi göl ortamı şartlarının hüküm sürdüğünü açıklamıştır.

Kalender (2000), "Keban (Elazığ) Doğu Fırat Keban Dere Civarı Bakır Oluşuklarının Jeolojisi, Kökeni ve Ekonomik Önemi" başlıklı doktora tez çalışmasında Keban metamorfiteğini, makroskopik ve mikroskopik özelliklerine göre rekristalize kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, kalkşist, serizit klorit şist, lamine kireçtaşı, meta türbiditler şeklinde altı ayrı birim halinde incelemiştir.

Kaya (2001), "Keban (Elazığ) civarındaki metamorfiteğin yapısal analizi ve tektonik evrimi" başlıklı doktora tezinde Permo-Triyas yaşlı Keban metamorfiteğini formasyon mertebesinde dört birime ayırarak incelemiştir. Araştırmacı stratigrafik olarak birbiriyle uyumlu olan bu formasyonları yaşlıdan gence doğru Erken Permiyen yaşlı Arapgir rekristalize kireçtaşları, Geç Permiyen yaşlı Nimri Formasyonu, Permo-Triyas yaşlı Keban mermeri ve Geç Triyas yaşlı Delimehmet formasyonu şeklinde sıralamıştır.

Yapıcı (2002), Kiğı barajı ve yakın çevresinin 1 / 25 000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamış ve bu alan içerisinde yüzeyleyen kayaç birimlerinin mühendislik özelliklerini ortaya çıkarmaya çalışmıştır.



2. JEOLJİ

Çalışma alanı içinde Paleozoyik'ten Senozoyik'e kadar uzanan yaş aralığında farklı özellikte üç birim haritalanmıştır (EK- Harita, Şekil 2.1).

Çalışmanın temel konusu Kolan sıcak ve mineralli sularının hidrojeokimyası olduğundan, inceleme alanındaki birimler önceki çalışmalarla, bu çalışmada elde edilen veriler doğrultusunda incelenmiştir.

2.1. Keban Metamorfikleri (Permo-Triyas, Km)

Genel olarak bölgede rekristalize kireçtaşları ile temsil edilen bu birim çalışma alanının en yaşlı kayaçlarını oluşturmaktadır. Birim ilk defa Özgül (1976) tarafından adlanmış ve Batı Toroslar'da görülen Alanya birliğine dahil edilmiştir.

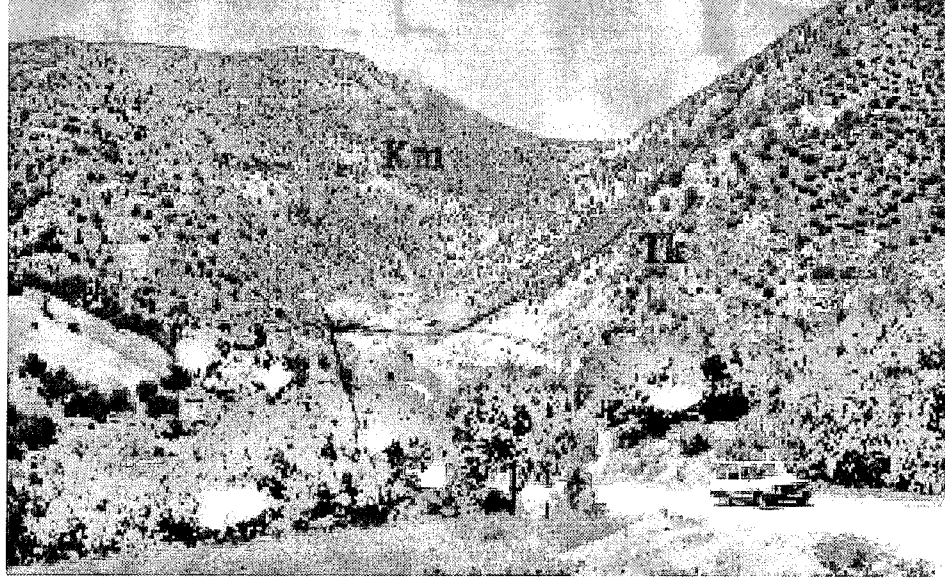
Birimi ilk defa Kipman (1976, 1981) yaşlandırmıştır. Araştırmacı Keban yöresinde bu birim içerisinde Glomospira ve Ammodiscus fosillerini bularak rekristalize kireçtaşlarının yaşını Permiyen, metamorfizmanın yaşının ise Jura-alt Kretase olduğunu öne sürmüştür.

Turan (1984)'e göre bu kayaçlar düşük derecede (üst yeşil şist fasiyesi) bölgesel metamorfizma geçirmiştir. Kayaçlar içerisinde görülen kloritçe zengin seviyeler, metamorfizma derecesinin düşük olduğunu ve yeşil şist fasiyesinden ileri gitmediğini göstermektedir.

Kaya (2001), çalışmasında Keban metamorfik kayaçlarını formasyon mertebesinde dört birime ayırarak incelemiştir. Araştırmacının Keban mermeri olarak ayırdığı birim, çalışma alanımızdaki Keban rekristalize kireçtaşlarıyla aynı litolojik özellikleri taşımaktadır. Araştırmacı Keban mermerlerini Permo- Triyas olarak yaşlandırmıştır.

Keban metamorfiklerinin bölgede en geniş yayılımı Hamam Dağı ve çevresi ile Dedebağ Köyü'nün güneyinde Peri suyunun sağ sahilinde görülmektedir (Şekil 2.2). Keban rekristalize kireçtaşları koyu sarı, açık kahverengi, grimsi renklerde gözlenmektedir. Taze kırık yüzeyleri ise beyaz renktedir. Çoğunlukla kaba, masif görünüşlü olan bu birim orta-kalın tabakalanma göstermekte olup, oldukça kırıklı ve çatlaklıdır.

İnceleme alanında Keban rekristalize kireçtaşlarında yüzeyde pek fazla karstlaşma görülmemektedir. Ancak MTA'nın açtığı sıcak su sondaj kuyusunda Keban metamorfiklerine ait rekristalize kireçtaşları içerisinde karstik boşluklara rastlandığı belirtilmektedir. Keban metamorfiklerine ait rekristalize kireçtaşlarında karstlaşma kırık ve faylarla denetlenmekte, yüzeyden derinlere doğru gidildikçe artmaktadır. Keban rekristalize kireçtaşlarında oluşan çatlak ve karstik boşluklar çoğunlukla kalsit kristallerince doldurulmuştur.



Şekil 2.2. Keban metamorfitlelerinin (Km) inceleme alanındaki dağılımı. Hamam Dağı'nın B yamaçları. Tk: Kırkgeçit Formasyonu. Bakış yönü K'e doğru.

Çetindağ (1989)'ın Ören Çayı Havzası'nda yüzeyleyen Keban rekristalize kireçtaşlarından derlediği numunelerin % ağırlık olarak kimyasal bileşim değerleri % 30,56 – 31,40 CaO ; % 13,62 – 14,55 MgO ; % 9,70 – 12,40 SiO₂ ;% 1,05 – 1,10 Fe₂O₃ ve ateşte kayıp (CO₂) % 40,63 – 43,89 şeklindedir.

Rekristalize kireçtaşlarına ait ince kesitlerin mikroskop incelemeleri sonucunda kayacın tamamen kalsit kristallerinden oluştuğu ve kırmızı renkli Fe₂O₃ çökelimlerinin ince çatlakları doldurduğu tespit edilmiştir.

Genel olarak orta-kalın tabakalanma göstermekte olup, yer yer içlerinde bantlar ve mercerler halinde dolomitleşme gözlenmektedir. Keban metamorfitlelerinin yaş tayininde inceleme alanı içerisinde yapılan araştırmalarda birime yaş verebilecek herhangi bir fosile rastlanmamıştır. Bu nedenle daha önce yapılan çalışmalarda verilen Permo-Triyas yaşı bu çalışmada da kabul edilmiştir.

2.2. Kırkgeçit Formasyonu (Lütesiyen- üst Oligosen, Tk)

Birim ilk defa Van'ın güneydoğusundaki Kırkgeçit bucağı civarında yapılan çalışmada Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı jeologları tarafından Kırkgeçit Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Perinçek, 1979b). Daha sonra Elazığ ve yakın çevresinde çalışan birçok araştırmacı da aynı ismi benimsemiş ve kullanmıştır (Naz (1979), Perinçek (1979 a), Bingöl (1982, 1984), Avşar (1983), Asutay (1985), Çetindağ (1985), Özkul (1993a), Özkul ve Kerey (1996), Akkoca (2001), Türkmen ve Ertürk (2002)). Formasyon bu çalışmada da aynı adla kullanılmıştır.

Aksoy (1993), Elazığ'ın batı ve güneyinde yaptığı çalışmada, klasik türbiditler ve bunlarla birlikte bulunan kanal dolgusu fasiyesinde gelişmiş çakıltaşlarından oluşan Kırkgeçit Formasyonunu orta Eosen-üst Oligosen yaşlı ve formasyonun oluşumunu izleyen dönemdeki tektonik hareketlere bağlı olarak üzerinde çöktüğü Yüksekova Karmaşığı (Elazığ magmatitleri) ile birlikte güneye sürüklendiğinden , yarı otokton konumlu olduğunu belirtmiştir.

Kırkgeçit Formasyonu çalışma alanı içinde çakıltaşı, kumtaşı, marn ve kireçtaşı aradalanması ile temsil edilmektedir. Kortan Mahallesi'nin güneydoğusundaki kuru dere içerisinde Kırkgeçit Formasyonu'nun çakıltaşları yüzeylenmektedir (Şekil 2.3). Çakıltaşının çakılları iyi yuvarlaklaşmış, 5 mm.'den 60- 70 cm.'ye kadar değişen boyutlarda olup boylanma oldukça kötü olup, çakıllarını çoğunlukla Keban metamorfite ve Elazığ magmatitlerinin kırıntıları oluşturmaktadır. Çimento malzemesi ince kum ve çakıldan oluşmuş ve iyi çimentolanmıştır. Çakıltaşı seviyesinin görünen kalınlığı yaklaşık 8- 9 m.'dir.

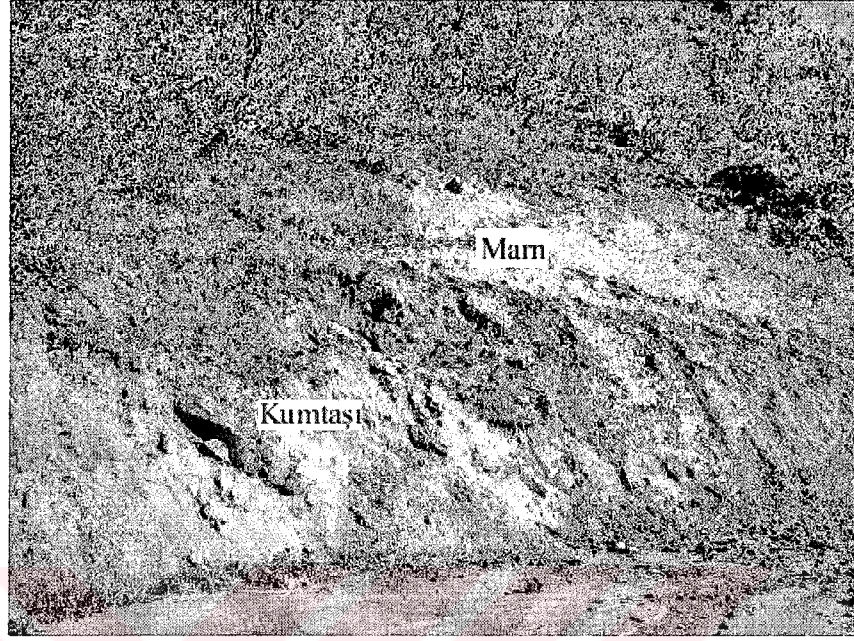


Şekil 2.3. Kortan Mahallesi'nin yaklaşık 500 m. GD'sunda vadi içerisinde yüzeylenen Kırkgeçit Formasyonu'nun çakıltaşları. Bakış GD'ya doğru.

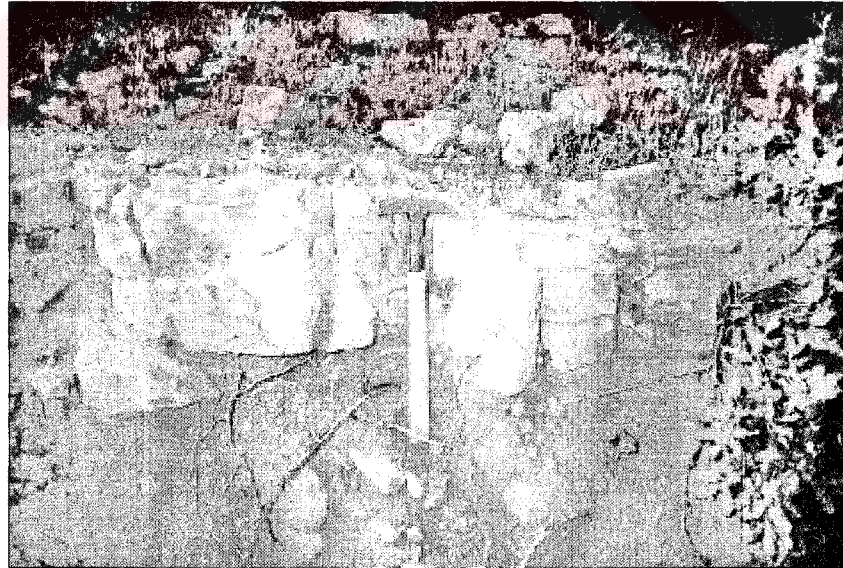
Marnlarla aratabakalı olan kumtaşları bazı yerlerde marnlar içerisinde mercerler şeklinde de bulunmaktadır (Şekil 2.4). İncebelek Tepe ile Çevrik Tepe arasında, yol yarmasında yüzeylemeleri görülen kumtaşları gri renkli, iyi çimentolu olup; tabaka kalınlıkları 30 cm. kadardır (Şekil 2.5).

Oldukça geniş bir alanda gözlenen marnlar özellikle yol yarmaları boyunca net bir şekilde görülmektedir. Açık sarı, yer yer grimsi, yeşilimsi renklere gözlenen marnlar yaklaşık

50-60 m. kalınlığında yüzeylenmektedir. Yağışlı dönemlerde marnlar içerisinde küçük ölçekte heyelanlar gelişmekte ve Kolan kaplıcasına ulaşımı engellemektedir.

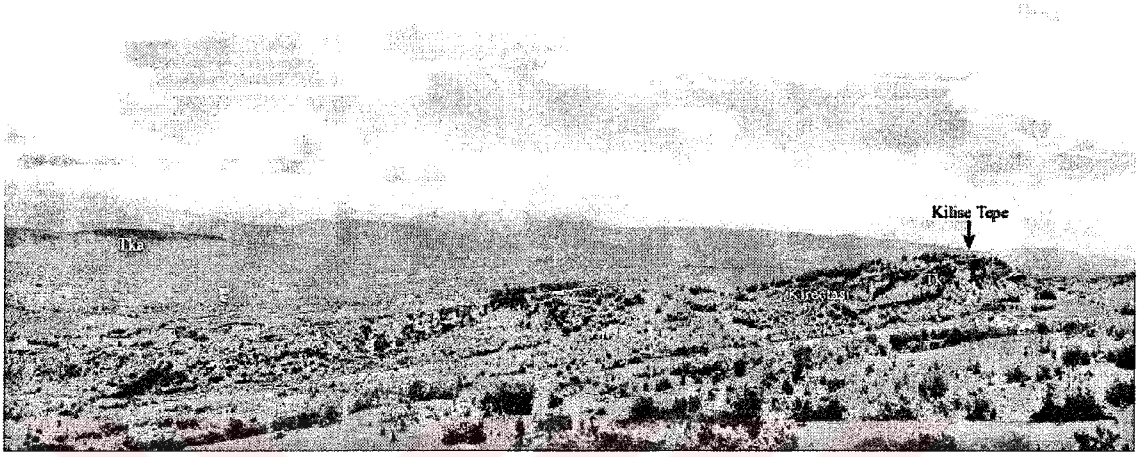


Şekil 2.4. Kırkgeçit Formasyonu'nun kumtaşı- marn ardalanması. MTA sıcak su sondajının yaklaşık 100 m. G'inde yol yarması. Bakış yönü G'e doğru.

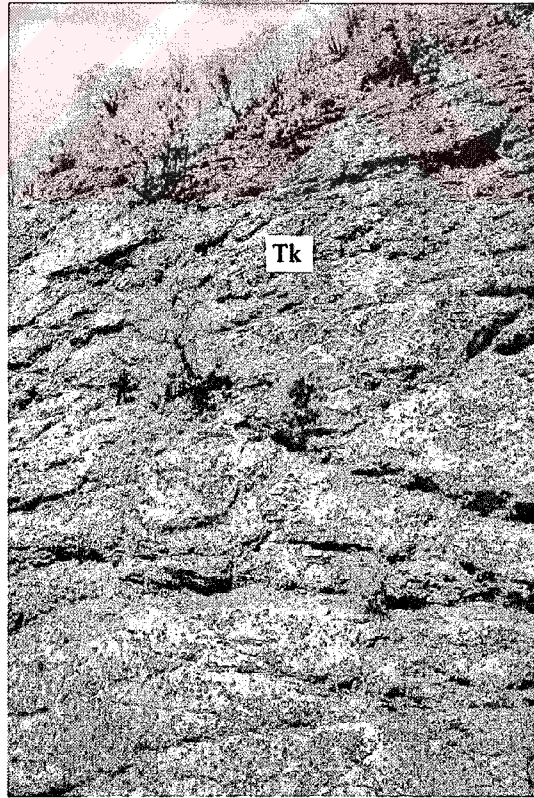


Şekil 2.5. Yaşaroğlu Köyü'nün 750 m. KD'sunda, İncebelek Tepe ile Çevrik Tepe arasındaki yol yarmasında görülen Kırkgeçit Formasyonu'nun kumtaşı tabakaları. Bakış yönü K'e doğru.

Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları marnların üzerinde bulunmaktadır. Çalışma alanı içerisinde Bütünlü Mahallesi, Körtemişeyh Dere içinde, Çevrik Tepe ve İncebelek Tepe'de ayrıca çalışma sahası dışında kalan Doğucak köyü kuzeyinde Kilise Tepe'de yaygın olarak yüzeylenmektedir (Şekil 2.6). Körtemişeyh Dere'den geçen normal bir fayla Kırkgeçit'in kireçtaşları ile marnları karşı karşıya gelmiştir (Şekil 2.7).

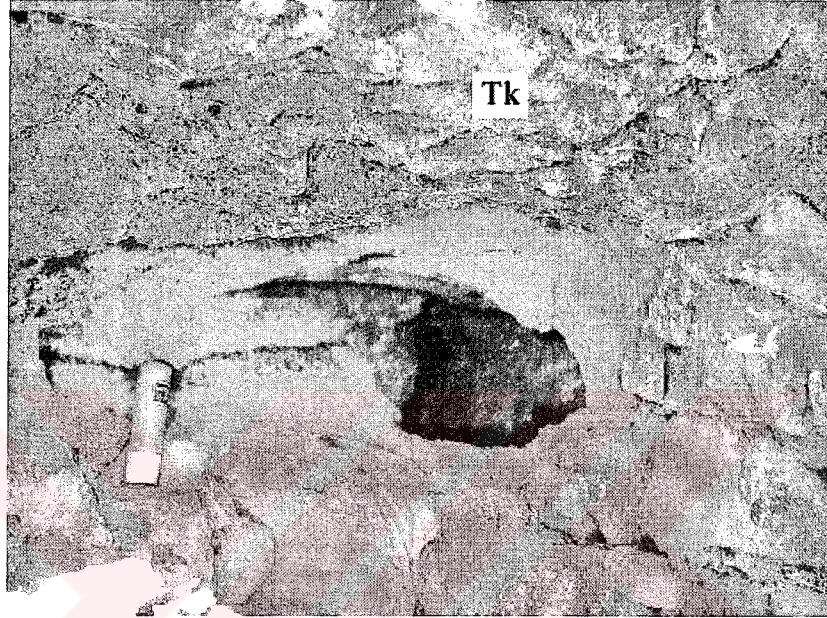


Şekil 2.6. Kırkgeçit Formasyonu (Tk)'na ait kireçtaşları (Kilise Tepe). Kuşaklı Köyü'nün 1,5 km. KB'sı. Tka: Karabakır Formasyonu. Bakış G'e doğru.

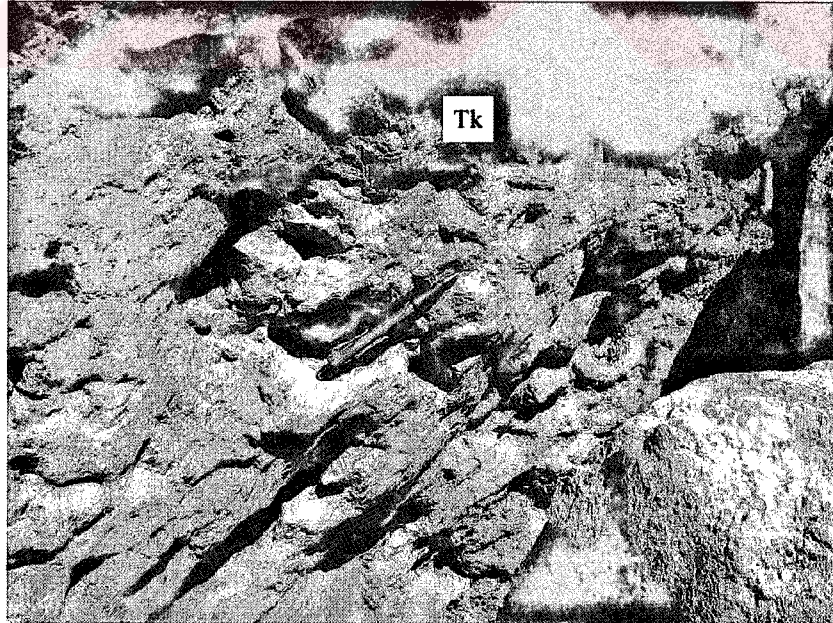


Şekil 2.7. Körtemişeyh Dere içinden geçen normal fayın aynası. Tk: Kırkgeçit Formasyonu. Bakış KB'ya doğru.

Derenin kuzey yamacında kireçtaşları güney yamacında ise marnlar bulunmaktadır. Kireçtaşları sarımsı, kirli beyaz renkte ve orta kalın tabakalanmalıdır. Kireçtaşları içerisinde oldukça fazla, genişlikleri 3 cm. ile 3,5 cm. arasında değişen karstik boşluklara rastlanmıştır. Kimi yerlerde yoğun karstlaşmadan dolayı kireçtaşları içerisinde karstik mağaralar gelişmiştir (Şekil 2.8).



(a)



(b)

Şekil 2.8 a ve b. Körtemişeyh Dere içinde Kırkgeçit Formasyonu (Tk)'nun kireçtaşlarında gelişen karstik boşluklar. Bakış K'e doğru.

Kireçtaşları bol fosil içermektedir. Diktepe ve Çevrik Tepe mevkilerinde de yüzeylenen Kırkgeçit Formasyonu'na ait kireçtaşları oldukça beyaz renkte, tabakalı ve bol miktarda Nummulites, Alg ve mercan fosillerini içermektedir.

Formasyon, Hamam Dağı'nın güney ve güneybatı kesimlerinde Keban metamorfileri ile tektonik dokanaklıdır (Şekil 2.9). Formasyondan derlenen numunelerde M. Kaya tarafından tayin edilen,

Assilina sp.

Nummulites sp.

Lepidocyclina sp.

Heterostegina sp.

Discocyclina sp.

Globigerina sp.

Textularia sp.

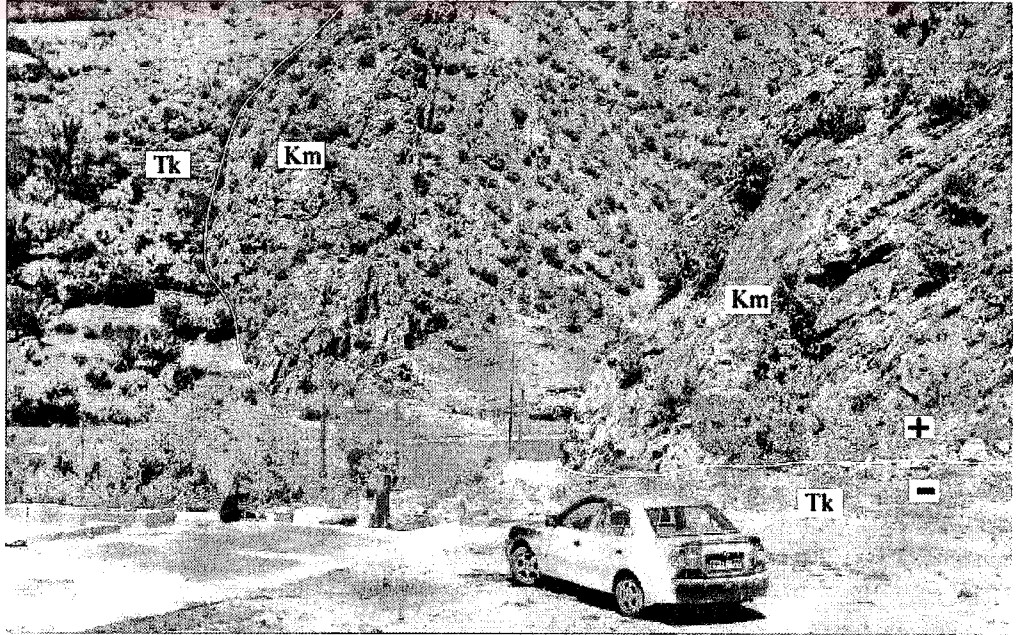
Asterigerina sp.

Miogypsina sp.

Alg

Mercan

fosillerine göre birim Lütesiyen- üst Oligosen olarak yaşlandırılmıştır.



Şekil 2.9. Kırkgeçit Formasyonunu (Tk) ile Keban metamorfileri (Km) arasındaki normal fay. Hamam Dağı'nın G yamaçları. Bakış yönü KB'ya doğru.

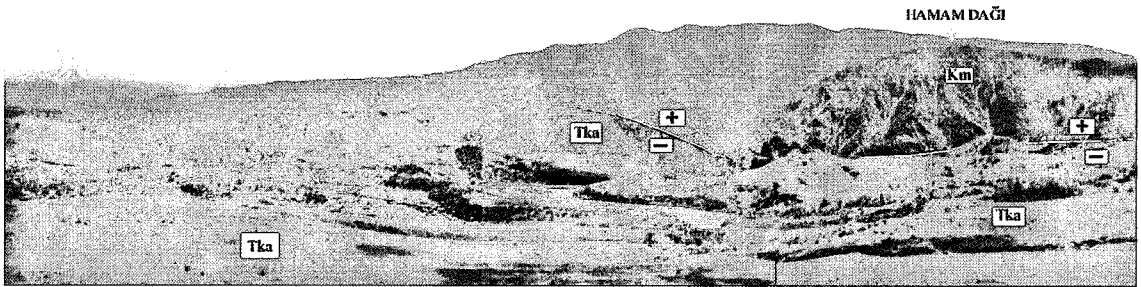
2.3. Karabakır Formasyonu (üst Miyosen- Pliyosen, Tka)

İlk defa Naz (1979) tarafından Karabakır köyü (Pertek-Tunceli) yakınlarında tanımlanmıştır. Daha sonraki yıllarda Tunceli- Elazığ çevresinde yapılan pek çok çalışmada da formasyon aynı adla incelenmiştir (Perinçek, 1979a, 1979b; Bingöl, 1982; Çetindağ, 1985; Sungurlu ve diğ., 1985; Turan ve Bingöl, 1991; Aksoy, 1993; İnceöz, 1994). Bu çalışmada da formasyon aynı adla benimsenip kullanılmıştır.

İnceöz (1994), Harput (Elazığ) yakın kuzeyi ve doğusunda yapmış olduğu incelemelerde Karabakır Formasyonu'nu çakıltası üyesi ve bazalt üyesi olmak üzere ikiye ayırmış, çakıltası üyesinin gölgesel ortamda çökeldiğini; bazalt üyesinin ise tamamen kıta içi volkanizma ürünleri olduğunu belirlemiştir.

Kaya (2001), Keban (Elazığ) çevresinde yaptığı çalışmasında Karabakır Formasyonu'na ait aglomera- tül, çakıltası ve gölgesel kireçtaşlarını alttan üste doğru; Bayındır tül üyesi, Denizli çakıltası üyesi ve Kaşdüzü gölgesel kireçtaşı üyesi olmak üzere üç üyeye ayırıp incelemiştir.

İnceleme alanında Karabakır Formasyonu kendisinden daha yaşlı olan Keban metamorfileri ile Kırkgeçit Formasyonu üzerine uyumsuz gelmektedir. Keban metamorfileri ile arasındaki sınır tektonik dokanaklıdır (Şekil 2.10). Yoğun olarak harita alanının kuzey ve güneydoğu kesimlerinde yüzeylenmekte olup, örtü şeklinde Kırkgeçit Formasyonu üzerinde yer almaktadır.



Şekil 2.10. Karabakır Formasyonu (Tka) ile Keban metamorfileri (Km) arasındaki normal fay. Hamam Dağı'nın K yamaçları. Bakış, GD'ya doğru.

Yoğunağaç, Dedebağ köyleri Kortan, Mustafa, Yumrukaya mahalleleri, Berber Tepe ve Seyran Tepe yörelerinde izlenen Karabakır Formasyonu, çalışma alanının dışında da geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Formasyon inceleme alanı ve çevresinde çakıltaları, kumtaşları, kireçtaşları, tül, tüfit, aglomera, bazalt ve andezitlerle temsil edilmektedir.

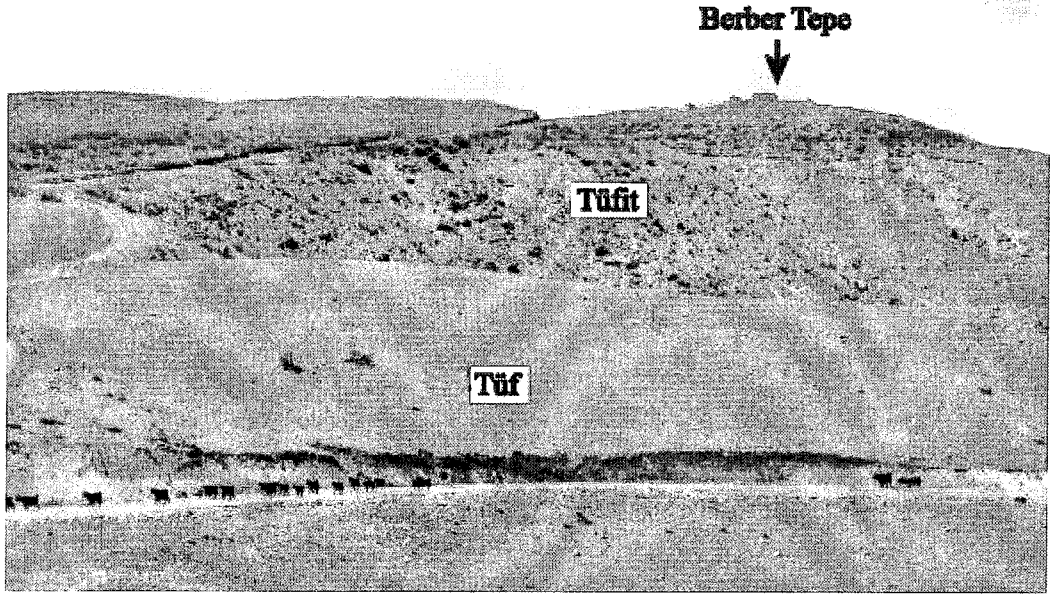
Yoğunağaç köyünün yaklaşık 1,5 km. güneydoğusunda yol yarmasında Karabakır Formasyonu'nun çakıltaşları yüzeyleme vermektedir (Şekil 2.11). Çakıltaşını oluşturan çakıl boyutu 1- 30 cm. arasında değişmekte olup, iyi yuvarlaklaşmış ve kötü boylanmalıdır. Çakıllar çimentosuz, tane destekli ve çoğu Kırkgeçit Formasyonu'na, çok azı ise Elazığ magmatitlerine aittir.



Şekil 2.11. Karabakır Formasyonu'nun çakıltaşları. Ortakom'un 1 km. G'deki yol yarması. Bakış GB'ya doğrudur.

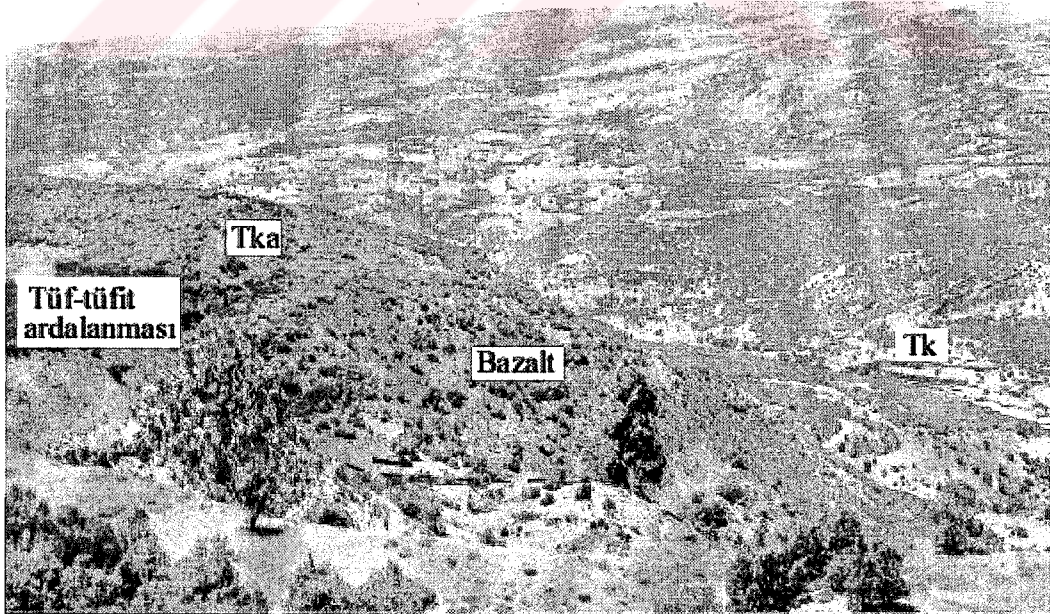
Körtemişeyh Dere'nin üst kotlarında çakılları genellikle köşeli, 0,5 ile 50 cm. çapında, boylanması oldukça düzensiz, gevşek çimentolu, bağlayıcı malzemesi kum olan piroklastik malzemeye rastlanılmıştır. Aynı özellikteki piroklastik malzeme dere içinde de mevcut olup, olasılıkla üst kotlardan taşınarak gelmiştir. Körtemişeyh Dere'nin doğusundaki bölgede yol yarmaları boyunca Karabakır Formasyonu'nun kumtaşları ile yaygın olarak örtü şeklinde tüfleri bulunmaktadır. Burada bulunan Karabakır Formasyonu'nun kumtaşları oldukça gevşek çimentolu olup tabakalanma gözlenmemektedir. Tüfler ise açık gri, beyaz renkte olup, içerisinde oldukça ince taneli volkanik kayaç parçaları bulunmaktadır ve genel olarak topoğrafyayı örter şekildedir. Tüflerin mikroskopik incelemeleri sonucunda bunların yoğun olarak iri ve ince plajiyoklas kristalleri içerdikleri, plajiyoklasların bir kısmının zonlu yapı gösterdiği belirlenmiştir. İncelenen tüf örneklerinin çoğunda kristal oranı kayaç parçalarına oranla daha fazla olduğu için kristal tüf olarak adlandırılmıştır.

Berber Tepe'nin doğu ve güneydoğu yamaçları ile Düzlük mevkiinin doğusundaki sırtlarda belirgin tabakalanmalar gösteren tüfitler bulunmaktadır (Şekil 2.12). Bunlar beyaz-grimsi renkte olup, oldukça sert yapıdadır.



