



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ZİGA (AKSARAY) JEOTERMAL SULARININ
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE KAYNAK ALANINDAKİ
TRAVERTENLERİN TERMAL TURİZM AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hulusi Buğrahan DEMİREL**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa AFŞİN**

AKSARAY, 2012

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KABUL ve ONAY BELGESİ

Hulusi Buğrahan DEMİREL'in Zığa (Aksaray) Jeotermal Sularının Sürdürülebilirlik ve Kaynak Alanındaki Travertenlerin Termal Turizm Açısından Değerlendirilmesi başlıklı Lisansüstü tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02.05.2012 tarih ve 2012/17-03 sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mustafa AFŞİN (Aksaray Üniversitesi)

1. Jüri : Prof. Dr. Hatim ELHATİP (Aksaray Üniversitesi)

2. Jüri : Doç. Dr. Ali GÜREL (Niğde Üniversitesi)

Tezin Savunulduğu Tarih: 21.05.2012

ONAY

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ~~2012/20-03~~ 30/5/2012 tarih ve sayılı kararı ile Hulusi Buğrahan DEMİREL'in Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans derecesi alması onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Selçuk REİS

ÖNSÖZ

Türkiye sayısız olağanüstü güzellikte bulunan kültür ve doğal tabiat varlıklarının korunması ve geliştirilmesi, çevre kirliliği ile kontrolü açısından son zamanlarda önem kazanmıştır. Zığa jeotermal alanında, “Pamukkale travertenleri beyazlaştırılması” projesine benzer bir sistem ile çalışmalar yapılarak, traverten alanları oluşturma projesi uygulanmıştır, ancak projenin inşaat aşamasında oluşan aksaklıklar, tezin hazırlanma sürecini uzatmıştır. Çalışma alanında yapılmış önceki çalışmalar jeotermal sistemin kavranması açısından fayda sağlamıştır. Sondaj noktalarının daha net belirtilebilmesi açısından yeni jeofizik çalışmaları gereksinim duyulmuş ancak mali sıkıntılardan dolayı bu çalışmalar yapılamayıp önceki verilerden faydalanılmıştır.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu tezin hazırlanabilmesi için değerli katkılarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, danışman hocam Prof. Dr. Mustafa AFŞİN'e teşekkür ederim.

Tez sırasında yardımlarını esirgemeyen fakülte dekanımız Prof. Dr. Hatim ELHATİP'e, Jeoloji Mühendisliği bölüm başkanımız Prof. Dr. Ayşegül YILDIZ'a, örneklemeler sırasındaki desteklerinden dolayı Öğr. Gör. Özcan ORUÇ'a, tezin yazımı esnasında yardımcı olan Öğr. Gör. Mustafa Murat KAVURMACI ve Arş. Gör. Tuğba DAĞ'a, Yusuf BİLEN ve Memduh Yılmaz EMRE'ye teşekkür ederim.

İnceleme alanı ile ilgili verilerin kullanılmasına izin veren İller Bankası A.Ş., Makine Sondaj Daire Başkanı Kemal Raşit YALÇIN ile Aksaray İl Özel İdaresi Genel Sekreteri Yusuf İNCEER'e, önceki çalışmalarını kullandığım 104Y197 numaralı projeyi destekleyen TÜBİTAK'a şükranlarımı sunarım.

Ayrıca her konuda yardımlarını esirgemeyen aileme ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

TEŞEKKÜR	i
ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viix
SİMGELER DİZİNİ	vii
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ	1
1.1.Çalışmanın amacı ve önemi.....	1
1.2.İnceleme alanı	1
1.3.Veriler toplama ve yöntem.....	3
1.4.Önceki çalışmalar	4
BÖLÜM II	7
İNCELEME ALANININ BÖLGESEL JEOLJİSİ VE HİDROJEOLJİSİ	7
2.1. Genel jeoloji	7
2.1.1. Bozçaldağ metamorfiti.....	9
2.1.2. Selime tüfleri.....	9
2.1.3. Kızılkaya ignimbritleri	10
2.1.4. Hasandağı külleri	10
2.1.5. Traverten	11
2.1.6. Alüvyon	12
2.2. Yapısal jeoloji	12
2.2.1. Diskordanslar	12
2.2.2. Kıvrımlar	13
2.2.3. Faylar	13
2.3. ZJA’ da bulunan birimlerin hidrojeolojik özellikleri.....	14
2.3.1. Gözenekli ve geçirgen birimler	14
2.3.2. Geçirimsiz birimler	14
BÖLÜM III.....	15
SU KİMYASI DEĞERLENDİRMESİ.....	15
3.1. Suların analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	17

3.2. ZJA' daki suların izotop hidrolojisi	24
3.2.1. $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi	24
3.2.2. $\delta^{18}\text{O}$ - ^3H ilişkisi	26
3.2.3. $\delta^{13}\text{C}$ - ^{14}C ilişkisi	26
BÖLÜM IV	28
ZJA'DAKİ TRAVERTENLERİN KÖKENİ VE TRAVERTEN ALANLARI OLUŞTURULMASI	28
4.1. Travertenin tanımı ve çökelim şartları	28
4.2. Traverten oluşumuna etki eden faktörler.....	28
4.2.1. Fiziksel parametreler	28
4.2.2. Kimyasal parametreler	29
4.2.3. Karbonatlı akiferin hidrolik özellikleri.....	30
4.2.4. Toprak ve bitki örtüsünün varlığı	31
4.2.5. Biyolojik etkiler	31
4.3. ZJA'da traverten oluşumunun incelenmesi	32
4.3.1. ZJA'daki travertenlerin makro özellikleri	32
4.3.1.1. Traverten çökelimindeki doygunluk indislerinin önemi	33
4.3.2. ZJA'daki travertenlerin mikro özellikleri	37
4.3.3. ZJA'da traverten alanları oluşturulması.....	41
4.3.4. Travertenlerin izotopik özellikleri.....	50
BÖLÜM V	52
5. ZJA'NIN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ DEĞERLENDİRMESİ	52
5.1. Jeotermometre çalışmaları.....	52
5.2. Ziga Jeotermal sularının koruma alanları.....	56
5.3. ZJA'da ongörülen yeni sondaj noktaları	58
5.4. ZJA'da olası reenjeksiyon noktası.....	62
5.5. Ziga jeotermal sularının oluşturabileceği bazı çevresel problemler	63
5.6. Ziga jeotermal sularının sağlık açısından değerlendirilmesi	65
SONUÇLAR	66
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ZİGA (AKSARAY) JEOTERMAL SULARININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE KAYNAK ALANINDAKİ TRAVERTENLERİN TERMAL TURİZM AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hulusi Buğrahan DEMİREL

T.C.
Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa AFŞİN

Bu tezin amacı, Ziga (Aksaray) jeotermal alanında mevcut travertenleri geliştirmenin yanısıra yapılacak havuzlarda travertenlerin oluşum mekanizmasını belirlemek, jeotermal suları sürdürülebilirlik ve termal turizm açısından su kimyası yöntemleriyle değerlendirmek, koruma alanlarını çizmek, yeni sondaj ve jeotermal atıksuyun uzaklaştırılması için reenjeksiyon kuyu noktalarını önermektir.

İnceleme alanında su kimyası örneklemeleri ile önceki analizlerden de faydalanılarak yorumlar yapılmış, dönemsel farklılıklar dikkate alınmış, hazne kaya sıcaklıkları hakkında tahminlerde bulunulmuştur.

Alanda çökelmiş olan travertenlerin izotop miktarları dikkate alınarak çökelim sıcaklıklarındaki değişimler hakkında fikir edinilmiştir. Traverten çökelim mekanizmasının anlaşılabilmesi için deneysel çalışma alanındaki suların pH, CO₂ ve sıcaklık gibi fiziksel parametreleri ölçülmüştür. Bu bağlamda deneysel çalışma alanında 10 günlük süre sonunda 1,5-2 mm tufa oluşumu gözlenmiştir.

ZJA’da bulunan sondaj kuyusunda, İller Bankasının yapmış olduğu çalışmalar ile 175 m. derinlikte, 45,27 °C ve 310,87 psi_g değerleri elde edilmiştir. Bu verilere göre, yıllar bazında uzun süreli olarak yüksek debilerde üretim yapılabileceği, ancak statik ve dinamik basınç/seviye değerlerinin değişebileceği fark edilmiştir.

ZJA suları balneoterapik tedavi amaçlı kullanılabilir özelliktedir. İnceleme alanında jeolojik çalışmalar yürütülmüş, 1. koruma alanı içerisine alınan, aktif tektonik hatların bulunduğu traverten alanlarında yeni sondaj noktaları, havza kenarlarında bulunan derin faylar üzerinde ise gradyan sondajı olarak reenjeksiyon noktaları önerilmiştir.

2012, 88 sayfa

Anahtar Kelimeler: Jeotermal su, Sürdürülebilir kullanım, Traverten, Termal turizm, Ziga, Aksaray.

ABSTRACT

Master of Science

EVALUATION OF SUSTAINABILITY OF ZIGA (AKSARAY) GEOTHERMAL WATERS AND THERMAL TOURISM OF TRAVERTINES IN THE FIELD

Hulusi Bugrahan DEMIREL

T.R.

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

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa AFSIN

The aim of this thesis is to enable the constitution of travertines in constructed travertine ponds besides improving the existing ones in Ziga (Aksaray) geothermal field, to evaluate geothermal waters with water chemistry methods in terms of sustainability and thermal tourism, drawing protection areas, suggesting reinjection wells to remove geothermal sewage and new drillings.

The study area, interpretations are made by utilizing the previous analysis and sample surveys for water chemistry. Periodical differences are taken into consideration and predictions are made about reservoir rock temperatures.

Opinions are formed about temperature variations by considering the isotope amounts of travertines settled in area. In order to understand the travertine precipitation mechanism in situ, physical parameters such as, pH, CO₂ and temperatures are measured, At the end of 10 days in case study area, 1.5-2 mm tufas are observed.

At the borehole existing in ZJA, 45,27 °C and 310,87 psi_g values are obtained in 175 meter depth with the studies done by Provincial Bank. According to these data year based long term production could be made at higher flow rates, but static and dynamic pressure/level values can be changed.

ZJA waters have the property of being used as balneotherapy treatment purposed. Geological studies are conducted in the area of investigation and new borehole spots are suggested on active tectonic lines found in travertine fields that are considered in the 1st protection area and reinjection locations are suggested as gradient bores on deep faultlines found on basin sides.

2012, 88 pages

Key Words: Geothermal water, Sustainability use, Travertine, Thermal tourism, Ziga, Aksaray.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.İnceleme alanının yer bulduru haritası (a:Burçak,2006;b ve c:Googleearth-maps).....	2
Şekil 2.1.İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şimşek,1993)	7
Şekil 2.2.ZJA'nın jeoloji haritası (Afşin ve Yıldız, 1997; Duru, 2006)	8
Şekil 2.3.İnceleme alanına ait jeolojik enine kesit (Afşin ve Yıldız, 1997; Duru, 2006) .	9
Şekil 2.4.ZJA ve çevresinde yüzeylenen bazı birimler.....	11
Şekil 2.5.Ziga kaplıca girişindeki beyaz renkli travertenler	12
Şekil 2.6.ZJA içerisinde bulunan Akdere'de Kızılkaya ignimbritlerde gözlenen KB-GD ve KD-GB süreksizlikleri (a), Ziga sondaj kuyusu (b)	13
Şekil 3.1.ZJA ve çevresindeki suların yarılogaritmik Schoeller diyagramı (örn. tarihi: 21.09.2010)	19
Şekil 3.2.ZJA ve çevresindeki suların yarılogaritmik Schoeller diyagramı (örn. tarihi: 11.11.2010)	20
Şekil 3.3.ZJA ve çevresindeki suların yarılogaritmik Schoeller diyagramı (örn. tarihi: 28.05.2011)	20
Şekil 3.4.ZJA ve çevresindeki suların yarılogaritmik Schoeller diyagramı (örn. tarihi: 12.08.2011)	21
Şekil 3.5.ZJA ve çevresindeki suların Piper diyagramı (örn. tarihleri: a; 21.09.2010, b; 11.11.2010)	22
Şekil 3.6.ZJA ve çevresindeki suların Piper diyagramı (örn. tarihleri: a; 28.05.2011, b; 12.08.2011)	23
Şekil 3.7.ZJA'daki suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ grafiği (Afşin vd., 2007).....	25
Şekil 3.8.ZJA'daki suların $\delta^{18}\text{O}$ ve ^3H grafiği (Afşin vd., 2007).....	26
Şekil 3.9.ZJA'daki suların Clark ve Fritz (1997)'e göre suların CO_2 kökenleri (Afşin vd.,2007)	27
Şekil 4.1.Çatlak sırt tipi traverten oluşumuna örnek (eski travertenler, Yaprakhisar)(a), mikroteras havuz yapıları (Ziga sondaj kuyusundan akıtılan suyun oluşturduğu yeni travertenler), (Duru, 2006; Afşin vd., 2007)	32
Şekil 4.2.Ziga sondaj kuyusundan akıtılan suyun oluşturduğu yeni travertenler(a), Ziga kaplıca girişindeki mikroteras havuz yapıları(b).....	33
Şekil 4.3.ZJA'daki suların mineral doygunluk indis (DI) grafiği (örn. tarihi: 21.09.2010)	34
Şekil 4.4.ZJA' daki suların mineral doygunluk indis (DI) grafiği (örn. tarihi: 11.11.2010.....	35
Şekil 4.5.ZJA'daki suların mineral doygunluk indis (DI) grafiği (örn. tarihi: 28.05.2011)	36