Şekil 2.12. Berber Tepe’de yüzeyleyen tüfit seviyeleri. Bakış yönü B’ya doğru.

Mustafa Mahallesi’nin yaklaşık 1 km. güneydoğusunda ardalanmalı olarak tüf- tüfit ve bazaltlar gözlenmektedir (Şekil 2.13). Bazaltların tahmini kalınlıkları 250- 300 m.; tüf- tüfit



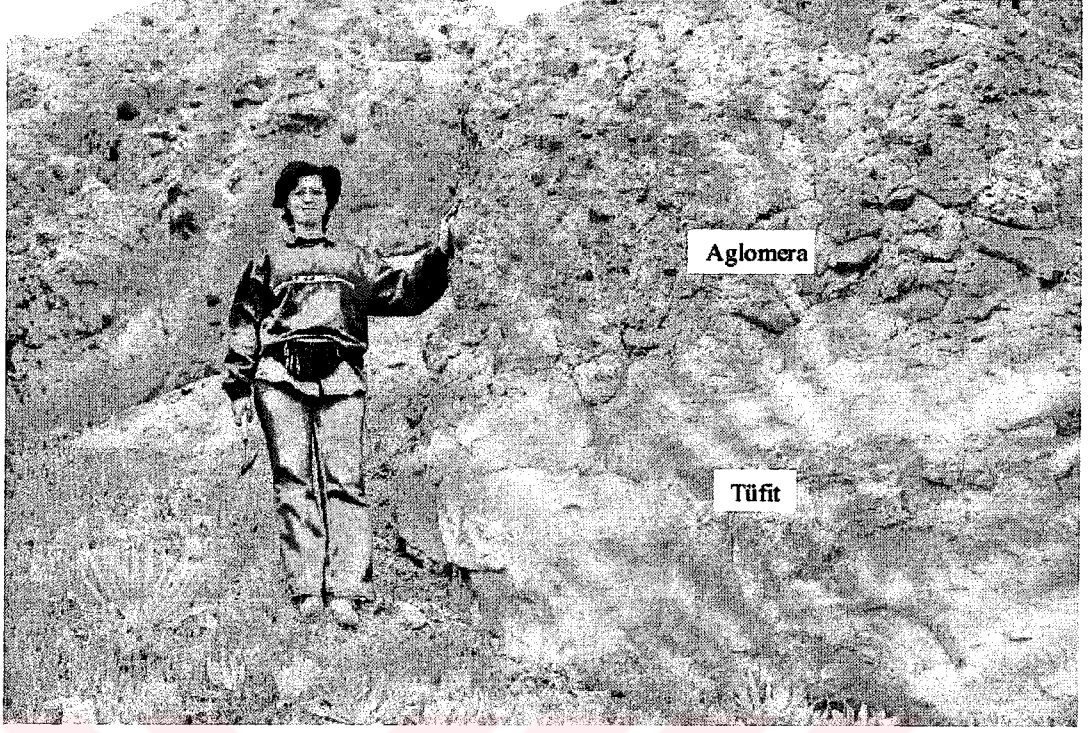
Şekil 2.13. Karabakır Formasyonu’nun (Tka) tüf- tüfit- bazalt ardalanması. Ortakom’un GB’sında. Bakış GB’ya doğru.

seviyelerinin ise ortalama kalınlıkları yaklaşık 60- 70 m. kadardır. Mustafa Mahallesi'nin yaklaşık 2 km. GD'sundaki bölgelerde Karabakır Formasyonu'nun gölsel kireçtaşları yüzeylenmektedir. Gölsele kireçtaşları kirli beyaz renkte olup, kırılma yüzeyleri midye kabuğu görünümündedir (Şekil 2.14). Seyran Tepe'nin üst kotlarında yüzeyleyen kireçtaşları ise oldukça serttir.

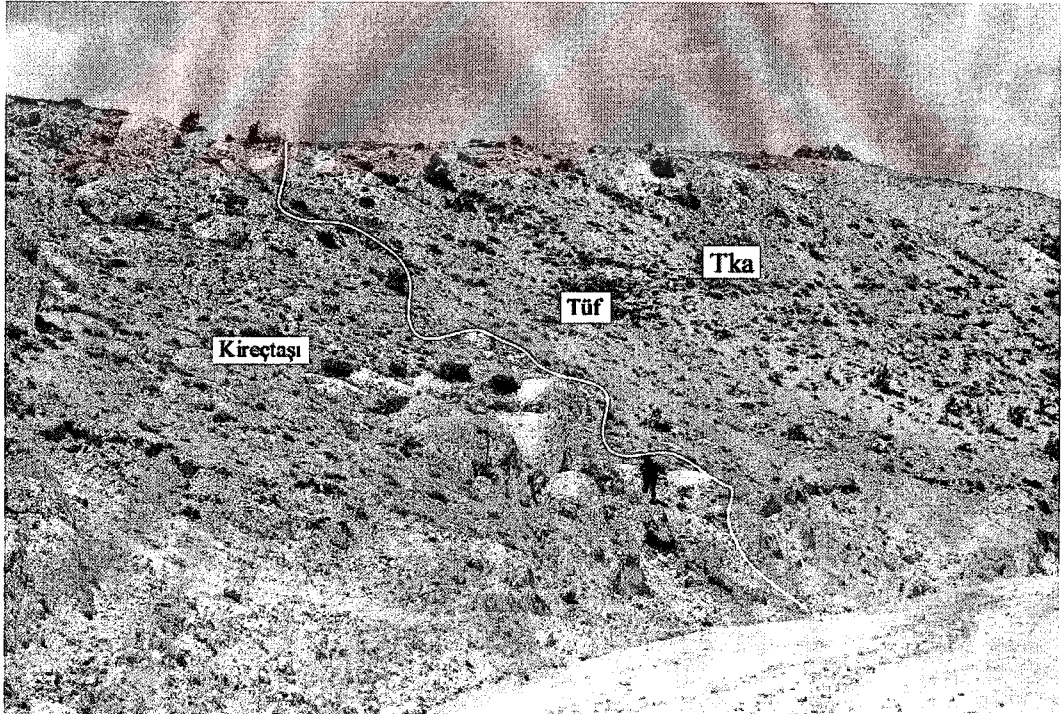


Şekil 2.14. Karabakır Formasyonu'nun kireçtaşları. Mustafa Mahallesi 2 km. GD'sunda. Bakış GD'ya doğru.

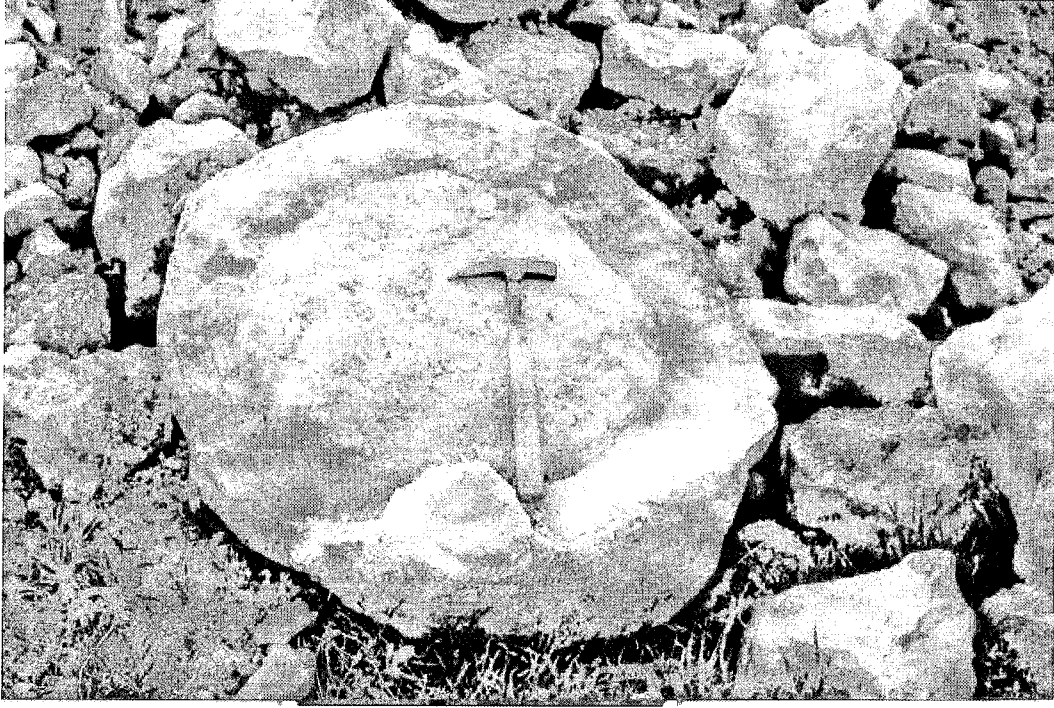
Harita alanının dışında Subaşı Mahallesi batısında Geçitveren civarında Karabakır Formasyonu'nun aglomeraları tüfitler üzerinde bulunmaktadır (Şekil 2.15). Aglomerayı oluşturan elemanların tane boyları 1 cm. ile 50 cm. aralığında değişmektedir. Oldukça sıkı çimentolu olup, taneler iyi yuvarlaklaşmıştır. Harita alanının dışında, Yaşaroğlu Köyü'nün güneybatısında Beyaztaş Tepe'de Karabakır Formasyonu'nun tüfitleri ile gölsele kireçtaşları arasında yanıl geçiş gözlenmiştir (Şekil 2.16). Kireçtaşları içerisinde dissemine şekilde dağılmış manganez yumruları bulunmakta olup içlerinde konkresyon yapıları gelişmiştir (Şekil 2.17). Masif görünümlü ve yatay tabakalı bir konuma sahip olan kireçtaşları kirli beyaz renktedir ve karstlaşma çok az gelişmiştir. Oldukça sert ve kırılğan olup görünür kalınlıkları yaklaşık 20 m. civarındadır. Beyaztaş Tepe'nin yaklaşık 300 m. kuzeyindeki kuru dere yatağı içerisinde Karabakır Formasyonu'nun koyu gri renkte gevşek çimentolu ve tabakalı kumtaşları yüzeylenmektedir.



Şekil 2.15. Subaşı Mahallesi'nin 2,5 km. KB'sında Karabakır Formasyonu'nun tüfitleri üzerinde görülen aglomeralar. Bakış yönü K'e doğru.



Şekil 2.16. Karabakır Formasyonunun (Tka) kireçtaşları ile tüfleri arasındaki yanıl geçiş. Yaşaroğlu Köyü'nün 1 km. GB'sı. Bakış KB'ya doğru.



Şekil 2.17. Kireçtaşı içerisinde gelişen konkresyon yapı. Beyaztaş Tepe'nin 350 m. K'i.

Karabakır Formasyonu'nun yaşı, çalışma alanından stratigrafik istife ve daha önce yapılan çalışmalara (Sirel vd., 1975; Naz, 1979; Perinçek, 1979b; Sungurlu vd., 1985; Çetindağ, 1985; Turan ve Bingöl, 1991) bağlı olarak üst Miyosen-Pliyosen kabul edilmiştir.

2. 4. Alüvyon (Kuvaterner, Qal)

Alüvyonu Peri suyu yatağında biriken sıkılaşmamış çakıl, kum, silt vb. oluşturur. Bunlar bu bölgede bulunan kayalardan türemektedir.

2. 5. Traverten ve Kaynak Tüfleri

Sıcak ve mineralli kaynaklar CaCO_3 'e aşırı doygunudur yani karbonat çökelten özelliktedir. Bu nedenle kaynaklar çevresinde oldukça kalın kaynak tuf ve travertenler şeklinde CaCO_3 çökeltisi meydana gelmiştir (Şekil 2.18, 2.19). İnceleme alanı içerisinde travertenlerin kalınlıkları yaklaşık 2- 3 m., genişlikleri ise 40- 50 m. arasındadır. Travertenler sarı, kahverengi, kırmızı ve açık yeşil renkte, gözenekli ve hafiftir. Gözenek boyutları oldukça değişkendir. Kaynak tüfleri ise elde ufalanabilecek kadar gevşek bir yapıdadır.

Çalışılan alanda travertenler, 1/25 000 ölçekli harita üzerinde gösterilemeyecek kadar dar bir alanda yüzeylediklerinden haritalanmamışlardır.



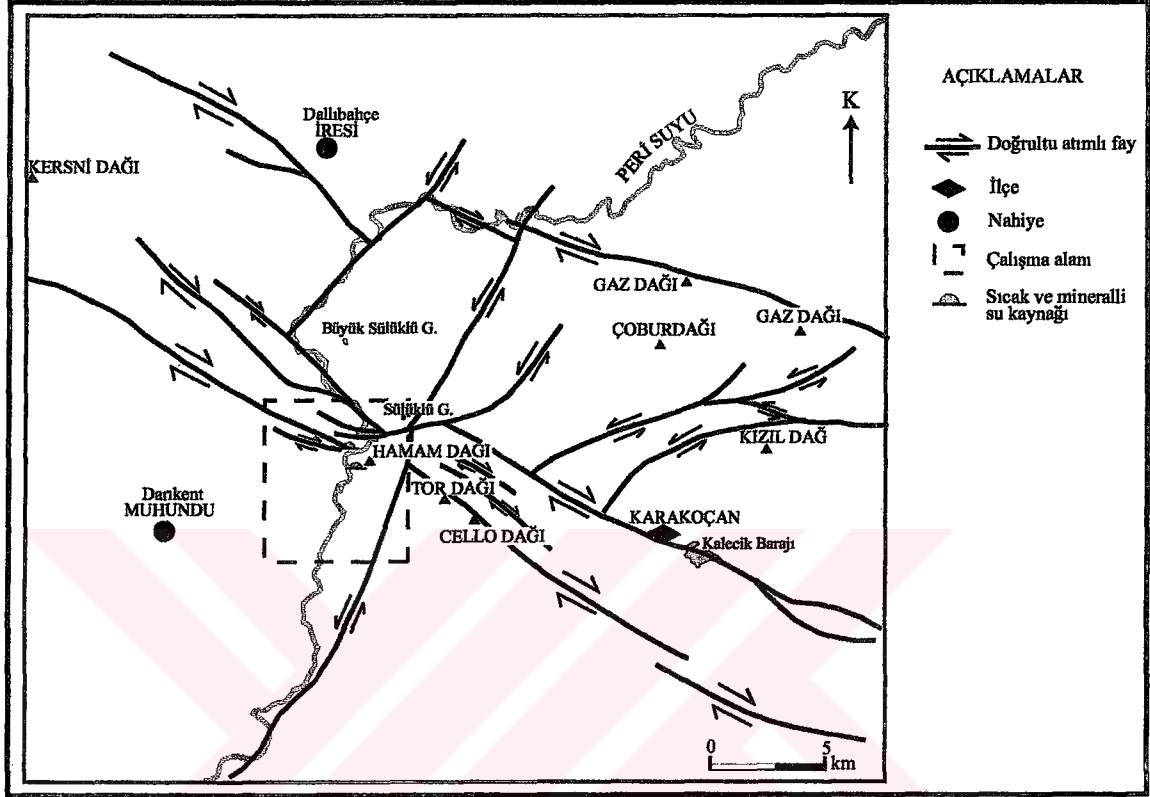
Şekil 2.18. Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (1 nolu kaynak) çevresinde oluşan travertenler. Bakış KD'ya doğru.



Şekil 2.19. Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı civarında oluşmuş travertenler ve Peri suyu vadisi boyunca kırık ve çatlaklarda oluşan sarkıtlar. Bakış yönü G'e doğru.

3. YAPISAL JEOLJİ

İnceleme alanı oldukça yoğun bir tektonik faaliyet geçirmiştir. Bu yoğun tektonizma, çalışma alanını da kapsayan 1/100 000 ölçekli kırık haritası üzerinde görülmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Bölgenin, inceleme alanını da içine alan 1/ 100 000 ölçekli tektonik haritası.

Harita üzerinde biri sağ yanal atımlı diğeri ise sol yanal atımlı iki kırık zonu görülmektedir. Sağ yanal atımlı zonu Karakoçan fay zonu olup, sol yanal atımlı fay zonunun ise Bardaklı fay zonu olduğu düşünülmektedir. Bu iki zon içerisinde gelişmiş olan faylar Keban metamorfitlerinin Kırkgeçit ve Karabakır formasyonları ile dokanağını oluşturmaktadırlar. Ayrıca Karakoçan fay zonunun ana kırığı çalışma alanı içerisinde geçmektedir (Şekil 3.1).

Karakoçan fay zonu 50 km. uzunlukta, kuzeybatı gidişli, sağ yanal doğru atımlı levha içi yeni ve aktif bir oluşumdur. Güneydoğuda Altınoluk köyünün 3 km. kadar doğusundan başlayıp kuzeybatıya doğru Karakoçan ilçesi, Hamam Dağı ve Sütkoç köyü boyunca geçerek kuzeybatıda Tunceli iline kadar izlenir. Karakoçan fay zonu, uzunlukları 0,5 km. ile 17 km. arasında değişen, yer yer sık aralıklı (100 m) çok sayıda faylardan oluşur (Koçyiğit, 2003). Karakoçan fay zonu içinde ve denetiminde gelişmiş ve gelişimini günümüzde de sürdüren en önemli yapı, üzerinde Karakoçan ilçesi ve çok sayıda belde ve köyün de yer aldığı Karakoçan çek- ayır havzasıdır (Koçyiğit, 2003).

Kuzeybatı gidişli Karakoçan fay zonu, yaklaşık kuzey- kuzeydoğu gidişli Bardaklı fay zonu ile kesişerek eşlenik bir geometri oluşturur. İki fay zonunun kesişmesi ile oluşan bölgede Kolan, Bağın sıcak su kaynakları meydana gelmiştir (Koçyiğit, 2003).

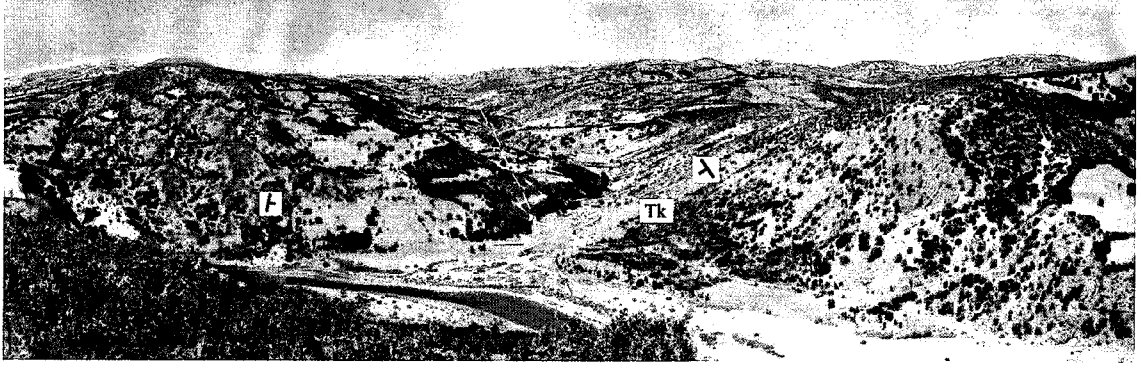
Eski sıcak su çıkışları boyunca oluşan travertenlerde Karakoçan fay zonu boyunca yarık ve çatlaklar oluşmuştur. Bunların oluşumu bölgedeki etkin tektonizma ile ilgili olduğu gibi fay zonu üzerinde akan Peri suyunun travertenlerin alt bölümlerini oyması ve bu travertenlerin yerçekimine yenilerek fay ve eski çıkışlar boyunca kırılmaları sonucudur (Şekil 3.2). Bu açılma çatlığının doğrultusu $K 10^{\circ} D$ olarak ölçülmüş olup, kimi yerlerde çatlak açıklığı yaklaşık 6,5- 7 cm.'ye erişmektedir.



Şekil 3.2. Travertenler üzerinde gelişen açılma çatlığı. Bakış GB'ya doğru.

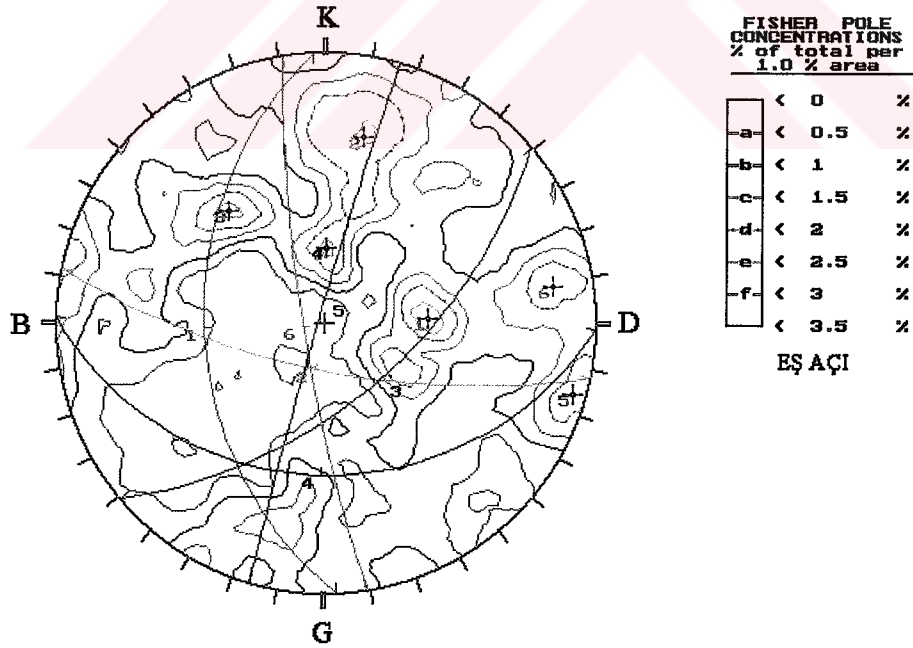
İnceleme alanında Karakoçan fay zonunun eşleniği olan yaklaşık KKD- GGB gidişli çok sayıda fay oluşmuştur. Bu faylar Koçyiğit (2003)'in belirttiği Bardaklı fay zonuna ait bileşenler olmalıdır. Çalışma alanı içerisinde bulunan fayların önemli bir kısmının normal bileşenleri de vardır.

Bölgedeki bu yoğun tektonizmaya bağlı olarak çalışma alanının içinde ve dışında çok sayıda kıvrımlanmalar gelişmiştir. Bu kıvrımlanmalar yoğun olarak Kırkgeçit Formasyonu'nda gözlenmiştir. Kırkgeçit Formasyonu'nun kireçtaşlarında gelişen asimetrik senklinal yapı arazide çok net gözlenmektedir (Şekil 3.3).

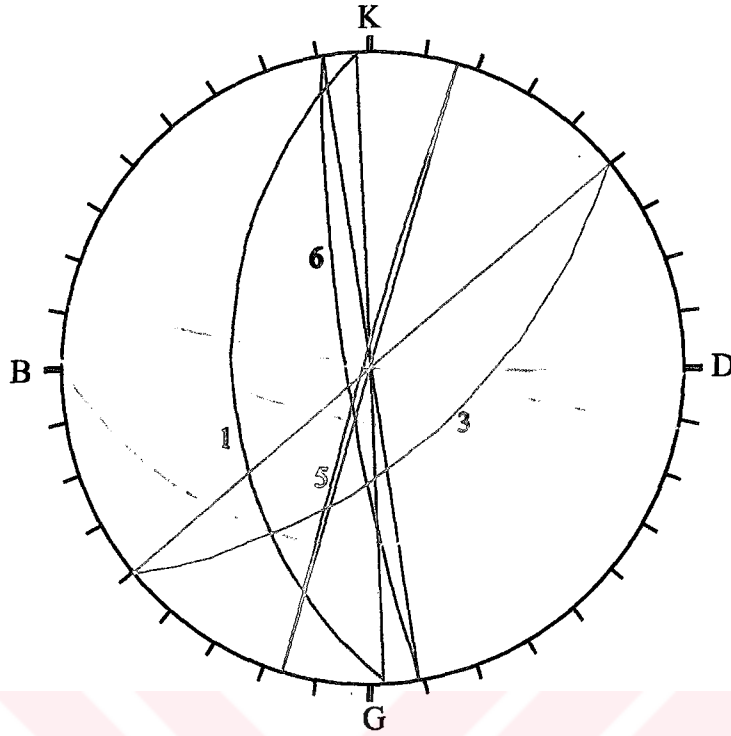


Şekil 3.3. Büttünlü Mahallesi'nin içinde bulunduğu vadide, Kırkgeçit Formasyonu'na (Tk) ait kireçtaşları içerisinde gelişen asimetrik senklinal. Bakış B'ya doğru.

Sıcak ve mineralli suların akifer formasyonu olan Keban metamorfitlelerine ait rekristalize kireçtaşlarının içerdiği çatlaklardan alınan yönelim ölçüleri stereografik projeksiyon tekniğiyle DIPS (Diedrich ve Hoek, 1989) isimli bilgisayar programı ile değerlendirilmiş ve bu kayaçların 6 eklem seti içerdiği belirlenmiştir (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5). Bu durum da Keban metamorfitlelerinin çok yoğun bir tektonizmaya uğradığını göstermektedir.



Şekil 3.4. Keban metamorfitlelerine ait rekristalize kireçtaşlarında ölçülen 521 adet eklem yönelimine ait kontur diyagramı.



Ana düzlemlerin doğrultu ve eğimleri

- 1 $K3^{\circ}B/42^{\circ}GB$ (Eklem seti 1)
- 2 $K77^{\circ}B/70^{\circ}GB$ (Eklem seti 2)
- 3 $K49^{\circ}D/58^{\circ}GD$ (Eklem seti 3)
- 4 $K89^{\circ}B/31^{\circ}GB$ (Eklem seti 4)
- 5 $K18^{\circ}D/88^{\circ}KB$ (Eklem seti 5)
- 6 $K9^{\circ}B/81^{\circ}GB$ (Eklem seti 6)

Şekil 3.5. Keban metamorfilerine ait rekristalize kireçtaşlarında belirlenen başlıca eklem setlerinin büyük daireleri.

Keban rekristalize kireçtaşlarında bölgedeki yoğun tektonizmaya bağlı olarak farklı doğrultularda çatlaklar ve kırıklar gelişmiştir. Kaya (2001), Keban (Elazığ) civarında yaptığı çalışmada Keban metamorfilerinin Alpin orojenezine bağlı olarak en az üç evreli bir kıvrımlanma geçirdiklerini, bu deformasyon fazlarının doğrultularının yaşlıdan gence doğru sırası ile yaklaşık olarak D- B, K- G ve KD- GB olduğunu belirtmiştir. Keban metamorfiteindeki bu durum bölgede de gözlenmektedir.

4. HİDROJEOLOJİ

4. 1. Akifer Formasyonlar

İnceleme alanında yeraltı suyu taşıyan birimler Keban metamorfitleleri, Kırkgeçit ve Karabakır formasyonlarıdır.

Keban metamorfitlelerine ait rekristalize 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 kayalarda geçirimsizlik ve ikincil porozite oldukça yüksek olup, su depolayabilmektedirler (Çetindağ, 1989). İncelenen sıcak ve mineralli suların akifer formasyonu Keban metamorfitlelerinin rekristalize kireçtaşlarıdır.

Kırkgeçit Formasyonu'nun tavan birimlerini oluşturan kireçtaşları, çatlaklı ve karstik boşluklu olmaları nedeniyle su depolamaktadırlar (Çetindağ, 1985). İnceleme alanında özellikle Nisan ve Mayıs aylarında yoğun çatlaklı ve karstik boşluklu kireçtaşları ile bunların altında yüzeyleyen marnların dokanaklarından oldukça düşük debili geçici kaynaklar oluşmakta ve bu kaynaklar yaz aylarında kurumaktadır. Formasyonun alt seviyelerindeki killi ve marnlı seviyeler sıcak su akiferlerinin örtü kayalarını oluşturmaktadır.

Karabakır Formasyonu'nun bazaltları ile gölsel kireçtaşları çatlaklı ve kırıklı olmaları nedeniyle bol su depolamaktadırlar (Çetindağ, 1985). Çalışma alanı içerisinde, akifer tabakası Karabakır Formasyonu'nun bazaltları ve gölsel kireçtaşları olan soğuk su kaynakları (Güzelbaba çeşmesi, Beyaz çeşme gibi) bulunmaktadır

4. 2. Porozite ve Permeabilite

Bölgedeki akifer formasyonların porozite ve permeabiliteleri tayin edilmeye çalışılmıştır. Akifer formasyonların poroziteleri sıkılama, hacim ve ağırlık ölçümü yöntemleriyle, permeabiliteleri ise Schoeller (1962)'in tabanı delikli kutu metoduyla ölçülmüştür.

İnceleme alanında Kırkgeçit Formasyonu'nun marnlarından alınan 6 numunede, Karabakır Formasyonu'nun tüflerinden alınan 4 numunede ve kumtaşlarından alınan 5 numunede permeabilite tayinleri yapılmış ve bulunan sonuçlar Tablo 4.1'da verilmiştir.

Kırkgeçit Formasyonu'nun marnları ile Karabakır Formasyonu'nun tüfit, tüf ve kumtaşlarında porozite deneyleri yapılarak toplam porozite değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.2).

Tablo 4.1. Akifer formasyonların tabanı delikli kutu ile ölçülen permeabilite değerleri.

Numune Adı	Tabanı delikli kutu ile, $K = m/s$
Kırkgeçit Formasyonu'nun marnları	$5,78 \times 10^{-5} - 1,5 \times 10^{-4} m/s$ aralığında
Karabakır Formasyonu'nun tüfleri	$4,99 \times 10^{-5} - 1,4 \times 10^{-2} m/s$ aralığında
Karabakır Formasyonu'nun kumtaşları	$3,94 \times 10^{-5} - 1,15 \times 10^{-4} m/s$ aralığında

Kırkgeçit Formasyonu ile Keban metamorfitlelerine ait kireçtaşları, bölgede etkin olan tektonizmanın sonucunda oluşan yarık ve çatlaklardan dolayı ikincil gözeneklilik kazanmışlardır.

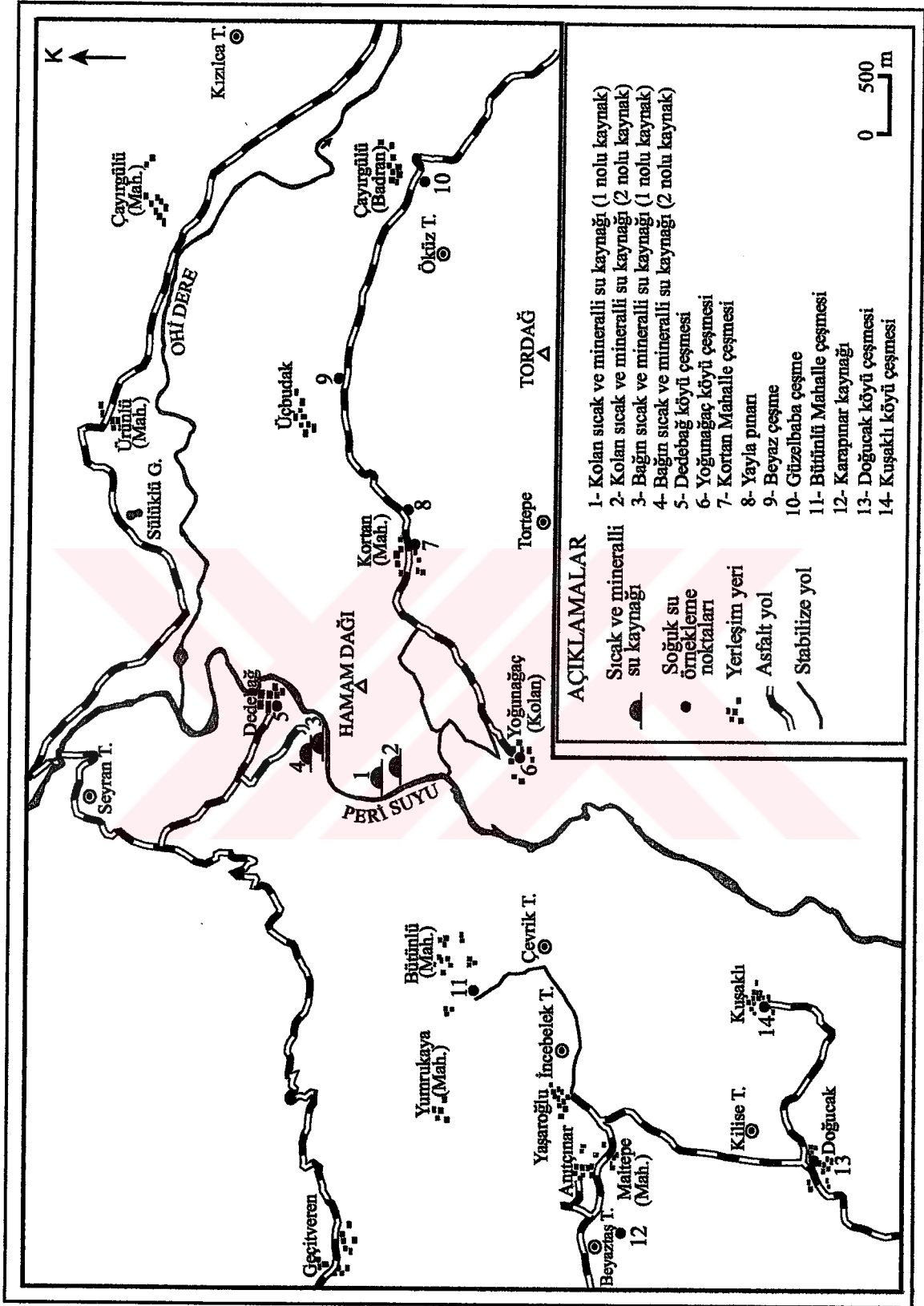
Tablo 4.2. Akifer formasyonların toplam porozite değerleri.

Numune Adı	Sıkılama yöntemi ile toplam porozite (n)-%	Hacim ve ağırlık ölçümü yöntemi ile toplam porozite (n)-%
Kırkgeçit Formasyonu'nun marnları	13- 19	-
Karabakır Formasyonu'nun tüfleri	-	17
Karabakır Formasyonu'nun tüfleri	20- 37	-
Karabakır Formasyonu'nun kumtaşları	-	22

4.3. Soğuk Su Kaynakları

İncelenen soğuk sular Dedebağ, Yoğunağaç, Doğucak ve Kuşaklı köyleri, Kortan ve Bütünlü mahalleleri çeşme suları ile Karapınar kaynağı, Yayla pınarı, Beyaz çeşme ve Güzelbaba çeşme sularıdır (Şekil 4.1). Bu suların önemli bir bölümü içme suyu olarak kullanılırken bazıları sulama suyu olarak kullanılmaktadır.

Soğuk su akiferlerini Kırgeçit Formasyonu'nun kireçtaşları, Keban metamorfitleleri ve Karabakır Formasyonu'nun bazaltları ile gösel kireçtaşları oluşturmaktadır. İncelenen suların sıcaklıkları $7^{\circ},8- 22^{\circ},9$ arasında değişmektedir. Bölgenin önemli soğuk su kaynakları olan Güzelbaba çeşmesi ile Beyaz çeşme kaynaklarının çevresinde oluşturulan piknik alanları yöre halkı için sıcak yaz aylarında faydalanabilecekleri yerler olup, bölge için önemli gelir kaynaklarıdır.



Şekil 4.1. İncelenen sıcak ve soğuk suların numune alınan noktaları gösterir harita

4. 4. Sıcak ve Mineralli Su Kaynakları

Sıcak ve mineralli sular hakkındaki tanımlama ve sınıflandırmalar Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (AIH) sıcak ve mineralli sular komisyonu tarafından geliştirilerek uluslararası bir nitelik kazanmıştır (Başkan ve Canik, 1983). Buna göre sıcaklığı en az 20°C ve toplam mineralizasyonu 1000 mg/l'den az olan sular "sıcak su", içerdiği toplam mineralizasyonu 1000 mg/l'den fazla ve sıcaklığı 20°C'den düşük olan sular "mineralli su", sıcaklığı en az 20°C ve toplam mineralizasyonu en az 1000 mg/l olan sular da "sıcak ve mineralli su"dur.

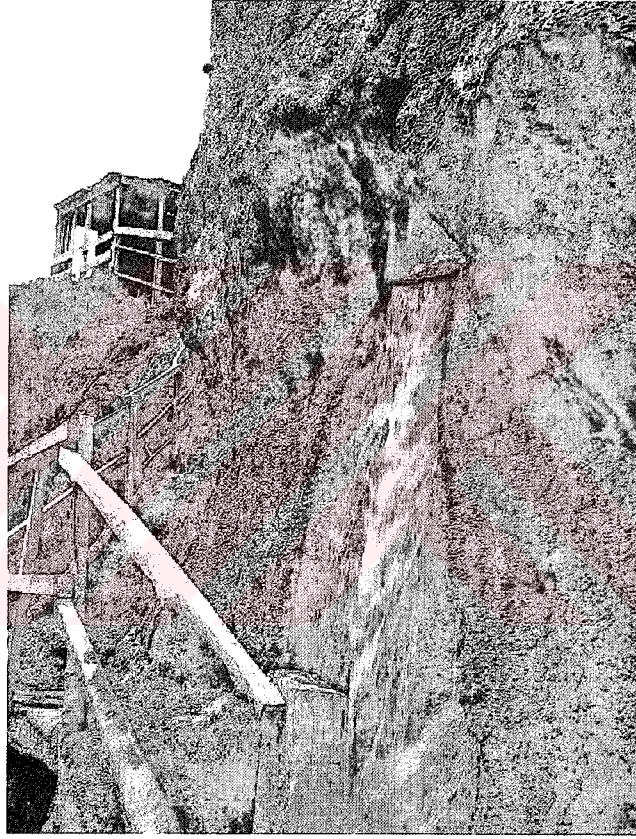
İncelenen Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli suların sıcaklıkları 38°C ile 46°C arasında değişmekte olup toplam mineralizasyonları ise 3371,9 mg/l ile 4695,3 mg/l arasında değişmektedir.

Kolan sıcak ve mineralli su kaynakları Peri suyunun sol sahilinde K10°B doğrultulu eğim atımlı bir fay hattı boyunca değişik noktalardan çıkmaktadır (Şekil 4.2). Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı Peri suyunun hemen yanında sol yamaç üzerinde çıkmakta ve ilkel tarzda oluşturulmuş bir havuza akıtılmaktadır. Kolan 2 nolu kaynak ise 1 nolu kaynağın yaklaşık 50 metre GD'sundadır. Bu kaynağın suyu ise üzeri kapatılmış bir havuza akıtılmaktadır. Kolan sıcak ve mineralli kaynakların hacim/ zaman yöntemiyle ölçülen toplam debisi 11,5 l/s'dir.

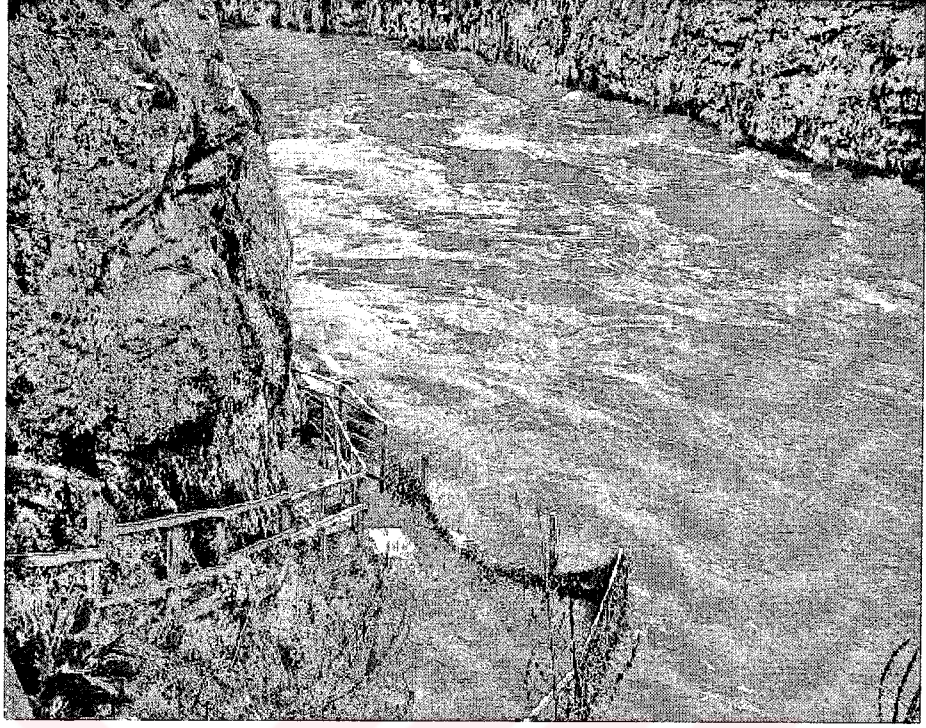


Şekil 4.2. Peri suyunun sol sahilindeki Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı. Bakış K'e doğru.

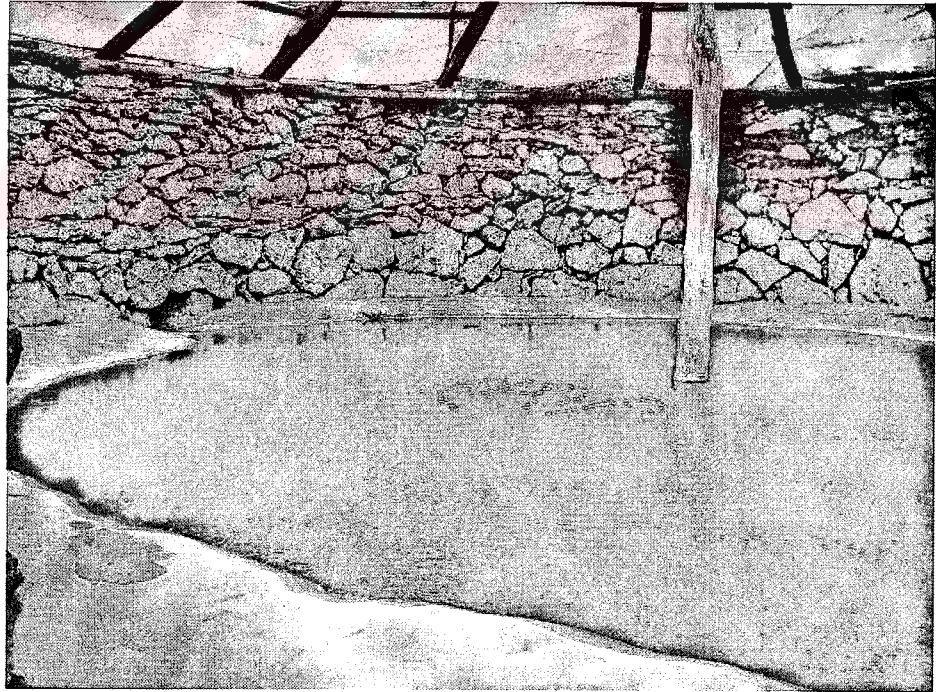
Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları Tunceli'nin Mazgirt ilçesi Dedebağ (Bağın) köyü sınırları içerisinde. Peri suyunun sağ sahilinde K80°D doğrultulu eğim atımlı normal bir fay hattı boyunca farklı noktalardan çıkmaktadır. İncelenen Bağın sıcak ve mineralli suları birbirinden yaklaşık 75 m. uzaklıkta iki kaynaktan oluşmaktadır. Bu kaynaklardan biri Peri suyunun sağ sahilindeki yamaçtan boşalmakta ve ilkel şartlarda oluşturulmuş bir havuza akmakta, diğerinin ise üzeri kapatılarak havuz olarak kullanılmaktadır (Şekil 4.3- 4.5). Bağın sıcak ve mineralli su kaynaklarının hacim/ zaman yöntemiyle ölçülen toplam debisi 6,3 l/s'dir.



Şekil 4.3. Peri suyunun sağ yamacındaki Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı. Bakış B'ya doğru.



Şekil 4.4. Peri suyunun sağ yamacındaki Bağın sıcak ve mineralli su kaynağının toplandığı havuz. Bakış yönü KD'ya doğru.



Şekil 4.5. Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı.

5. SU KİMYASI

Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları ile beslenme alanındaki soğuk su kaynakları, çeşmeler, sondaj kuyusu ve Peri suyundan alınan su numunelerinin kimyasal tahlilleri çalışma süresince suların en alçak ve en yüksek olduğu devrelerde yapılmıştır (Tablo 5.1, 5.2, 5.3, 5.4). Ayrıca sıcak ve mineralli su kaynaklarının daha önceki yıllarda yapılmış kimyasal tahlillerinden de karşılaştırma yapmak amacı ile yararlanılmıştır (Tablo 5.5 ve 5.6). Sularda bulunan başlıca iyonların kökenlerini aydınlatmak ve bunların inceleme alanı ile ilişkilerini belirlemek için kayaçların kimyasal analizleri de gerçekleştirilmiştir (Tablo 5.7). Suların tahlil sonuçları ile çeşitli diyagramlar çizilmiş ve yorumları yapılmaya çalışılmıştır.

5. 1. Sularda Bulunan İyonlar ve Kökenleri

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların toplam mineralizasyonu 3371,9 mg/l-4695,3 mg/l arasında değişmektedir. Elektriksel iletkenlik değerleri soğuk sularda 120- 580 μ S/cm, sıcak ve mineralli sularda ise 2240- 3883 μ S/cm arasında değişim göstermektedir.

5. 1. 1. Katyonlar

Ca^{+2} : İnceleme alanında bulunan soğuk sularda katyonların toplam mek değerlerinin % 49,83- 92,64'ünü oluşturur. Sıcak ve mineralli sularda ise bu miktar % 32,52- 85,42 arasındadır.

Bu iyon, inceleme alanında geniş alanlar kaplayan kireçtaşlarının CO_2 'li sularla yıkanmasından gelmektedir. Volkanik arazilerde ise, bu iyon anortit, piroksen, amfibol gibi silikat minerallerinin bünyesinde bulunan Ca^{+2} 'un çözünmesi ile suya geçmiş olmalıdır. CaO bazaltlarda % 10,56, travertenlerde ise % 55,62 olarak tayin edilmiştir.

Mg^{+2} : Soğuk sularda katyonların toplam mek değerlerinin % 6,042- % 49,691'ini, sıcak ve mineralli sularda %0,26- %43,117'sini oluşturur.

Mg^{+2} 'un bir kısmı volkanik kayaçlardaki Mg^{+2} 'lu bileşenlerin bozuşmasıyla, bir kısmı ise Keban rekristalize kireçtaşları içerisindeki dolomitik seviyelerden yeraltı suyuna geçmiş olmalıdır. Yani, asidik magma kökenli kayaçlarda mika ve amfibollerin, bazik kayaçlarda olivin ve piroksenlerin altere olması suya Mg^{+2} iyonunun geçmesini sağlamaktadır. Kayaç analizlerinde MgO miktarı Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlarda % 4,68, travertenlerde ise % 0,66 olarak tayin edilmiştir.

Na^+ : Soğuk sularda bu iyon, katyonların toplam mek değerlerinin % 0,232- % 4,585'ini; sıcak ve mineralli sularda ise % 0,111- % 36,28'ini oluşturur.

Tablo 5.1. İnceleme alanı içerisinde bulunan suların kimyasal analiz sonuçları.

Örnek no	1	2	3	4	5	6	
Örnekleme tarihi 23. 09. 2001							
Numune adı	Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (1 nolu kaynak)	Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (2 nolu kaynak)	Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı (1 nolu kaynak)	Yoğunağaç köyü çeşme suyu	Dedebağ köyü çeşme suyu	Peri suyu	
Ca ⁺²	mg/l	504,000	440,400	500,000	71,000	72,600	38,400
	mek/l	25,200	22,020	25,000	3,550	3,630	1,920
	% mek/l	63,000	54,913	62,158	49,832	84,145	49,307
Mg ⁺²	mg/l	168,600	207,500	176,000	42,500	8,010	22,900
	mek/l	14,050	17,290	14,670	3,540	0,670	1,908
	% mek/l	35,125	43,117	36,474	49,691	15,531	48,998
Na ⁺	mg/l	13,500	14,500	10,000	0,690	0,270	1,430
	mek/l	0,590	0,630	0,430	0,030	0,010	0,062
	% mek/l	1,475	1,571	1,069	0,421	0,232	1,592
K ⁺	mg/l	6,230	6,320	4,49	0,160	0,150	0,170
	mek/l	0,160	0,160	0,120	0,004	0,004	0,004
	% mek/l	0,400	0,399	0,298	0,056	0,092	0,103
Toplam kation	mg/l	692,33	668,72	690,49	114,35	81,03	62,9
	mek/l	40,000	40,100	40,220	7,124	4,314	3,894
Cl ⁻	mg/l	35,500	28,400	29,800	63,900	9,940	17,750
	mek/l	1,000	0,800	0,840	1,800	0,280	0,500
	% mek/l	3,027	2,377	2,499	26,034	7,509	14,180
SO ₄ ⁻²	mg/l	200,000	200,000	190,000	13,000	2,000	39,000
	mek/l	4,170	4,170	3,960	0,270	0,040	0,813
	% mek/l	12,621	12,389	11,779	3,905	1,073	23,057
HCO ₃ ⁻	mg/l	1700,000	1750,000	1758,000	295,500	208,000	135,000
	mek/l	27,869	28,689	28,819	4,844	3,409	2,213
	% mek/l	84,352	85,234	85,722	70,061	91,419	62,762
Toplam anyon	mg/l	1935,5	1978,4	1977,8	372,4	219,94	191,75
	mek/l	33,039	33,659	33,619	6,914	3,729	3,526
NH ₃ -N	mg/l	0,700	0,520	0,520	0,200	0,200	0,120
NO ₂ -N	mg/l	0,024	0,009	0,005	0,005	0,005	0,008
NO ₃ -N	mg/l	2,300	3,100	2,200	3,800	2,700	1,800
TDS	mg/l	-	-	-	594	463	-
Toplam Fe	mg/l	0,130	0,320	0,810	0,010	0,010	0,020
Toplam Cu	mg/l	0,038	0,038	0,048	0,040	0,047	0,054
H ₂ S	mg/l	0,026	0,017	0,014	0,024	0,015	0,028
Elektriksel iletkenlik µS/cm		2760,000	3090,000	3190	500	360	140
pH (25°C)		5,600	5,800	6,110	7,670	7,570	7,970
Sıcaklık (°C)		46,0	45,5	39,6	22,9	14,9	20,9
Toplam sertlik (d ⁰ h Fr)		196,25	196,55	198,35	35,45	21,5	19,14

Tablo 5.2. İnceleme alanı içerisinde bulunan suların kimyasal analiz sonuçları.

Örnek no		1	2	3	4	5	6
Örnekleme tarihi 02. 07. 2002							
Numune adı		Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (1 nolu kaynak)	Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (2 nolu kaynak)	Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı (1 nolu kaynak)	Yoğunağaç köyü çeşme suyu	Dedebağ köyü çeşme suyu	Peri suyu
Ca ⁺²	mg/l	640,000	184,000	580,000	66,000	92,000	52,000
	mek/l	32,000	9,200	29,000	3,300	4,600	2,600
	% mek/l	82,850	63,773	81,529	64,516	92,649	92,068
Mg ⁺²	mg/l	44,960	60,520	48,600	19,440	3,650	1,220
	mek/l	3,747	5,043	4,050	1,620	0,304	0,102
	% mek/l	9,701	34,937	11,386	31,672	6,042	3,541
Na ⁺	mg/l	62,400	0,363	54,600	4,450	1,290	2,700
	mek/l	2,713	0,016	2,374	0,194	0,056	0,117
	% mek/l	7,024	0,111	6,663	3,715	1,209	4,249
K ⁺	mg/l	6,390	6,500	5,720	0,210	0,180	0,170
	mek/l	0,164	0,167	0,147	0,005	0,005	0,004
	% mek/l	0,425	1,178	0,422	0,098	0,101	0,142
Toplam kation	mg/l	753,75	251,383	688,92	90,1	97,12	56,09
	mek/l	38,624	14,426	35,571	5,119	4,965	2,823
Cl ⁻	mg/l	35,500	35,500	35,500	9,230	11,360	14,200
	mek/l	1,000	1,000	1,000	0,260	0,320	0,400
	% mek/l	3,137	8,290	3,239	6,076	8,145	17,475
SO ₄ ⁻²	mg/l	62,000	47,000	57,000	16,000	16,000	12,000
	mek/l	1,292	0,980	1,188	0,330	0,330	0,250
	% mek/l	4,052	8,125	3,848	7,712	8,399	10,922
HCO ₃ ⁻	mg/l	1805	615,000	1750,000	225,000	200,000	100,000
	mek/l	29,590	10,082	28,689	3,689	3,279	1,639
	% mek/l	92,811	83,585	92,914	86,212	83,456	71,603
Toplam anyon	mg/l	1902,5	697,5	1842,5	250,23	227,36	126,2
	mek/l	31,882	12,062	30,877	4,279	3,929	2,289
NH ₃ -N	mg/l	0,520	0,400	0,320	0,120	0,100	0,080
NO ₂ -N	mg/l	0,009	0,008	0,008	0,008	0,008	0,003
NO ₃ -N	mg/l	4,100	3,000	4,100	2,800	2,500	2,200
Elektriksel iletkenlik (µS /cm)		3830	3280	3580	580	470	280
pH (25 ⁰ C)		6,24	6,560	6,450	7,400	7,35	8,19
Sıcaklık (⁰ C)		44,6	44,6	38,3	22,6	13,7	15,8
Toplam sertlik (d ⁰ h Fr)		178,735	71,215	165,25	24,6	24,52	13,51

Tablo 5.3. İnceleme alanı içerisinde bulunan suların kimyasal analiz sonuçları.

Örnek no	1	2	3	4	5	6	
Örnekleme tarihi 22. 05. 2003							
Numune adı	Güzelbaba çeşme suyu	Beyaz çeşme suyu	Yayla pınarı	MTA sıcak su sondajı	Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (1 nolu kaynak)	Kortan Mah. çeşme suyu	
Ca ⁺²	mg/l	98,000	85,000	145,000	840,000	660,000	118,000
	mek/l	4,900	4,250	7,250	42,000	33,000	5,900
	% mek/l	73,870	67,407	76,833	84,979	71,202	72,624
Mg ⁺²	mg/l	20,000	24,000	23,000	72,000	145,000	25,500
	mek/l	1,667	2,000	1,917	6,000	12,083	2,125
	% mek/l	25,132	31,721	20,316	12,139	26,071	26,157
Na ⁺	mg/l	1,420	1,120	5,830	28,800	25,600	1,920
	mek/l	0,062	0,049	0,254	1,252	1,113	0,084
	% mek/l	0,935	0,777	2,692	2,533	2,402	1,034
K ⁺	mg/l	0,160	0,230	0,590	6,700	5,900	0,600
	mek/l	0,004	0,006	0,015	0,172	0,151	0,015
	% mek/l	0,060	0,095	0,159	0,348	0,326	0,185
Toplam kation	mg/l	119,58	110,35	174,42	947,5	836,5	146,02
	mek/l	6,633	6,305	9,436	49,424	46,347	8,124
Cl ⁻	mg/l	31,900	31,900	46,100	102,950	88,750	46,100
	mek/l	0,899	0,899	1,299	2,900	2,500	1,299
	% mek/l	15,855	16,832	16,630	7,255	6,809	18,691
SO ₄ ⁻²	mg/l	48,000	46,000	45,000	60,000	45,000	47,000
	mek/l	1,000	0,958	0,938	1,250	0,938	0,979
	% mek/l	17,637	17,937	12,009	3,127	2,555	14,086
HCO ₃ ⁻	mg/l	230,000	212,5	340,000	2185,000	2030,000	285,000
	mek/l	3,771	3,484	5,574	35,820	33,279	4,672
	% mek/l	66,508	65,231	71,361	89,617	90,637	67,223
Toplam anyon	mg/l	309,90	290,40	431,10	2347,95	2163,75	378,10
	mek/l	5,67	5,341	7,811	39,97	36,717	6,95
NH ₃ - N	mg/l	0,180	0,100	0,120	0,120	0,140	0,140
NO ₂ -N	mg/l	0,008	0,005	0,008	0,008	0,008	0,008
NO ₃ -N	mg/l	2,700	2,800	2,800	3,300	3,400	2,800
Elektriksel iletkenlik (µS /cm)		210	170	320	2810	2800	310
pH (25 ⁰ C)		6,96	6,56	6,66	5,24	4,55	6,86
Sıcaklık (°C)		9,9	13	10,2	39	45	12
Toplam sertlik (d ⁰ h Fr)		32,835	31,25	45,835	240	225,415	40,125

Tablo 5.4. İnceleme alanı içerisinde bulunan suların kimyasal analiz sonuçları.

Örnek no	1	2	3	4	5	6	7	
Örnekleme tarihi 11. 06. 2003								
Numune adı	Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı (1)	Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı (2)	Dedebağ köyü çeşme suyu	Karapınar kaynağı	Doğucak köyü çeşme suyu	Kuşaklı köyü çeşme suyu	Bütünli Mah. çeşme suyu	
Ca ⁺²	mg/l	560	568	52	94	84	42	66
	mek/l	28	28,400	2,600	4,700	4,200	2,100	3,300
	% mek/l	85,415	85,265	65,856	72,823	69,169	63,063	62,524
Mg ⁺²	mg/l	43,740	44,950	15,790	20,650	21,870	13,360	20,650
	mek/l	3,645	3,746	1,316	1,721	1,823	1,113	1,721
	% mek/l	11,119	11,247	33,333	26,666	30,023	33,423	32,607
Na ⁺	mg/l	22,200	23	0,570	0,680	0,970	2,380	5,570
	mek/l	0,965	1,000	0,025	0,029	0,042	0,104	0,242
	% mek/l	2,944	3,002	0,633	0,449	0,692	3,123	4,585
K ⁺	mg/l	6,680	6,320	0,290	0,160	0,310	0,500	0,580
	mek/l	0,171	0,162	0,007	0,004	0,007	0,013	0,015
	% mek/l	0,522	0,486	0,177	0,062	0,115	0,390	0,248
Toplam katyon	mg/l	632,62	642,27	68,65	115,49	107,15	58,24	92,8
	mek/l	32,781	33,308	3,948	6,454	6,072	3,330	5,278
Cl ⁻	mg/l	133,120	133,120	8,520	8,520	10,650	13,130	20,230
	mek/l	3,749	3,749	0,240	0,240	0,300	0,369	0,569
	% mek/l	13,532	13,354	7,231	4,369	5,831	13,071	12,583
SO ₄ ⁻²	mg/l	60	62	14	46	28	10,000	30
	mek/l	1,250	1,292	0,292	0,958	0,583	0,208	0,625
	% mek/l	4,512	4,602	8,798	17,440	11,331	7,368	13,821
HCO ₃ ⁻	mg/l	1385	1405	170	262	260	137	203
	mek/l	22,705	23,033	2,787	4,295	4,262	2,246	3,328
	% mek/l	81,956	82,044	83,971	78,190	82,838	79,561	73,596
Toplam anyon	mg/l	1578,12	1600,12	192,52	316,52	298,65	160,13	253,23
	mek/l	27,704	28,074	3,319	5,493	5,145	2,823	4,522
NH ₃ -N	mg/l	0,120	0,100	0,100	0,120	0,010	0,100	0,120
NO ₂ -N	mg/l	0,008	0,005	0,008	0,005	0,012	0,008	0,003
NO ₃ -N	mg/l	2,100	2,100	2,200	3	3,100	2,800	2,800
Elektriksel iletkenlik (µS/cm)		2240	2490	250	120	290	320	490
pH (25°C)		5,100	5,480	6,37	6,63	6,59	6,68	6,35
Sıcaklık (°C)		38	40	8,6	9,2	9,5	9,8	7,8
Toplam sertlik (d ^h Fr)		158,225	160,73	19,58	32,105	30,115	16,065	25,105

Tablo 5.5. İncelenen sıcak ve mineralli suların önceki yıllara ait kimyasal analiz sonuçları.

Örnek No	1			2			3		
Numune Adı	Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı			Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı			Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı		
Örnekleme tarihi	27. 09. 1975 (Yenal vd., 1975)			07. 07. 1980 (Cici, 1982)			07. 07. 1980 (Cici, 1982)		
	mg/1	mek/1	%mek/1	mg/1	mek/1	%mek/1	mg/1	mek/1	%mek/1
Ca ⁺²	426,24	21,31	39,90	547,00	27,30	61,76	482,00	24,05	66,62
Mg ⁺²	120,39	9,91	18,55	1,45	0,12	0,27	1,44	0,12	0,33
Sr ⁺²	-	-	-	9,02	0,21	-	6,86	0,16	-
Na ⁺²	449,89	19,57	36,63	344,85	15,00	33,94	241,39	10,5	29,09
K ⁺	102,87	2,63	4,92	69,40	1,78	4,03	55,72	1,43	3,96
Cl ⁻	200,00	5,64	10,54	135,00	3,81	9,19	90,00	2,54	7,49
SO ₄ ⁻²	186,70	3,89	7,27	250,00	5,21	12,56	200,00	4,16	12,27
HCO ₃ ⁻	2684,0	44,00	82,19	1980,0	32,46	78,25	1660,0	27,21	80,24
Fe ⁺²	1,63	0,06	-	1,99	0,07	-	1,65	0,06	-
Zn ⁺²	0,03	0,0006	-	0,01	0,003	-	-	-	-
Al ⁺³	0,96	0,11	-	1,40	0,16	-	0,73	0,08	-
Li ⁺	0,035	0,005	-	0,69	0,1	-	0,56	0,08	-
Mn ⁺²	-	-	-	3,20	0,12	-	0,20	0,007	-
Cr ⁺³	-	-	-	0,06	0,003	-	0,04	0,003	-
Cu ⁺²	-	-	-	0,12	0,004	-	0,04	0,001	-
I	0,11	0,0009	-	0,08	0,0006	-	0,05	0,0003	-
B ⁻	3,60	0,045	-	3,75	0,05	-	3,8	0,05	-
F ⁻	0,52	0,03	-	1,16	0,06	-	1,01	0,05	-
NH ₄ ⁺	-	-	-	3,50	0,19	-	-	-	-
NO ₃ ⁻	-	-	-	0,25	0,004	-	0,21	0,003	-
NO ₂ ⁻	0,43	0,009	-	0,013	0,0002	-	0,01	0,0002	-
HPO ₄ ⁻²	12,93	0,27	-	22,75	0,47	-	22,75	0,47	-
Serbest CO ₂	426,80	-	-	344,80	-	-	603,30	-	-
Serbest H ₂ S	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-
Toplam sülfür (H ₂ S)	0,22	-	-	0,6	-	-	0,2	-	-
Toplam çözülmüş madde	4614,36	-	-	3721,19	-	-	3371,96	-	-
Elektriksel iletkenlik (µS/cm)	3150	-	-	3883	-	-	3398	-	-
pH (25 ⁰ C)	6,90	-	-	6,34	-	-	6,24	-	-
Sıcaklık (°C)	43 ⁰ ,5	-	-	45	-	-	39	-	-
Toplam sertlik (d ⁹ h Fr)	156,1	-	-	137,1	-	-	120,85	-	-

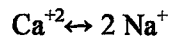
Tablo 5.6. İncelenen sıcak ve mineralli suların önceki yıllara ait kimyasal analiz sonuçları (Çetindağ, 1996).

Örnek No	4			5			6			7		
Numune Adı	Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (1 nolu kaynak)			Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (2 nolu kaynak)			Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı (1 nolu kaynak)			Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı (2 nolu kaynak)		
	06. 11. 1996			06. 11. 1996			06. 11. 1996			06. 11. 1996		
	mg/l	mek/l	% mek/l	mg/l	mek/l	% mek/l	mg/l	mek/l	% mek/l	mg/l	mek/l	% mek/l
Ca ⁺²	490,00	24,45	69,54	502,6	25,13	48,36	605,5	30,28	60,83	480,6	24,3	52,8
Mg ⁺²	1,30	0,11	0,31	90,20	7,52	14,47	85,1	7,09	14,24	106,3	8,86	19,24
Sr ⁺²	7,01	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na ⁺	218,40	9,5	27,02	402,3	17,49	33,66	260,6	11,33	22,76	272,6	11,85	25,62
K ⁺	43,01	1,10	3,13	70,8	1,82	3,50	42,3	1,08	2,17	51,2	1,31	2,84
Cl ⁻	90,00	2,54	6,98	82,4	2,32	4,49	66,8	1,88	3,85	80,3	2,26	4,93
SO ₄ ⁻²	200,00	4,16	11,44	241,6	5,03	9,74	206,3	4,30	8,80	218,7	4,56	9,94
HCO ₃ ⁻	1810,00	29,67	81,58	2701,4	44,3	85,77	2604,2	42,69	87,35	2381,6	39,04	85,13
Fe ⁺²	1,53	0,05	-	3,64	-	-	2,90	-	-	5,8	-	-
Zn ⁺²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ⁺³	0,58	0,06	-	0,62	-	-	-	-	-	1,02	-	-
Li ⁺	0,56	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn ⁺	2,25	0,08	-	2,86	-	-	0,80	-	-	6,80	-	-
Cr ⁺³	0,06	0,003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cu ⁺²	0,04	0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I ⁻	0,06	0,0004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Br ⁻	3,85	0,05	-	2,3	-	-	2,96	-	-	3,00	-	-
F ⁻	1,02	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH ₄ ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO ₃ ⁻	0,34	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO ₂ ⁻	0,01	0,0002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HPO ₄ ⁻²	22,29	0,46	-	8,68	-	-	-	-	-	-	-	-
Serbest CO ₂	486,00	-	-	585,5	-	-	596,5	-	-	503,6	-	-
Toplam sülfür (H ₂ S)	0,2	-	-	0,2	-	-	-	-	-	0,18	-	-
Toplam çözülmüş madde	3378,51	-	-	4695,3	-	-	4473,9	-	-	4071,7	-	-
Elektriksel iletkenlik (µS/cm)	3398	-	-	3380	-	-	-	-	-	3350	-	-
pH (25°)	6,53	-	-	6,2	-	-	6,2	-	-	6,6	-	-
Sıcaklık(°C)	38	-	-	44,5	-	-	40,5	-	-	39,5	-	-
Toplam sertlik (d°h Fr)	122,8	-	-	163,25	-	-	186,85	-	-	165,8	-	-

Tablo 5.7. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar ile kaynak tuf ve travertenlerin kimyasal analiz sonuçları.

Örnek		Karabakır Formasyonu'na ait bazalt	Bağın Kaplıcası kaynak tüfleri	Kolan Kaplıcası kaynak tüfleri	Kolan güncel travertenleri	Kolan eski traverteni
SiO ₂	%	48,39	0,68	0,19	0,23	1,06
Al ₂ O ₃	%	14,91	0,13	<0,03	0,05	0,21
Fe ₂ O ₃	%	12,78	0,16	0,40	0,53	0,87
MgO	%	4,68	0,66	0,53	0,48	0,54
CaO	%	10,56	54,13	55,62	55,13	54,25
Na ₂ O	%	3,50	0,19	0,10	0,06	0,06
K ₂ O	%	0,63	0,14	<0,02	<0,02	0,20
TiO ₂	%	2,46	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
P ₂ O ₅	%	0,38	<0,01	<0,01	0,02	0,08
MnO	%	0,17	<0,01	0,01	0,01	0,01
Cr ₂ O ₃	%	0,008	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
Ateşte kayıp (= CO ₂)	%	1,40	43,6	42,8	43,3	42,4

Sıcak ve mineralli sular ile soğuk sulardaki Na⁺ iyonu, çalışma alanı içerisinde geniş alanlarda yüzeyleyen Karabakır Formasyonu'na ait volkanitlerde alkali feldspat ve albit oranı yüksek plajiyoklasların kimyasal bozunmasıyla sulara geçmiş olmalıdır. Nitekim, Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlarda Na₂O % 3,5 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, Na⁺ ve Ca⁺²'un iyon yarıçaplarının yaklaşık eşit olması nedeniyle kil mineralleri Ca⁺² iyonlarının Na⁺la yer değiştirmesini sağlar (Udluft, 1976; Pasvanoğlu, 1996'dan). Yani çözeltide iki Na⁺ bir Ca⁺²'la yer değiştirir ve bu da sudaki Na⁺ miktarını artırır.



Sıcak ve mineralli sulardaki Na⁺'un kökeninin sodik plajiyoklaslarca zengin bir magma olduğu düşünülmektedir.

K⁺: Yapılan analizler içerisinde en düşük yüzdeye sahip iyon olan K⁺, soğuk sulara % 0,05- % 0,39 mek/l arasında bulunurken, sıcak sulara % 0,298- % 4,88 mek/l arasında değişmektedir.

K⁺, K⁺lu feldspatların altere olması ile yeraltı suyuna geçmiş olabilir. Ancak bunların bir kısmı kil minerallerince tutulmaktadır. Kayaç analizlerinde de sulardaki K⁺ yüzdesine paralel olarak K₂O miktarı oldukça düşük değerdedir. Volkanik kayalarda K₂O miktarı % 0,63, travertenlerde ise % 0,02'den daha düşük miktarlarda tespit edilmiştir.

Fe⁺²: Sıcak sulardaki Fe⁺² miktarı 0,13 mg/l ile 5,8 mg/l arasındadır. Bu, gerçek değer çok altındadır. Çünkü, kaynak sularındaki Fe⁺²'in önemli bir kısmı hava ile temasta çok çabuk

çökelmiş olabilir. Kaynakların çevresinde suların aktığı yerlerde FeO'den oluşan kırmızı ve kahverengi tortu gözlenmektedir.

Sulardaki bu iyon, andezit ve bazaltların içerisindeki hematit ve piritin oksidasyonu ile yeraltı suyuna geçmiş olmalıdır (Şahinci, 1991a). Kolan sıcak ve mineralli sular alanındaki travertenlerde Fe₂O₃ % 0,87, Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlarda ise % 12,78 kadardır.

SiO₂: İnceleme alanındaki soğuk sulara SiO₂ miktarı 12,855- 36,064 mg/l, sıcak ve mineralli sulara ise 23,764- 26,55 mg/l arasındadır (Tablo 5.8). İnceleme alanındaki volkanik kayaların kimyasal analizlerinde SiO₂ miktarı % 4,9- % 48,39 arasında, travertenlerde ise % 0,23- % 1,06 arasında saptanmıştır. Karabakır Formasyonu'na ait volkanik kayalardan beslenen Güzelbaba, Kortan Mahallesi çeşme suyunda da SiO₂ miktarı da oldukça yüksektir.

Tablo 5.8. İncelenen sulardaki SiO₂ miktarı.

Numune alış tarihi 14. 04. 2004	Si (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)
Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (1 nolu kaynak)	12,39	26,55
Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (2 nolu kaynak)	11,00	23,57
Bağın sıcak ve minerali su kaynağı (1 nolu kaynak)	11,27	24,15
Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı (2 nolu kaynak)	11,37	24,36
MTA sıcak su sondajı	11,09	23,76
Dedebağ köyü çeşme suyu	5,99	12,86
Kortan Mahallesi çeşme suyu	16,83	36,06
Güzelbaba çeşme suyu	14,49	31,05
Beyaz çeşme suyu	13,02	27,90

Sıcaklık ve pH SiO₂'in çözünürlüğünü etkileyen nedenlerdir. SiO₂ asit ortamda çok az çözünür. Sıcaklık ve özellikle de pH'ın yükselmesi ile SiO₂'in çözünmesi artar (Şahinci, 1991a). Sıcak ve mineralli suların pH değerleri düşük (4,55- 6,9) yani asit karakterli olması nedeniyle SiO₂ değerleri beslenme alanındaki kimyasal tahlilleri yapılan diğer soğuk su örneklerine oranla düşüktür.