Şekil 4.6. ZJA'daki Ziga sondaj suyunun mineral doygunluk indis (DI) grafiği (örn. tarihi: 12.08.2011).....	37
Şekil 4.7. Ziga kaplıca giriş travertenlerinin görünüşü (a), giriş (ZSMS-1) travertenlerine ait çift nikolde çekilmiş ince kesit fotoğrafı (4X) (mo: mikroorganizma, okp: organik kavkı parçaları, bkç: blok kalsit çimento) (b) ve x-ışını grafi (c)	38
Şekil 4.8. Ziga sondaj alanında oluşan güncel travertenler (a) ve Ziga sondajında oluşan (ZSMS-2) yeni travertene ait ince kesit (4X) (lk: lifsi kalsit, mo: mikroorganizma) (b).....	39
Şekil 4.9. Ziga sondaj kuyusu altında oluşmuş eski ve güncel (tufalar) travertenler (a) ile eski travertenlere ait ince kesit (ik: iri taneli lifsi kalsit) (b)	39
Şekil 4.10. Ziga yeni travertenlerine ait taramalı elektron mikroskop (SEM) kesitlerde gözlenmiş diatomlar ve kalsit mineralleri (Afşin vd., 2007) (tanımlamalar Aksaray Üniversitesi'nden A.Yıldız'a aittir)	40
Şekil 4.11. Ziga yeni travertenlerine ait taramalı elektron mikroskop (SEM) kesitlerinde gözlenmiş diatomlar (a) ve kalsit mineralleri (b) (Afşin vd., 2007)	41
Şekil 4.12. Ziga yeni travertenlerine ait taramalı elektron mikroskop (SEM) kesitlerinde gözlenmiş diatomlar (a) ve kalsit mineralleri (b) (Afşin vd., 2007)	41
Şekil 4.13. Ziga'daki DÇA'da traverten havuzlarının inşaat öncesi(a); inşaat sonrası görünümü(b) ve mayıs ayına ait görüntüleri (c-d-e)	42
Şekil 4.14. DÇA'da ölçüm noktaları (a) 1, 2, 9, 10 ve 11; (b) 4, 5 ve 6; (c) 2, 3, 7, 8, 10 ve 11	43
Şekil 4.15. DÇA'da 1-2-3 numaralı noktalara ait CO ₂ -pH grafiği	43
Şekil 4.16. DÇA'da 1-2-3 numaralı noktalara ait CO ₂ -T grafiği.....	44
Şekil 4.17. 4 numaralı noktada ölçümlerin yapılışı	44
Şekil 4.18. 5 ve 4 numaralı noktalara ait CO ₂ -pH (a) ve CO ₂ -T grafiği.....	45
Şekil 4.19. 7-8 numaralı noktalara ait CO ₂ -pH (a) ve CO ₂ -T grafikleri (b)	46
Şekil 4.20. 9-10-11 numaralı noktalara ait CO ₂ -pH (a) ve CO ₂ -T grafikleri (b).....	47
Şekil 4.21. Şekil 4.16a kodlu fotoğrafta görünen, 1-9 numaralı noktalara ait CO ₂ -pH (a) ve CO ₂ -T grafikleri (b).....	48
Şekil 4.22. DÇA'da havuzlardan kabarcıklar halinde CO ₂ kaçıışı (a) ve tufa çökelişi (b)	49
Şekil 4.23. Ziga sondaj kuyusu yakınında CO ₂ kaybına bağlı tufa oluşumu (a), DÇA'da 10 günlük su akışı sonucundaki oluşan tufa (traverten) (kalınlık ≈ 1.5-2mm) (b)	49
Şekil 4.24. ZJA'daki travertenin şematik çökelim modeli	50
Şekil 4.25. ZJA'da bulunan travertenlere ait δ ¹³ C ve δ ¹⁸ O grafiği (Afşin vd., 2007)	51
Şekil 5.1. ZJA ve çevresindeki suların Giggenbach (1988) üçgen diyagramı (örn. tarihleri; a: 21.09.2010, b: 11.11.2010).....	53
Şekil 5.2. ZJA ve çevresindeki suların Giggenbach (1988) üçgen diyagramı (örn. tarihleri; a: 28.05.2011, b: 12.08.2011)	54

Şekil 5.3. ZJA'daki jeotermal suların kuvars jeotermometrelerine göre hesaplanan tahmini hazne kaya sıcaklıkları (örnekleme tarihleri; *: 28.05.2011 ve **: 12.08.2011)	55
Şekil 5.4. ZJA'nın 1. ve 2. koruma alanlarını gösteren harita	57
Şekil 5.5. ZJA'nın 1, 2 ve 3 numaralı koruma alanlarını gösteren harita	58
Şekil 5.6. Ziga sondaj kuyusuna ait çok debili basınç düşüm ve basınç yükseli grafiği (İller Bankası Anonim Ortaklığı, 2011)	60
Şekil 5.7. ZJA ve çevresinde yapılmış jeofizik çalışmaları sonucu tanımlanan ısıtıcı kaya (Burçak, 2006).....	61
Şekil 5.8. DES verilerine göre hazırlanmış GB-KD yönlü kesit (Burçak vd., 2007)	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. ZJA ve çevresindeki suların kimyasal analiz sonuçları.....	16
Çizelge 3.2. Ziga Sondaj kuyusunun 12.08.2011 tarihli örnekleme, diğer element derişimleri (İller Bankası A.O., 2011)	17
Çizelge 3.3. ZJA ve çevresindeki suların iyon dizilimleri ile su türleri	18
Çizelge 3.4. ZJA'daki suların izotop değerleri (Afşin vd., 2007).....	25
Çizelge 4.1. ZJA'daki suların mineral doygunluk indis (Dİ) değerleri (örnekleme tarihi: 21.09.2010)	34
Çizelge 4.2. ZJA'daki suların mineral doygunluk (Dİ) değerleri (örnekleme tarihi: 11.11.2010)	34
Çizelge 4.3. ZJA'daki suların mineral doygunluk indis (Dİ) değerleri (örnekleme tarihi: 28.05.2011)	35
Çizelge 4.4. ZJA'daki Ziga sondaj suyunun mineral doygunluk indis (Dİ) değerleri (örnekleme tarihi: 12.08.2011).....	36
Çizelge 4.5. ZJA'da bulunan travertenlere ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri(Afşin vd., 2007)	51
Çizelge 5.1. ZJA'daki jeotermal suların kuvars jeotermometrelerine göre hesaplanan	
..... tahmini hazne kaya sıcaklıkları (°C)	
.....	55

SİMGELER DİZİNİ

cm	Santimetre
l	Litre
m	Metre
ohm	Elektriksel direnç birimi
Pb	Temel kaya
pH	Asit-bazölçeği
ppb	Milyardabir
ppm	Milyondabir
psi_g	Atmosfer basınç birimi
s	Saniye
T	Sıcaklık (°C)
Tgü	Göstükignimbiriti
Tka	Karakaya volkaniti
Ts	Selime tüfleri
Tk	Kızılkaya ignimbiriti
µS/cm	Elektriksel iletkenlik birimi
Qh	Hasandağı külleri
Qt	Traverten
Qa	Alüvyon
δ¹⁸O	Oksijen-18 oranı
δ²H	Döteryum oranı
δ³⁴S	Kükürt-34 oranı
δ¹³C	Karbon-13 oranı

KISALTMALAR DİZİNİ

ASMS	Acıgöl Sıcak ve Mineralli Suyu
AZ-1	Aksaray Ziga Sondajı Bir
BKÇ	Blok Kalsit Çimento
DÇA	Deneyisel Çalışma Alanı
DES	Düşey Elektrik Sondajı
Dİ	Doygunluk İndisi
EC	Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
HDS	Helvadere Suyu
K-G	Kuzey – Güney
KB-GD	Kuzeybatı - Güneydoğu
KD-GB	Kuzeydoğu – Güneybatı
LK	Lifsi Kalsit
MO	Mikro Organizma
MSD	Meteorik Su Doğrusu
SAR	Sodyum Adsorbsiyon Oranı
SCT	Portatif Kondüktivite Metre
SEM	Taramalı Elektron Mikroskop
TDS	Toplam Çözünmüş Katı Madde
YSMS	Yaprakhisar Sıcak ve Mineralli Suyu
ZBG1	Ziga Gradyan Sondajı Bir
ZBG2	Ziga Gradyan Sondajı İki
ZJA	Ziga Jeotermal Alanı
ZSMS	Ziga Sıcak ve Mineralli Suyu
ZSMS-1	Ziga Sıcak ve Mineralli Suyu Travertenleri-Bir
ZSMS-2	Ziga Sıcak ve Mineralli Suyu Travertenleri-İki
ZSMS-3	Ziga Sıcak ve Mineralli Suyu Travertenleri-Üç

BÖLÜM I

GİRİŞ

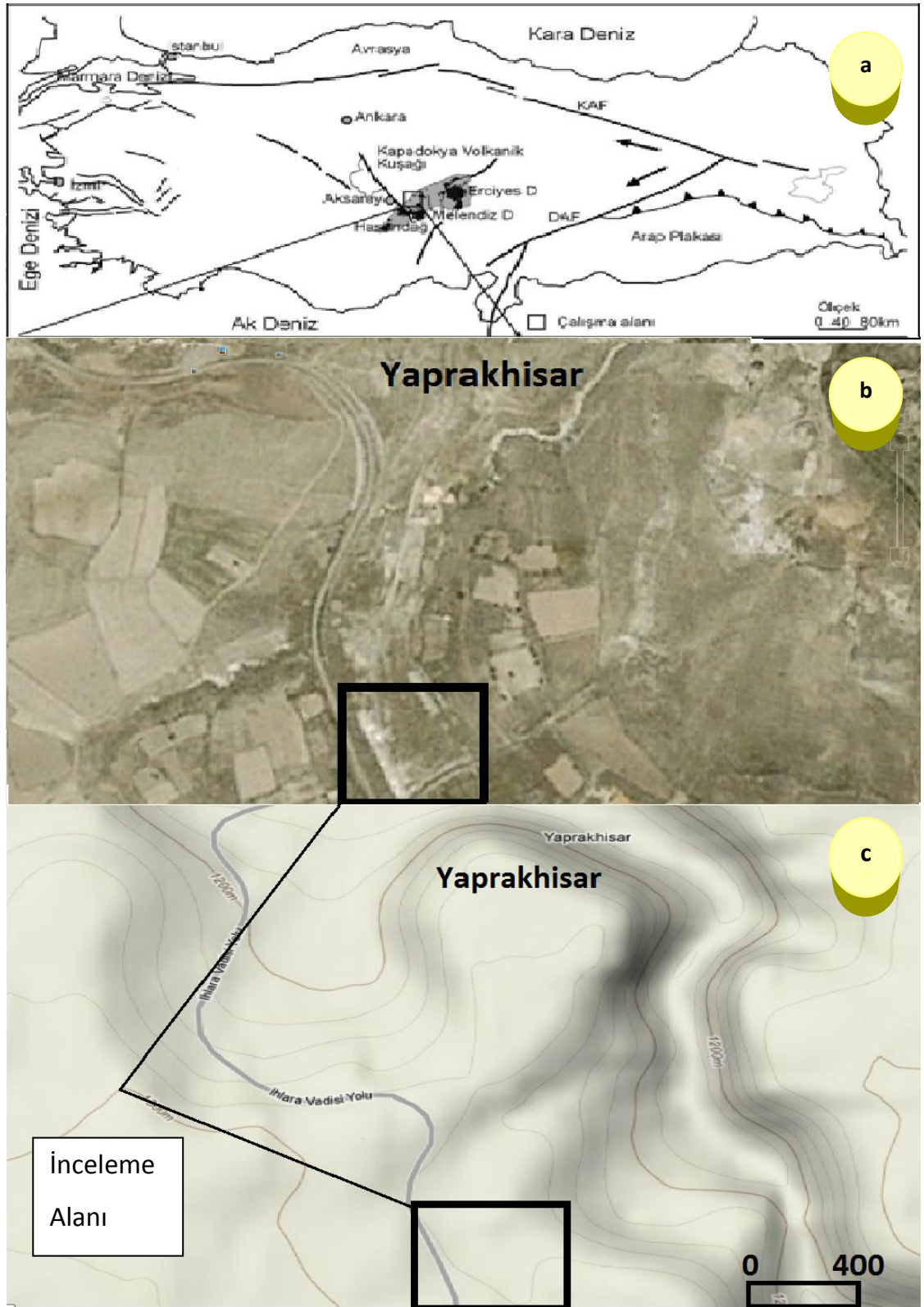
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Türkiye'deki sayısız olağan üstü güzellikte bulunan kültür ve doğal tabiat varlıklarını korunması ve geliştirilmesi çevre kirliliği ve kontrolü açısından son zamanlarda önem kazanmıştır, Ziga (Aksaray) jeotermal alanında (ZJA) mevcut travertenleri geliştirmenin yanısıra yapılacak havuzlarda travertenlerin oluşturulmasına neden olmak; jeotermal suları sürdürülebilirlik ve termal turizm açısından su kimyası yöntemleriyle değerlendirmek; koruma alanlarını çizmek; yeni sondaj ve jeotermal atıksuyun uzaklaştırılması için reenjeksiyon kuyu noktalarını önermektir.