İnceleme alanında bulunan sulardaki SiO₂'in büyük bir bölümü bölgede yüzeylenen volkanik kayaların bünyesindeki silikat minerallerinin kimyasal bozunması ile yeraltı suyuna geçmiş olabilir.

5. 1. 2 Anyonlar

Cl: İnceleme alanındaki soğuk sulara anyonların toplam mek değerlerinin % 4,36- %26,03'ünü, sıcak ve mineralli sulara ise % 2,37 ile % 13,53'sini oluşturur.

Magmatik kayalarda Cl^- 'ün önemli kaynağı feldispatoid sodalit ($Na_8(Cl_2(Al (SiO_4)_6)$) ve klorapatit ($Ca_5(PO_4)_3 Cl$) gibi minerallerdir (Şahinci, 1991a). Bölgede geniş alanlarda yüzeylenen magmatik kayalar içerisinde dolaşan sular dolaşım yolu uzadıkça Cl^- 'ce zenginleşme gösterir.

Yağış suları az çok Cl^- ihtiva ederler. Yeraltına süzülen bu sular yolları boyunca geçtikleri kayaların içindeki Cl^- tuzlarını çözündürerek Cl^- bakımından zenginleşirler (Şahinci, 1991a). Dolayısı ile sulardaki bu iyonun büyük bir kısmının kökenini yağmur suları, bir kısmının kökenini ise bölgede yüzeyleyen Kırkgeçit Formasyonu'nun denizel çökelleri ile Karabakır Formasyonu'nun göl çökellerindeki tuzlu seviyelerdir.

SO_4^{2-} : Bu iyon, soğuk sulardaki anyonların toplam mek değerinin %1,07- %17,98'sini, sıcak ve mineralli suların ise % 2,55- %12,62'ini oluşturur.

Sulardaki SO_4^{2-} iyonunun kaynağı, pirit(FeS_2)'in oksidasyonu ile oluşan demir sülfat ($FeSO_4$), Karabakır Formasyonu'nun gölsel çökelleri ile Kırkgeçit Formasyonu'nun jips ve anhidritli seviyeleri olmalıdır. Ayrıca, volkan gazlarındaki H_2S (hidrojen sülfür) ve SO_2 (kükürt dioksit) de oksitlenerek SO_4^{2-} 'a dönüşebilmektedir. Sulardaki SO_4^{2-} 'in bir bölümünün kökeni bu olmalıdır.

HCO_3^- : Anyonlar içerisinde sulara en fazla bulunan iyon olup soğuk sulara % 65,23- % 91,41 mek/l, sıcak ve mineralli sulara ise % 77,09- % 94,11 mek/l arasında değişim göstermiştir.

Sularda yüksek miktardaki HCO_3^- inceleme alanında geniş yüzeylemeler sunan kireçtaşlarının CO_2 'in etkisi ile çözünmesi sonucu oluşmuştur. CO_2 'in kireçtaşlarına etkisi aşağıdaki reaksiyona göre olur:



HCO_3^- 'in bir kısmı da $CO_2 + H_2O \rightarrow H^+ + HCO_3^-$ denklemine göre iç kökenli CO_2 'in su ile temasında HCO_3^- 'a dönüşmesiyle oluşabilir.

CO_2 : İnceleme alanı içerisinde bulunan sıcak ve mineralli su kaynaklarının hepsinde kabarcıklar şeklinde CO_2 gazı çıkışı gözlenmektedir. Sularda, bu gazın laboratuvarında ölçülen çözülmüş haldeki miktarı 344,8 mg/l- 603,3 mg/l arasında değişmektedir. Kaynak başında yapılan ölçümlerde ise, Kolan sıcak ve mineralli su kaynağında % 2 ile % 14,11; MTA sondaj kuyusunda ise % 3,28- % 13,41 arasında CO_2 saptanmıştır. Kaynak başında yapılan testlerde serbest CO_2 miktarı sıcak ve mineralli su kaynaklarında 652,72 mg/l, MTA sondaj kuyunda ise 661,54 mg/l belirlenmiştir.

Sularda oldukça fazla miktarda bulunan CO_2 gazının kökeni oksitleşme, nitritleşme vb. ile oluşan türlü asitlerin karbonatlara etkisi sonucu kimyasal reaksiyonlarla ve bir bölümü de bölgedeki genç volkanizmaya bağlı olarak türemiş olmalıdır. Çünkü arazi incelemelerinde

sahanın birçok noktasında kırık ve çatlaklarda CO₂ gazı çıkışları gözlenmektedir. Ayrıca, MTA Genel Müdürlüğü tarafından açılan 420 metre derinliğindeki sıcak su sondaj kuyusunda bol miktarda CO₂ gazı çıkışları tespit edilmiştir. Bu da CO₂'in önemli bir bölümünün volkanizmaya bağlı olarak derinden geldiğini ve iç kökenli olduğunu göstermektedir.

H₂S: İncelenen sıcak ve mineralli sulardaki serbest H₂S miktarı 0,1 mg/l, toplam H₂S miktarı ise 0,18- 0,6 mg/l arasındadır. Sıcak ve mineralli suların çevresinde çürük yumurta kokusunu andıran bir koku mevcuttur. Yüksek sıcaklığa sahip termal alanlarda oluşan H₂S kokusu ve sülfür çökelimleri derinlerden gelen S'lü gazların daha sonra oksitlenerek SO₄'e dönüşmesi ile oluşur (Giggenbach, 1988, 1997; Ahmad vd., 2002'den).

5. 1. 3. Sularda Bulunan Diğer Elementler

Sr, kimyasal ve göç özellikleri Ca'a benzeyen bir element olup Ca'un bulunduğu jeokimyasal sistemlerde genellikle Sr'da bulunur. Sr içeren termal suların buharlaşması ile SO₄ ve SrSO₄ (Sölestit) çökmesi izlenebilir. Jeolojik devirler boyunca Sr evrimi, mantodan kabuğa ve buradan biyosfere, başka bir deyimle tortul kayalara geçmesidir. Sr'un yeraltı sularında az bulunmasının nedeni, yerkabuğunda önemsiz miktarda oluşu (% 0,04) ve killer tarafından iyon değişimi sonucu Ca'un yerini almasıdır. Genellikle, yeraltı sularında 0,01 – 1 mg / l arasında Sr bulunur (Şahinci, 1991a).

İncelenen sıcak ve mineralli sulardaki Sr miktarı 6,86- 9,02 mg/l arasında olup, Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlardan yeraltı suyuna geçmiş olmalıdır (Tablo 5.5).

Magmatik kayalarda, ortalama 70 ppm olan Zn, daha çok ultra bazik ve bazik kayalarda bulunur. Zn , özellikler bazalt ve gabrolarda boldur. Kireçtaşlarında 20 ppm. kadar Zn vardır. Kireçtaşlarının çözünmesinden ortaya çıkan Zn, killer tarafından soğrulur (Şahinci, 1991a). Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli sularında oldukça düşük değerlerde (0,01- 0,03 mg/l) bulunan Zn, bazaltlardaki Zn minerallerinin çözünmesi ile yeraltı suyuna geçmiş olmalıdır.

Al⁺³, yerkabuğunda önemli miktarda bulunmasına rağmen (%8,61) , az çözünmesi nedeniyle, yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. Genellikle yeraltı sularında 0,005-0,3 ppm. arasında Al izlenir, asit sularında bu değer 100 ppm'ye erişebilir. Bölgede yüzeylenen bazaltlardaki Al₂O₃ %'si 14,91 değerindedir. Sulardaki Al⁺³ değeri ise 0,58- 1,4 mg/l arasındadır. İncelenen sularda bulunan Al'un büyük bir kısmı Al silikatların çözünmesiyle yeraltı suyuna geçmiş olmalıdır.

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). İncelenen sıcak sulara ise Li elementi 0,03- 0,69 mg/l gibi oldukça düşük değerlerdedir

Yeraltı sularında çoğunlukla 0,2 mg/l'den az bulunan Mn, sıcak sulara çok fazla olabilir. Hausmanit (Mn_3O_4), piroluzit (MnO_2), manganit [$(Mn^{+2}, Mn^{+3})O_2(OH)_2$] ve Rodokrozit ($MnCO_3$) en sık rastlanılan Mn mineralleridir. İncelenen sıcak ve mineralli sulardaki Mn miktarı 0,2 mg/l ile 6,8 mg/l arasındadır. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlarda ise MnO miktarı % 0,17 civarındadır (Tablo 5.7). Kolan sıcak ve mineralli sulardaki Mn, Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlardan ve gölsel oluşuklardan yeraltı suyuna geçmiş olabilir.

Magmatik kayalarda ortalama 100 ppm kadar olan Cr^{+3} bazik kaya mineralidir. Kolan sıcak ve mineralli sularında ise, 0,04-0,06 mg/l arasında bulunan Cr^{+3} yeraltı suyuna bazaltlardan geçmiş olmalıdır.

Kolan sıcak ve mineralli sularındaki Cu^{+2} miktarı 0,04-0,12 mg/l dir. Karabakır Formasyonu'na ait bazaltlar sıcak sulardaki Cu^{+2} 'in kaynağı olarak düşünülmektedir.

Sıcak ve mineralli sulardaki I^- miktarı 0,05-0,11 mg/l arasında olup, bölgedeki denizel çökeltilerden yeraltı suyuna geçmiş olmalıdır.

Br'un kimyasal yapısı Cl'a benzer fakat daha ender bulunur. Termal sulara Cl ile Br arasında ilişki vardır (Şahinci, 1991a). Kolan sıcak ve mineralli su kaynaklarında 2,3 - 3,85 mg/l değerleri arasında bulunan Br'un kaynağı Karabakır Formasyonu'nun volkanitleri ile gölsel çökeltileri ve Kırkgeçit Formasyonu'nun killi seviyeleri olabilir.

İncelenen sıcak ve mineralli sulara 0,52-1,16 mg/l arasında bulunan F^- 'ün kaynağı bazalt ve tüflerdeki biyotit olabilir. Ayrıca Florit (CaF_2) ve Apatit ($Ca_5(Cl, F, OH)(PO_4)_3$) de F^- 'ün kaynağı olabilir. Hornblend ve bazı mikalarda F, OH'in yerine geçerek bulunabilir. Volkanik gazlar veya fumeroller de bazen doğal sulardaki F^- 'ün kaynağı olabilirler. F^- miktarı Na miktarı arttıkça artmakta, Ca ve Mg miktarı azaldıkça azalmaktadır. Sıcak ve mineralli suların volkanik kayalarla ilişkili olduğu bu sulardaki Na ve F^- miktarının yüksek olması ile anlaşılır.

5. 2. Suların Sertlik ve Asitlik Özellikleri

Kolan ve Bağın sıcak sularının Fransız sertlik dereceleri 71,22 ile 240 d^oh Fr arasında değişmekte olup, "çok sert sular" sınıfına girmektedirler. İncelenen soğuk suların sertlikleri ise 16,07 ile 45 d^oh Fr arasındadır. Kuşaklı köyü çeşme suyu "az sert"; Karapınar kaynağı, Doğucak köyü çeşmesi, Bütünlülü Mahallesi çeşme suyu, Beyaz çeşme, Yoğunağaç ve Dedebağ köyü çeşme suları "oldukça sert"; Güzelbaba çeşme suyu, Yayla pınarı ve Kortan Mahallesi çeşme suları ise "sert" sular grubuna girmektedir.

Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynaklarının pH'ı 4,55 ile 6,9 arasında değişmekte olup sular asit özellikteki sulardır.

5.3. Suların Tahlil Sonuçlarının Grafiklerle Gösterilmesi

5.3.1. Yarı Logaritmik Schoeller Diyagramları

İnceleme alanında bulunan suların yarı logaritmik Schoeller diyagramlarına göre iyonların sıralanışı Tablo 5. 9'da verilmiştir.

Eylül- 2001 tarihinde yani yeraltı su seviyesinin genel olarak düşük olduğu dönemde Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli sularındaki anyon ve katyonların dizilişi $r Ca > r Mg > r (Na+K); r HCO_3 > r SO_4 > r Cl$ şeklindedir. Kolan jeotermal alanındaki sıcak ve mineralli suların akifer kayalarları Keban rekristalize kireçtaşlarıdır. Bu nedenle sıcak ve mineralli sularda en çok bulunan katyon Ca^{+2} , en çok bulunan anyon ise HCO_3^- 'tir.

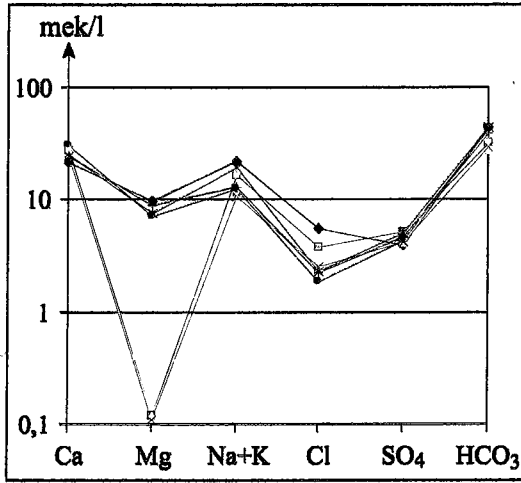
Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları aynı kökenli sular olmalıdır. Çünkü, her iki kaynak suyunun iyonlarını birleştiren doğrular diyagramlarda birbirine paralel veya çok yakın geçmektedir (Şekil 5.1, 5.2, 5.3). Şekil 5.4'de MTA sıcak su sondajı ile Kolan sıcak ve mineralli su kaynağının iyonlarını birleştiren doğrular çakışmıştır. Buna bağlı olarak da kuyu ve kaynakların aynı akiferden beslendiği sonucuna varılmıştır. Aynı diyagram üzerinde 1, 2, 3 ve 6 nolu örneklerin doğrularında da benzerlik görölmektedir. Bu kaynaklar da aynı akiferden beslenen sular olmalıdır.

Sıcak ve mineralli su kaynaklarının eski tarihlerde yapılan tahlil sonuçlarına göre çizilen Schoeller diyagramları incelendiğinde Ca, SO_4 ve HCO_3 iyonlarında fazla bir değişim olmadığı buna karşın Cl miktarının yağışın olmadığı dönemlerde azaldığı, yağışlı dönemlerde ise arttığı görölmüştür (Şekil 5.1 ve 5.6). Mg^{+2} iyonunun ise 07. 07. 1980 ve 06. 11. 1996 tarihlerinde oldukça düştüğü görölmektedir. Buna neden, kimyasal tahlillerin farklı laboratuvarlarda ve farklı yöntemlerle yapılmasından kaynaklandığı düşünölmektedir.

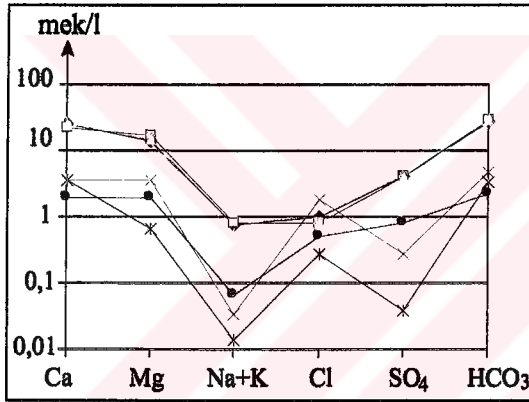
Şekil 5.2- Şekil 5.5'de göröldüğü gibi sıcak ve mineralli su kaynaklarının mineralizasyonu soğuk su kaynaklarına göre oldukça fazladır. Dedebağ köyü çeşmesi de Keban metamorfitlelerinden beslenmektedir. Yani, sıcak sularla aynı akifer formasyondan beslenmektedir. Çünkü, iyonları birleştiren doğrular birbirine az çok paraleldir (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3). Ancak, sıcak su derinden ısınarak yükselmekte, soğuk su ise çok derine inmeden çatlaklar boyunca hareket ederek ve içinde dolaştığı kayalarla kimyasal tepkimeye girecek zamanı bulamadan kısa sürede yeryüzüne dönmektedir. Sıcak su kat ettiği uzun yol boyunca iyonlarca zenginleşmiş olarak ve ısınarak yeryüzüne yükselmektedir.

Tablo 5.9. Sularda bulunan iyonların sıralanışı.

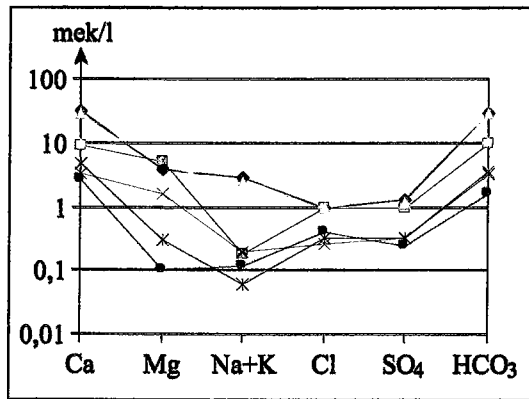
Tarih	23. 09. 2001	
Örnek numarası	1	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	2	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	3	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	4	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	5	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
	6	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
Tarih	02. 07. 2002	
Örnek numarası	1	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	2	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
	3	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	4	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	5	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	6	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
Tarih	22. 05. 2003	
Örnek numarası	1	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	2	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	3	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
	4	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
	5	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
	6	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
Tarih	11. 06. 2003	
Örnek numarası	1	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
	2	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
	3	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	4	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	5	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	6	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
	7	$r Ca^{+2} > r Mg^{+2} > r (Na^+ + K^+); r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
Tarih	27. 09. 1975	
Örnek numarası	1	$r (Na^+ + K^+) > r Ca^{+2} > r Mg^{+2}; r HCO_3 > r Cl^- > r SO_4^{-2}$
Tarih	07. 07. 1980	
Örnek numarası	2	$r Ca^{+2} > r (Na^+ + K^+) > r Mg^{+2}; r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	3	$r Ca^{+2} > r (Na^+ + K^+) > r Mg^{+2}; r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
Tarih	06. 11. 1996	
Örnek numarası	4	$r Ca^{+2} > r (Na^+ + K^+) > r Mg^{+2}; r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	5	$r Ca^{+2} > r (Na^+ + K^+) > r Mg^{+2}; r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	6	$r Ca^{+2} > r (Na^+ + K^+) > r Mg^{+2}; r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$
	7	$r Ca^{+2} > r (Na^+ + K^+) > r Mg^{+2}; r HCO_3 > r SO_4^{-2} > r Cl^-$



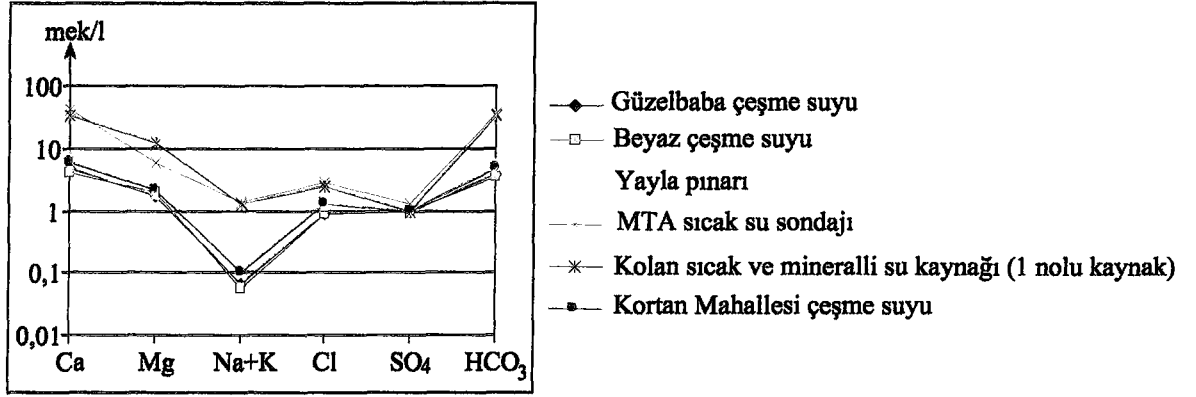
Şekil 5.1. Eski tarihlere ait suların Schoeller diyagramı.



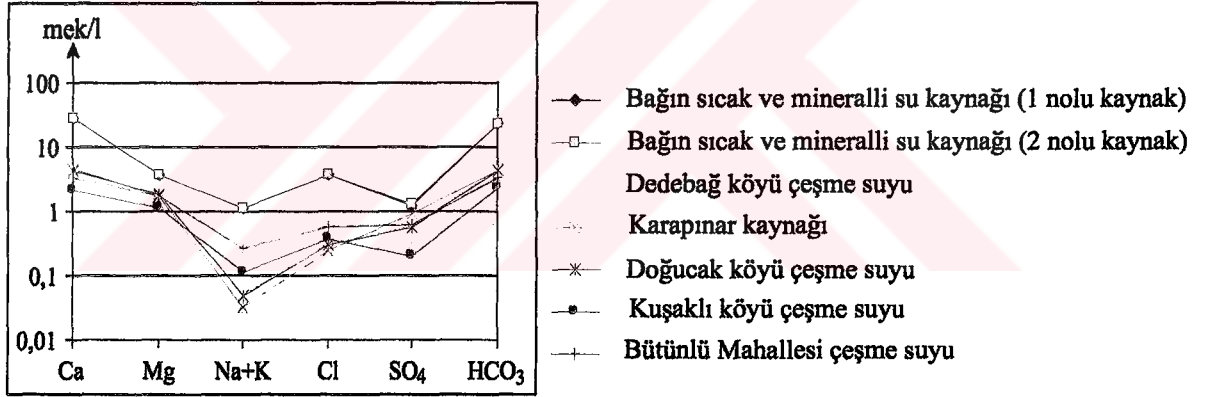
Şekil 5.2. İncelenen sıcak ve soğuk suların Schoeller diyagramı (23. 09. 2001).



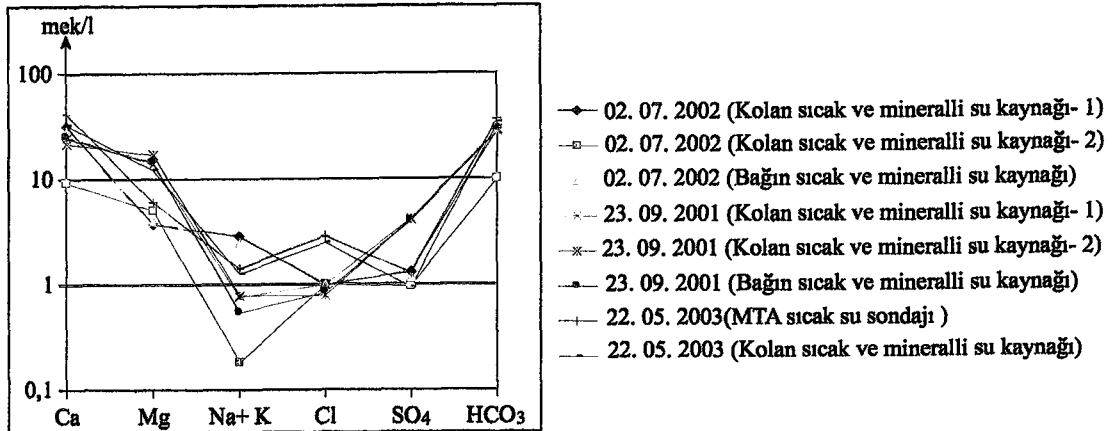
Şekil 5.3. İncelenen sıcak ve soğuk suların Schoeller diyagramı (02. 07. 2002).



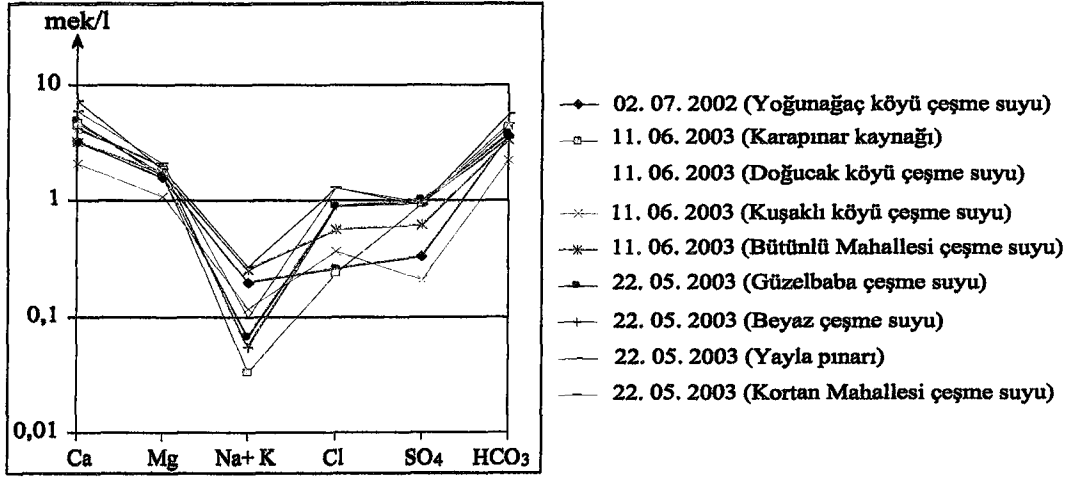
Şekil 5.4. İncelenen soğuk ve sıcak suların Schoeller diyagramı (22. 05. 2003).



Şekil 5.5. İncelenen soğuk ve sıcak suların Schoeller diyagramı (11. 06. 2003).



Şekil 5.6. İncelenen sıcak ve mineralli suların farklı tarihlerdeki analizlerinin Schoeller diyagramı.



Şekil 5.7. İncelenen soğuk suların Schoeller diyagramı.

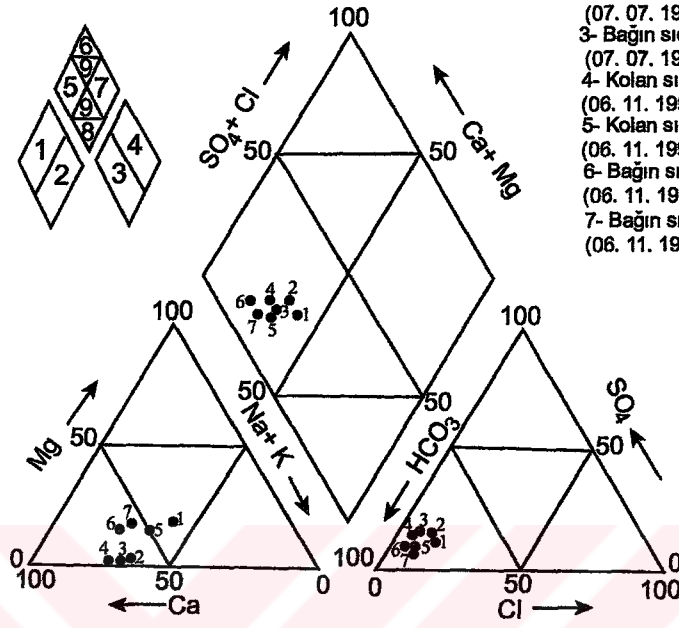
İncelenen soğuk sulardan Doğucak ve Kuşaklı köyleri ile Bütünlü Mahallesi çeşme sularının diyagramları birbirine çok benzemektedir (Şekil 5.7). Bunun nedeni, bu kaynakları besleyen akiferin aynı litolojide olmasıdır. Benzer durum Yoğunağaç köyü çeşme suyu, Kortan Mahallesi çeşme suyu, Güzelbaba ve Beyaz çeşme suları ile Karapınar ve Yayla pınarında da görülmektedir (Şekil 5.7). Bu suların kimyasal bileşimleri de birbirine çok benzemekte olup aynı akiferden besleniyor olmalıdırlar.

5.3.2. Piper Diyagramı

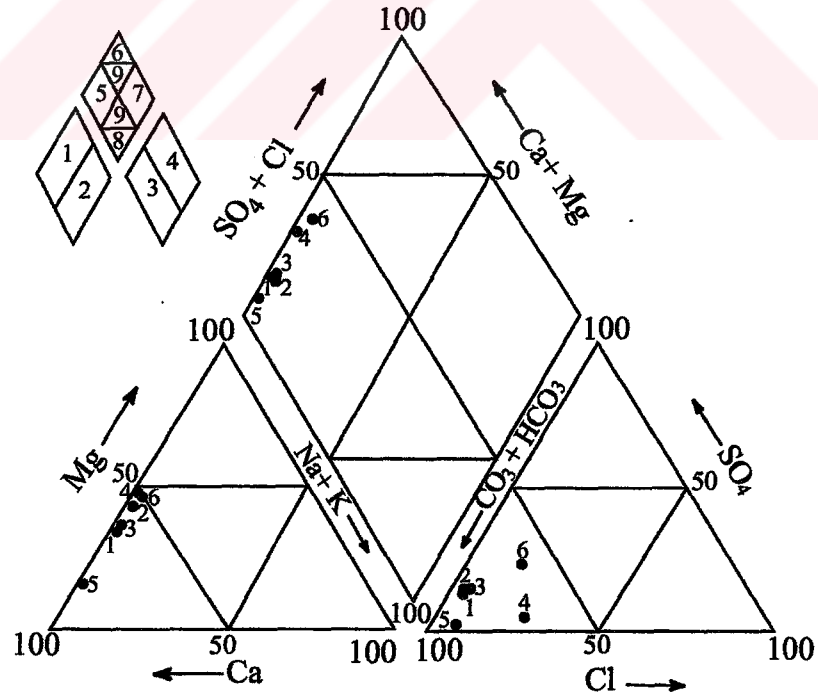
İnceleme alanında yer alan soğuk ve sıcak suların katyon ve anyonlarının % mek değerlerine göre çizilen Piper diyagramlarında tüm sular 1 ve 5 nolu alanda gruplanmışlardır (Şekil 5.8a-e). Bu bölgede katyonlarda $r Ca + r Mg > r Na + r K$ şeklinde bir dizilim olup $MgCO_3$ 'lü sular grubuna girmektedir. Karbonat sertliği %50'den fazladır.

Sıcak ve mineralli su kaynaklarının daha önceki yıllarda yapılan kimyasal tahlil sonuçlarına göre çizilen Piper diyagramında sular aynı alanda gruplanmışlardır (Şekil 5.8a).

- 1- Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (27. 09. 1975)
- 2- Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı (07. 07. 1980)
- 3- Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı (07. 07. 1980)
- 4- Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı-1 (06. 11. 1996)
- 5- Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı-2 (06. 11. 1996)
- 6- Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı-1 (06. 11. 1996)
- 7- Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı-2 (06. 11. 1996)

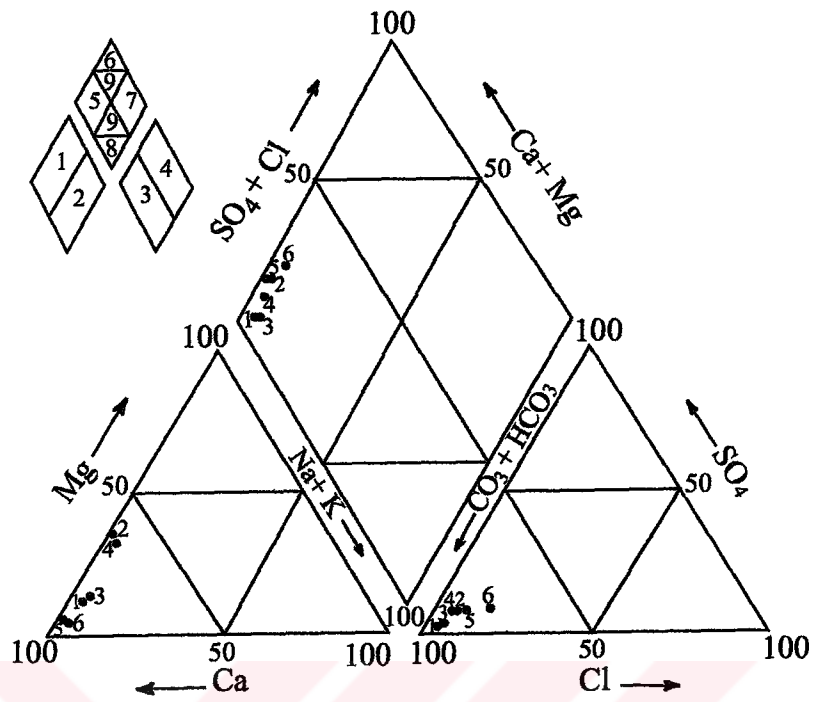


(a)

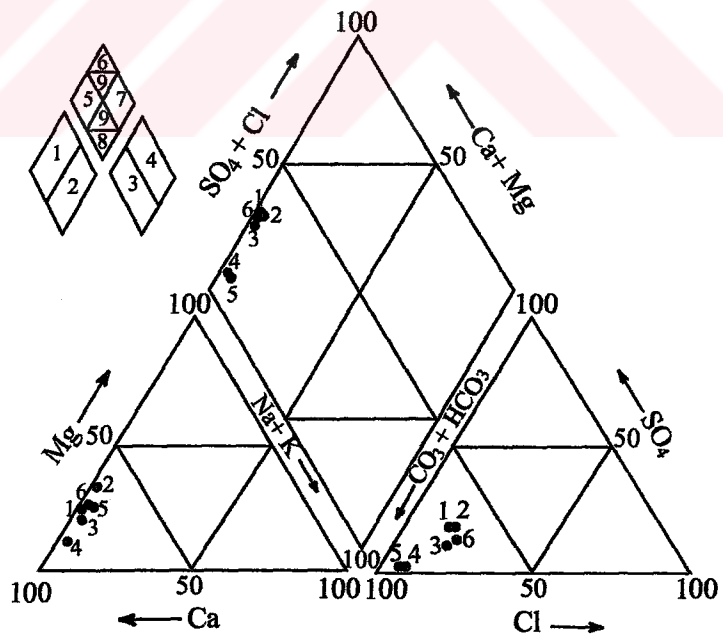


Analiz Tarihi: 23. 09. 2001

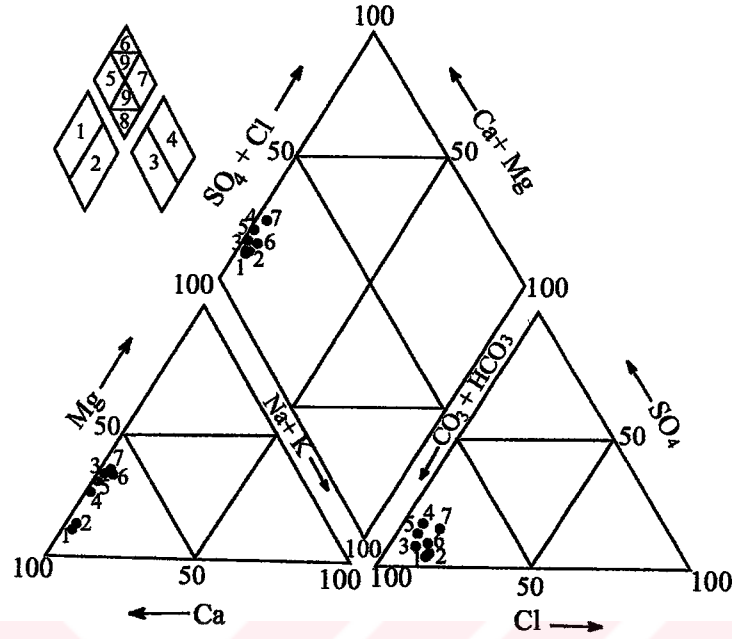
(b)



(c)



(d)



Analiz tarihi: 11. 06. 2003

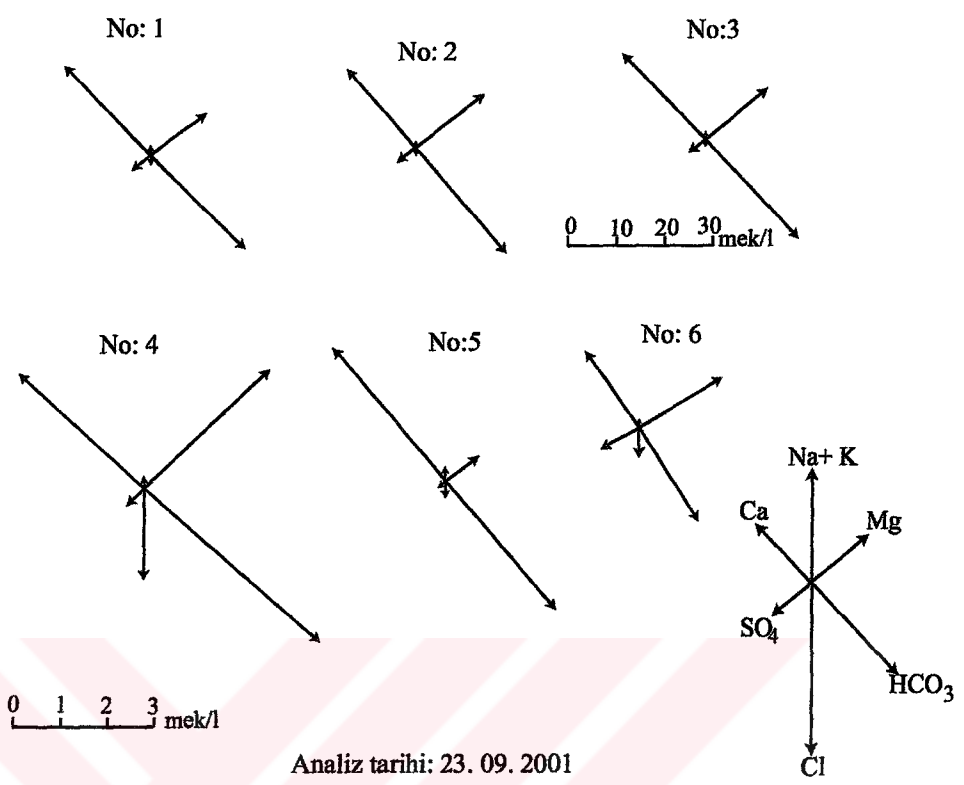
(e)

Şekil 5.8a-e. İncelenen suların Piper diyagramları.

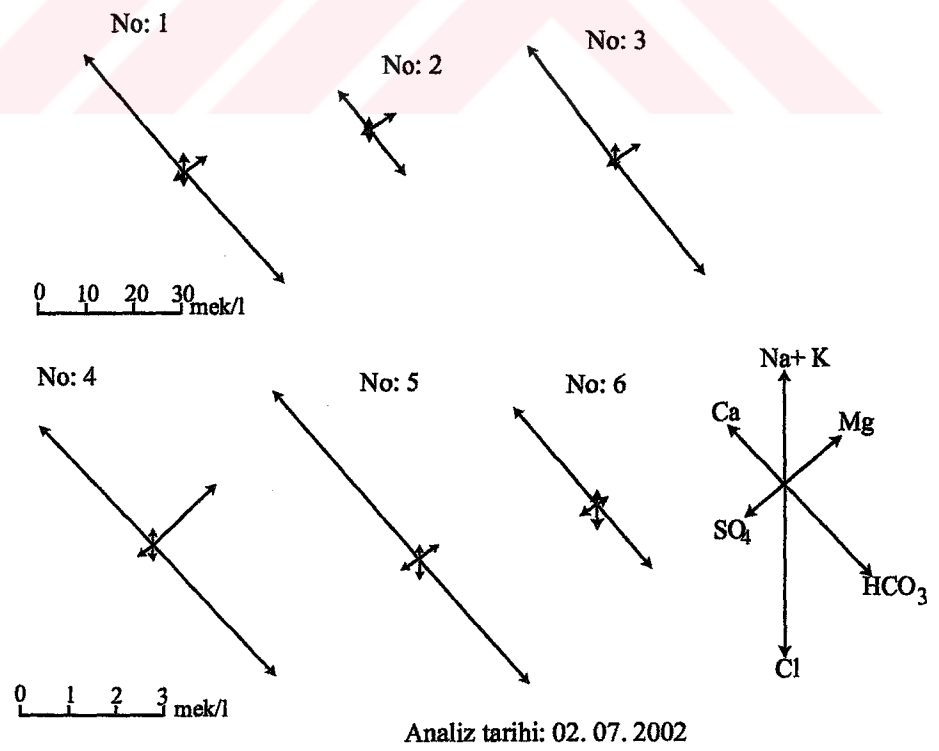
5. 3. 3. Vektörel ve Sütun Diyagramlar

Sulardaki iyonların mek/l değerlerine göre çizilen vektörel diyagramlarda sulardaki baskın kationun Ca, baskın anyonun ise HCO_3 olduğu görülmektedir (Şekil 5.9a-d). Diyagramlar incelendiğinde Ca ve HCO_3 'tan sonra sularda fazla bulunan iyonların sırasıyla Mg ve SO_4 , en az olarak da Na+ K ve Cl iyonlarının olduğu saptanmıştır.

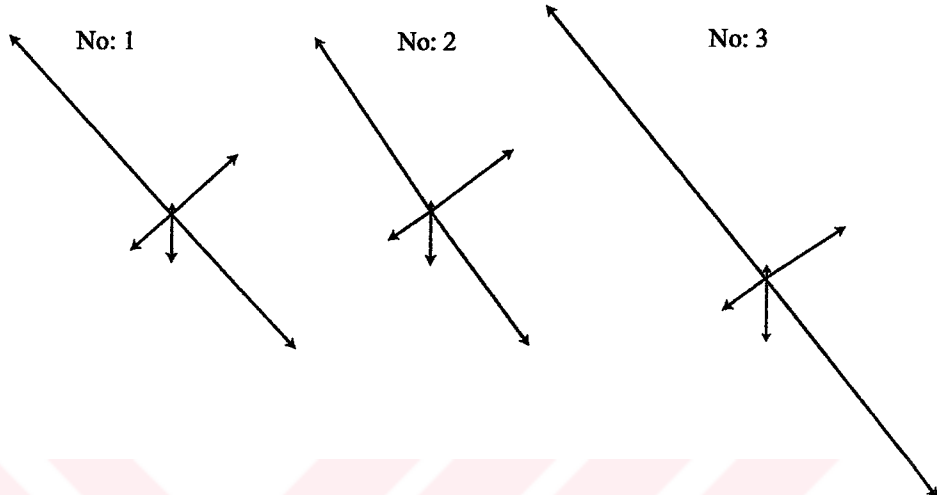
İyonların % mek/l değerlerine göre çizilen sütun grafiklerinde (Şekil 5.10a-c) sularda oluşabilecek tuzların yüzde büyüklük sırası ve miktarları belirlenmiştir.



(a)

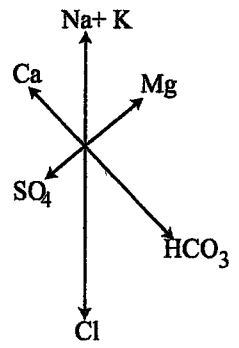
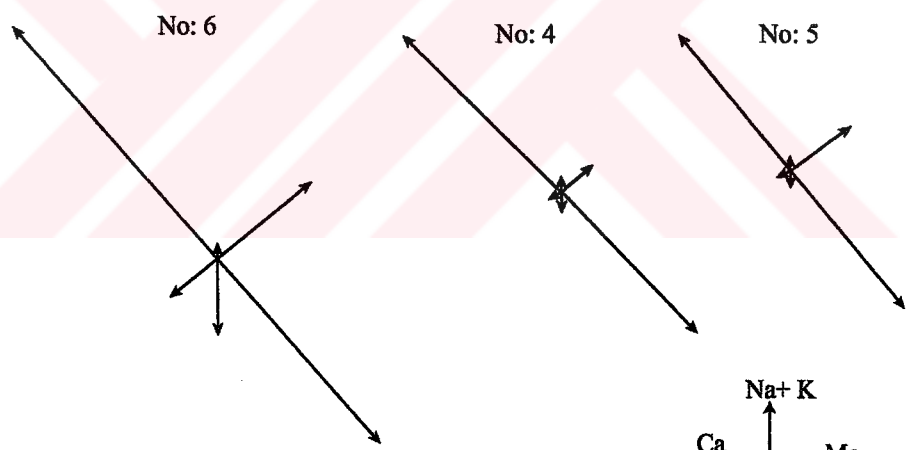


(b)



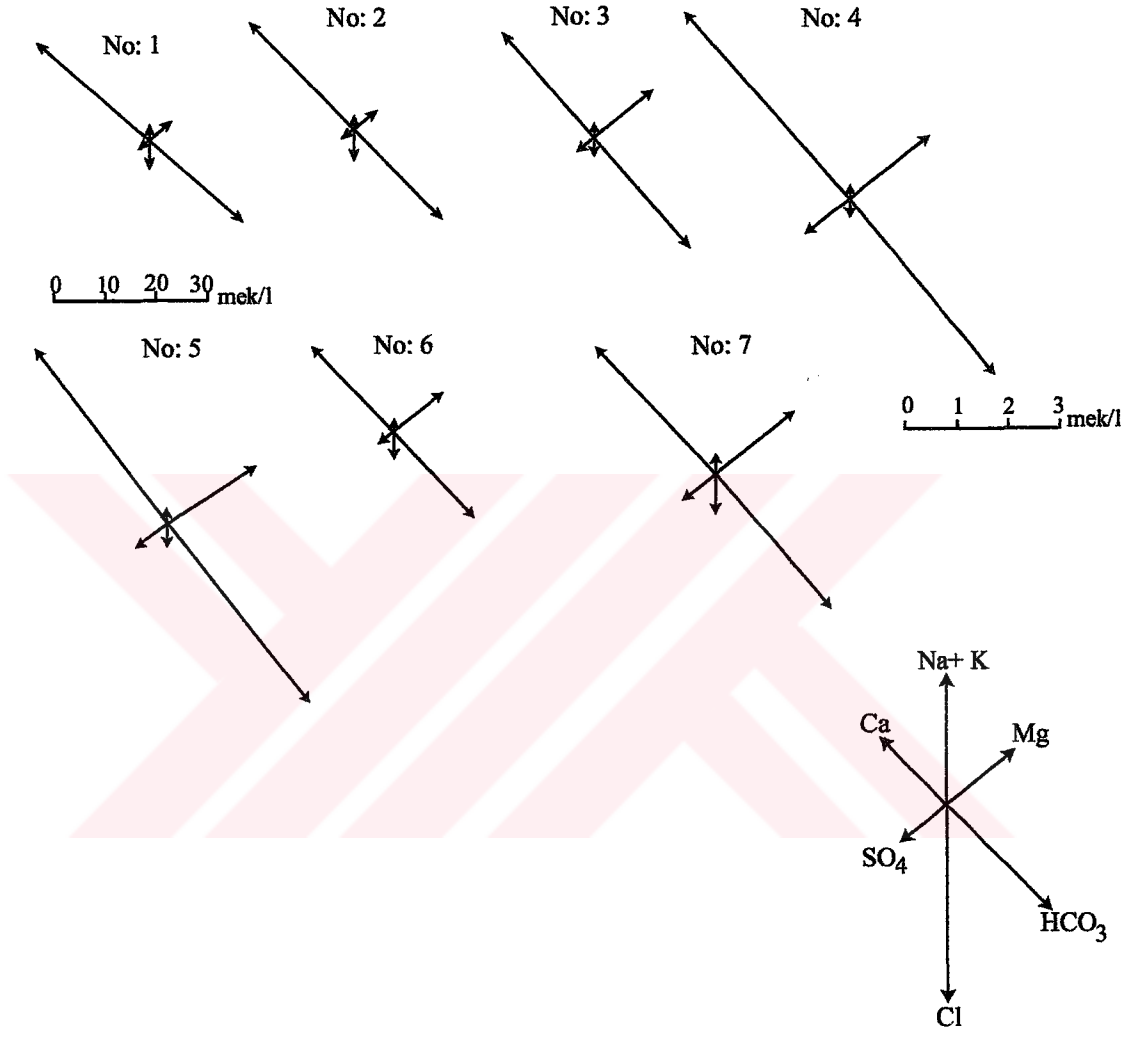
0 1 2 3 mek/l

0 10 20 30 mek/l



Analiz tarihi: 22. 05. 2003

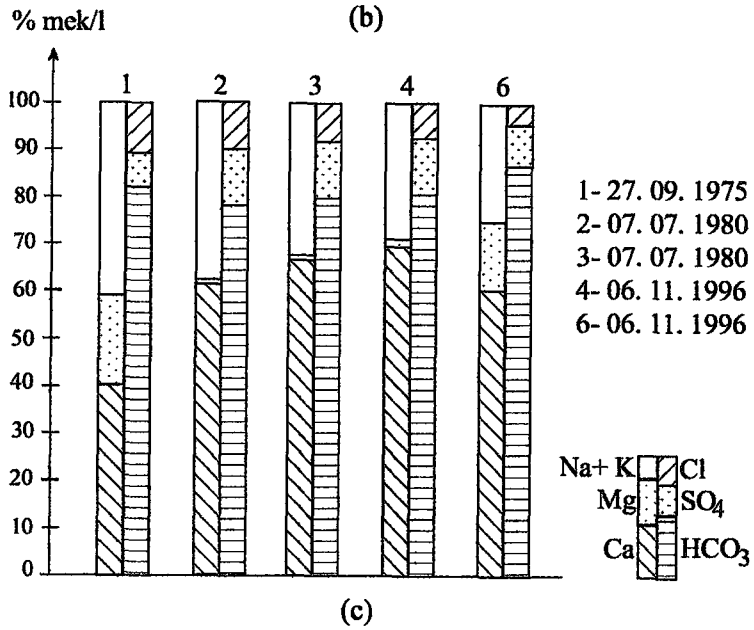
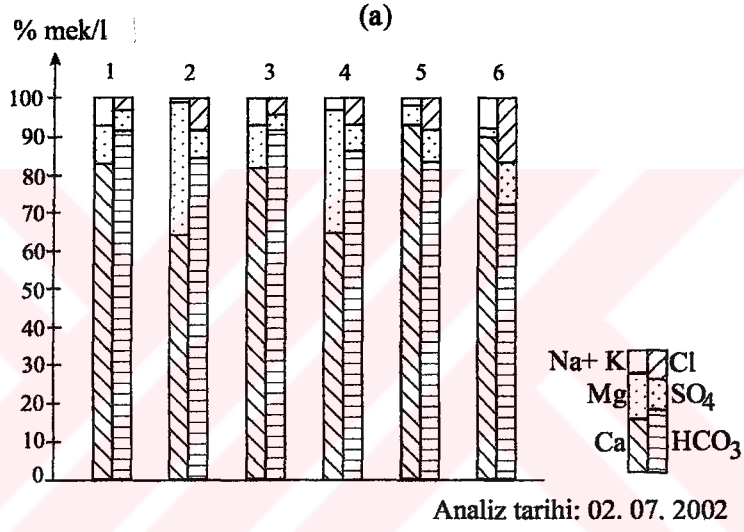
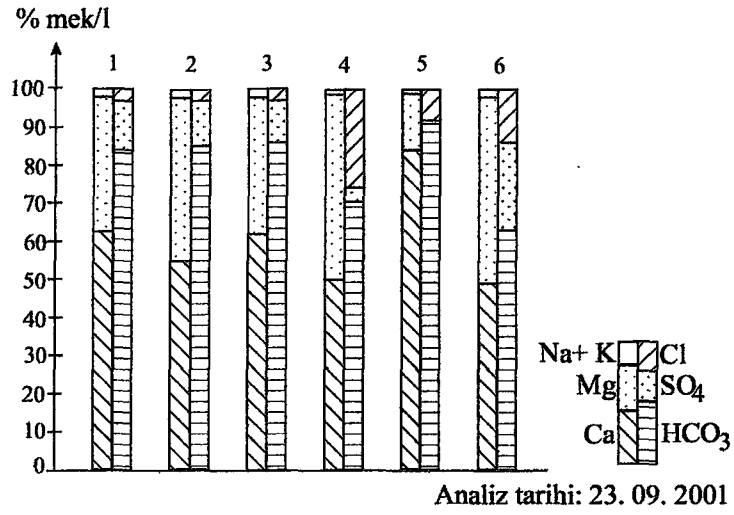
(c)



Analiz tarihi: 11. 06. 2003

(d)

Şekil 5.9a-d. İncelenen suların vektörel diyagramları.



Şekil 5.10a-c. İncelenen sıcak ve soğuk suların sütun diyagramları.

Sularda oluşabilecek tuzlar Tablo 5. 10'da hesaplanmıştır.

Tablo 5. 10. Sularda oluşabilecek tuzlar (%).

Tarih	23. 09. 2001	
Örnek numarası	1	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg (HCO ₃) ₂ > Mg SO ₄ > NaCl> Mg Cl ₂ > KCl 63> 21,352> 12,621> 1,475> 1,152> 0,4
	2	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg (HCO ₃) ₂ > Mg SO ₄ > NaCl> Mg Cl ₂ > KCl 54,913> 30,321> 12,389> 1,571> 0,407 > 0,399
	3	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg (HCO ₃) ₂ > Mg SO ₄ > Mg Cl ₂ > NaCl > KCl 62,158> 23,564> 12,91> 11,779> 1,131> 1,069> 0,298
	4	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg Cl ₂ > Mg (HCO ₃) ₂ > Mg SO ₄ > NaCl > KCl 49,832> 25,557> 20,229> 3,905> 0,421> 0,056
	5	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg (HCO ₃) ₂ > Mg Cl ₂ > Mg SO ₄ > NaCl > KCl 84,145> 7,274> 7,184> 1,073> 0,232> 0,092
	6	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg SO ₄ > Mg (HCO ₃) ₂ > Mg Cl ₂ > NaCl > KCl 49,307> 23,057> 13,455> 12,486> 1,592> 0,103
Tarih	02. 07. 2002	
Örnek numarası	1	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg (HCO ₃) ₂ > Na ₂ SO ₄ > NaCl> KCl> NaHCO ₃ 82,85> 9,701> 4,052> 2,712> 0,425> 0,26
	2	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg (HCO ₃) ₂ > MgSO ₄ > MgCl ₂ > KCl> NaCl 63,773> 19,812> 8,125> 7> 1,178> 0,111
	3	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg (HCO ₃) ₂ > Na ₂ SO ₄ > NaCl> KCl 81,529> 11,385> 3,848> 2,815> 0,422
	4	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg (HCO ₃) ₂ > MgSO ₄ > NaCl > MgCl ₂ > KCl 64,516> 21,696> 7,712> 3,715> 2,264> 0,098
	5	Ca (HCO ₃) ₂ > CaSO ₄ > MgCl ₂ > NaCl > Ca Cl ₂ > KCl 83,456> 8,399> 6,042> 1,209> 0,794> 0,101
	6	Ca (HCO ₃) ₂ > CaSO ₄ >CaCl ₂ > NaCl> MgCl ₂ > KCl 71,603> 10,922> 9,543> 4,249> 3,541> 0,142
Tarih	27. 09. 1975	
Örnek numarası	1	Ca (HCO ₃) ₂ > Na HCO ₃ > Mg (HCO ₃) ₂ > Na ₂ SO ₄ > NaCl > KCl 39,9>23,74> 18,55> 7,27> 5,62> 4,92
Tarih	07. 07. 1980	
Örnek numarası	2	Ca(HCO ₃) ₂ > Na HCO ₃ > Na ₂ SO ₄ > NaCl > KCl > Mg (HCO ₃) ₂ 61,76> 16,22> 12,56> 5,16> 4,03> 0,27
	3	Ca(HCO ₃) ₂ > Na HCO ₃ > Na ₂ SO ₄ > KCl > NaCl > Mg (HCO ₃) ₂ 66,62> 13,29> 12,27> 3,96> 3,53> 0,33
Tarih	06. 11. 1996	
Örnek numarası	4	Ca(HCO ₃) ₂ > Na HCO ₃ > Na ₂ SO ₄ > NaCl > KCl > Mg (HCO ₃) ₂ 69,54> 11,73> 11,44> 3,85> 3,13> 0,31
	6	Ca (HCO ₃) ₂ > Mg (HCO ₃) ₂ > Na HCO ₃ > Na ₂ SO ₄ > KCl > NaCl 60,83> 14,24> 12,28> 8,8> 2,17> 1,68

İncelenen sıcak ve soğuk sularda genel olarak en fazla bulunan tuzlar Ca (HCO₃)₂, Mg (HCO₃)₂, en az bulunan tuzlar ise NaCl ve KCl'dür.

5. 4. Hidrokimyasal Fasiyeler

İnceleme alanında tahlilleri yapılan tüm sular su kimyası açısından bir asıl ve iki alt fasiyeste toplanmışlardır. Bu, Ca -HCO₃ fasiyesi olup, birinci alt grup Ca>Mg>(Na+ K), HCO₃>SO₄>Cl; ikinci alt grup ise, Ca>Mg>(Na+ K), HCO₃>Cl >SO₄ dizilimindedir. Ca-HCO₃ fasiyesi; Permo- Triyas yaşlı Keban metamorfitlelerine ait rekristalize kireçtaşları ile Kırkgeçit Formasyonu'na ait birimlerin oluşturduğu akiferi temsil etmektedir. İkinci alt grup ise daha çok derin kökenli sularla sıcak ve mineralli suları karakterize etmektedir. Bu durum tahlil sonuçlarına göre çizilen Piper diyagramı sonuçlarıyla da uyum sağlamaktadır (Şekil 5.8a-e). Her iki alt grupta da baskın katyon Ca, baskın anyon ise HCO₃'tür. İkinci alt grupta derin kökene bağlı olarak Cl apatitli minerallerin altere olup suya geçmesiyle Cl, SO₄'a göre baskın anyon olarak karakterize edilmiştir.

5. 5. Doygunluk İndislerinin Yorumlanması

Yeraltı suyu dolaşımı sırasında akifer sisteminde oluşan kimyasal tepkimeler, hidrojeokimyasal ortam hakkında yorum yapabilme olanağı sağlamaktadır. Bu amaçla, yeraltı suyunda çeşitli minerallerin doygunluk durumlarının araştırılması gerekmektedir.

İncelenen sıcak ve soğuk suların doygunluk indisleri Phreeqc (Parkhurst ve Appelo, 1999) bilgisayar programı ile hesaplanmıştır (Tablo 5.11- 5.15). Ayrıca, suların anhidrit (CaSO₄), aragonit (CaCO₃), kalsit (CaCO₃), kalsedon (SiO₂), dolomit (Ca Mg (CO₃)₂), jips (CaSO₄. 2H₂O), halit (NaCl) ve kuvars (SiO₂) gibi çökelme ortamlarında bulunabilecek başlıca minerallerin doygunluk durumları grafiksel olarak da değerlendirilmiştir (Şekil 5.11 a-e).

Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli suları genel olarak kalsit, dolomit, aragonit ve kuvars minerallerine göre doygun olup, bu mineralleri çöktürme; anhidrit, jips, halit ve kalsedon minerallerine göre ise doygun olmayıp bunları çözme eğilimindedirler. Sıcak ve mineralli suların akifer formasyonları Keban metamorfitlelerinin rekristalize kireçtaşları olduğundan sular kalsit, aragonit ve dolomite doygun, silis minerallerinden ise kuvarsa doygunken kalsedona doygun değildir.

Tablo 5.11. İnceleme alanı su numunelerinin önceki tarihlere ait mineral doygunluk değerleri.

Tarih Örnek adı veya numarası	27. 09. 1975 Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı	07. 07. 1980 1 nolu örnek	07. 07. 1980 2 nolu örnek	06. 11. 1996 1 nolu örnek	06. 11. 1996 3 nolu örnek
Alünit	1,78	5,11	4,96	3,76	-
Anhidrit	-1,29	-0,96	-1,09	-1,10	-1,12
Aragonit	1,29	0,77	0,51	0,82	0,70
Kalsit	1,42	0,90	0,64	0,95	0,83
Sölestit	-	-0,94	-1,09	-1,09	-
Dolomit	2,80	-0,27	-0,76	-0,19	1,31
Florit	-1,55	-0,89	-1,13	-0,77	-
Gıbsit	2,27	2,78	2,62	2,53	-
Jips	-1,18	-0,86	-0,95	-0,95	-0,98
Halit	-5,78	-6,06	-6,36	-6,41	-6,49
Hausmanit	-	-12,71	-18,27	-13,13	-16,82
Manganit	-	-7,33	-8,78	-6,89	-8,42
Melanterit	-6,72	-6,37	-6,40	-6,45	-6,37
Pirokroyit	-	-7,53	-8,88	-7,28	-8,48
Piroluzit	-	-10,03	-12,43	-10,41	-11,90
Rodokrozit	-	0,80	-0,55	0,78	0,07
Siderit	0,86	0,39	0,13	0,39	0,4
Simitsonit	-2,08	-2,90	-	-	-
Stronsiyanit	-	-0,57	-0,85	-0,53	-

Tablo 5.12. İnceleme alanı su numunelerine ait mineral doygunluk değerleri (23. 09. 2001).

Tarih Örnek numarası	23. 09. 2001 1 nolu örnek	23. 09. 2001 2 nolu örnek	23. 09. 2001 3 nolu örnek	23. 09. 2001 4 nolu örnek	23. 09. 2001 5 nolu örnek
Anhidrit	-1,15	-1,06	-1,21	-2,77	-3,46
Aragonit	-0,03	0,15	0,40	0,40	0,09
Kalsit	0,10	0,28	0,54	0,54	0,24
Kalsedon	-0,35	-0,40	-0,33	-	-0,33
Krizotil	-11,31	-12,90	-8,96	-	-6,99
Dolomit	0,23	-0,24	1,11	1,19	-0,26
Götit	3,58	4,53	5,55	6,73	6,69
Jips	-1,05	-0,96	-1,07	-2,54	-3,21
Halit	-8,04	-8,09	-8,24	-8,94	-10,11
Hematit	9,26	11,17	13,18	15,46	15,33
Jarosit- K	-10,96	-8,40	-6,55	-10,31	-11,39
Melanterit	-7,70	-7,18	-6,86	-10,06	-9,94
Kuvars	0,01	-0,03	0,06	-	0,13
Sepiyolit	-9,07	-10,09	-7,25	-	-5,03
Siderit	-1,54	-0,93	-0,30	-2,23	-1,84
Talk	-8,06	-9,75	-5,74	-	-4,09

Tablo 5.13. İnceleme alanı su numunelerine ait mineral doygunluk değerleri (02. 07. 2002).

Tarih Örnek numarası	02. 07. 2002 1 nolu örnek	02. 07. 2002 2 nolu örnek	02. 07. 2002 3 nolu örnek	02. 07. 2002 4 nolu örnek	02. 07. 2002 5 nolu örnek
Anhidrit	-1,51	-1,89	-1,60	-2,63	-2,48
Aragonit	0,73	0,22	0,82	0,02	-0,07
Kalsit	0,86	0,35	0,95	0,16	0,08
Dolomit	1,08	0,73	1,32	0,11	-1,05
Jips	-1,4	-1,78	-1,45	-2,40	-2,23
Halit	-7,37	-9,55	-9,59	-8,95	-9,38

Tablo 5.14. İnceleme alanı su numunelerine ait mineral doygunluk değerleri (22. 05. 2003).

Tarih Örnek numarası	22. 05. 2003 1 nolu örnek	22. 05. 2003 2 nolu örnek	22. 05. 2003 3 nolu örnek	22. 05. 2003 4 nolu örnek	22. 05. 2003 6 nolu örnek
Anhidrit	-2,03	-2,11	-1,96	-1,53	-2,01
Aragonit	-0,47	-0,91	-0,46	-0,19	-0,38
Kalsit	-0,31	-0,76	-0,30	-0,06	-0,23
Kalsedon	0,12	0,03	-	-0,32	0,16
Krizotil	-9,47	-11,30	-	-15,47	-9,39
Dolomit	-1,2	-1,89	-1,28	-0,68	-0,96
Götüt	-	5,39	-	-	-
Jips	-1,78	-1,86	-1,71	-1,39	-1,76
Halit	-8,89	-9,00	-8,13	-7,25	-8,61
Hematit	-	12,73	-	-	-
Jarosit- K	-	-9,36	-	-	-
Melanterit	-	-6,74	-	-	-
Kuvars	0,60	0,50	-	0,06	0,63
Sepiyolit	-5,74	-7,23	-	-11,56	-5,71
Siderit	-	-1,03	-	-	-
Talk	-5,75	-7,70	-	-12,24	-5,56

Tablo 5.15. İnceleme alanı su numunelerine ait mineral doygunluk değerleri (11. 06. 2003).

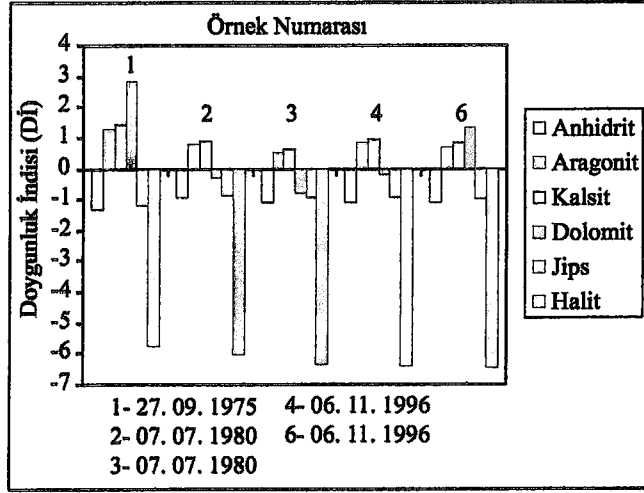
Tarih Örnek numarası	11. 06. 2003 1 nolu örnek	11. 06. 2003 2 nolu örnek	11. 06. 2003 3 nolu örnek	11. 06. 2003 4 nolu örnek	11. 06. 2003 5 nolu örnek	11. 06. 2003 6 nolu örnek	11. 06. 2003 7 nolu örnek
Anhidrit	-1,57	-1,54	-2,74	-2,06	0,11	-2,95	-2,35
Aragonit	-0,63	-0,21	-1,43	-0,77	1,70	-1,27	-1,31
Kalsit	-0,49	-0,08	-1,27	-0,61	1,86	-1,12	-1,16
Kalsedon	-0,31	-0,33	-	-	-	-	-
Krizotil	-16,87	-14,34	-	-	-	-	-
Dolomit	-1,61	-0,77	-2,97	-1,78	3,02	-2,61	-2,74
Jips	-1,42	-1,41	-2,48	-1,81	0,36	-2,69	-2,09
Halit	-7,22	-7,21	-9,84	-9,78	-6,86	-9,03	-8,48
Kuvars	0,08	0,05	-	-	-	-	-
Sepiyolit	-12,43	-10,86	-	-	-	-	-
Talk	-13,61	-11,12	-	-	-	-	-

İncelenen soğuk sular ise genel olarak hiçbir minerale doygun değildir. Bunun nedeni, soğuk su kaynaklarının yeraltındaki dolaşım sürelerinin kısa olması ve kayaçlarla uzun süre temas edemeyerek kimyasal tepkimelere girememeleri ve bölgede geniş alanlar kaplayan Karabakır Formasyonu'na ait bazalt ve andezit gibi volkanik kayaçların çözünürlüğünün oldukça az olmasıdır. Ancak, Yoğunağaç köyü çeşme suyu aragonit, kalsit ve dolomit minerallerine doygun durumdadır (Şekil 5.11 b,c). Dedebağ köyü çeşme suyu ise 23. 09. 2001 tarihindeki grafikte aragonit, kalsit ve kuvarsa doygunken, 02. 07. 2002 tarihindeki grafikte ise sadece kalsit mineraline doygundur. Dedebağ ve Yoğunağaç köyü çeşme sularının minerallere doygunlukları Eylül ayında Temmuz ayına oranla daha fazladır. Bu durum, yeraltı su seviyesinin en alçak olduğu Sonbahar aylarında yeraltı sularının temas ettiği kayaçlarla daha fazla tepkimeye girme eğilimlerinin ve süresinin artması ile açıklanabilir.

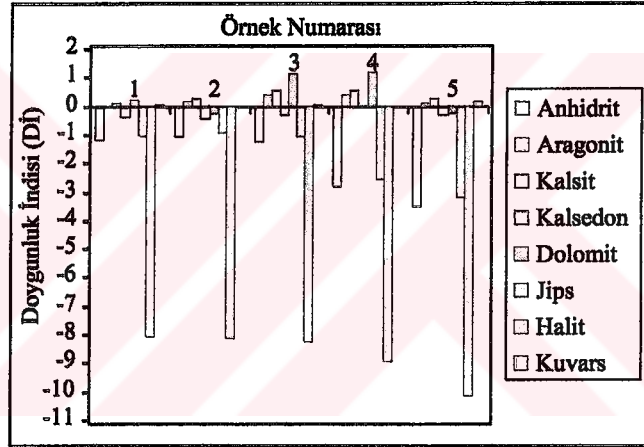
MTA sıcak su sondajının suyu da kuvars minerali dışında hiçbir minerale doygun değildir. Bunun nedeni, MTA sıcak su sondajının soğuk yeraltı suyu ile karışması ve yağışlardan etkilenmesi olmalıdır. Benzer durum Kolan ve Bağın sıcak su kaynaklarının 2001- Haziran ve 2002- Temmuz tarihlerindeki diyagramlarında da görülmektedir. Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli suları da yükselimleri sırasında soğuk su karışımları olmaktadır (Şekil 5.11 d,e).

Karabakır Formasyonu'nun bazaltlarından beslenen ve Si analizleri yapılan Güzelbaba çeşmesi, Beyaz çeşme, Dedebağ köyü ve Kortan Mahallesi çeşme suları SiO_2 minerallerine doygundurlar (Şekil 5.11 b,d). Şekil 5.11 e'de Kırkgeçit Formasyonu'nun kireçtaşlarından beslendiği düşünülen Doğucak köyü çeşme suyunun halit dışındaki tüm minerallere doygun oldukları görülmektedir.

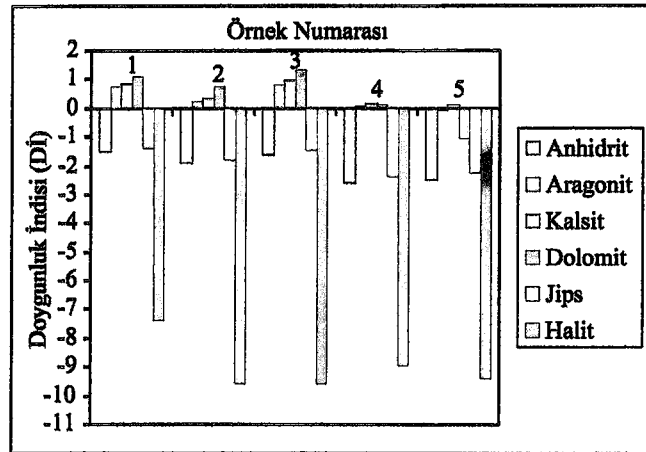
Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları kalsit, aragonit, kuvars ve dolomit minerallerinin dışında alünit ($\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), gipsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$), siderit (FeCO_3), götit (FeO.OH), hematit (Fe_2O_3) ve rodokrozit (MnCO_3) minerallerine de doygun (Tablo 5.11 ve 5.12), florit (CaF_2), jips, hausmanit (Mn_3O_4), Jarosit-K [$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$], manganit [$\text{MnO}_2\text{Mn}(\text{OH})_2$], melanterit ($\text{FeSO}_4.7\text{H}_2\text{O}$), pirokroyit [$\text{Mn}(\text{OH})_2$], piroluzit (MnO_2), simitsonit (ZnCO_3), stronsiyanit (SrCO_3), talk [$\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{16})_2(\text{OH})_4$], krizotil [$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$], sölestit (SrSO_4), sepiyolit [$\text{Mg}_4(\text{Si}_2\text{O}_5)_3(\text{OH})_2.6\text{H}_2\text{O}$] minerallerine ise doygun değildir (Tablo 5.11-5.15). Sıcak suların siderit, götit ve hematit gibi Fe'li minerallere doygun olmaları kaynak çıkış noktalarında oluşan kırmızı renkli çökelimler ile de desteklenmektedir.