ZJA'da Aksaray Valiliği ve Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin işbirliği ile 1998-1999 yılları arasında açılan 234 m derinliğindeki sondajdan yaklaşık 144 L/s debili ve 48.5 °C sıcaklıklı jeotermal su alınmıştır. Bu çalışma, bugüne kadar optimum düzeyde yararlanılamayan söz konusu jeotermal alanda, sürdürülebilir kullanım için yeni sondaj kuyularının ve jeotermal atık suyun çevresel etkilerinin azaltılması için reenjeksiyon kuyu yerinin önerilmesi, yapay traverten havuzları oluşturularak yörenin ve Aksaray'ın termal turizm açısından kalkınması gibi farklı hedeflere yönelik olması bakımından önemlidir.

1.2. İnceleme Alanı

İnceleme alanı Aksaray ili L32-b4 paftasında Yaprakhisar mevkiinde yer almaktadır. Karşılaştırma ve değerlendirme amaçlı olarak mücavir jeotermal alanlar da incelemelere dahil edilmiştir. Bölge turistik açıdan elverişli olup, İhlara Vadisi, eski zamanlı yerleşim merkezleri ve jeotermal su önem arz etmektedir.



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası (a: Burçak, 2006; b ve c: Google earth-maps)

1.3. Veri Toplama ve Yöntem

Yüksek lisans tezi kapsamındaki yapılan çalışmalar, literatür, arazi, ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleşmiştir.

Literatür çalışmaları, kaynak alanı ile çevresi hakkında jeolojik ve hidrojeolojik verilerin toplanıp incelenmesi şeklinde yapılmıştır.

Arazi çalışmaları sırasında, olası sondaj ve reenjeksiyon noktası için, arazi gözlemleri ile aktif tektonik hatlar, örtü kaya ve rezervuar kaya açısından çalışmalar yapılmış, bölgede bulunan jeotermal kaynaklar ve oluşturmuş olduğu travertenler incelenmiş, örneklemeler ve bazı ölçümler yapılmıştır.

Arazi çalışmalarında, ZJA içerisindeki kaynaklardan; su kimyası analizleri için yağışlı ve kurak dönemlerde, 21.09.2010, 11.11.2010 ve 28.05.2011 tarihlerinde su örnekleri alınmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında, söz konusu suların sıcaklık (T), pH, elektriksel iletkenlik (EC), oksijen miktarı, toplam çözünmüş katı madde içeriği (TDS) gibi parametreleri yerinde ölçülmüş W.T.W-LT 330 marka portatif kondüktivite metre (SCT), orion marka pH metre ve YSI- 055 oksijen metre kullanılmıştır. Karşılaştırma amacıyla Afşin vd. (2007)'nin 2005 yılına ait su kimyası ve izotop (^{18}O , döteryum, trityum, karbon-14 ve kükürt-34) ile 12.08.2011 tarihinde İller Bankası tarafından Ziga sondajının sıcaklık ve akışkan üretim potansiyelini belirlemek amacıyla yapılmış olan test çalışmaları sırasında alınan su örneklerinin, Hacettepe Üniversitesi su kimyası laboratuvarında yaptırılan su kimyası ve trityum izotop analiz sonuçları kullanılmıştır.

21.09.2010 ve 11.11.2010'daki su örneklerinin su kimyası analizleri Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği su kimyası ve 28.05.2011 tarihli su örneklerinin analizleri ise Hacettepe Üniversitesi su kimyası ve trityum izotop laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Tezin deneysel çalışma alanındaki traverten havuzlarının yapımını izleyen Aralık 2011 tarihinde havuzların belirli noktalarında pH, sıcaklık ve serbest CO_2 gazı parametre değerleri NaOH ve fenol fetalin ve drager test kitleri kullanılarak ölçülmüştür.

Büro çalışmalarında, literatür incelemesi ve arazidenelde edilen bilgiler kullanılarak, tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

Bu tez, Aksaray Üniversitesi Yüksek Lisans ve Doktora Tezi Yönergesi dikkate alınarak yazılmıştır.

1.4. Önceki Çalışmalar

Beekman (1966)'da; Hasandağı-Melendiz dağı, Aksaray, Gelveri (Güzelyurt) ve Çınarlı bölgesinde volkanik kayalar tanımlanarak adlandırılmış, çıkış yerlerine yaklaşımda bulunmuş, ignimbrit oluşumuna sebep olan patlamaları Tuz Gölü fayına bağlamış, ilk ignimbrit oluşumundan sonra oluşan Karakaya formasyonunun oluşumuna Toros kuşağı önündeki blok faylanmaların neden olduğu belirtilmiş, Selime tüflerinin çıkış kaynağının bu alanın yakınındaki Acıgöl civarı olabileceği ifade edilmiştir.

Öktü ve Kalkan (1984)'da; Ziga sahasında jeolojik-hidrojeolojik etüt çalışması ile sahanın stratigrafisi belirtip ve kimyasal analizleri yapılarak sınıflandırılmış; sahada belirlenmiş 18 adet sıcak su kaynağının sıcaklıkları 29-51 °C arasında değiştiği belirtilmiş, yaklaşık 350 m derinliğinde bir sondajın yapılması önerilmiştir.

Ayhan ve Papak (1988)'da; alandaki kayalar köken ve litolojik özelliklerine göre sınıflandırılmış, formasyon ve kaya birimleri olarak ayırtlanmıştır.

Tokgöz ve Kaya(1988)'de; Ziga sahasında yapay kaynaklı manyetotellürik çalışmalar (CSAMT) yapılmıştır. Çalışma ile Melendiz vadisinin doğu kesiminin bir faya bağlı olarak derinleştiği belirtilmiştir.

Akdoğan (1989)'da; inceleme alanında yapılan detay gravite çalışması ile gömülü tektonik yapılara ve temel yükseliminin bulunduğu alanlara yaklaşımda bulunulmuştur.

Kaynak (1989)'da; inceleme alanında manyetik etüt çalışması yaparak düşük manyetik anomali alanlarının önemine değinilmiştir.

Ölmez ve Gevrek (1991)'de; inceleme alanı sınırları içinde 4 gradyan sondajı açılmıştır. Ziga alanında açılan gradyan kuyularından ZBG1 kuyusunda (209 m) 0.62

°C/10 m ve ZBG2 kuyusunda 0.53 °C/10 m gibi normal jeotermal gradyanın iki katına yakın gradyan artışı olduğu belirtilmiştir.

Göncüoğlu vd. (1992)'de; inceleme alanında temeli Orta Anadolu Kristalin Kompleksi ve bunun Alt Tersiyer yaşlı örtü kayaçları oluşturduğu belirtilmiş, örtü kayaçlarının ise Kristalin Kompleks içinde Üst Kretase-Alt Paleosen sırasındaki çarpışma sonrasında meydana gelen çöküntü havzalarında olduğu ileri sürülmüştür.

Ercan vd.(1992)'de; Orta Anadolu'da Kuvaterner volkanizmasına ait lavların çoğunlukla bazalt, daha az olarak da andezit, traki-andezit türünde ve subalkalen nitelikte oldukları; K/Ar yöntemi ile lavlarda $1.151.000 \pm 76.000$ ile 64.000-15.000 yıl yaşlara ulaştıkları belirtilmiştir.

Göçmez (1994)'de; inceleme alanının Ziga bölümünde, Silis jeotermometresine göre 98-151 °C rezervuar sıcaklığı hesaplanmış ve alanda sıcak sulara % 80 oranında soğuksu karıştığı ifade edilmiştir.

Afşin ve Baş (1997)'da;Aksaray-Niğde arasındaki bazı önemli soğuk ve sıcak su kaynaklarının hidrokimyasal ve izotopik incelemesi ve kökensel yorumunu yapılmış, bazıları tedavi etme ve içme suyu özelliğine sahip bu kaynakların yüzey suları ile karışarak kendilerine özgü fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimleri hidrokimyasal ve izotopik açıdan incelenmiş ve Tuzlusu ve Koçpınar kaynaklarının koruma alanları belirtilmiştir.

Toprak (2000)'da; Tuzgölü fayının Hasandağ volkanı dolayında 35 km' lik kısmı incelenmiş olup, belirli bölümleri genç volkanitlerle örtülü olan Tuzgölü fayının birbirine paralel KB-GD gidişli üç fay setinden oluştuğu, en doğudaki fay sınırının ise Hasandağ ve Keçiboyduran volkanlarının sınırladığı ifade edilmiştir.

Afşin ve Elhatip (2000)'de; Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynaklarının, fayların kesişme noktalarında yer aldıklarını, suların debilerinin düşük, CO₂ ve toplam çözünmüş madde miktarlarının yüksek olduğu, yeni traverten çökelimlerinin devam ettiği, Na-Ca-Cl-HCO₃ ve Na-Cl tipi su kimyası fasiyeslerine girdikleri ve kaynak sularının hazne kaya sıcaklığının 115°C dolayında oldukları, sertliği ve tuzluluk

tehlikesi çok yüksek olan bu suların sulama suyu olarak kullanılmasının uygun olmadığı belirtilmiştir.

Akdoğan ve Burçak(2002)'de; Ziga sahasında daha önce yapılan gravite ve manyetik çalışmalar yeniden yorumlanarak belirlenen yüksek gravite ve düşük manyetik anomalilerin; jeotermal sistemler için ısı kaynağını oluşturan, kabuk içine sokulmuş, henüz sıcaklığını koruduğu düşünülen magma sokulumlarına işaret edebileceği ifade edilmiştir.

Duru (2006)'da; Ziga-Yaprakhisar sıcak ve mineralli kaynak alanlarındaki traverten çökeliminde etki olan faktörlerin su kimyası ve izotopik yöntemlerle irdelenmiş, bölgedeki sıcak ve mineralli suların traverten çökeltme potansiyelleri belirtilmiştir.

Afşin vd. (2007)'de; Aksaray ve çevresindeki jeotermal suları ve travertenleri hidrojeokimyasal, izotopik, tıbbi ve biyoiklimsel açıdan değerlendirilmiş ve öngörülen konularda özgün sonuçlar elde edilmiştir.

Burçak vd. (2007)'de;Aksaray jeotermal sahaları (Acıgöl-Ziga-Şahinkalesi) jeotermal ısı kaynakları jeoloji, su kimyası, izotop hidrolojisi, hidrotermal alterasyon ve manyetotellürik çalışmalarla araştırılmış, jeotermal sistemlerin kavramsal modellemesi yapılmıştır.

Gürel ve Yıldız (2007)'de; Kapadokya volkanik provenzinin batısında kalan Pliyosen yaşlı Ihlara-Selime bölgesinde, paleoçevresel tarihin belirlenmesi amacıyla, gölsel diyatomlar üzerinde; paleontolojik, sedimantolojik, minerolojik ve kimyasal analiz çalışmaları yapılmıştır.

Burçak (2009)'da; Aksaray jeotermal sahalarında (Acıgöl-Ziga-Şahinkaesi), jeoloji, su kimyası, izotop hidrolojisi ve jeotermal çalışmalar yapılmıştır. Kuvars jeotermometreleriyle hazne kaya sıcaklıkları hesaplanmıştır.

İller Bankası A.O. (2011)'de; Aksaray İl Özel İdaresi'ne ait AZ-1 numaralı kuyuda kuyu içi statik dinamik sıcaklık ve basınç profilleri alımı ayrıca, çok debili basınç düşüm-yükselim test çalışmaları yapılmıştır.