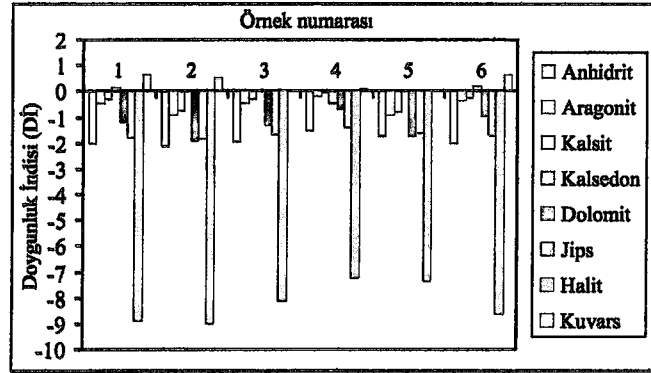
(a)



(b)

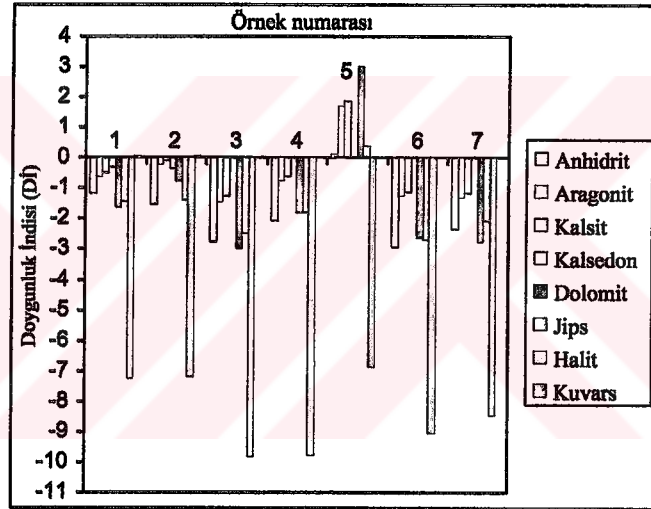


(c)



Analiz tarihi: 22. 05. 2003

(d)



Analiz tarihi: 11. 06. 2003

(e)

Şekil 5.11.a-e. İncelenen suların minerallere doygunluk indislerinin grafiksel değerlendirilmesi.

5.6. Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermometre, jeotermal alanlardan çıkan akışkanların özelliklerinden yararlanılarak sıcak su rezervuarı veya akiferin sıcaklıklarını tahmin yöntemlerini açıklayan bir terim olup, jeotermal sularda bulunan kimyasal elementler yardımıyla (iyon, gaz, izotop vb.) sıcak su akiferinin sıcaklığını tahmin etme yöntemidir.

İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli suların hazne kaya sıcaklıkları farklı jeotermometreler kullanılarak hesaplanmıştır.

5. 6. 1. Katyon Jeotermometreleri

Katyon jeotermometreleri iyon alış verişine dayalıdır. Bu jeotermometrelerin temeli iyon değişimi sırasındaki sıcaklık- denge sabiti (K) ilişkisidir. Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş bazı katyon jeotermometre eşitlikleri Tablo 5. 16'da verilmiştir.

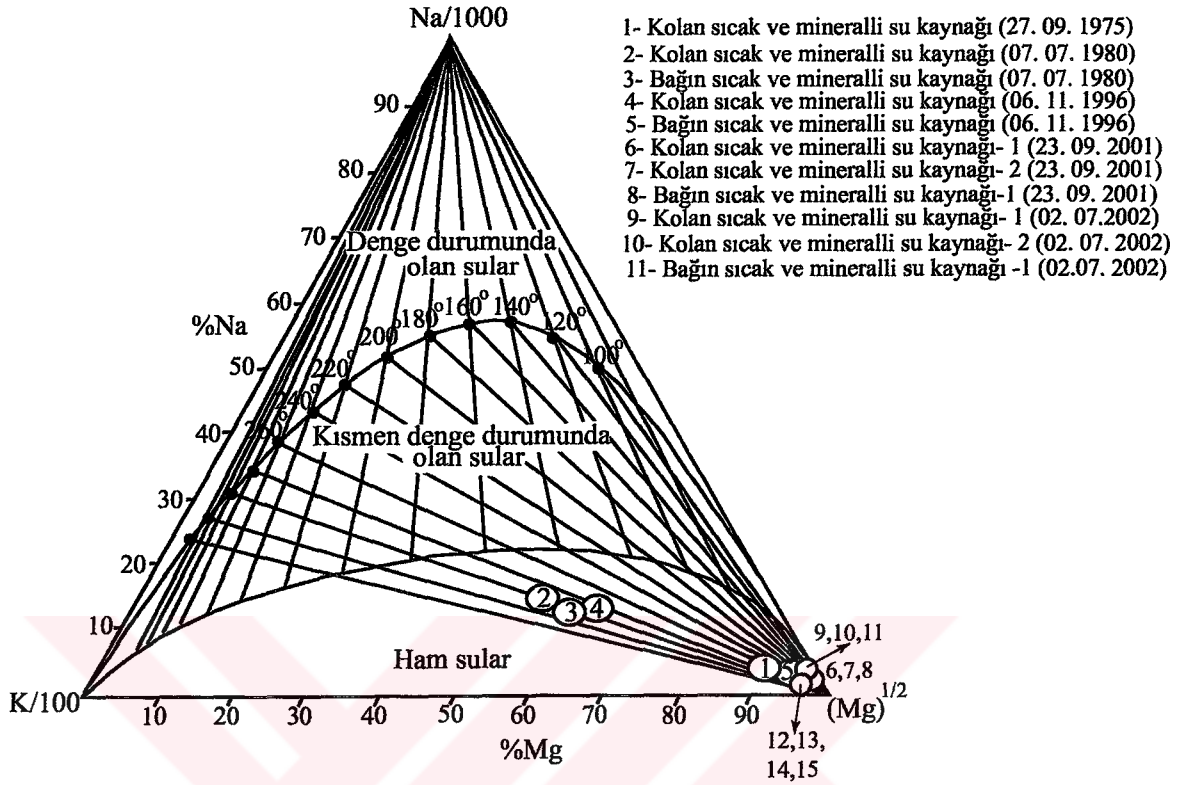
Tablo 5. 16. Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş jeotermometre eşitlikleri.

Jeotermometre	Eşitlik
Na-K (Truesdell, 1976)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{856}{0.857 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$
Na-K (Tonani, 1980)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{833}{0.780 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$
Na-K (Arnorsson, 1983)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{933}{0.993 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15 \quad (25-250^{\circ}\text{C})$
Na-K (Arnorsson, 1983)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1319}{1.699 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15 \quad (250-350^{\circ}\text{C})$
Na-K (Fournier, 1979)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1217}{1.483 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$
Na-K (Nieva ve Nieva, 1987)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1178}{1.470 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$
Na-K (Giggenbach vd., 1983)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1178}{1.470 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$
Na-Ca (Tonani, 1980)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1096.7}{3.080 + \log(\text{Na} / \text{Ca})} - 273.15$
Na-K-Ca (Tonani, 1980)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\log(\text{Na} / \text{K}) + \left[\beta \log(\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na}) + 2.06 \right] + 2.47} - 273.15$ $t < 100^{\circ}\text{C}$ için $\beta = 4/3$, $t > 100^{\circ}\text{C}$ için $\beta = 1/3$
K-Mg ($\log(\text{K}^2/\text{Mg}) > 1.25$; Fournier, 1991)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{2330}{7.35 + \log(\text{K}^2 / \text{Mg})} - 273.15$
K-Mg ($\log(\text{K}^2/\text{Mg}) < 1.25$; Fournier, 1991)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1077}{4.033 + \log(\text{K}^2 / \text{Mg})} - 273.15$
K-Mg (Giggenbach, 1988)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{4410}{14.00 + \log(\text{K} / \sqrt{\text{Mg}})} - 273.15$
K-Ca (Tonani, 1980)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1930}{3.861 + \log(\text{K} / \sqrt{\text{Ca}})} - 273.15$

Tablo 5. 16'nin devamı

Li-Mg (Kharaka ve Mariner, 1989)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{2200}{5.470 + \log(\text{Li} / \sqrt{\text{Mg}})} - 273.15$
Li-Na (Kharaka vd., 1982)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1590}{0.779 + \log(\text{Na} / \text{Li})} - 273.15$
Li-Na (Fouillac ve Michard, 1981) (Cl<0.3M)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1000}{0.389 + \log(\text{Na} / \text{Li})} - 273.15$
Li-Na (Fouillac ve Michard, 1981) (Cl>0.3M)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1195}{0.130 + \log(\text{Na} / \text{Li})} - 273.15$
Kuvars (Fournier ve Potter, 1982)	$t^{\circ}\text{C} = C_1 + C_2S + C_3S^2 + C_4S^3 + C_5 \log S$ Burada: $C_1 = -4.2198 \times 10^1$ $C_3 = -3.6686 \times 10^{-4}$ $C_5 = 7.7034 \times 10^1$ $C_2 = 2.8831 \times 10^{-1}$ $C_4 = 3.1665 \times 10^{-7}$ S= SiO ₂ , ppm
Kuvars (Buhar Kaybı Yok) (Fournier, 1973)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1309}{5.19 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$
Kuvars (100 °C'de Max. Buhar Kaybı) (Fournier, 1973)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1522}{5.75 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$
Kalsedon (Buhar Kaybı Yok) (Fournier, 1977)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1032}{4.69 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$
Kalsedon (100 °C'de Max. Buhar Kaybı) (Fournier, 1977)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1182}{5.09 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$
Kalsedon (Buhar Kaybı Yok) (Arnorsson vd., 1983)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1112}{4.91 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$
Kalsedon (100 °C'de Max. Buhar Kaybı) (Arnorsson vd., 1983))	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1264}{5.31 - \log \text{SiO}_2} - 273.15$

Katyon jeotermometrelerinin uygulanabilmesi için bazı şartlar aranır. Bunlardan en önemlisi Giggenbach (1991) tarafından önerilmiş olan Na-K-Mg üçgen diyagramıdır. Bu diyagramda, olgun (denge durumunda olan) sular bölümünde yer alan suların analizleri katyon jeotermometresi olarak kullanılabilir. Diğer bölgelerde ise katyon jeotermometrelerinin kullanılması sakıncalı sonuçlar verebilir. Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları Na-K-Mg diyagramında, denge durumundan oldukça uzak, olgun olmayan sular grubuna girmektedir (Şekil 5. 12). Dolayısıyla bu suların hazne kaya sıcaklığının belirlenmesinde katyon jeotermometrelerinin kullanılması hatalı sonuçlar verebilir.



Şekil 5. 12. Sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramı (Giggenbach, 1991) üzerindeki dağılımları.

5. 6. 1. 1. Li- Mg Jeotermometresi

Li/ Mg^{1/2} jeotermometresi üzerinde yapılan çalışmalar sonucu Kharaka ve Mariner (1989), Li/ Mg^{1/2} oranının etkili bir jeotermometre olarak kullanılabileceğini önermişlerdir. Bunun yanında bu jeotermometrenin kuyudan alınmış numunelerde iyi sonuç vermesine rağmen, kaynak sularından alınan numunelerde hazne kaya sıcaklığından daha düşük bir değer verdiği gözlenmiştir.

1975, 1980 ve 1996 yıllarına ait analizlere göre hesaplanan Li/ Mg^{1/2} jeotermometre sonuçlarına göre sıcak ve mineralli suların hazne kaya sıcaklıkları 3°C ile 112°C arasındadır (Tablo 5. 17). Bu değer aralığı oldukça abartılı olduğundan rezervuar sıcaklığının tahmininde kullanılmamıştır.

5. 6. 1. 2. Li- Na Jeotermometresi

Li- Na jeotermometresi sudaki toplam çözülmüş katı ve kayaç türünden oldukça fazla etkilenmektedir. Çünkü, Li elementi jeotermal akışkanın minör bileşeni; Na ise majör bileşeni olup, Li'deki çok küçük bir değişim Na/ Li oranını büyük oranda değiştirecektir (Arnorsson, 2000). Bu nedenle bu jeotermometreyi kullanırken abartılı sonuçlar çıkması muhtemeldir.

Tablo 5. 17. İncelenen sıcak ve mineralli suların hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklıkları (°C).

Tarih	27. 09. 1975		07. 07. 1980		06. 11. 1996		23. 09. 2001			22. 05. 2003		11. 06. 2003		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)
Örnek numarası														
Li-Mg ¹	3	112	106	108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Li-Na ²	52	184	193	199	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Li-Na ³	-51	51	58	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kuvars ⁴														
Kuvars ⁵ (buhar kaybı yok)					75	70	71	71	71	72	71	71	71	71
Kuvars ⁶ (100°C'de max. buhar kaybı)					74	70	71	71	71	71	71	70	71	71
Kalsedon ⁷ (buhar kaybı yok)					79	75	75	75	75	76	75	75	76	75
Kalsedon ⁸ (100°C'de max. buhar kaybı)					43	38	39	38	39	39	38	38	39	39
Kalsedon ⁹ (buhar kaybı yok)					49	45	46	45	46	46	45	45	46	46
Kalsedon ¹⁰ (100°C'de max. buhar kaybı)					46	41	42	41	42	42	41	41	42	42
Jeotermometre referansları					52	48	49	48	49	49	48	48	49	49

1- Kharaka ve Mariner(1989), 2-Kharaka vd. (1982), 3-Fouillac ve Michard (1981) [Cl<0,3M], 4-Fournier ve Potter (1982), 5-Fournier (1973), 6-Fournier (1973), 7-Fournier (1977), 8-Fournier (1977), 9-Arnorsson vd. (1983), 10-Arnorsson vd. (1983)

Li- Na jeotermometreleri, Li elementi analizinin yapıldığı 1975, 1980 ve 1996 tarihli örneklere uygulanabilmiştir. Bunların sonucunda elde edilen minimum hazne kaya sıcaklığı 51°C ve maksimum hazne kaya sıcaklığı ise 199°C'dir (Tablo 5. 17).

5. 6. 2. SiO₂ Jeotermometreleri

SiO₂ jeotermometreleri mineral çözünürlüğüne dayalı bir jeotermometredir. SiO₂'in çözünürlüğü diğer mineraller gibi sıcaklık ve basınçla değişmektedir. Bu jeotermometrelerin esası bu temel bağıntıya dayanmaktadır. Silis jeotermometre bağıntıları, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kaya sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına bağlı olarak hazırlanmıştır (Şahinci, 1991b)

Kuvars jeotermometrelerine göre, incelenen sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları 70-79°C arasında; kalsedon jeotermometrelerine göre ise 38- 52°C arasındadır (Tablo 5. 17).

5. 6. 3. Karışım Modelleri

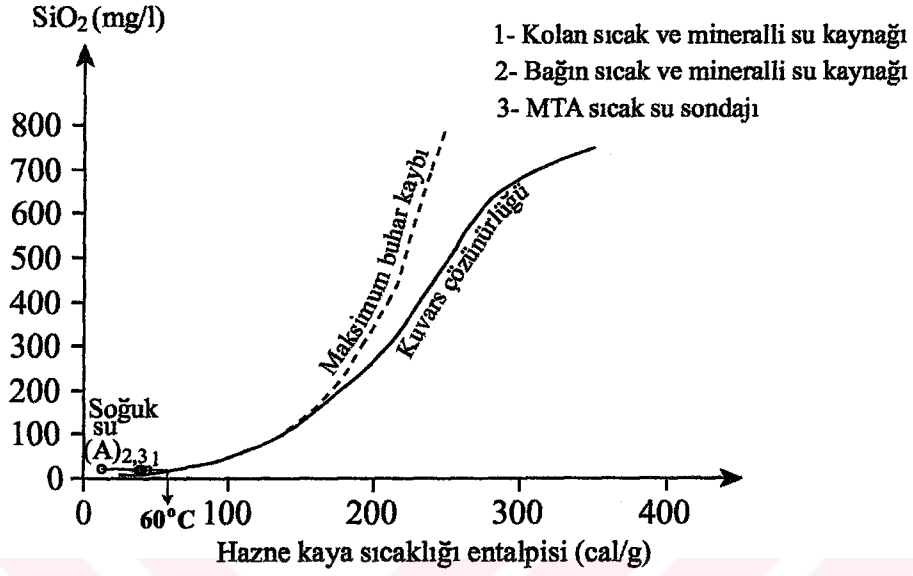
Birçok alandaki sıcak sular yüzeye erişirken belli oranlarda soğuk sularla karışarak yeraltındaki sıcaklıklardan daha düşük değerler verir. Karışım sonucu sıcak suyun kimyasal özelliklerindeki ve sıcaklığında meydana gelen değişiklikler kullanılarak jeotermal sistemin hazne kaya sıcaklığının ve karışım oranlarının saptandığı çeşitli karışım modelleri geliştirilmiştir (Tarcan, 2002).

Sıcaklık ve SiO₂ dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan SiO₂-entalpi karışım modeli entalpi- SiO₂ diyagramı kullanılarak karışım öncesi sıcaklık- buhar kaybının gerçekleşip gerçekleşmediği her iki durum için de uygulanabilmektedir (Fournier, 1977b; Tarcan, 2002'den).

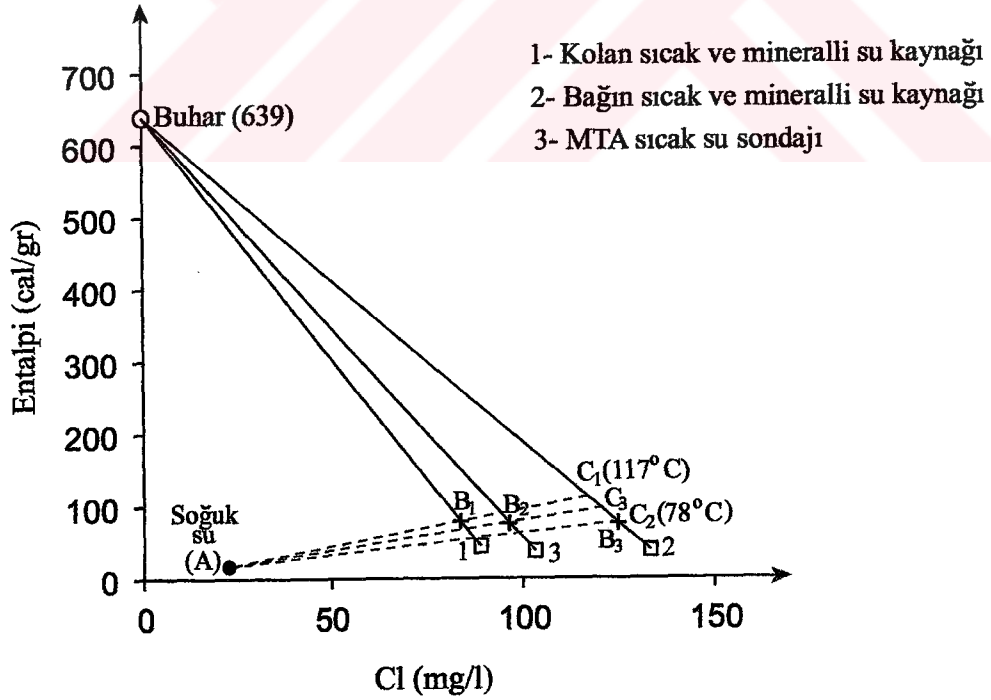
SiO₂- entalpi diyagramına göre Kolan jeotermal alanının akifer sıcaklığı 60°C civarındadır (Şekil 5. 13).

Fournier (1977b)'in hazne kaya sıcaklığını ve sıcak- soğuk su karışım oranlarını bulmak için önerdiği entalpi- Cl diyagramında sahanın en düşük hazne kaya sıcaklığı 78°C, en yüksek hazne kaya sıcaklığı ise 117°C'dir (Şekil 5. 14).

Entalpi- Cl ve entalpi- SiO₂ karışım modellerine göre incelenen sıcak ve mineralli su kaynaklarında saptanan sıcak su karışım oranları Tablo 5. 18'de verilmiştir.



Şekil 5. 13. İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi- SiO₂ diyagramı.



Şekil 5. 14. İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi- Cl diyagramı.

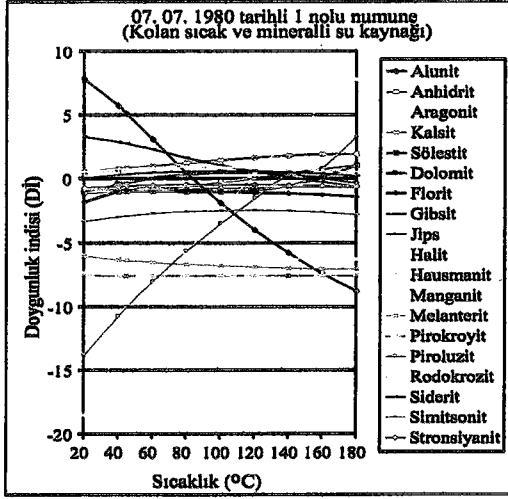
Tablo 5. 18. İncelenen sıcak ve mineralli sularda karışım modellerine göre saptanan sıcak su karışım oranları.

Örnek numarası ve adı	1 Kolan sıcak ve mineralli su kaynağı	2 Bağın sıcak ve mineralli su kaynağı	3 MTA sıcak su sondajı
Entalpi- Cl karışım modeline göre saptanan sıcak su karışım oranı (%)	66	-	77
Entalpi- SiO ₂ karışım modeline göre saptanan sıcak su karışım oranı (%)	70	55	55

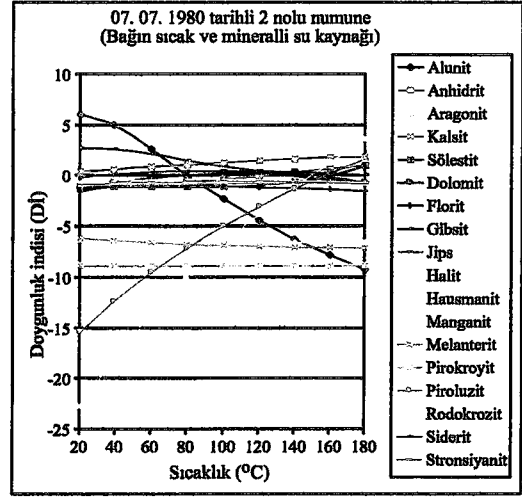
5. 6. 4. Mineral Denge- Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi

Reed ve Spycher (1984)'in jeotermal alanlardaki hazne sıcaklığının tahmin edilmesi için önermiş oldukları bu yöntem sıcaklıkla mineral doygunluklarının değişimi esasına dayalıdır. Gerçekte bilinmektedir ki, minerallerin denge sabitleri hem sıcaklıkla hem de basınçla ilişkilidir. Ancak, Arnorsson vd. (1983)'nin belirttiği gibi alterasyon minerallerinin denge sabitlerinin değişiminde basıncın etkisi (0- 200 bar arası) oldukça sınırlıdır. Bu gerçekten yola çıkılarak her bir su için sıcaklığın bir fonksiyonu olan pek çok hidrotermal mineral ile denge durumları arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi ile oluşturulan sıcaklık- mineral denge diyagramı geliştirilmiştir (Reed ve Spycher, 1984; Tarcan, 2002'den).

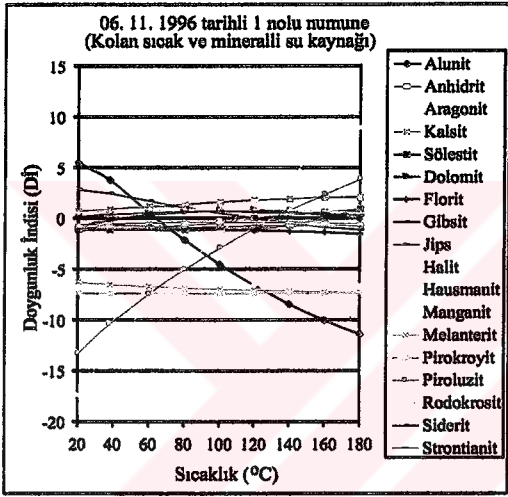
İncelenen sıcak ve mineralli su kaynakları ile MTA sondaj kuyusunun farklı tarihlerdeki tahlil sonuçlarına ait sıcaklık- mineral denge diyagramları Şekil 5. 15a-f'de gösterilmiştir. Bu diyagramların değerlendirilmesi sonucunda jeotermal alanda ortalama minimum 60°C ile maksimum 160°C arasında değişen rezervuar sıcaklığından bahsedilebilir (Tablo 5. 19).



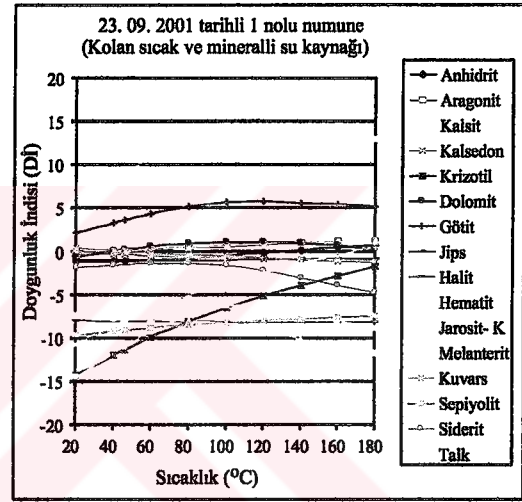
(a)



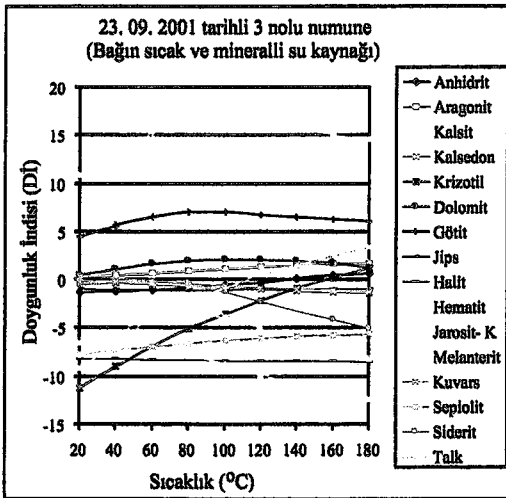
(b)



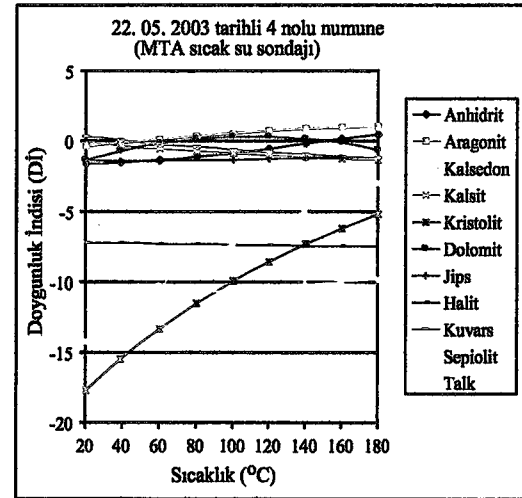
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 5. 15a-f. İncelenen sıcak ve minerali suların sıcaklık-mineral denge diyagramları (Reed ve Spycher, 1984).

Tablo 5. 19. İnceleme alanında kullanılan jeotermometrelerin genel değerlendirilmesi.

Örnekleme tarihi ve örnek numarası	Ölçülen sıcaklık (°C)	Li- Na jeotermometreleri ile hesaplanan değerler (°C)		Silis jeotermometreleri ile hesaplanan değerler (°C)		Mineral denge-sıcaklık diyagramı jeotermometresi ile hesaplanan değerler (°C)	
		Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
1980-1	45	51	184	-	-	120	160
1980-2	39	58	193	-	-	80	160
1996-1	38	62	199	-	-	120	160
2001-1	46	-	-	49	79	-	60
2001-2	45,5	-	-	45	75	-	-
2001-3	39,6	-	-	46	75	-	60
2003-4	39	-	-	45	75	-	60

İncelenen sıcak ve mineralli su kaynakları ile MTA sıcak su sondaj kuyusuna uygulanan jeotermometrelerin maksimum ve minimum değerleri Tablo 5.19'da verilmiştir. Kolan jeotermal alanının ortalama hazne kaya sıcaklığı 67°C olarak hesaplanmıştır.

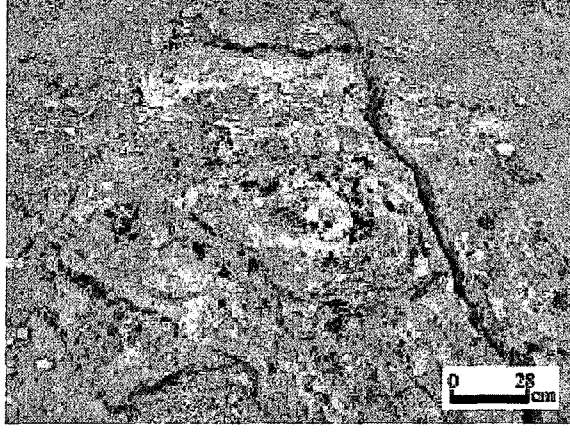
5. 7. Sıcak ve Mineralli Kaynakların Sınıflandırılması

İncelenen Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli suları çıkış yerlerinin jeolojisine göre kırırım- fay kaynaklarıdır (Schoeller, 1962). Suda çözülmüş toplam iyon miktarına göre "acı sular" grubuna girerler (Todd, 1980). Kaynak sularının 1996 yılı tahlil sonuçları dikkate alındığında Uluslararası Hidrojeologlar Birliği sınıflamasına göre, "Ca, Na, HCO₃ ve CO₂'li sıcak ve mineralli sular" dır. 2001, 2002 ve 2003 yıllarındaki tahlil sonuçlarına göre ise "Ca, Mg, HCO₃ ve CO₂'li sıcak ve mineralli sular" dır.

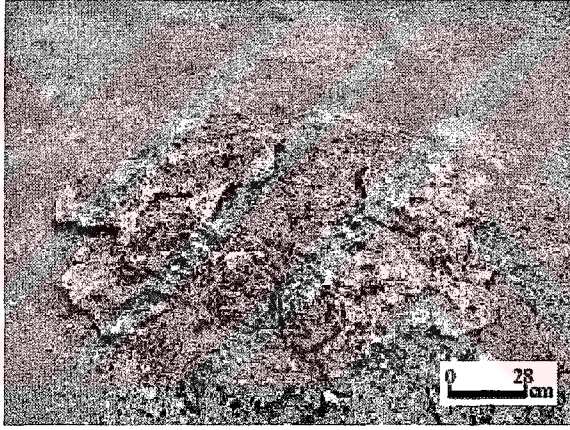
5. 8. Sıcak ve Mineralli Su Oluşukları

Sıcak ve mineralli sular CaCO₃'e aşırı doygun, yani karbonat çökelten özelliğindedir. Bu nedenle kaynak çevresinde oldukça kalın kaynak tüf ve travertenler şeklinde CaCO₃ çökeltisi meydana gelmiştir. Bütün bu CaCO₃ çökeltileri genellikle suyun ince bir tabaka şeklinde akımını belirler. İnce tabaka ve sıçrayarak akma şekli, sudaki CO₂'in uçmasını ve CaCO₃'ün daha fazla çökmesini sağlar (Canik, 1978). Peri suyu vadisi boyunca Kolan ve Bağın sıcak su kaynakları arasında kırık ve çatlaklar boyunca sızan mineralli suların oluşturduğu CaCO₃ çökelimlerine rastlanmaktadır. Bu çökelimler kimi yerlerde tabandaki kayayı örter şekilde yayılırken kimi yerlerde ise sarkıt ve dikitler oluşturmuştur. Traverten ve kaynak tüflerinin kimyasal analiz sonuçları Bölüm 5.1'de verilmiştir. Travertenlerin SiO₂ bileşimleri kaynak tüflerine göre daha yüksektir. Bunun nedeni, travertenlerin gözenek ve çatlaklarının SiO₂ ile dolmasıdır.

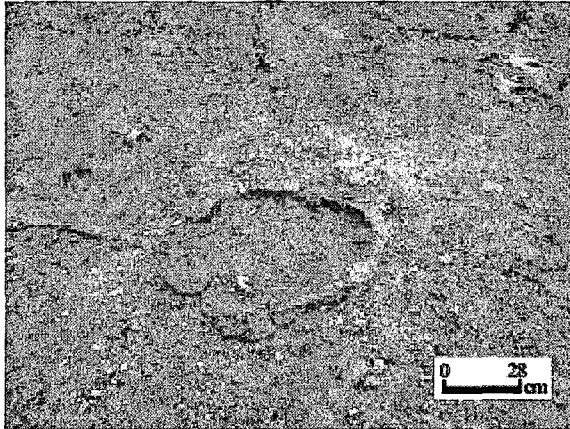
Kolan jeotermal alanında kaynakların çıktığı fay kuşağı üzerinde dizilmiş, taban çapları 50- 100 cm., yükseklikleri 5- 60 cm. arasında değişen kaynak konileri oluşmuştur (Şekil 5. 16a-c). Bunlardan çoğunun oluşumu sıcak akışkanın hidrotermal oluğu tıkaması nedeniyle durmuştur.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5. 16a-c. Kolan jeotermal alanında gözlenen kaynak konileri.

6. İZOTOP HİDROLOJİSİ

6. 1. Giriş

Hidrojeoloji alanında yeraltı suyu kökeninin belirlenmesi çalışmalarında izotop tekniklerinin kullanılması büyük yararlar sağlamaktadır. 1960- 1990 yılları arasında birçok araştırma ile izotoplar yeraltı suyunun akım hızının ve geçiş süresinin hesaplanması, baraj ve rezervuarlardan sızmanın belirlenmesi, akifer parametrelerinin belirlenmesi, yüzey suları ile yeraltı suları arasındaki ilişkinin araştırılması vb. gibi birçok konuda kullanılmıştır.

Hidrojeolojide kullanılan en önemli çevresel izotoplar ^{16}O ve ^{18}O , ^2H (döteryum), ^{12}C ve ^{13}C , ^3H (trityum) ve ^{14}C 'tür. Bunlardan son ikisi radyoaktif, diğerleri kararlı çevresel izotoplardır. Yeraltı suyu kökeninin belirlenmesi çalışmalarında çevresel izotoplar çok yararlı bilgiler vermektedirler. Yeraltı ve yerüstü sularının asıl beslenmesi yağışlarla olmaktadır. Bu nedenle yağışların izotopik içeriklerinin değişimi ve bu değişimlere etki eden etmenlerin bulunması yeraltı suyu beslenme sisteminin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Suyu oluşturan hidrojen ve oksijenin kararlı izotopları ^1H , ^2H , ^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O 'dir. Su örneğindeki kararlı izotoplar oranının değişimi kütle spektrometresi ile ölçülür ve $\text{‰}\delta$ ile ifade edilir.

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

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

Denklemlerdeki SMOW (standart ortalama okyanus suyu) okyanus suyunun ortalama izotopik kompozisyonunu temsil eder. Standart olarak okyanus suyunun seçilmesinin nedeni okyanusların hidrolojik çevrimin başlangıç ve bitiş noktalarını temsil etmesi ve izotopik kompozisyon olarak oldukça homojen olmasıdır.

Yağışların ve yüzey sularının ^{18}O ve ^2H içeriklerinin değişimi paralellik gösterir. Yağışlara ait ^{18}O ve ^2H grafiği ilk defa Friedman (1953; Öztekin; 2000'den) tarafından çizilmiş ve Craig (1961) tatlı suların ^{18}O ve ^2H içeriği ile ilgili olarak aşağıdaki eşitliği önermiştir:

$$\delta ^2\text{H} \text{‰} = a. \delta ^{18}\text{O} \text{‰} + d$$

Denklemden eğer su hiç buharlaşmamış ise a değeri 8 ve ortalama yağışa ait d değeri (döteryum fazlası) ise 10'dur. Bu denklemin belirttiği doğru küresel meteorik su doğrusu olarak adlandırılmaktadır.