BÖLÜM II

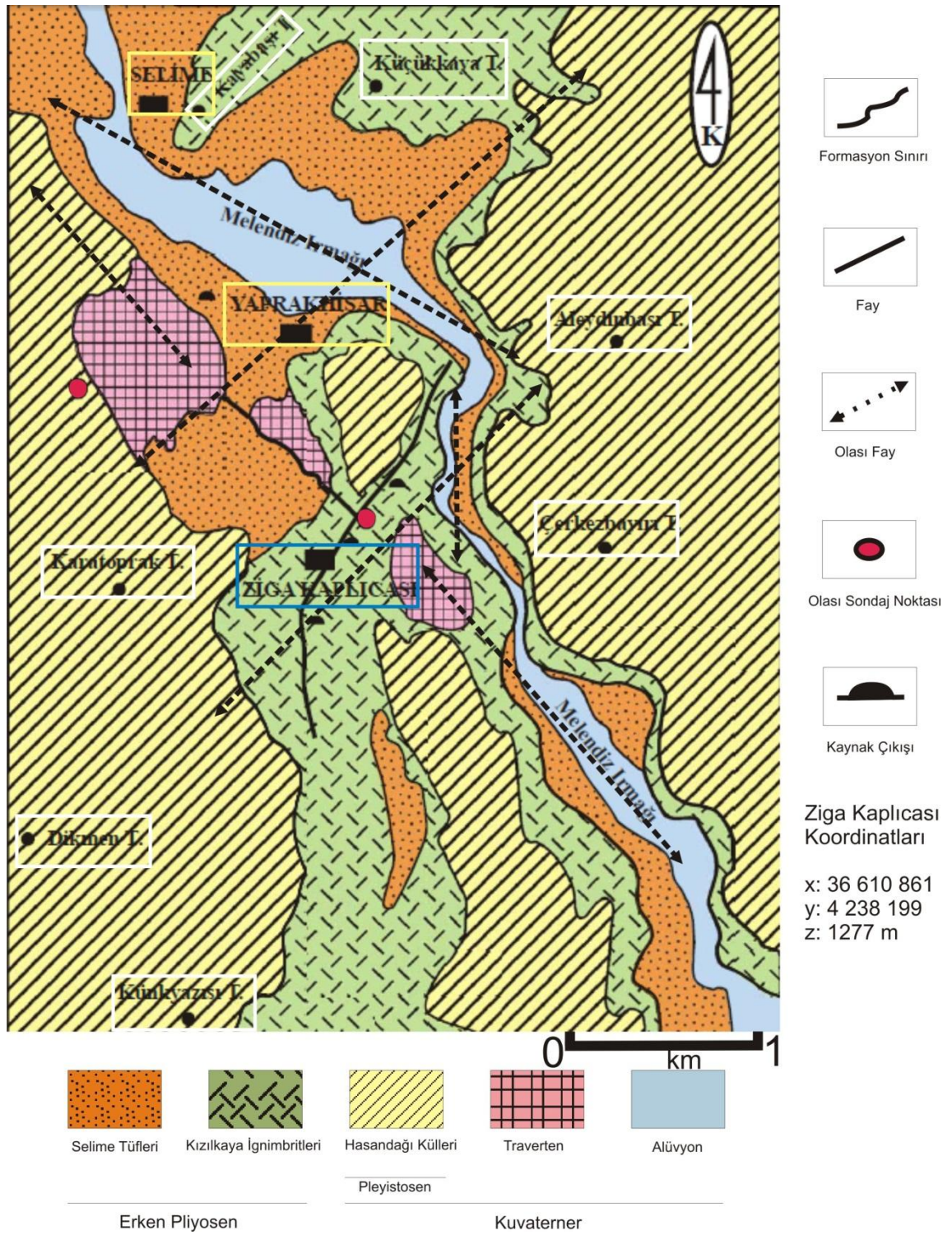
İNCELEME ALANININ BÖLGESEL JEOLojİSİ VE HİDROJEOLojİSİ

2.1. Genel Jeoloji

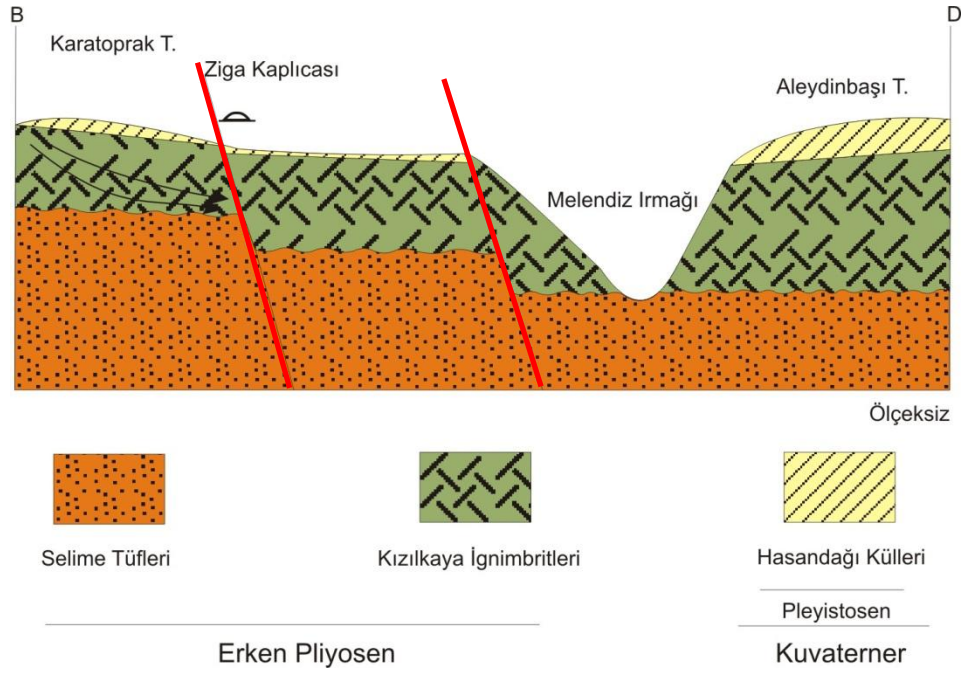
İnceleme alanı, Anatolidler tektoniği içinde yer almaktadır (Ketin, 1969). Bölgenin temelini oluşturan Orta Anadolu Masifleri'nden olan Kırşehir masifine ait metamorfitlet üzerine Eosen-Oligosen yaşlı Mezgit grubuna ait çökeller gelmektedir. Bölgedeki volkanizma faaliyetleri orta-üst Miyosen'de başlamış ve Pliyosen'de de aktivitesini sürdürmüştür (Şekil 2.1., 2.2. ve 2.3.).

Ü. SİSTEM	SİSTEM	SERİ	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ (Kayaç Çeşidi)	MORFOLOJİK DURUM	HİDROJEOLojİK ÖZELLİKLER
SENOZOYİK	TERSİYER	PLİYÖSEN	KUVATERNER				
			Qtz	0 - 50	Alüvyon, traverten Açısal uyumsuzluk Bazalt	Alüvyon gevşek Traverten dayanımlı	Alüvyon geçirimli Traverten karstik
			Oh	0 - 120	Hasandağ külleri tuf, tüfit İgnimbirit Bazalt	Gevşek kolay aşınım	Geçirimsiz
			Tk	5 - 100	KIZILKAYA İGNİMBİRİTLERİ	Sert, dayanımlı kırık ve çatlaklı kesimleri kolay kopmalı	Kırıklı, çatlaklı Akifer
			Ts	20 - 100	SELİME TÜFLERİ (İgnimbiritleri)	Gevşek dokulu Dayanımsız Kolay aşınım	Geçirimsiz
			Tka	50	Tuf, Tüflü kireçtaşı KARAKAYA VOLKANİTLERİ	Dayanımsız	Geçirimsiz
			Tgü		GÖSTÜK İGNİMBİRİTİ Siyah İgnimbirit	Dayanımlı	İgnimbirit kırıklı çatlaklı
			Pb		Temel		
			OLİGO MİYÖSEN				
					1- Kireçtaşı - marn Kumtaşı ardalanması (Oligomiyosen?-Eosen?) 2- Granadiorit-Granit Ultrabazikler 3- Bozçaldağ Mermerleri 4- Çeşitli şistler		Kireçtaşı, kırıklı çatlaklı akifer Yer yer kırıklı, Geçirimsiz Karstik, kırıklı çatlaklı, geçirimli Geçirimsiz

Şekil 2.1.İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şimşek,1993)



Şekil 2.2. ZJA'nın jeoloji haritası (Afşin ve Yıldız, 1997; Duru, 2006)



Şekil 2.3. İnceleme alanına ait jeolojik enine kesit (Afşin ve Yıldız, 1997; Duru, 2006)

2.1.1. Bozçaldağ metamorfiti

İnceleme alanında gözlenemeyen fakat yapılan bölgesel incelemelerde temelde yer alması gerektiği düşünülen Paleozoyik yaşı Bozçaldağ metamorfiti, kuvarsit, gnays ve mermer aralanmasından oluşmuştur. Gnayslar içinde yer yer mermer, amfibol ve kuvarsit bantları görülür. Kalınlıkları artarak üste doğru devam eden mermer bantlarının renkleri beyaz, pembe, mavimsi görünümlü olup, yer yer kırıklı ve dağınık özelliğe sahiptir (Ketin, 1969; Şimşek, 1993; Duru, 2006).

2.1.2. Selime tüfleri

Selime tüfleri (Beekman, 1966) olarak adlandırılan birim, genellikle asit karakterli, uçuk pembe ve sarımsı beyaz renkli volkanizma ürünlerinden oluşmuştur. Tüfler bazalt, spilit obsidiyen, pomza ve andezit bakımından zengindir.

Dayanımsız, kolay aşınmalı ve kalınlığı 80 m civarındadır. Tüfler ve üzerindeki ignimbritler arasında bir pişme zonu izlenir. Selime ve çevresinde dayanımlı Kızılıkaya ignimbritlerinin aşındığı Melendiz çayı boyunca bulunan Selime tüfleri dik yamaçlardaaşınım sonucunda peri bacaları oluşmuştur.

Tüfler Neojen yaşlı birimler içinde kılavuz seviye şeklindedir. İnce kesitler üzerinde yapılan incelemeler sonucu, litik tuf özelliğindeki kayaç bünyesinde bol miktarda volkanik cam parçaları, plajiyoklas, kuvars, biyotit, hornblend ve opak mineraller saptanmıştır(Şimşek, 1993). Yaprakhisar'ın güneyinde tüfler içerisinde birbirini kesen 70-80° eğimli kalsit dolgulu çatlaklar yer almaktadır Selime tüflerinin yaşı erken Pliyosen olarak saptanmış(Batum, 1975) olup bunların üzerinde 30 cm civarında ince bantlar biçiminde paleosol (eski toprak) yer almaktadır(Şekil 2.4.)ve Selime tüflerinin, Yaprakhisar'ın doğu ve güneyinde Kızılkaya ignimbitlerine uyumsuz geçişi görülmektedir.