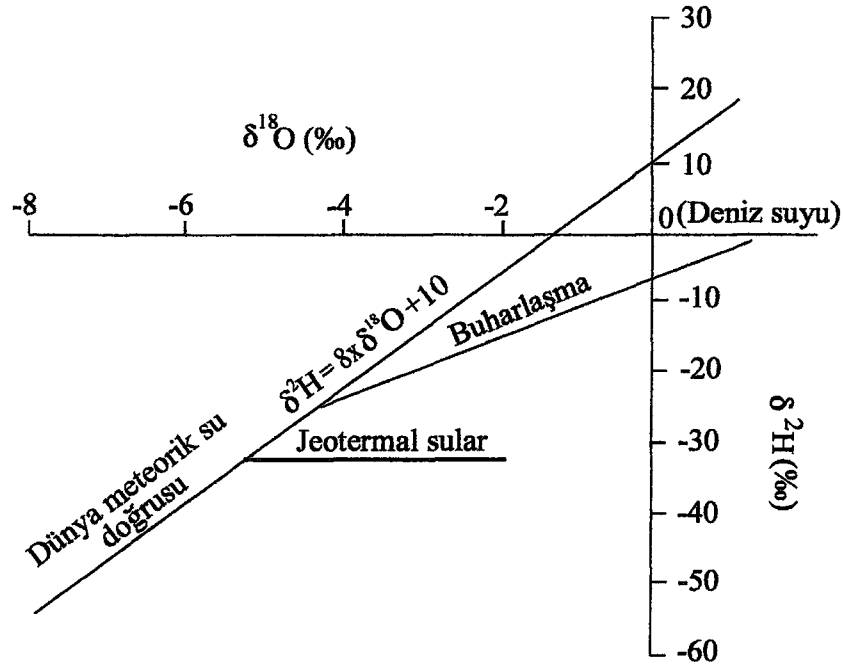
Hidrojen atomunun üç izotopundan birisi olan ^3H , 12,43 yıllık yarı ömürlü radyoaktif bir izotoptur. ^3H , 1950 yılında gerçekleştirilen termonükleer denemeler sonucu, atmosferde derişiminin çok yüksek değerlere ulaştığının fark edilmesi ile çok önemli bir hidrolojik araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Doğal sularda bulunan ^3H miktarı TU (trityum birimi) ile ifade edilir.

Radyoaktif bir izotop olan ^3H sürekli olarak bozunmaya uğradığından, belirli bir alanda yeraltı suyunun ve bu yeraltı suyunu besleyen yağışın ^3H içeriklerinin bilinmesi durumunda yeraltı suyunun, yağışın yeraltına sızmasından ne kadar uzun bir süre akifer içinde kaldığı belirlenebilir.

6. 2. Jeotermal İncelemelerde İzotopların Kullanılması

Jeotermal incelemelerde izotop tekniklerinin kullanılması oldukça önemlidir. Bunun birinci nedeni, sıcak suların izotop oranlarının sıcaklığa, su- kayaç etkileşimine ve diğer fizikokimyasal işlemlere (örneğin, değişik kökenli suların karışımı, buharın ortamdaki ayrılması gibi) karşı oldukça hassas olması; ikinci nedeni ise, izotoplar fiziksel ve kimyasal karakterlerini oldukça iyi koruduklarından bölgesel akış yönünün ve sıcak suyun kökeninin belirlenmesinde oldukça iyi izleyici olmalarıdır. İzotoplar jeotermal sistemlerin hazne kaya sıcaklıkları, beslenme, akışkanların kökeni, sıcak ve soğuk su karışımları gibi sorunların çözümünde kullanılmaktadır. Duraylı izotoplardan ^{18}O ve ^2H hidrolojik koşulların belirlenmesinde ve akışkanı etkileyen işlemlerin değerlendirilmesinde kullanılırken ^3H radyoaktif izotopu ise suların yaşının belirlenmesi ve jeotermal rezervuara olan en son soğuk su akışının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Arnorsson, 2000).

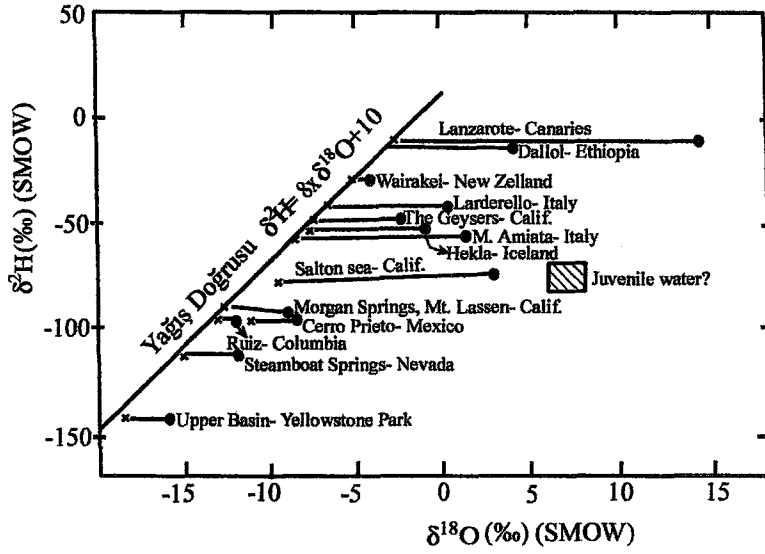
$\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ grafiği üzerinde meteorik su doğrusu üzerine düşen su örneklerinin atmosferik sulardan kaynaklandığı ve diğer izotopik süreçlerden etkilenmediği varsayılır. Meteorik su doğrusundan olan sapmalar ise başka izotopik süreçlerin etkili olduğunu gösterir (Şekil 6.1). Bu süreçlerden en çok karşılaşılanlarından birisi buharlaşma, diğeri ise su ile kayaç mineralleri arasındaki izotop değişimidir. Buharlaşma sonucunda suların izotop içerikleri meteorik su doğrusundan saparak bir buharlaşma doğrusu oluştururlar. Bu buharlaşma doğrusu üzerindeki noktalar meteorik su doğrusundan uzaklaştıkça buharlaşmanın arttığını işaret etmektedir (Domenico ve Schwartz, 1990).



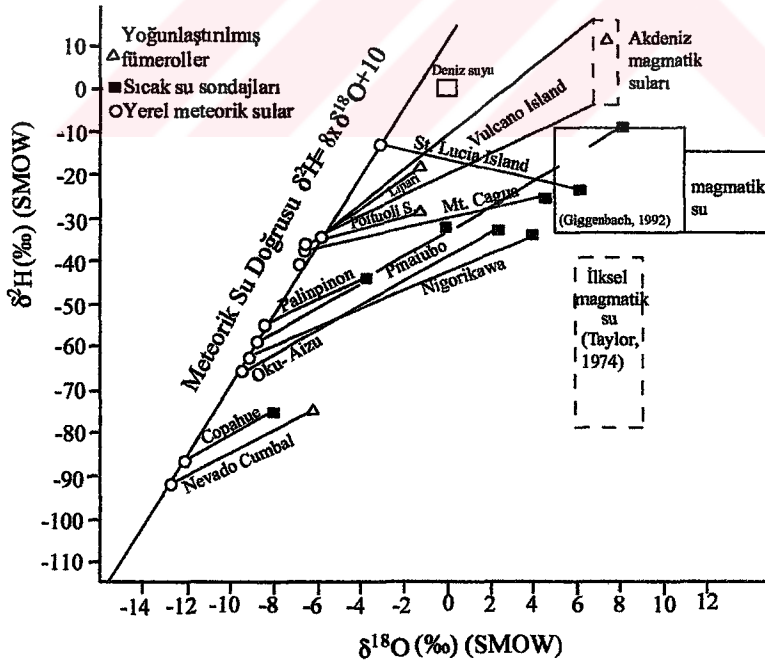
Şekil 6.1. Şematik $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ grafiği.

Jeotermal sular başlıca meteorik sulardan kaynaklanmışlardır (Craig, 1963; Arnorsson, 2000'den). Jeotermal suların $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri yerel meteorik sularinkinden daha yüksektir (Şekil 6.1). Bunun nedeni yüksek sıcaklıklarda su ile $\delta^{18}\text{O}$ 'ca zengin kayaç mineralleri arasındaki izotop alış verişidir. Truesdell ve Hulston (1980; Domenico ve Schwartz, 1990'dan) kayaç mineralleri ile yeraltı suyu arasındaki ^{18}O izotopu değişiminin kayaç ve sudaki ^{18}O 'nun başlangıçtaki miktarlarına, sıcaklığa ve temas süresine bağlı olduğunu belirtmektedir. Oksijen izotopları arasındaki bu alış veriş olayı düşük sıcaklıklarda önemsenmeyecek kadar yavaş ve az olmasına rağmen yüksek sıcaklıklarda hızlanarak sularda ^{18}O 'in yükselmesine, kayaçlarda ise düşmesine neden olur. Yellowstone Park, Steamboat kaynakları, Wairaki ve Salton Sea en iyi bilinen örneklerdir (Şekil 6.2). $\delta^2\text{H}$ değerleri ise bazen sabittir. Çünkü, Giggenbach (1992), sularda $\delta^2\text{H}$ değerlerinin de zenginleşebileceğini ve $\delta^{18}\text{O}$ ile doğrusal olarak artacağını ispatlamıştır (Şekil 6.3). Giggenbach (1992), konverjan kıta kenarları boyunca bulunan pek çok jeotermal ve volkanik sistemde $+10\text{‰} \pm 2\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$ ve $-20\text{‰} \pm 10\text{‰}$ $\delta^2\text{H}$ izotop içeriğine sahip olası magmatik bir kaynağa doğru bir karışım eğiliminin olduğundan bahsetmektedir (Arnorsson, 2000).

Bu bağlamda, jeotermal sular meteorik sular ile juvenil suların karışımından oluşursa, karışımı gösteren suların doğruları $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ grafiği üzerinde birbirine paralel olmak yerine birbirlerine ve juvenil suyun izotop kompozisyonuna doğru yaklaşım gösterirler (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Önemli jeotermal sistemlere ait su ve buharın izotop bileşimleri. X, meteorik suyun bileşimini, • ise derin jeotermal akışkanların izotop bileşimlerini göstermektedir (Arnorsson, 2000).



Şekil 6.3. Jeotermal akışkanlar(■) ile meteorik suların(○) farklı oranlarda karışması sonucunda $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ 'in beraber artış gösterdiği jeotermal sistemlerin izotop bileşimleri (Giggenbach, 1992; Arnorsson, 2000'den)

6. 3. İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi

6. 3. 1. Oksijen 18- Döteryum İlişkisi

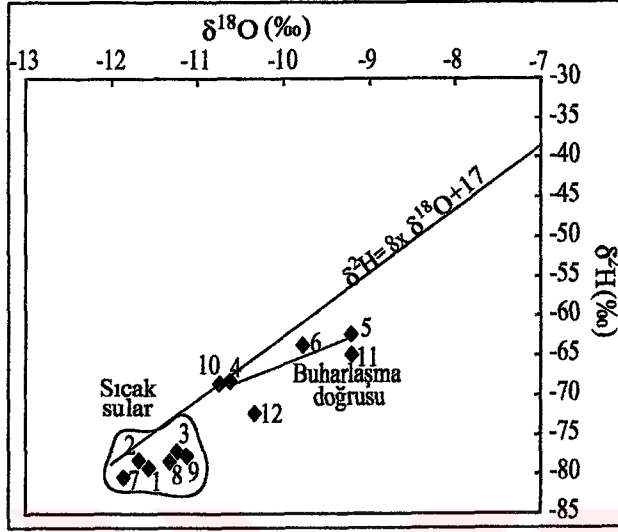
İncelenen sıcak ve mineralli sular ile Peri suyu, Dedebağ köy çeşmesi ve Yoğunağaç köyü çeşme sularından 23. 09. 2001 ve 02. 07. 2002 tarihlerinde numuneler alınarak ^{18}O , ^2H ve ^3H tayinleri yapılmıştır (Tablo 6.1.ve 6.2). Tahlil sonuçlarının ^{18}O - ^2H ilişkisi Şekil 6.4a-c'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. İnceleme alanına ait suların izotop analiz sonuçları (23. 09. 2001).

Örnek no	Örneğin Adı	Örnekleme tarihi	Sıcaklık (°C)	pH	EC (µS/cm)	O^{18} (0%)	^2H (0%)	^3H (TU)
1	Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı	23. 09. 2001	46,0	5,6	2760	-11,57	-79,12	5,15±1,70
2	Kolan 2 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı	23. 09. 2001	45,5	5,8	3090	-11,70	-77,99	7,80±1,85
3	Bağın 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı	23. 09. 2001	39,6	6,11	3190	-11,23	-77,35	6,55±1,85
4	Yoğunağaç köyü çeşmesi	23. 09. 2001	22,9	7,67	5000	-10,63	-68,68	18,80±2,30
5	Dedebağ köyü çeşmesi	23. 09. 2001	14,9	7,57	3600	-9,22	-62,17	13,50±2,00
6	Peri suyu	23. 09. 2001	20,9	7,97	3200	-9,78	-63,66	21,55±2,50

Tablo 6.2. İnceleme alanına ait suların izotop analiz sonuçları (02. 07. 2002).

Örnek no	Örneğin Adı	Örnekleme tarihi	Sıcaklık (°C)	pH	EC (µS/cm)	O^{18} (0%)	^2H (0%)	^3H (TU)
7	Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı	02. 07. 2002	44,6	6,24	3830	-11,87	-80,26	1,95±1,85
8	Kolan 2 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı	02. 07. 2002	44,6	6,56	3280	-11,32	-78,42	2,40±1,75
9	Bağın 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı	02. 07. 2002	38,3	6,45	3580	-11,13	-77,66	2,45±1,80
10	Yoğunağaç köyü çeşmesi	02. 07. 2002	22,6	7,40	580	-10,74	-68,83	14,85±2,10
11	Dedebağ köyü çeşmesi	02. 07. 2002	13,7	7,35	470	-9,21	-64,75	8,50±2,00
12	Peri suyu	02. 07. 2002	15,8	8,19	280	-11,65	-72,25	9,40±1,85



- | | |
|--|---|
| 1- Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı (23. 09. 2001) | " |
| 2- Kolan 2 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı | " |
| 3- Bağın 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı | " |
| 4- Yoğunağaç köyü çeşme suyu | " |
| 5- Dedebağ köyü çeşme suyu | " |
| 6- Peri suyu | " |
| 7- Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı (02. 07. 2002) | " |
| 8- Kolan 2 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı | " |
| 9- Bağın 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı | " |
| 10- Yoğunağaç köyü çeşme suyu | " |
| 11- Dedebağ köyü çeşme suyu | " |
| 12- Peri suyu | " |

Şekil 6.4. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramı.

İnceleme alanına ait yağışların ^{18}O , ^2H ve ^3H izotop içeriklerinin uzun süreli ölçümleri yapılmadığından yerel meteorik su doğrusu belirlenmemiştir.

Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli sularının denklemi $\delta^2\text{H} = 8x \delta^{18}\text{O} + 17$ olan Keban meteorik su doğrusu yakınında bulunmaları bu suların meteorik kökenli olduklarını ve bu doğruyu temsil eden yağışlardan beslendiklerini göstermektedir. İncelenen suların, Akdeniz üzerinden gelen yağış sistemi ile Rusya üzerinden gelen soğuk sistemin karşılaştığı bir yerde oldukları düşünülmektedir (M. Sayın, 2004, sözlü görüşme).

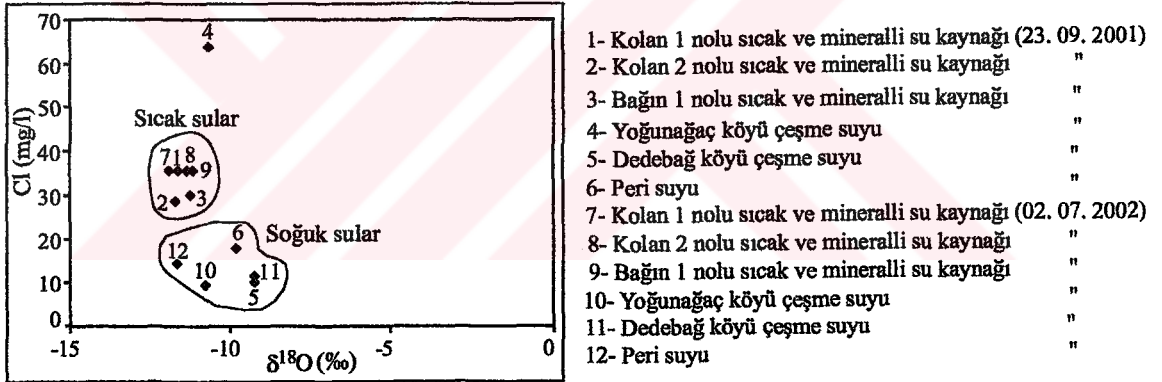
Soğuk sular ile sıcak sular karşılaştırıldığında soğuk suların -9 ile -10 arasında ^{18}O içeriğine sahip oldukları, sıcak suların ise ^{18}O içeriğinin -11 civarında olduğu belirlenmiştir. Bu durum sıcak suların soğuk sulara göre daha yüksek kotlardan beslendiğini göstermektedir.

Kolan sıcak ve mineralli sularında meteorik su doğrusuna göre çok belirgin bir ^{18}O artışı gözlenmemektedir. Bunun nedeni su ile kayaç mineralleri arasındaki izotop alışverişinin az olması olabilir. Peri suyu ile Dedebağ ve Yoğunağaç köyleri çeşme sularında buharlaşma etkisi gözlenmektedir. Yer yer yatağı genişleyerek akan ve akış hızı düşen Peri suyu oldukça kolay buharlaşabilmektedir. Ayrıca, Dedebağ ve Yoğunağaç köylerindeki çeşmelere ise su, uzak noktalardan, kimi yerlerde de yüzeysel koşullara açık bir şekilde akıtılması nedeniyle bu sularda yüzeysel buharlaşma etkilidir.

6. 3. 2. ^{18}O - Cl ilişkisi

İncelenen soğuk ve sıcak suların ^{18}O - Cl diyagramı üzerinde farklı yerlerde gruplandığı görülmektedir (Şekil 6.5). Sıcak ve mineralli suların Cl içerikleri genel olarak soğuk sulara göre daha yüksektir. Ayrıca, Eylül ayında düşen yağışların Cl içerikleri Temmuz ayındakilere oranla daha yüksektir, fakat bu durum yeraltı sularına ancak daha sonraki aylarda yansiyabilmektedir. Bundan dolayı suların Cl içerikleri Temmuz ayında daha yüksektir. Yoğunağaç köyünün çeşme suyundaki oldukça yüksek Cl içeriği ise tahlildeki bir hatadan dolayı olabilir.

Kolan sıcak ve mineralli sularının ^{18}O içerikleri Bağın sıcak ve mineralli suyuna göre daha negatif değerlerdedir. Bunun sebebi, Kolan sıcak ve mineralli sularının daha yüksek kotlardan beslenmesi olabilir. Dedebağ köyü çeşme suyunun ise ^{18}O içeriği diğer soğuk ve sıcak sulara göre daha pozitifdir. Bu durum ise, bu suyun beslenme alanının daha düşük kotlar olması ile açıklanabilir.

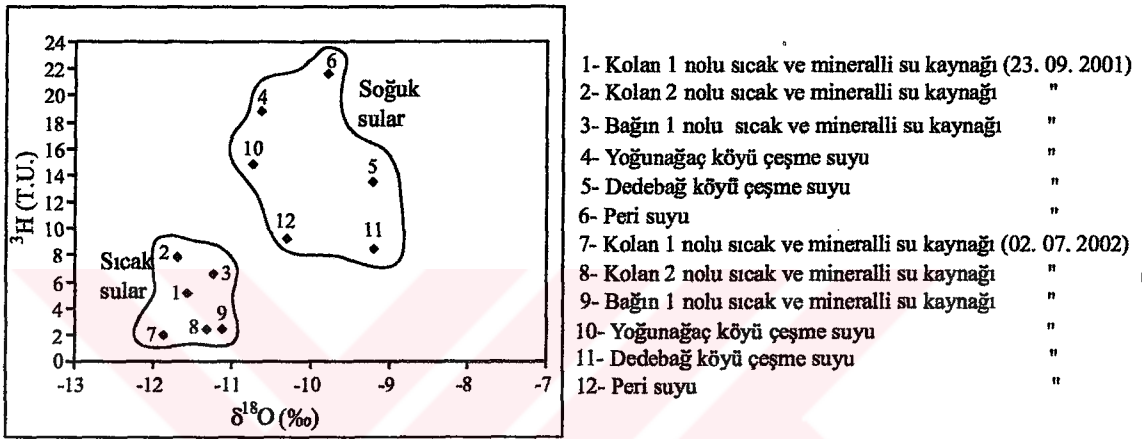


Şekil 6.5. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - Cl diyagramı.

6. 3. 3. ^{18}O - ^3H ilişkisi

^{18}O - ^3H ilişkisi genel olarak suların beslenme yükseltileri ile akifer içinde kalış süreleri arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. ^{18}O - ^3H grafiğinin düşey ekseni boyunca orjine doğru yaklaşıldıkça akifer içinde kalış süresi artmaktadır.

Şekil 6.6'da sıcak suların soğuk sulara göre orjine daha yakın olmaları bu suların akifer içinde kalış sürelerinin daha uzun olmasıdır. Ayrıca, derin dolaşım sistemi içerisinde olan sıcak sular yüzeye doğru çıkarken daha kısa dolaşım sistemine sahip olan soğuk sularla karışıp ^3H değerleri biraz daha yükselerek yeryüzüne çıkmaktadırlar (örn. 2 TU olan ^3H değerlerinin 5 TU değerine yükselmesi). Yoğunağaç köyü çeşme suyu ile Peri suyunun ^3H içerikleri diğer sulara göre daha yüksektir. Bu suların yüksek kotlara düşen yağışların etkisi ile oluştuklarını ve daha kısa yeraltı suyu dolaşımına sahip olduklarını göstermektedir.

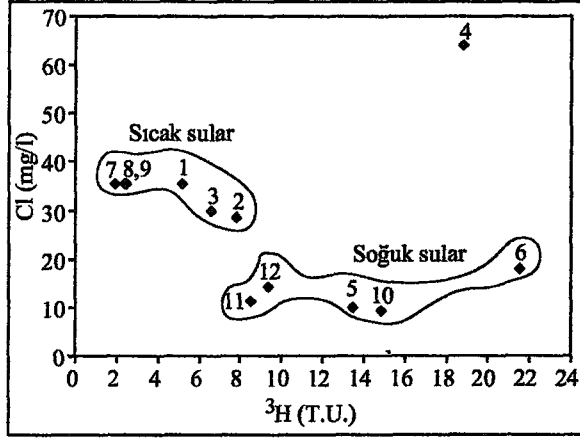


Şekil 6.6. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - ^3H diyagramı.

6. 3. 4. ^3H - Cl İlişkisi

^3H - Cl diyagramında Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli suların yüksek Cl, düşük ^3H içeriğine sahip oldukları; soğuk suların ise düşük Cl, yüksek ^3H içeriğine sahip oldukları görülmektedir (Şekil 6.7). Yüksek Cl ve düşük ^3H içeriği sığ dolaşım sistemine ait olan soğuk sular ile karşılaştırıldığında daha derin ve uzun akım ağlarına sahip olduklarına işaret edebilir (Ünsal ve Afşin, 1996). Bu nedenle, incelenen sıcak ve mineralli sular daha derin ve uzun bir dolaşım sistemi içinde olabilirler.

Peri suyunun ^3H içeriği oldukça yüksektir. Çünkü, Peri suyu yeni yağışlardan etkilenmektedir. Yoğunağaç köyü çeşme suyunda görülen yüksek klorür içeriğinin bir nedeni de daha önce ifade edildiği gibi kaynak suyunun kaptaj özellikleri nedeniyle güncel yağışlardan etkilenmesine bağlı olabilir.

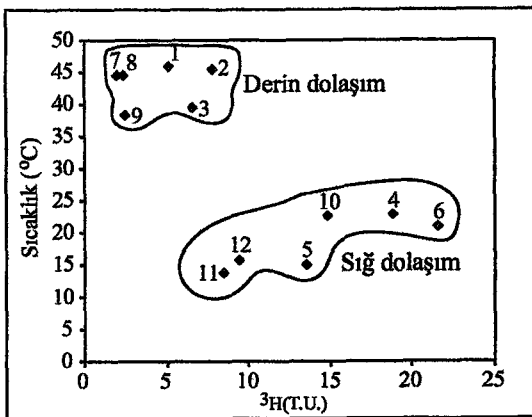


- 1- Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı (23. 09. 2001)
- 2- Kolan 2 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı "
- 3- Bağın 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı "
- 4- Yoğunağaç köyü çeşme suyu "
- 5- Dedebağ köyü çeşme suyu "
- 6- Peri suyu "
- 7- Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı (02. 07. 2002)
- 8- Kolan 2 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı "
- 9- Bağın 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı "
- 10- Yoğunağaç köyü çeşme suyu "
- 11- Dedebağ köyü çeşme suyu "
- 12- Peri suyu "

Şekil 6.7. İncelenen suların ^3H - Cl diyagramı.

6. 3. 5. ^3H - Sıcaklık ve ^3H - EC İlişkisi

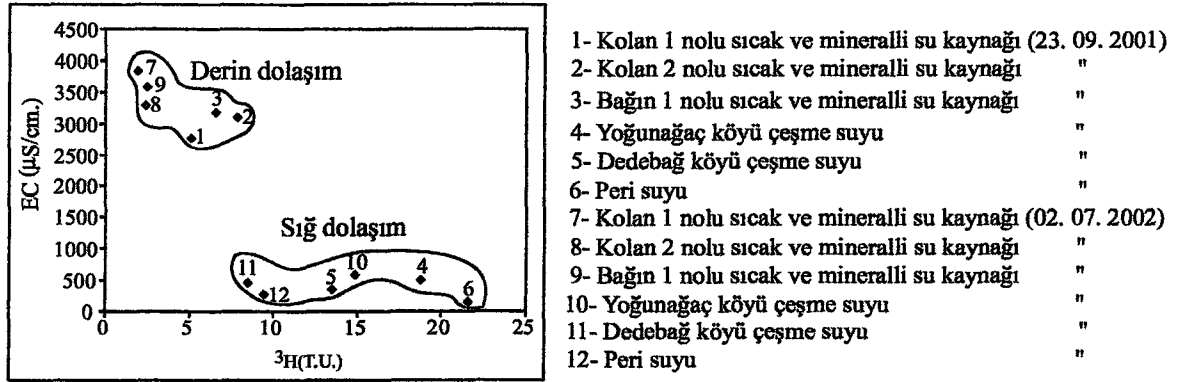
İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örneklerinin ^3H -sıcaklık ilişkisi Şekil 6.8'de gösterilmiştir. Sıcak ve mineralli su kaynaklarının ^3H içerikleri soğuk sulara göre daha düşüktür. Yani sıcaklık azaldıkça ^3H içerikleri artmaktadır. Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları yüksek sıcaklığa ve düşük ^3H içeriğine sahip, yüksek kotlardan beslenen derin dolaşimli sulardır. Soğuk sular ise yüksek ^3H içeriğine sahip yeni yağışlarla beslenen sığ dolaşimli sulardır.



- 1- Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı (23. 09. 2001)
- 2- Kolan 2 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı "
- 3- Bağın 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı "
- 4- Yoğunağaç köyü çeşme suyu "
- 5- Dedebağ köyü çeşme suyu "
- 6- Peri suyu "
- 7- Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı (02. 07. 2002)
- 8- Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı "
- 9- Bağın 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağı "
- 10- Yoğunağaç köyü çeşme suyu "
- 11- Dedebağ köyü çeşme suyu "
- 12- Peri suyu "

Şekil 6.8. İncelenen suların sıcaklık- ^3H diyagramı

^3H ile sıcaklık arasındaki ilişki ^3H ile EC arasında da görülmektedir (Şekil 6.9). Sıcaklık arttıkça suların EC değerleri ve akifer içinde kalış süreleri artmaktadır. Düşük ^3H içeriğine sahip Kolan ile Bağın sıcak ve mineralli sularında sıcaklık yüksek olduğundan EC değerleri de yüksektir ve bu sular derin dolaşımı karakterize ederler.

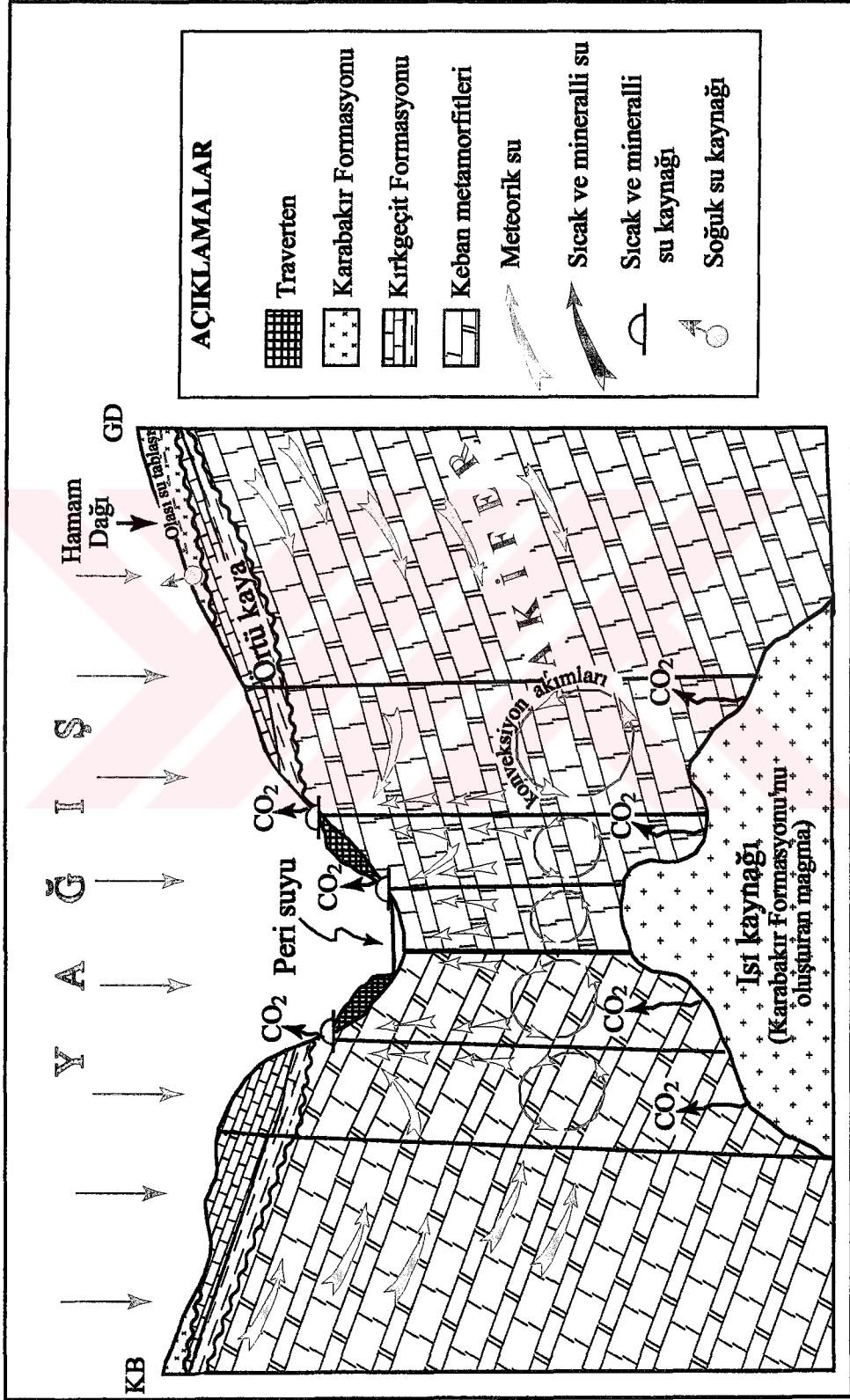


Şekil 6.9. İncelenen suların EC- ^3H diyagramı

6. 4. Sıcak ve Mineralli Kaynakların Kökenleri

Kolan jeotermal alanında rekristalize kireçtaşları içerisinde gelişmiş senklinealın kanatlarından yerçekimi etkisiyle tabaka yüzeyleri, kırık, çatlak hatları gibi geçirimli kuşaklar boyunca derinlere doğru süzülen meteorik sular, içerisinde dolaştığı kayaçlarla tepkimeye girip mineralce zenginleşmiştir.

Derinlerde jeotermal gradyana bağlı olarak ısınan sular derindeki bir magma kupolünün soğuması sürecinde terk ettiği önemli miktardaki CO_2 ve juvenil suların da karışması ile karışık kökenli sular olarak kırık hatları boyunca yeryüzüne ulaşmaktadırlar (EK, Şekil 6. 10). Ancak, derin dolaşıma sahip sıcak sular yükselimleri esnasında daha sığ bir dolaşım sistemi içerisinde bulunan soğuk sularla karışımlarından hazne kaya sıcaklıklarını koruyamamaktadırlar. Buna, Keban metamorfiteğine ait rekristalize kireçtaşlarının kırıklı, faylı ve derinlerde oldukça karstik olması da neden olmaktadır.



Şekil 6. 10. Kolan jeotermal alanının genişletilmiş yeraltı suyu dolaşım modeli.

7. SICAK VE MİNERALLİ SULARIN KAPTAJ ŞEKLİ, KORUNMA ALANLARI, TIBBİ VE EKONOMİK ÖNEMLERİ

7.1. Kaynakların Kaptaj Şekli ve Korunma Alanları

Kaynak alanında sıcak ve mineralli suların kaptajı için 2 adet sondaj kuyu yeri belirlenmiştir (EK- Harita). Belirlenen 1 nolu kuyu yeri Kolan 1 nolu sıcak ve mineralli kaynağın 250 m. KD'sunda, 2 nolu kuyu yeri ise Bağın 1 nolu sıcak ve mineralli su kaynağının 275 m. KB'sında bulunmaktadır. Kuyular 450 m. derinlikte açılmalı ve yeryüzünden itibaren 350 m. derine kadar 15 inç çapında açılıp, 10 inç çapında donatılmalıdır. Yüzeiden itibaren 350 m. kapalı boru kullanılmalı ve anülüs tecrit edilmelidir. 350 m.'den sonraki kısım 8 inç çapında delinmeli, kuyunun açıldığı andaki şartlara bağlı olarak gerekirse kuyu çıplak bırakılmalıdır.

Sıcak ve mineralli sular ile soğuk su akiferlerinden beslenen kaynakların ve çevresinin kirlenmemesi ve kirlenmeye karşı korunması için pek çok araştırmacılar ve kuruluşlar değişik korunma alanları önermişlerdir (Sılar,1972; Kulaksızoğlu, 1982; Demirel, 1988). Bu korunma alanlarında ortak bileşen, kaynağın en yakın çevresi ile yerüstü drenaj alanını içine alması, jeolojik yapı ve akifer formasyonların bazı hidrojeolojik karakteristikleridir. Amaç ise; bu özel suların kendilerine özgü fiziko- kimyasal özelliklerini kaybetmemeleri, her türlü kirlenmeden, sağlığa zararlı maddelerden ve kullanımda olumsuzluk yaratacak her türlü etkilerden korumaktır (Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, 1988).

Sıcak ve mineralli suların oluşumları doğada sınırlıdır. Bunlar kendilerine özgü yapı ve oluşum şartlarına sahiptirler. Bu nedenle korunmaları ve korunma alanlarının belirlenmesi de oldukça ihtimam ve uzmanlık isteyen bir konudur.

7. 1. 1. Korunma Alanlarının Belirlenmesi

Kolan sıcak ve mineralli su kaynaklarının korunma alanları, bölgenin hidrojeoloji ve yapısal özellikleri, akifer kayaçların hidrolitik özellikleri, yüzey sularını drene eden drenaj sistemleri göz önüne alınarak saptanmıştır.

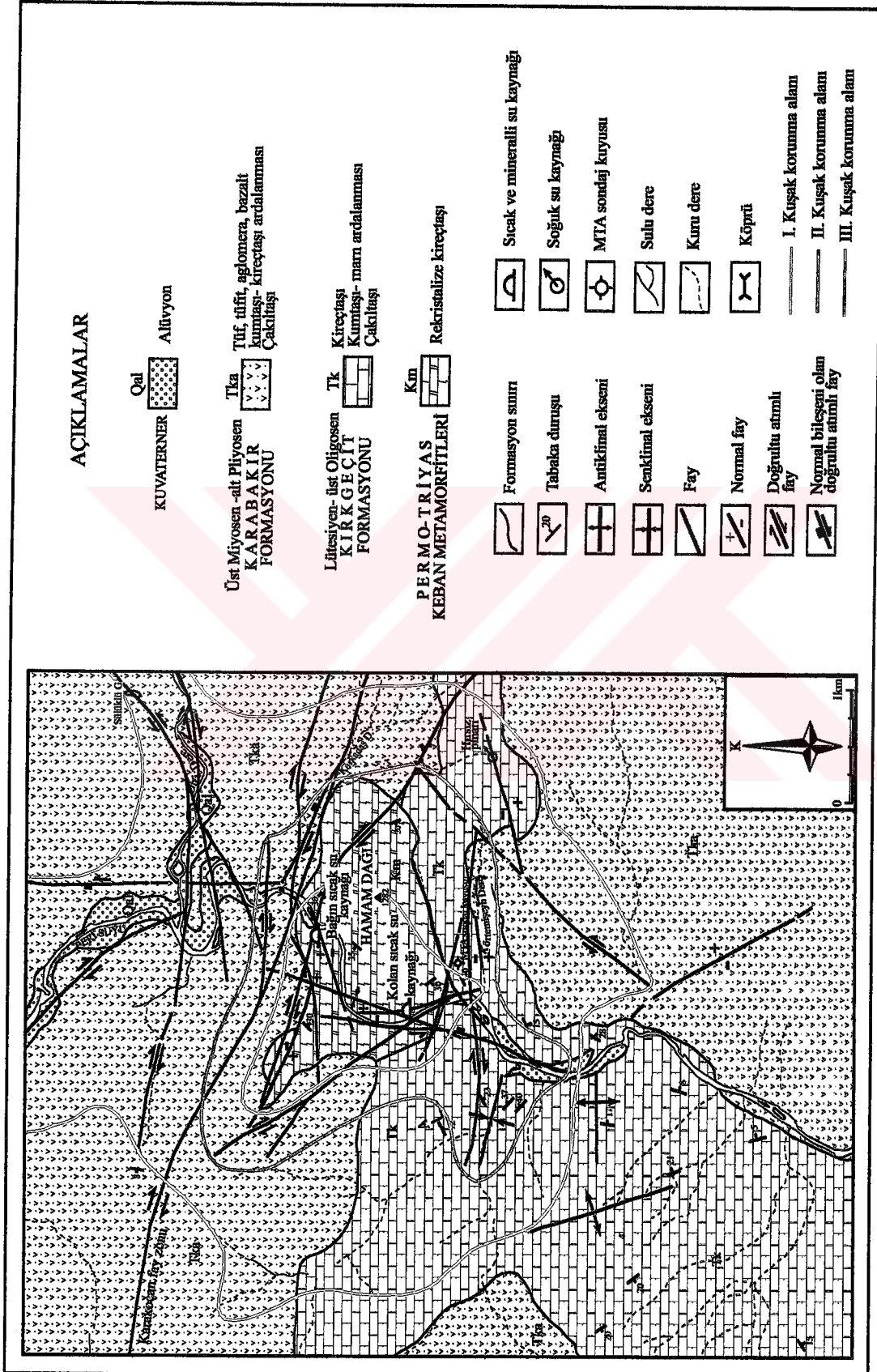
Bölgede Kolan sıcak ve mineralli sularının akiferlerini Keban metamorfiteeri oluşturmaktadır. Bunlar rekristalize kireçtaşlarından oluşmakta olup, bol çatlaklı, kırıklı, faylı ve derinlere doğru inildikçe çok karstik bir yapıları vardır. Bu nedenle ikincil porozite ve permeabilite değerleri artmıştır. Bunlar üzerinde yapılan deneylerde porozite değeri %3,8- %11,6 olup, karstlaşmaya bağlı olarak ikincil porozitenin çok daha yüksek değerlerde olduğu düşünülmektedir (Çetindağ,1989). Çünkü, MTA sondaj kuyusu çalışmalarında 50. metreden itibaren büyük boyutlarda karstik boşluk ve mağaralara rastlanmıştır.

Kolan sıcak ve mineralli su akiferleri üzerinde örtü durumunda bulunan Kırkgeçit Formasyonu'na ait marnlarda geçirimsizlik $1,5 \cdot 10^{-4}$ - $5,78 \cdot 10^{-5}$ m/s gibi düşük değerler saptanmıştır. Aynı birimin kumtaşları üzerinde yapılan çalışmalarda toplam gözeneklilik %9-%14,5 arasında hesaplanmış olup, bunlar da yine düşük değerlerdir (Çetindağ, 1989). Nitekim bölgede en fazla bu birim üzerinde drenaj sistemi gelişmiş olup, bu da formasyona örtü kaya özelliği vermektedir.

Bölgede beslenme alanlarını oluşturan ve çok geniş yayılıma sahip olan Karabakır Formasyonu tüf, tüfit, aglomera, bazalt, kumtaşı- kireçtaşı ardalanması ve çakıltaşından oluşmaktadır. Yapılan deneylerde Karabakır Formasyonu'nun tüflerinde geçirgenlik $4,99 \cdot 10^{-5}$ - $1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s aralığında hesaplanmıştır. Bunlar çok ince taneli olmaları itibarıyla geçirimsizlik değerleri düşüktür. Bu formasyonun tüf ve tüfitleri sıcak ve mineralli su akiferlerinin geçirimsiz tavanlarını diğer birimleri ise, geçirimli kuşaklarını oluşturmaktadır. Bu özelliklere bağlı olarak Karabakır formasyonunun tüf, tüfit ve gevşek çimentolu kumtaşlarının yüzey suları için filtre görevi yaptığı söylenebilir. Diğer birimler ise, düşey kırık ve fayların da etkisi ile doğrudan akiferle ilişkili birimleri oluşturmaktadır.

7. 1. 2. Korunma Alanlarının Sınırları

Kolan sıcak ve mineralli su kaynakları Peri suyu vadisi boyunca Keban metamorfikleri içerisinde ve kendi oluşturduğu travertenler içerisinde bir yarılım boyunca iki ayrı noktada çıkmaktadırlar. Korunma alanları kaynak boşalım ve beslenme alanları dikkate alınarak birbirini içine alan üç kuşak olarak belirlenmiştir. 1. derece korunma alanı kaynakların oluşumunu sağlayan fayları ve Hamam dağı zirvesini içine alan bir sahayı kapsamaktadır. Keban rekristalize kireçtaşı yüzleklerini kısmen içine alan bu sahanın genişliği yaklaşık 1,5 km., uzunluğu da 2,2 km.'dir. 2. derecede korunma alanı, kaynakların oluşumunu sağlayan faylarla kesişen diğer kırık sistemlerini içine almakta olup, bölgesel ölçekteki Karakoçan fay zonunun bir bölümü alanın dışında tutulmuştur. Bu alanın uzunluğu yaklaşık 3,1 km., genişliği de 4 km. kadar olup, Hamam dağı'nın tamamını içerisine almaktadır. 3. korunma alanı sınırı içine bölgeyi drene eden kuru ve sulu dereler ile kaynakların kuzeyinde, yani kaynakların membasında bulunan Peri suyu yatağı ile vadisi 3. kuşak içerisine alınmıştır (Şekil 7. 1).



Şekil 7. 1. Sıcak ve mineralli su kaynaklarının koruma alanları

7. 1. 3. Korunma Alanlarında Alınacak Önlemler

Kaynaklar çevresinde saptanan korunma alanlarında alınacak önlemler farklıdır.

1. Korunma alanında yalnızca suyun alınmasına yönelik çalışmalara izin verilmelidir. Her türlü kirlenme kesinlikle önlenmelidir. Bu alan yoğun biçimde ağaçlandırılmalı ve çimle kaplanmalıdır. I. korunma alanı içerisinde geçen Peri suyu yatağındaki sıcak su çıkışları mutlaka enjeksiyonla kapatılmalıdır.
2. Korunma alanında atıkları 3. kuşak dışına çıkarılmak koşuluyla konut yapımına izin verilmeli ancak, ahır, mezarlık, foseptik, tavuk çiftliği ve kimyasal atık üreten merkezlerin ve tesislerin yapımına asla izin verilmemelidir.
3. Korunma alanı içerisinde atıkları bu kuşak dışına çıkarılmak koşulu ile tesislerin yapımına izin verilebilir. Peri suyu vadisinde ise özellikle kaynakların memba yönünde bu suyu kirletecek hiçbir atık bırakılmamalı ve bu suyun kirlenmemesine özen gösterilmelidir. Çünkü Peri suyu ile kaynaklar arasında bir hidrolik bağıntının gerçekleşmesi özellikle Keban rekristalize kireçtaşlarının yüzlek verdiği alanlarda olasıdır. Bu açıdan tüm vadi boyunca hiçbir yerleşim yerinin atık suları ve özellikle kanalizasyonları Peri suyuna akıtılmamalıdır. 3. kuşak içerisinde bulunan yerleşim yerlerinin ve özellikle köylerin çok acil biçimde kanalizasyon sistemleri yapılmalı ve yapılmış olanların da sızdırmaz hale getirilmelidir.

7. 2. Sıcak ve Mineralli Kaynakların Tıbbi ve Ekonomik Önemleri

Kolan sıcak ve mineralli su kaynakları Karakoçan ilçesinin 24 km. KB'sında Peri suyunun sol kıyısında bulunmaktadır. Kaplıcalara giden yolun son 3 km.'si stabilize olup, yağışlı dönemlerde ulaşım oldukça güç olmaktadır. Çünkü, yolun tabanında ve çevresinde marnlar bulunmakta ve yol, yağışlı dönemlerde küçük ölçekli heyelanlara maruz kalmaktadır.

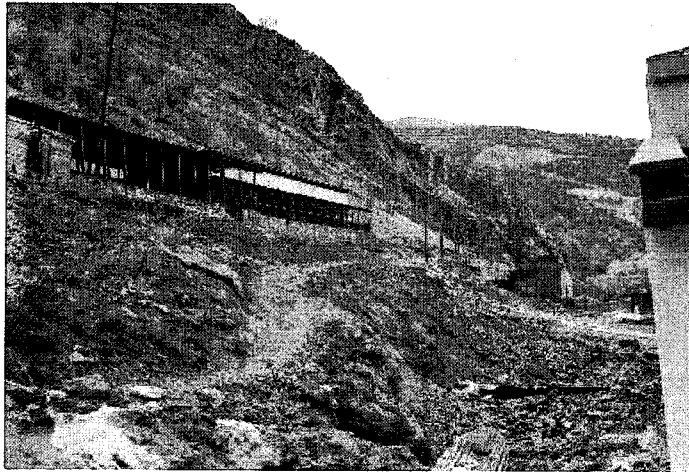
Kolan sıcak ve mineralli su kaynakları çevresinde sulardan faydalanabilmek için gelen ziyaretçiler için tek katlı, oldukça sağlıksız baraka tarzında konaklama yerleri bulunmaktadır (Şekil 7.2a-c).



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.2 a-c. Kolan sıcak ve mineralli su kaynaklarının etrafındaki konaklama yerlerinden genel görüntüler.

Bağın kaplıcalarına ise ulaşım Karakoçan'dan yaklaşık 30 km.'lik bir karayolu ile sağlanmaktadır. Bu yolun son 14 km'si stabilize olup kışın ulaşım mümkün olmamaktadır. Ayrıca burada da kaynak suları çok ilkel tarzda yapılmış iki havuzda toplanmaktadır. Kaynakların yakınına konaklama yeri olarak oldukça ilkel tarzda tek katlı birkaç oda yapılmıştır (Şekil 7.3). Her iki kaynak suyu da meteorolojik şartların elverdiği dönemlerde Elazığ Özel İdare Müdürlüğü tarafından şahıslara işletilmek üzere kiralanmaktadır.

Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynaklarından romatizma, mide-bağırsak, dolaşım ve solunum yolları ile karaciğer ve safra kesesi rahatsızlıklarını tedavi etmek amacıyla banyo ve içme tarzında yararlanılmaktadır.

Bölgede, MTA tarafından 2002 yılında açılan 420 m. derinliğinde bir sıcak su sondajı bulunmaktadır. Bu sondajın amacı Karakoçan ilçe merkezinin ısıtılmasıdır. Ancak istenilen sıcaklıktaki akışkan elde edilememiştir. Alan için ortalama hazne kaya sıcaklığı 67°C olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklık değeri baz alındığında, sıcak sular konut ısıtmasında, mantar yetiştiriciliğinde, tavuk ve hayvan çiftliklerinin ısıtılmasında ve seracılıkta kullanılabilir. Ayrıca, sıcak akışkan içinde çözülmüş ve serbest halde bulunan CO₂ gazından da kuru buz üretiminde faydalanılabilir.



Şekil 7.3. Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları çevresinden genel bir görünüm. Bakış D'ya doğru.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışılan sahada Paleozoyik'ten Senozoik'e kadar uzanan yaş aralığından farklı özellikte üç jeolojik birim ayırt edilmiştir. Bunlar; Permo- Triyas yaşlı Keban metamorfite, Lütésiyan -üst Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu, üst Miyosen- alt Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu'dur. Karabakır Formasyonu'nun üstünde ise uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı alüvyon bulunmaktadır. Bölgede kaynaklar civarında traverten oluşumları bulunmaktadır. Travertenler kimi yerlerde alüvyonla yanal geçişlidir ve kimi yerlerde ise Keban metamorfiteğine ait rekrystalize kireçtaşlarını örtmüşlerdir.

İnceleme alanı tektonik açıdan oldukça yoğun bir bölgedir. Çalışılan bölgenin uydu fotoğraflarından da yararlanılarak 1/100 000 ölçekli tektonik haritası çıkarılmıştır. Ayrıca Keban metamorfiteğine ait kayaçlardan kırık ve çatlak ölçüleri alınarak kontur diyagramları hazırlanmıştır.

Thornthwaite formülüne göre incelenen bölge yarı nemli, mezotermal, yaz mevsiminde su noksanlığı çok fazla olan, ikinci dereceden denizel iklim özelliklerine sahiptir.

Bölgede yeraltı suyu taşıyan formasyonlar Keban metamorfite, Kırkgeçit ve Karabakır formasyonlardır.

Bölgede Kırkgeçit Formasyonu'na ait marnların permeabilitesi $5,78 \cdot 10^{-5}$ - $1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s, Karabakır Formasyonu'nun tüfleri ve kumtaşlarının sırasıyla $4,99 \cdot 10^{-5}$ - $1,4 \cdot 10^{-2}$ m/s ile $3,94 \cdot 10^{-5}$ - $1,15 \cdot 10^{-4}$ m/s olarak hesaplanmıştır.

Kırkgeçit Formasyonu'nun marnları ile Karabakır Formasyonu'nun tüflerinin laboratuvarlarda ölçülen toplam porozite değerleri sırasıyla %13-19 ve %20-37 arasında; Karabakır Formasyonu tüflerinde toplam porozite %17, kumtaşlarında ise %22 olarak tespit edilmiştir.

İncelenen sıcak ve mineralli suların sıcaklıkları 38°C ile 46°C arasında, toplam mineralizasyonları ise 3371,9 mg/l- 4695,3 mg/l arasında değişmektedir. Kolan jeotermal alanındaki sıcak ve mineralli suların akifer kayaçları Keban rekrystalize kireçtaşlarıdır. Bundan dolayı, sularda en fazla bulunan katyon Ca^{+2} , en fazla bulunan anyon ise HCO_3^- 'tir. Kolan sıcak ve mineralli sularının toplam debisi 11,5 lt/s, Bağı sıcak ve mineralli su kaynağının ise toplam debisi 6,3 lt/s'dir.

İnceleme alanında yer alan sıcak sulara ait kimyasal denge durumunun araştırılmasında Na-K-Mg üçgen diyagramından yararlanılmıştır. Bu üçgen diyagrama göre sıcak sular denge durumundan uzak, olgun olmayan sular grubuna girmektedir. Bu nedenle katyon jeotermometreleri ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları güvenilir sonuçlar vermemektedir.

Alan için hesaplanan tüm jeotermometrelerin genel değerlendirilmesi sonucunda alanın ortalama rezervuar sıcaklığı 67°C olarak tahmin edilmektedir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliğine göre incelenen sıcak ve mineralli sular Ca, Mg, HCO₃ ve CO₂' li sıcak ve mineralli sulardır.

İnceleme alanında bulunan sıcak ve mineralli su kaynakları için bölgenin hidrojeolojisi ve yapısal özellikleri, akifer kayaçların hidrolik özellikleri, yüzey sularını drene eden drenaj sistemleri göz önüne alınarak 3 korunma alanı önerilmiştir.

Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli suları, meteorik suların bir senklinalin kanatları boyunca yerin derinliklerine indikten sonra jeotermik gradyanla ısınıp fay kuşağı boyunca yeryüzüne yükselen, iç kökenli CO₂ ve Cl gibi gazları içeren karışık kökenli sulardır.

Schoeller diyagramlarına göre Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları aynı kökenlidir. Çünkü, her iki kaynak suyunun iyonlarını birleştiren doğrular çizilen diyagramlarda birbirine paralel veya çok yakın geçmektedir.

Piper diyagramında tüm sular 1 ve 5 nolu alanda gruplanmışlardır. Bu bölgede kanyonlarda $rCa + rMg > rNa + rK$ şeklinde bir dizilim olup, MgCO₃'lı sular grubuna girmektedirler. Bu suların karbonat sertliği % 50'den fazladır.

İyonların % mek/l değerlerine göre çizilen sütun diyagramlarda sularda oluşabilecek tuzların % büyüklük sırası belirlenmiştir. Buna göre sularda en fazla bulunan tuzlar Ca(HCO₃), Mg(HCO₃); en az bulunan tuzlar ise NaCl ve KCl'dür.

İnceleme alanındaki tüm sular tek fasiyeste ve iki alt grupta toplanmışlardır. Bu, Ca-HCO₃ fasiyesi olup, birinci alt grup $Ca > Mg > (Na + K)$; HCO₃ > SO₄ > Cl; ikinci alt grup ise $Ca > Mg > (Na + K)$; HCO₃ > Cl > SO₄ dizilimindedir. Ca-HCO₃ fasiyesi Permo- Triyas yaşlı Keban metamorfitelerine ait rekrystalize kireçtaşları ile Kırkgeçit Formasyonu'na ait birimlerin oluşturduğu akiferi temsil etmektedir.

İncelenen sıcak ve mineralli suların doygunluk indislerinin değerlendirilmesi sonucunda suların kalsit, aragonit, dolomit, kuvars, alümit, gipsit, siderit, hematit, götüt minerallerine doygun ve bunları çöktürme ; jips, halit, kalsedon minerallerine doygun olmayıp bunları çözme eğiliminde oldukları belirlenmiştir.

Karışım modelleri ile incelenen sıcak ve mineralli su kaynaklarına ortalama %32-34 oranında soğuk su karışımının olduğu düşünülmektedir. Sıcak sulara karışımın olduğu izotop verilerinin değerlendirilmesinden de anlaşılmaktadır. ¹⁸O-²H verilerinin değerlendirilmesi sonucunda incelenen suların Keban meteorik su doğrusu üzerinde ve yakınında bulunduğu görülmüştür. Buradaki sular Akdeniz'den gelen 22 doğrusunu temsil eden yağış sistemi ile Rusya üzerinden gelen soğuk su sisteminin karşılaştığı bir yerdedir. Bu bölgede bulunan baraj gölleri bölgenin iklimini ılımanlaştırmıştır.

Sıcak suların ortalama ^{18}O değerleri -11 civarındayken, soğuk suların -10 civarındadır. Sıcak sular derin bir dolaşım sistemine sahip olup, yukarı doğru yükselirken daha kısa bir dolaşım sistemine sahip olan soğuk sularla düşük oranda karışıp trityum değerleri biraz daha yükselerek yeryüzüne çıkmaktadırlar. Soğuk sular daha düşük kotlardan, sıcak sular ise daha yüksek kotlardan beslenmektedir.

İnceleme alanındaki travertenler morfolojik olarak tabaka tipi travertenlerdir ve estetik açıdan oldukça ilginç görüntülere sahip olduklarından turistik amaçlı değerlendirilmelidir.

Kolan ve Bağın sıcak ve mineralli su kaynakları ve çevresi kaplıca, doğa, yabani hayvan turizmi açısından Doğu Anadolu'nun ender değerlerindedir. Tunceli ile Elazığ il sınırını çizen Peri suyu derin bir vadi içinden geçerken sağ ve sol sahilinde sıcak ve mineralli su kaynakları yer almaktadır. Kaynakların oluşturduğu travertenler çok güzel, iki kaynak arasındaki Peri suyu vadisi boyunca ilginç ve görülmeye değer görüntüler oluşturmuştur. Bu kadar önemli olan bu sıcak ve mineralli su kaynaklarına ulaşım oldukça zor yapılmaktadır. Bu nedenle öncelikle kaynaklara ulaşım kolaylaştırılmalıdır. Ayrıca, her iki kaynak bölgesine de havuzlar ve konaklama tesisleri yapılmalıdır. Tesis ve ulaşım şartlarının iyileştirilmesi sonucunda bu kaynaklar Elazığ iline kaplıca, doğa ve yabani hayvan turizminden oldukça büyük bir ekonomik girdi sağlayacaktır.

Sıcak ve mineralli suların bir kısmı kaynak çevresindeki yamaçlardan ince bir tabaka şeklinde yayarak akıtılırsa yeni traverten oluşumları sağlanacak ve jeotermal alandaki mevcut doğal güzelliklere yenileri kazandırılacaktır.

Yapılacak iki adet ve her biri 450m. derinliğindeki sondajlardan daha çok ve sıcaklığı daha yüksek sıcak ve mineralli su elde edilirse, bu sulardan Karakoçan ilçesinin ısıtılmasında faydalanılabılır. Ayrıca bu kuyulardan elde edilecek CO_2 gazının kuru buz üretimi için kullanılabilmesi de planlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Ahmad, M., Arkam, W., Ahmad, N., Tasneem, M., Rafiq, M., Latif, Z., 2002, Assessment of reservoir temperatures of thermal springs of the northern areas of Pakistan by chemical and isotope geothermometry. *Geothermics*, 31, 613-631.
- Akgül, B., 1993, Piran Köyü (Keban-Elazığ) çevresindeki magmatik kayaların petrografik ve petrolojik özellikleri. Doktora tezi. F.Ü. Fen Bil. Enst., 128s., (yayımlanmamış).
- Akkoca, D., 2001, Çaybağı (Elazığ) killilerinin mineralojisi, jeokimyası ve ekonomik değerlendirme olanakları. Doktora tezi. F.Ü. Fen Bil. Enst., 150s., (yayımlanmamış).
- Aksoy, E., 1993, Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri. TÜBİTAK, *Yerbilimleri Derg.*, 1,1, 113-123.
- Aksoy, E., Turan, M., Türkmen, İ. ve Özkul, M., 1996, Elazığ Havzası'nın Tersiyer'deki evrimi. KTÜ Jeoloji Müh. Bölümü 30. Yıl Jeoloji Sempozyumu (16-20 Ekim 1995) Bildirileri, 293-310.
- Arnorsson, S., 1983, Chemical Equilibria in Icelandic Geothermal Systems, Implications for Chemical Geothermal Investigations, *Geothermics*, 12, 119-128.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H., 1983, The chemistry of geothermal waters in Iceland III., chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 567-577s.
- Arnorsson, S., 2000, Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use. IAEA publication, 351s., Vienna.
- Asutay, H.J., 1985, Baskil (Elazığ) çevresinin jeolojik, petrografik ve petrolojik incelenmesi. Doktora tezi, A.Ü. Fen Bil. Enst., (yayımlanmamış).
- Avşar, N., 1983, Elazığ yakın kuzeybatısında stratigrafik ve mikropaleontolojik araştırmalar. Doktora tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., (yayımlanmamış).
- Başkan, M.E., ve Canik, B., 1983. AIH Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası, Ege Bölgesi. MTA Enst. Yayınları, No: 189.
- Bayır, M., 1964, Elazığ-Palu-Karakoçan ovalarının hidrojeolojik raporu. DSİ Rap. No: 604, Elazığ, (yayımlanmamış).
- Bingöl, A.F., 1982, Elazığ-Pertek-Kovancılar arası volkanik kayaların petrografik ve petrolojik incelenmesi. F.Ü. Fen Fak. Derg.1, 9-21, Elazığ.
- 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. 209-216, Ankara.
- Bulut, C., 1967, Elazığ-Palu ve Karakoçan ovalarının yeraltı suyu rezerv raporu. DSİ Rap. No: 69, Elazığ.

- Canik, B., 1978, Denizli-Pamukkale sıcak su kaynaklarının sorunları. Jeo Muh. Derg., Sayı 5, Ankara.
- Cici, M., 1982. Elazığ ve çevresindeki mineralli sular ve sağlığa etkileri. Doktora tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., (yayımlanmamış).
- Craig, H., 1961, Isotopic variations in meteoric waters. Science, Vol.133, 1702-1703.
- Çetindağ, B., 1985, Palu-Kovancılar (Elazığ) dolayının hidrojeoloji incelemesi. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., 110s., (yayımlanmamış).
- Çetindağ, B., 1989, Elazığ-Ören çayı çevresinin hidrojeoloji incelemesi. Doktora tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., 270s., (yayımlanmamış).
- Çetindağ, B., 1996, 1996 yılında yapmış olduğu analizler.
- Demirel, Z., 1988, Korunma alanlarının belirlenmesinde hidrojeoloji kriterleri. Ulusal I. Hidrojeoloji Simpozyumu, Bildiriler, 257-269.
- Diedrich, M. S. ve Hoek, E., 1989, DIPS: A computer program for stereographic net (ver. 2. 2, Advanced version). Rock Engineering Group, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Kanada.
- Domenico, P. and Schwartz, F., 1990. Physical and chemical hydrogeology. John Wiley & Sons, 824s.
- Fouillac, C. and Michard, G., 1981, Sodium/Lithium Ratios in Water Applied to Geothermometry of Geothermal Reservoirs, Geothermics, 10, 55-70.
- Fournier, R.O, 1973, Silica in Thermal Waters: Laboratory and Field Investigations. Proceedings of the International Symposium on Hydrogeochemistry and Biochemistry, Tokyo, Vol.1, Clark Co., Washington D.C., 122-139.
- 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, Cento scientific Programme, Ankara, 199-210.
- Fournier, R.O., 1979, A Revised Equation for the Na/K Geothermometer, Geoth.Res.Council, Transactions, 3, 221-224.
- Fournier, R.O. and Potter, R.W., 1982, A Revised and Expanded Silica (Quartz) Geothermometer, Geoth.Res.Council Bull., 11-10, 3-12.
- Fournier, R.O., 1991, Water Geothermometers Applied to Geothermal Energy, In: D'amore, F. (Co-ordinator), Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, UNITAR/UNDP Publications, Rome, Italy, 37-69.

- Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L. and Truesdell, A.H., 1983, Isotopic and Chemical Composition of Parbatia Valley Geothermal Discharges, NW-Himalaya, India, *Geothermics*, 12, 199-222.
- Giggenbach, W.F., 1988, Geothermal Solute Equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., 1991, Collection and analyses of geothermal and volcanic water and gas discharge. In: D'Amore, F. (Co-ordinator). Application of geochemistry in geothermal reservoir development, UNITAR/UNDP Publications, p. 119-144, Rome.
- İnceöz, M., 1994, Harput (Elazığ) yakın kuzey ve doğusunun jeolojik özellikleri. Doktora tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., (yayımlanmamış).
- Kalender, L., 2000, Keban (Elazığ) Doğu Fırat Keban dere civarı bakır oluşuklarının jeolojisi, kökeni ve ekonomik önemi. Doktora tezi. F.Ü. Fen Bil. Enst., 110s., (yayımlanmamış).
- Kaya, A., 2001, Keban (Elazığ) civarındaki metamorfiteğin yapısal analizi ve tektonik evrimi. Doktora tezi. F.Ü. Fen Bil. Enst., 133s., (yayımlanmamış).
- Kharaka, Y.K., Lico, U.S. and Law, L.M., 1982, Chemical Geothermometers Applied to Formations Waters, Gulf of Mexico and California Basins (Abstract), *Am. Assoc. Petrol Geol. Bull.*, 66, 588.
- Kharaka, Y.K. and Mariner, R.H., 1989, Chemical Geothermometers and Their Application to Formation Waters from Sedimentary Basins, In: Naeser, N.D. and McCollon, T.H. (Eds.), *Thermal History of Sedimentary Basins*, Springer-Verlag, New York, 99-117.
- Kipman, E., 1976, Keban'ın jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi. Doçentlik tezi, İstanbul Üniv., (yayımlanmamış).
- Kipman, E., 1981, Keban'ın jeolojisi ve Keban Şaryajı. *İ.Ü. Yerb. Derg.*, 11-2, 75-81, İstanbul.
- Koçyiğit, A., 2003, Karakoçan Fay Zonu atımı, yaşı, etkin stres sistemi ve depremselliği. ATAG-7 Toplantısı, Yüzüncü Yıl Üniv. Jeoloji Müh. Böl., 01-03 Ekim, 2003, 9-10s., Van.
- Kulaksızoğlu, İ., 1982, Yeraltı suyu korunma alanlarının belirlenmesine ilişkin ilkeler ve yöntemler. *Jeol. Müh. Yay. Org.*, No: 14, 15-25.
- Kürüm, S., 1987, Keban ilçe merkezi çevresinin tektonik özellikleri. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., 106s., (yayımlanmamış).
- Naz, H., 1979, Elazığ-Palu dolayının jeolojisi. TPAO arşivi, Rap. No: 1360, Ankara (yayımlanmamış).

- Nieva, D. and Nieva, R., 1987, Developments in Geothermal Energy in Mexico, Part 12-A Cationic Composition Geothermometer for Prospection of Geothermal Resources, Heat Recovery Systems And Chp, 7, 243-258.
- Özgül, N., 1976, Toroslar'ın bazı temel özellikleri. TJK Bült., 19, 1, 65-78.
- Özkul, M., 1988, Elazığ batısında Kırkgeçit Formasyonu üzerinde sedimentolojik incelemeler. Doktora tezi, F. Ü. Fen Bil. Enst., 186 s. (yayımlanmamış).
- Özkul, M., 1993a, Kırkgeçit Formasyonu (Eosen) derin-deniz fasiyes topluluklarında (Elazığ batısı) eski akıntı yönleri. Selçuk Üniv. Müh.-Mim. Fak. Derg., 8-1.
- Özkul, M. ve Kerey, E., 1996. Şelf-derin deniz kompleksinde fasiyes analizleri: Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen-Oligosen), Baskil, Elazığ, TÜBİTAK Tr.J. of Earth Sciences, 5, 57-70.
- Öztekin, Ö., 2000, Yeraltı suyu incelemelerinde izotopların kullanılması. Doktora semineri, F.Ü. Fen Bil. Enst., 124s., (yayımlanmamış).
- Parkhurst, D. L. Ve Appelo, C. A. J., 1999, Phreeqc (Version 2), A computer program for speciation, batch- reaction, one- dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U. S. Geological Survey Water Resources Investigations.
- Pasvanoğlu, S., 1996, Kızılcahamam dolayındaki sıcak ve mineralli kaynakların hidrojeoloji incelemesi. Doktora tezi, Ankara Üniv. Fen Bil. Enst., 255s., (yayımlanmamış).
- Perinçek, D., 1979a, Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları. TPAO Arşivi Rap. No. 1361, (yayımlanmamış), Ankara.
- Perinçek, D., 1979b, The geology of Hazro-Korudağ- Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya region. Guide book, Geol. Soc. of Turkey, Spec. Publ., 33s.
- Reed, M., 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.
- Schoeller, H., 1962. Les Eaux Souterraines. Mason Et Cie, Paris.
- Sılar, J., 1972, General protection of mineral waters. (AIH) International symposium of protection of mineral waters, Karlovy Vary (Carlsbad), 13-21.
- Sirel, E., Metin, S., Sözeri, B., 1975, Palu (KD Elazığ) denizel Oligosen'inin stratigrafisi ve mikropaleontolojisi. Türkiye Jeol. Kur. Bült., 18, 175- 180.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 04. 09. 1988 tarihli ve 19919 sayılı resmi gazete.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E. ve Naz, H., 1985, Elazığ-Hazar-Palu alanının jeolojisi. Petrol İşl. Gn. Müd. Derg., 29, 83-191.
- Şahinci, A., 1991a, Doğal Suların Jeokimyası. Reform matbaası, 548s., İzmir.

- Şahinci, A., 1991b, Jeotermal sistemler ve jeokimyasal özellikleri. Reform matbaası, 247s., İzmir.
- Tarcan, G., 2002, Jeotermal su kimyası. Jenorum Yaz Okulu, 11-21 Haziran 2002, Jeotermalde Yerbilimsel uygulamalar, 198-245s.
- Thorntwaite, C.W., 1948, An approach a rational classification of climate, The Geographical review, Vol. 38, New York.
- Todd, D.K., 1980, Groundwater Hydrology. John Wiley and Sons Inc. Newyork, USA.
- Tonani, F., 1980, Some Remarks on The Application of Geochemical Techniques in Geothermal Exploration. Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res., 2nd Symp., Strasbourg, 428-443.
- Truesdell, A.H. and Fournier, R.O., 1976, Calculations of Deep Temperatures in Geothermal Systems from The Chemistry of Boiling Spring Waters of Mixed Origin, Proceedings of 2nd United Nations Symposium on The Development and Use of Geothermal Resources, 1, 837-844.
- Turan, M., 1984, Baskil-Aydınlar (Elazığ) yöresinin stratigrafisi ve tektoniği. Doktora tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., 180s., (yayımlanmamış).
- Turan, M., ve Bingöl, A.F., 1991, Kovancılar-Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektono-stratigrafik özellikleri. Ahmet Acar Jeoloji Semp. Bild., 211-227.
- Türkmen, İ., 1988, Palu-Çaybağı (Elazığ doğusu) yöresinin sedimantolojik incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., 79s., (yayımlanmamış).
- Türkmen, İ. ve Ertürk, Y., 2002, Kırkgeçit Formasyonu'nun (Orta Eosen-Oligosen) Akuşağı köyü (Baskil-Elazığ) dolaylarındaki yüzeylemelerinin sedimantolojik özellikleri. TPJD Bülteni, 14, 2, 1-16.
- Ünsal, N., ve Afşin, M., 1996, Mahmutlu ve Bağdatoğlu (Çiçekdağı-Kırşehir) sıcak ve mineralli sularının kimyasal ve izotopik özellikleri. Jeoloji Müh. Böl. 30. yıl Sempozyumu (16-20 Ekim 1995) Bildirileri, KTÜ-Trabzon, 479-490.
- Üstündağ, Ş., 1996, Elazığ yöresindeki Karabakır Formasyonu kireçtaşlarının petrografik özellikleri, Yüksek lisans tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., 39s., (yayımlanmamış).
- Yapıcı, S., 2002, Kiğı Barajı ve yakın çevresinin jeolojisi. Yüksek lisans tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., 47s., (yayımlanmamış).
- Yenal, O., vd., 1975, Türkiye Maden Suları, Akdeniz, Karadeniz, Doğu ve Güney-Doğu Anadolu Bölgeleri, İ.Ü. Tıp Fak. Hidro-Klimatoloji Kürsüsü, Sayı 5, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Elazığ'da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Elazığ merkez okullarında tamamladıktan sonra 1990 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırdım. 1994 yılında Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldum. 1995-1998 yılları arasında Uygulamalı Jeoloji (Hidrojeoloji) dalında Yüksek Lisans yaptım ve aynı bölümde 1998 yılında Doktora öğrenimime başladım. Halen aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktayım.

Evli ve bir çocuk annesiyim.