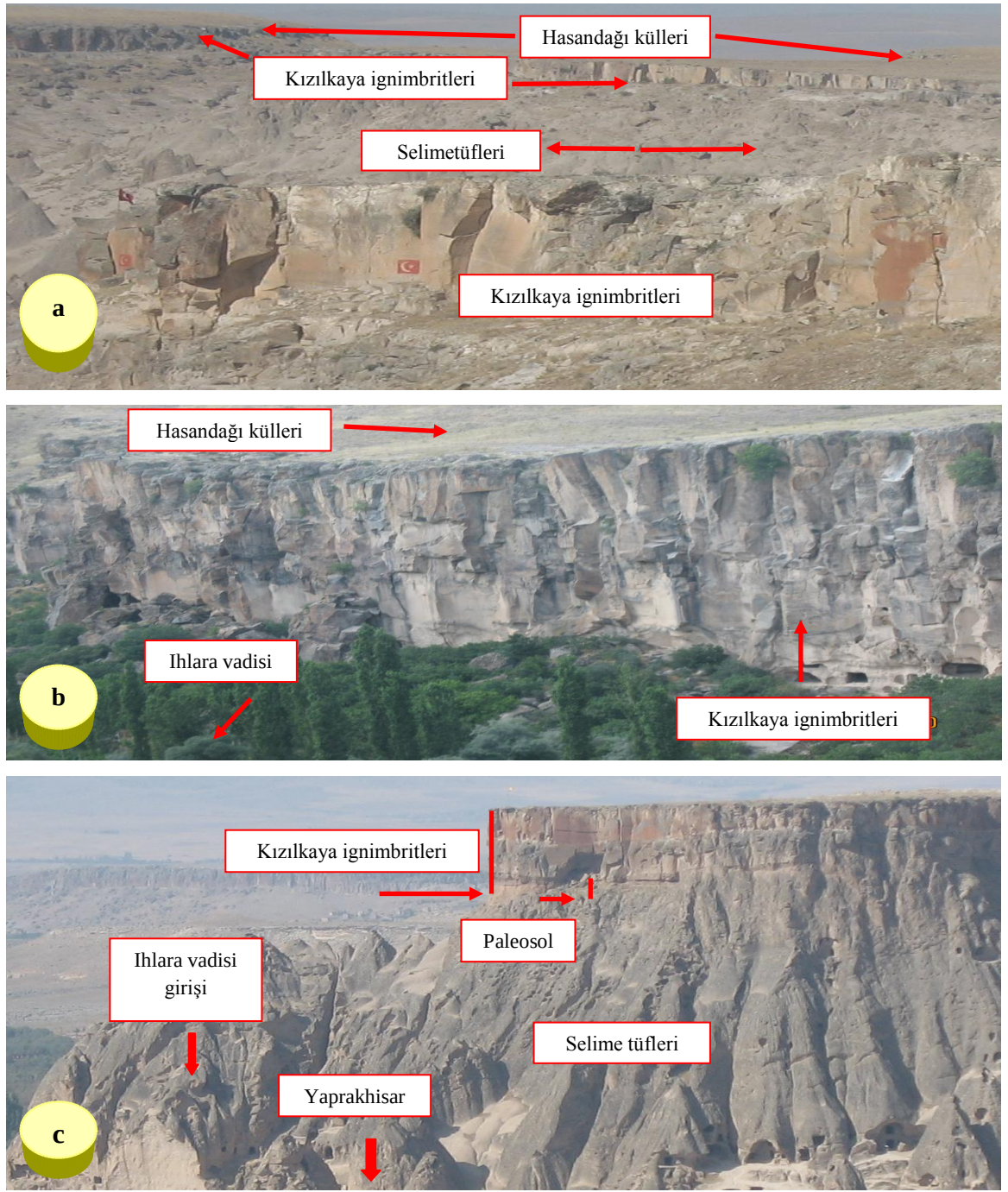
2.1.3. Kızılkaya ignimbitleri

Kızılkaya ignimbitleri genellikle asit karakterli piroklastik akma ürünü olup, kaynamış tuf özelliğine sahiptir. İnceleme alanında Ziga jeotermal kaynakları çevresinde geniş bir alanda yüzeylenmektedir (Şekil 2.2. ve 2.3.). Bunlar beyazımsı gri renkli olup, bozuşma yüzeyleri pembemsi kırmızı renkli, üst seviyeleri zayıf, alta doğru sık dokulu, pürüzlü 30 cm boyunda pomza parçalarını içermektedir. Kalınlığı 5-100m arasında değişmekte olan birimde düşey yönde soğuma çatlaklarına bağlı olarak oluşmuş sütunsu yapıdan dolayı kaya düşmeleri gerçekleşmektedir. İnce kesit incelemelerine göre ignimbitler, tuf özelliği gösteren camsı mikrolitler içermekte fenokristallerin çoğunu ise plajiyoklas, biyotit-kuvars ve hornblend oluşturmaktadır. Kızılkaya ignimbitlerinin yaşı erken Pliyosen olarak saptanmıştır (Batum,1975).

2.1.4. Hasandağı külleri

Hasandağı külleri (Beekman, 1966) çökelmeden önceki eski topografya çukurlarını dolduran birim topografya yüzeyine bağlı olarak genellikle yatay, yer yer eğimli görünüm sunmaktadır.

Hasandağı külleri gölsel ve volkanizma ürünü olan birimlerin ardalanmasından oluşmuş olup, genelde 10-100 m arasında değişen kalınlıkları Selime dolayında 2 m'dir. Gri-beyaz renkli kül ve lapilliden oluşan Hasandağı külleri, beyaz renkli vitrik kül matriksi içerisinde kaba kum boyundan 5-6 cm'ye kadar ulaşan obsidiyen, pomza ve az miktarda da lav parçaları içerir. Kızılkaya ignimbitlerini örten Pleyistosen yaşlı bu birim, Karatoprak tepede Selime tüflerinin üzerinde yer almaktadır (Duru, 2006).



Şekil 2.4. ZJA ve çevresinde yüzeylenen bazı birimler

2.1.5. Traverten

Ziga Kaplıcası ile Yaprakhisar'ın çevrelerinde yer alan sıcak ve mineralli su oluşukları olan travertenler beyazımsı sarı renkli ve boşluklu yapıya sahip olup, kalınlıkları 1–30 m arasında değişmektedir.

Selime tüfleri içerisindeki çatlaklardan gelerek yüzeye ulaşan sıcak sular, zamanla buralarda kalınlıkları 30–40 cm’den 1 m’ye ulaşan kalsit damarları oluşturmuşlardır. Tüflerdeki birbirini kesen çatlaklar boyunca yüzeye çıkan sıcak sular kırık hatları boyunca aragonit şeklinde traverten oluşumuna sebep olmuştur. Ayrıca Yaprakhisar yokuşunda Karatoprak tepenin kuzeyindeki travertenler yapıtaşı olarak işletilmiştir(Duru, 2006) (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Ziga kaplıca girişindeki beyaz renkli travertenler

2.1.6. Alüvyon

Birim tutturulmamış çakıl, kum ve kilden oluşur. Melendiz vadisi boyunca ve diğer küçük akarsu yataklarında mostra verir. Birim Kuvaterner yaşlı olup, diğer tüm birimleri uyumsuz olarak örter.

2.2. Yapısal Jeoloji

2.2.1. Diskordanslar

Alanda en belirgin diskordans Paleozoyik ile olan sınırdadır. Pliyosen içerisinde ise Selime Tüfleri ile Kızılkaya İgnimbitleri arasında oluşmuştur. Pliyosenin ardından oluşan diskordans ile Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyongözlenmiştir.

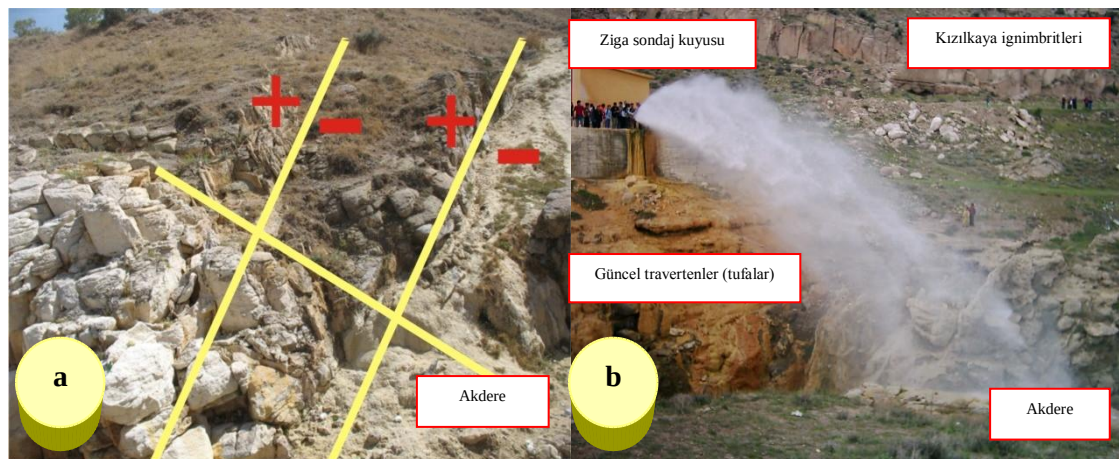
2.2.2. Kıvrımlar

Bölgede yaygın olarak yer alan çok genç çökeller genellikle yatay konumludur. Mezgit grubu kayaçlarında tabakalar yersel olarak eğimlenmeler görülür ancak önemli derecede bir kıvrımlanma gözlenmemiştir (Burçak vd., 2007).

2.2.3. Faylar

Bölgede tektonik çizgisellikler KB-GD ve KD-GB olmak üzere iki doğrultuda gruplanmıştır. KB-GD doğrultulu olan çizgiselliklerden en belirgin ve aktif olanı Tuz Gölü fay kuşağıdır (Uygun, 1981; Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Toprak , 1998; Toprak, 2000) olup, kuşak boyunca birbirine yaklaşık paralel faylar horst-graben yapıları oluşturmuştur (Dirik ve Göncüoğlu, 1996). KD-GB doğrultulu kırıklar Ziga güney ve kuzeyinde, Melendiz Dağı-Altunhisar ve Şahinkalesi-Acıgöl arasında yer alır. KD-GB ve KB-GD kırıkların kesişme yerleri volkanik çıkış yerleri ile örtüşmektedir. ZJA' da sıcaksuyun çıktığı kırık yaklaşık K-G doğrultulu ve kavisli bir gidişe sahiptir (Burçak vd. 2007).

ZJA' da K45°D ve K45°B fayları topografik şekillenmede en büyük etkiye sahip olup, bu fayların kesişim noktasında yapılmış olan bir adet sondaj kuyusu bulunmaktadır (Şekil 2.6.).



Şekil 2.6. ZJA içerisinde bulunan Akdere'de Kızılkaya ignimbritleri üzerinde gözlenen KB-GD ve KD-GB süreksizlikleri (a), Ziga sondaj kuyusu (b)

2.3. ZJA' da Bulunan Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

2.3.1. Gözenekli ve geçirgen birimler

Bölgesel ölçekte Bozçaldağ mermerleri ise faylanmaya bağlı olarak kırık ve çatlaklar boyunca ikincil gözeneklilik kazanmış geçirimli birimler olup, Ziga jeotermal sularının birincil rezervuarını oluşturur.

Bölgede ignimbritler soğuma çatlakları boyunca ikincil gözenekliliğe sahip olup, yaygın olarak yüzeyde bulunduklarından suların derinlere süzülmesini sağlarlar. Çayraz formasyonunun kireçtaşı seviyeleri ile Mezgit grubu kayalarının jipsli seviyeleri ikincil gözenekliğe sahip geçirgen birimlerdir (Burçak vd., 2007).

2.3.2. Geçirimsiz birimler

Çok ince taneli yapıda olmasından dolayı gözenekleri küçük olan veya gözeneklerinde yer alan suyun geçişine izin vermeyen kayalar geçirimsiz kayalardır. Rezervuar kayalar üzerinde bulunan geçirimsiz kayalar, jeotermal rezervuarı örterek dışarıdan olabilecek ani soğumalara karşı korur, soğumasını önler ve basınçlı bir ortam oluşmasını sağlar.

ZJA'da, Selime tüfleri ve Hasandağı külleri geçirimsiz olup, örtü kayaç özelliği taşımaktadır. Bu açıdan ZJA derin jeotermal sondaj planlamasına uygundur.

BÖLÜM III

SU KİMYASI DEĞERLENDİRMESİ

Suyun kimyası kapsamında, suların dolaşımları esnasında temas etmiş olduğu kayaçlar hakkında bilgi verir. ZJA'da Ziga sıcak ve mineralli suyu ile birlikte, diğer sıcak ve soğuk suların kurak ve yağışlı dönemlerde alınmış su örneklerinin analiz sonuçları kullanılarak diyagramlar çizilmiş ve suların kökenlerine ilişkin yorumlar yapılmıştır (Çizelge 3.1., 3.2., 3.3.ve 3.4.).

Yüksek bor, amonyak, iyot, bikarbonat ve karbondioksit konsantrasyonları (sedimanter kayaçlar içerisinde bulunan ve diğer kayaçlara göre zengin olan organik maddelerin çürümesi ile oluşan) ve düşük Cl/B oranı genellikle sedimanter kayaçların varlığını gösterir. Lityum (Li), rubidyum (Rb) ve sezyumun (Cs) yüksek değerlerdeki konsantrasyonları suyun riyalit ve ignimbrit gibi kayaçlarla reaksiyonunu gösterir. Bunun yanında andezit ve bazaltlar eriyiğe önemli değerlerde bor ve florür verirler (Ellis ve Mahon, 1977).

Ziga sondajına ait analizlerde pH değerleri 6.1-6.6 arasında değişmiş, sıcaklık olarak ise en yüksek 44.8 °C ölçülmüştür. Ziga sondajının etrafında bulunan kaynaklarda ise eşdeğer pH değerleri fakat daha düşük sıcaklıklar mevcuttur. Acıgöl mevkiinde sıcaksuya ait örneklemelerde pH 6.2-6.3, sıcaklık değerleri ise 16.3-20.1 °C arasındadır. Helvadere örneklemelerinde pH değerleri 5.7-6.8 arasında, sıcaklıklar ise 18.1-10.4 °C arasında değişmektedir. Yaprakhisar çeşme örneklemelerinde ise, pH değerleri 6.6-7.2, sıcaklık değerleri ise 14-16.1 °C arasında değişmiştir.

EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değerleri, Helvadere ve Yaprakhisar örneklemelerinde, Ziga ve Acıgöl mevkiinde olan sulara ait örneklemelerden farklı olarak çok daha düşük olup, 100-300 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) arasında. Ziga civarında bulunana sondaj ve kaynaklarda EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değerleri 1200-1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında, Acıgöl mevkiinde, Acıgöl sıcaksu kaynağının EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değeri, Acıgöl soğuksu kaynağına göre fazla olmakla birlikte, 800-1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır.

Çizelge 3.1. ZJA ve çevresindeki suların kimyasal analiz sonuçları

Örnekleme Noktaları	pH	T (°C)	EC (µS/cm)	Σsertlik	SAR	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO4 ⁻²	HCO3 ⁻	NO2	NO3	PO4	F	B	Su tipi
						meq/l							mg/l					
Cami Kaynak*	6,26	35,3	1267,6	21,67	18,9	11,24	3,32	51,1	4,1	53,5	1,36	20,77	0	21,6	7,1	2,3	42,24	Na-Cl-HCO3
Havuz Akdere*	6,3	42,8	1382,3	23,4	17,8	12,25	3,14	49,3	4,1	50,9	1,29	22,65	0	21,1	13,8	0	43,32	Na-Cl-HCO3
Ziga Giriş*	6,16	37	1221,2	21	17,5	10,15	2,81	44,5	3,42	52,6	1,31	20,01	0	20,08	b	b	38,66	Na-Cl-HCO3
Ziga Sondaj*	6,35	44	1342,2	20,9	17,7	6,28	3,16	38,56	2,96	42,51	1,24	21,9	0	21,2	14,1	b	40,42	Na-Cl-HCO3
Acıgöl Sıcaksu**	6,3	33	1151	19,75	4,28	13,9	5,9	13,445	2,77	4,8	2,6	18,9	0	0	0	0,013	23,5	Ca-Na-HCO3
Acıgöl Soğuksu**	7,2	16,3	956	19,39	4,54	13,4	5,9	14,2	2,9	15,4	3	15,67	0	0	2,8	0	34,4	Na-Ca-HCO3-Cl
Helvadere Alabalık T.**	5,8	10,3	124	1,34	1	0,6	0,6	0,8	0,06	0,3	0,3	2,04	0	0	0,17	0	1,42	Na-Mg-Ca-HCO3
Helvadere Çeşme**	6,1	10,2	149	1,51	0,95	0,7	0,8	0,8	0,06	0,5	0,3	2,44	0	0	0,17	0	1,43	Na-Mg-Ca-HCO3
Yaprakhisar Çeşme**	7,2	14	234	2,67	0,97	1,9	0,8	1,1	0,2	0,2	0,2	3,8	0	0	0,15	0,018	1,12	Ca-Na-HCO3
Ziga Sondaj**	6,6	43,1	2734	32,45	11,76	28,1	4,4	47,4	3,8	44,6	1,1	44,8	0	0	0	0	51,65	Na-Ca-HCO3-Cl
Acıgöl Sıcaksu***	6,2	26,7	1436	51,53	1,83	44,4	7,2	9,3	1,6	4,8	30,9	23,6	<0,01	0,76	<0,01	0,89	b	Ca-SO4-HCO3
Acıgöl Soğuksu***	8,1	20,1	881	15,64	6,36	5,2	10,4	17,8	3,7	17,2	2,9	14,4	<0,01	2,78	<0,01	0,86	b	Na-Mg-Ca-Cl
Helvadere Alabalık T.***	5,7	18,1	128	1,8	0,86	1	0,8	0,8	0,07	0,3	0,2	2,1	<0,01	2,61	0,77	0,27	b	Ca-Na-Mg-HCO3
Helvadere Çeşme***	6,8	10,4	128	2,04	0,79	1,2	0,9	0,8	0,07	0,5	0,2	2,1	<0,01	3,42	0,26	0,27	b	Ca-Mg-Na-HCO3
Yaprakhisar Çeşme***	7,69	16,1	210	2,77	0,77	2	0,7	0,9	0,18	0,18	0,14	3,4	<0,01	14,02	<0,01	0,3	b	Ca-Na-HCO3
Ziga Sondaj***	6,6	44,64	2419	36,64	9,7	32,2	4,4	41,5	3,3	39,9	1,2	39,7	<0,01	2,2	<0,01	4,66	b	Na-Ca-Cl-HCO3
Helvadere Acısu***	5,7	18,1	311	3,95	0,85	2,45	1,5	1,2	0,1	0,2	0,2	5,1	<0,01	5,76	<0,01	0,26	b	Ca-Mg-Na-HCO3
Ziga Sondaj****	6,53	44,8	1644,26	28,8	b	23,1	3,55	33,9	2,53	31,97	0,29	29,96	<0,01	0,07	<0,01	2,39	34,44	Na-Ca-Cl-HCO3

*:21,09,2010 ölçümleri **:11,11,2010 ölçümleri ***:28,05,2011 ölçümleri ****: 12,08,2011 ölçümü SAR: sodyum adsorbsiyon oranı b: belirlenmedi T: sıcaklık

Çizelge 3.2. Ziga sondaj kuyusunun 12.08.2011 tarihli örnekleme, diğer element derişimleri (İller Bankası A.O., 2011)

Element	Derişim (ppb)	Hata (%)	Element	Derişim (ppb)	Hata (%)
Aluminyum	195	2,395	Selenyum	8,424	5,537
Vanadyum	11,8	2,738	Rubidyum	917,6	1,953
Krom	3,095	7,055	Stronsiyum	6746	1,48
Mangan	21,68	0,661	Palladyum	433,4	5,315
Demir	74,11	42,39	Atimon	1,315	0,346
Nikel	13,27	3,378	Sezyum	815	1,437
Bakır	6,294	1,046	Baryum	352,6	2,562
Çinko	48,98	2,743	Tantal	3,371	0,915
Galyum	13,57	3,628	Tungsten	5,195	9,923
Germanyum	9,397	5,492	Kurşun	3,36	1,071
Arsenik	884,6	0,704			

3.1. Suların Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

ZJA ve çevresindeki suların iyon bolluk dizilimleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir. Buna göre; iyon dizilimleri 21.09.2010'da, Cami kaynağı, Akdere havuz, Ziga kaplıca girişi ve Ziga sondajında, $(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2} - Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$; 11.11.2010'da, Acıgöl sıcak ve mineralli suyu ile Yaprakhisar çeşmesi $Ca^{+2} > (Na^+ + K^+) > Mg^{+2} - HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$; Acıgöl soğuk suyu ile Ziga sondaj suyu $(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2} - HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$; Helvadere Alabalık Tesisi ile Helvadere çeşmesi suları $(Na^+ + K^+) > Mg^{+2} > Ca^{+2} - HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$; 28.05.2011'de Acıgöl sıcak ve mineralli suyu, $Ca^{+2} > (Na^+ + K^+) > Mg^{+2} - SO_4^{-2} > HCO_3^- > Cl^-$; Acıgöl soğuk suyu, $(Na^+ + K^+) > Mg^{+2} > Ca^{+2} - HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$; Helvadere Alabalık Tesisi ile Yaprakhisar çeşmesi, $Ca^{+2} > (Na^+ + K^+) > Mg^{+2} - HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$; Helvadere çeşmesi ile Helvadere Acısu, $Ca^{+2} > Mg^{+2} > (Na^+ + K^+) - HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$; Ziga sondajı, $(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2} - Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$; 12.08.2011'de, Ziga sondaj suyu $(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2} - Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$ biçimindedir.

Acıgöl sıcak ve soğuksularının iyon miktarlarında 11.11.2010 ve 28.05.2011 tarihlerinde önemli farklılık gözlenmiş olup, bunun nedenleri; beslenme farklılığı veya mevsimsel etki olabilir. Helvadere Alabalık tesisi ve Helvadere çeşme örneklerinde Ca^{+2} miktarında gözlenen artış mevsimsel etkiden kaynaklanabilir.

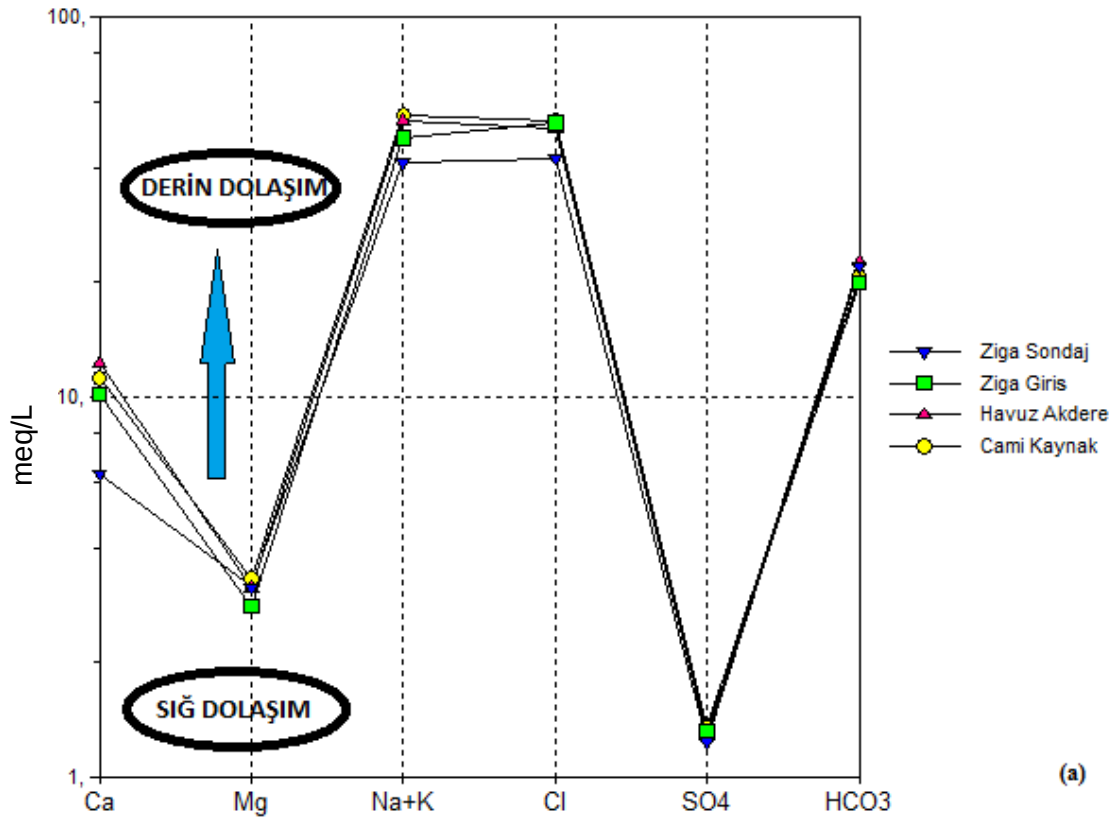
Çizelge 3.3. ZJA ve çevresindeki suların iyon dizilimleri ile su türleri

21,09,2010	İyon dizilimi	Su türü
Cami Kaynak	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}$, $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Cl-HCO ₃
Havuz Akdere	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}$, $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Cl-HCO ₃
Ziga Giriş	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}$, $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Cl-HCO ₃
Ziga Sondaj	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}$, $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Cl-HCO ₃
11,11,2010	İyon dizilimi	Su türü
Acıgöl Sıcaksu	$Ca^{+2} > (Na^+ + K^+) > Mg^{+2}$, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Na-HCO ₃
Acıgöl Soğuksu	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}$, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
Helvadere Alabalık T.	$(Na^+ + K^+) > Mg^{+2} > Ca^{+2}$, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Na-Mg-Ca-HCO ₃
Helvadere Çeşme	$(Na^+ + K^+) > Mg^{+2} > Ca^{+2}$, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Na-Mg-Ca-HCO ₃
Yaprakhisar Çeşme	$Ca^{+2} > (Na^+ + K^+) > Mg^{+2}$, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Na-HCO ₃
Ziga Sondaj	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}$, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-HCO ₃ -Cl
28,05,2011	İyon dizilimi	Su türü
Acıgöl Sıcaksu	$Ca^{+2} > (Na^+ + K^+) > Mg^{+2}$, $SO_4^{-2} > HCO_3^- > Cl^-$	Ca-SO ₄ -HCO ₃
Acıgöl Soğuksu	$(Na^+ + K^+) > Mg^{+2} > Ca^{+2}$, $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Mg-Ca-Cl
Helvadere Alabalık T.	$Ca^{+2} > (Na^+ + K^+) > Mg^{+2}$, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Na-Mg-HCO ₃
Helvadere Çeşme	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > (Na^+ + K^+)$, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Mg-Na-HCO ₃
Yaprakhisar Çeşme	$Ca^{+2} > (Na^+ + K^+) > Mg^{+2}$, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Na-HCO ₃
Ziga Sondaj	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}$, $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-Cl-HCO ₃
Helvadere Acısu	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > (Na^+ + K^+)$, $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Mg-Na-HCO ₃
12,08,2011	İyon dizilimi	Su türü
Ziga Sondaj	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}$, $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-Cl-HCO ₃

Yarılogaritmik diyagram üzerinde suların benzer pikler ve paralellikler göstermesi ile bu suların benzer kökenli ve/veya benzer beslenme hattına sahip olduğu yorumu yapılabilmektedir. Ayrıca; sıcak suların derinlerde dolaşarak mineral yönünden zengin duruma geçtiği, soğuk suların ise derinlere inmeden çatlaklar boyunca hareket ederek içinde dolaştığı kayalar ile kimyasal etkileşimde tam olarak bulunamadan kısa sürede yeryüzüne döndüğü (Freeze ve Cherry, 1979) göz önüne alınarak, aralarında sığ ve derin dolaşımli olarak sınıflandırılabilir.

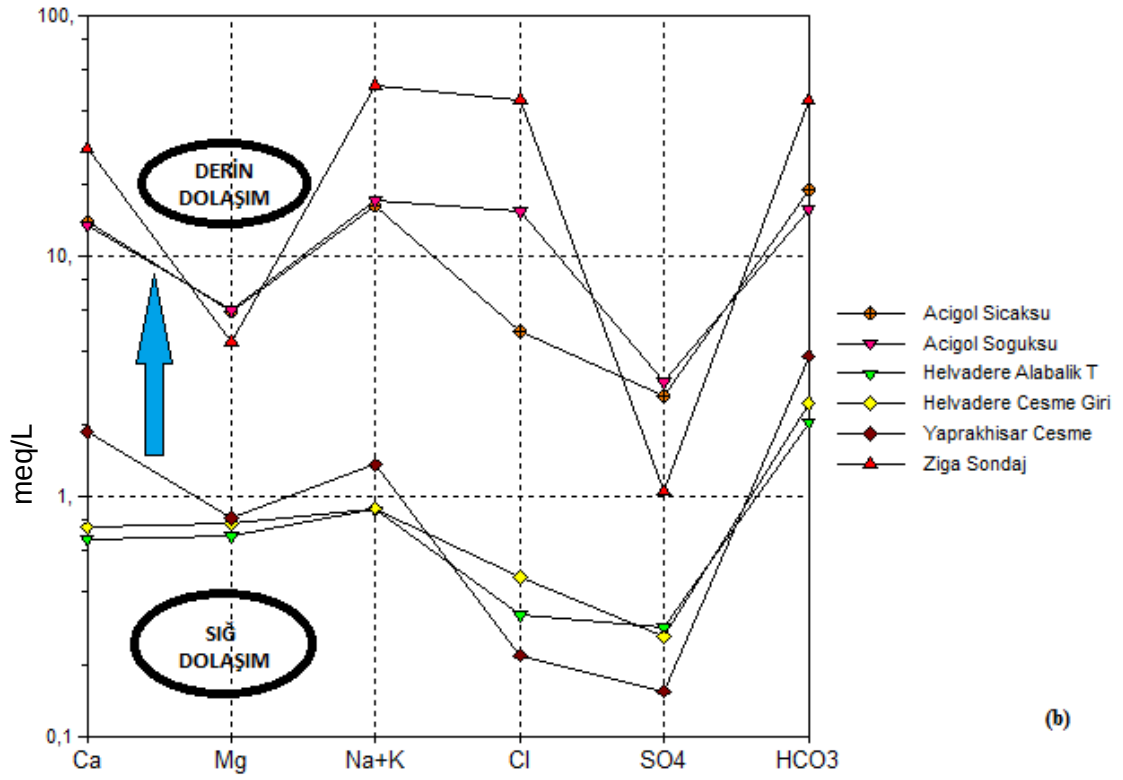
Sular benzer kökenli ve/veya aynı beslenme alanına sahip (Şekil 3.1.) olup, bunlar 300 m²'lik bir alandaki kaynak ve sondaja ait Schoeller diyagramı için yapılan yorumları desteklemektedir.

Ziga sondajının; Akdere Havuz suyuna göre daha düşük mineralizasyonlu olup, diğer suların daha az Na^+ ve Cl^- içermesi, İller Bankasının yapmış olduğu çalışmalara dayanılarak, meydana gelmiş olduğu düşünülen; kuyu içerisinde ki boruların yırtılma/kopma ve neticesinde meydana gelen çökmeler ile jeotermal su muhtevasının azalması ayrıca sığ dolaşım suların yırtılmış ve kopmuş olan bölgelerden kuyuya girişi ile jeotermal suda, karışma ve seyrelmeye işaret edebilir. Yaprakhisar Çeşme, Helvadere Çeşme, Helvadere Alabalık Tesisi suları sığ; Acıgöl Sıcaksu, Acıgöl Soğuksu ve Ziga sondaj suları ise derin dolaşım sularıdır (Şekil 3.2. ve 3.3.). Helvadere Acısu, içerdiği Mg^{+} miktarı ile sığ dolaşım olarak gruplanan bölgeden kısmen farklı özellikte olması yaşlı suların karışımına işaret edebilir.

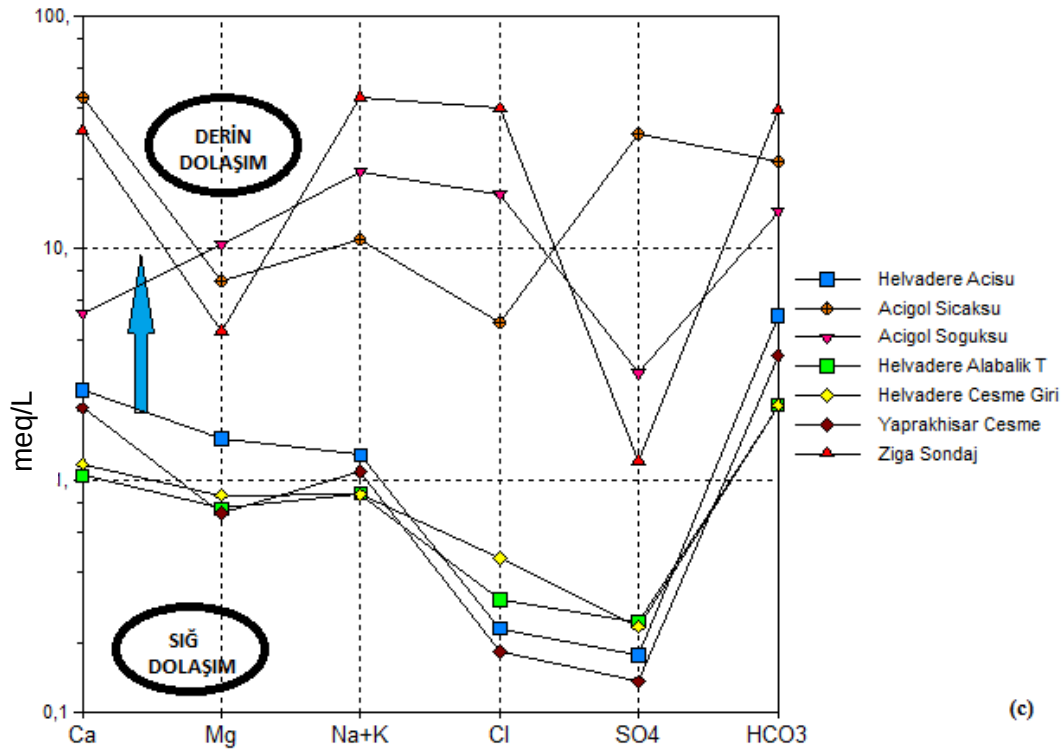


Şekil 3.1. ZJA ve çevresindeki suların yarılogaritmik Schoeller diyagramı (örnekleme tarihi: 21.09.2010)

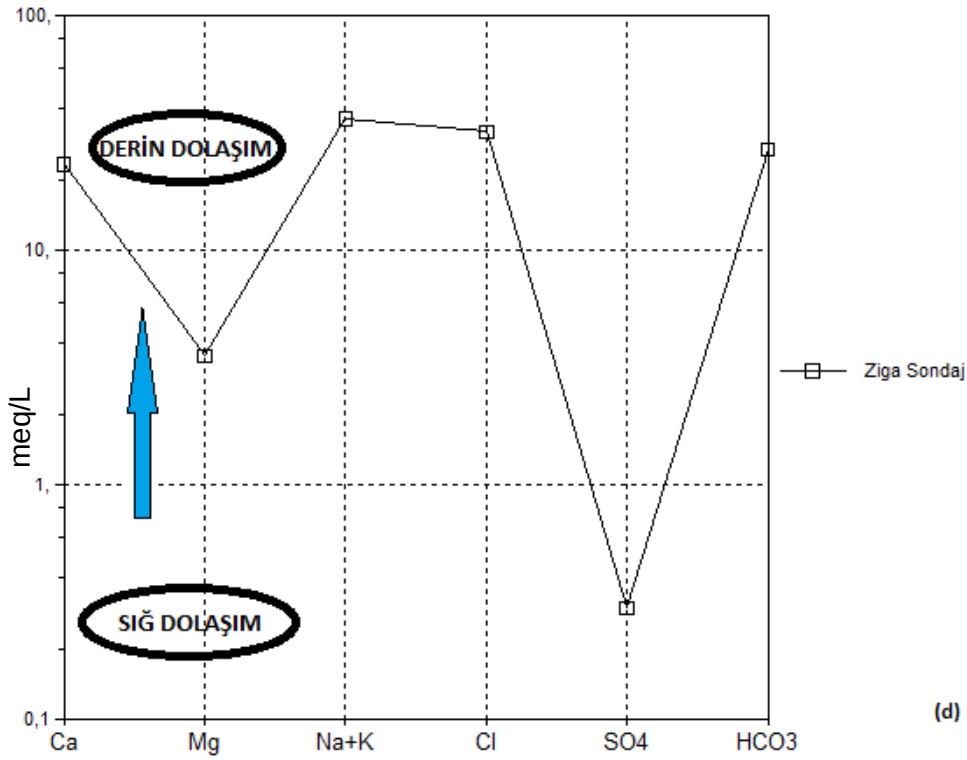
Ziga sondaj alanı sularının Na^+ ve Cl^- bakımından en yüksek değerlerde olması ve sahip olduğu sıcaklığı, derin dolaşım olduğunu belirtilebilir (Şekil 3.2, 3.3. ve 3.4.).



Şekil 3.2. ZJA ve çevresindeki suların yarılogaritmik Schoeller diyagramı (örnekleme tarihi: 11.11.2010)



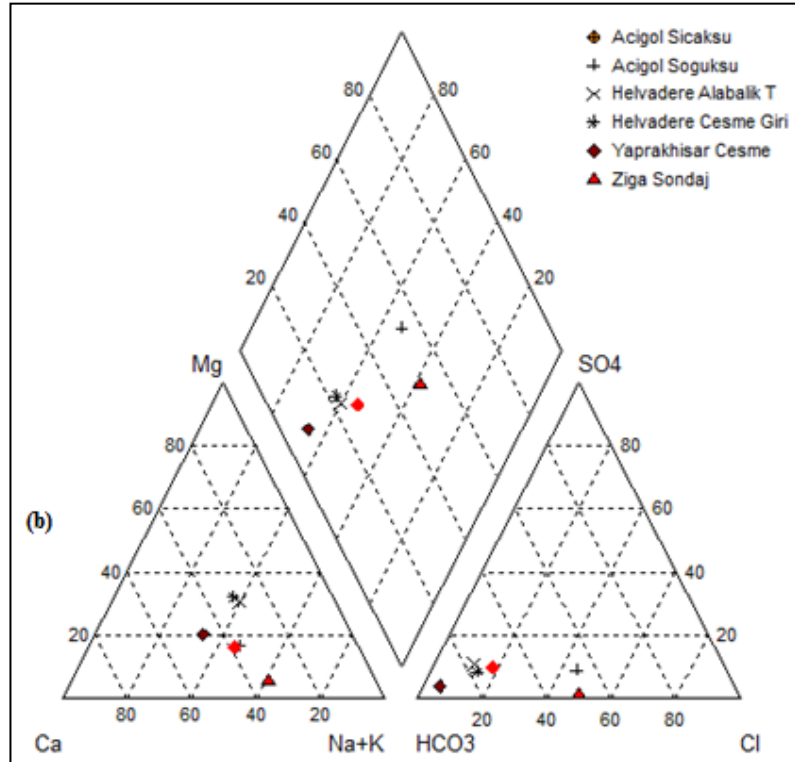
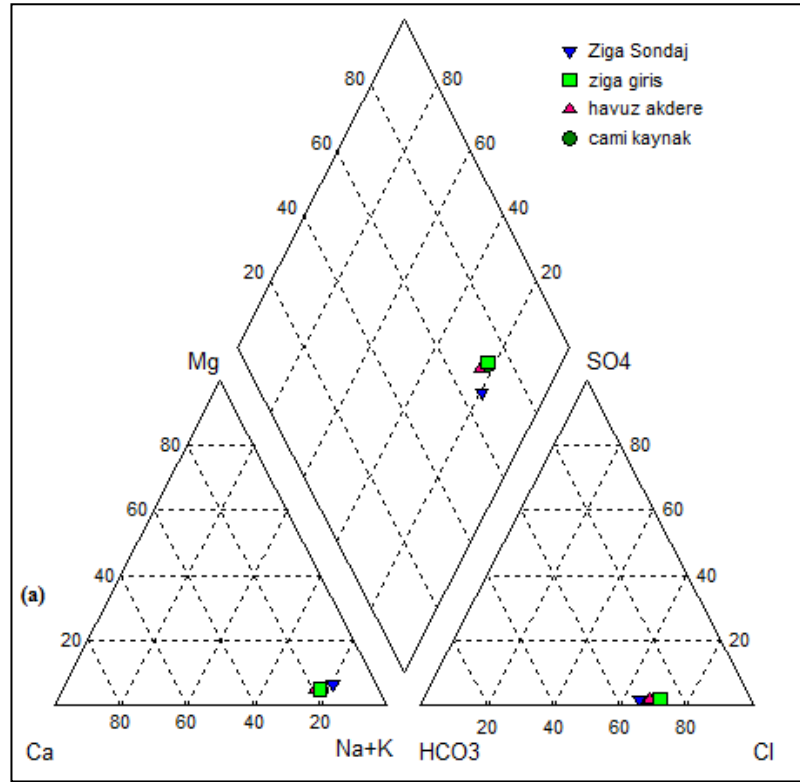
Şekil 3.3. ZJA ve çevresindeki suların yarılogaritmik Schoeller diyagramı (örnekleme tarihi: 28.05.2011)



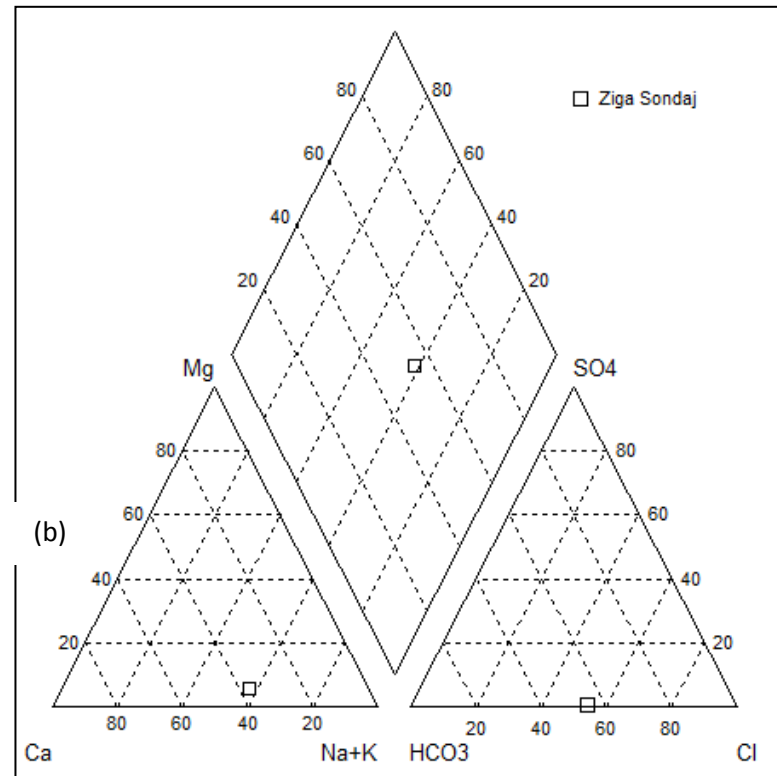
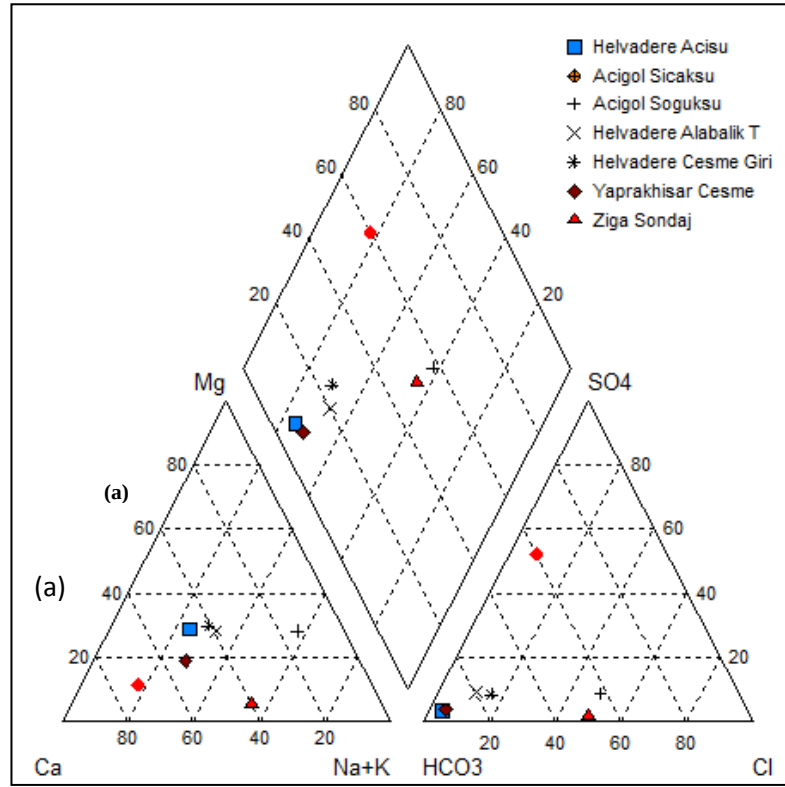
Şekil 3.4. ZJA ve çevresindeki suların yarılogaritmik Schoeller diyagramı (örnekleme tarihi: 12.08.2011)

Bu sonuç; kış aylarında güncel yağışların etkisinin kalkmasının ardından güncel yeraltı suyunun da katkısıyla Acıgöl sıcak ve mineralli suyunun güncel yeraltı suyu akımından etkilenmeyen kısmı ile bağlantılı olan bir durum ile beslenimine devam etmesine işaret edebilir.

Piper diyagramına göre söz konusu sular dönemsel olarak değişim göstermektedir (Şekil 3.5a). Bu diyagramda suların karbonat olmayan alkaliliği %50'den ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) fazladır. Diğer taraftan, Helvadere Alabalık Tesisi, Helvadere Çeşme Giriş, Yaprakhisar Çeşme ve Acıgöl sıcak ve mineralli suyunun karbonat sertliği %50'den büyük, Acıgöl soğuksuyunun hiçbir iyonu %50'yi geçmeyen su, ve Ziga Sondaj suyu karbonat olmayan alkaliliği %50'den büyük sulardır (Şekil 3.5b). Acısu, Helvadere Alabalık Tesisi, Helvadere Çeşme Giriş ve Yaprakhisar Çeşme sularının karbonat sertliği %50'den büyük; Acıgöl sıcak ve mineralli suyu hiçbir iyonun %50'den fazla olmayan karışım, Ziga sondaj ile Acıgöl soğuksuyu karbonat olmayan alkaliliği %50'yi aşan sulardır (Şekil 3.6a, b).



Şekil 3.5. ZJA ve çevresindeki suların Piper diyagramı (örnekleme tarihleri: a; 21.09.2010, b; 11.11.2010)



Şekil 3.6. ZJA ve çevresindeki suların Piper diyagramı (örnekleme tarihleri: a; 28.05.2011, b; 12.08.2011)

3.2. ZJA'daki Suların İzotop Hidrolojisi

Jeotermal incelemelerde izotop tekniklerinin kullanılması oldukça önemlidir. Bunun birinci nedeni, suların izotop oranlarının, su-kayaç etkileşimi, değişik kökenli suların karışımı, buharın ortamdan ayrılması gibi diğer fizikokimyasal işlemlere karşı oldukça duyarlı 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 akışkanlarının kökeni, sıcak ve soğuk su karışımları gibi sorunların çözümünde kullanılmaktadır (Arnorrson, 2000; Duru, 2006).

3.2.1. $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi

Duraylı izotoplardan $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ hidrolojik şartların belirlenip akışkanı etkileyen işlevlerin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu izotoplar birbirleriyle orantılı olarak değişmektedir.

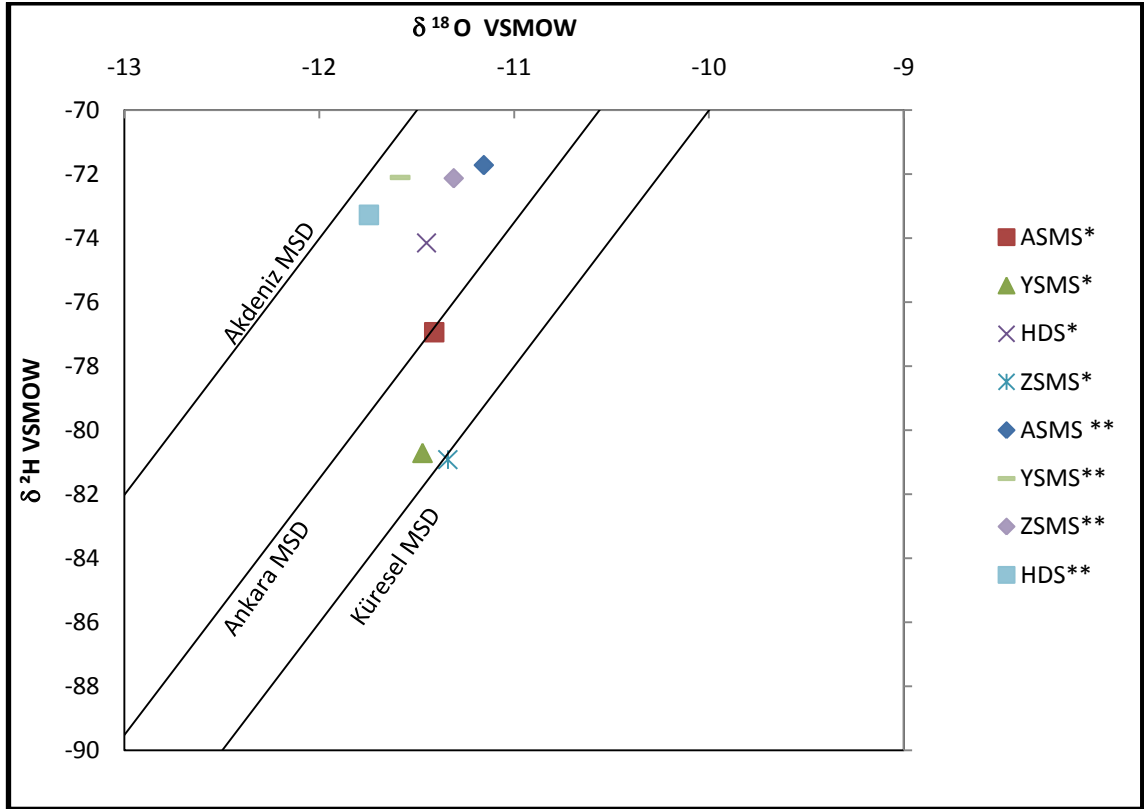
ZJA'daki sulara ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiğinde meteorik su doğrularından Küreselin (Craig, 1961) yanı sıra karşılaştırma amacıyla Ankara ($\delta^2\text{H} = 8*\delta^{18}\text{O}+14.5$) ve Akdeniz ($\delta^2\text{H}=8*\delta^{18}\text{O}+22$ (IAEA, 1981) (Afşin vd., 2007) (Şekil 3.7.) MSD'leri de kullanılmıştır.

Yükselti arttıkça izotopik seyrelme nedeniyle daha negatif değerler açığa çıkar. Bu bağlamda, incelenen sularda en yüksek kottan beslenimkasım ayında HDS**, en düşük kottan beslenim ise ASMS**'ye aittir. Mayıs ayında ZSMS* ve YSMS* küresel MSD'nin üzerinde ve yakınında; ASMS* Ankara MSD'nin üzerinde; diğer sular ise genelde Akdeniz MSD ile Ankara MSD'nin arasında yer almıştır. Bu durum kaynak sularının mevsimsel yağışlardan ve H_2S (ZSMS ve YSMS), silikat hidrasyonu (HDS), buharlaşma (ASMS) vb. gibi izotopik reaksiyonlardan etkilenmiş olabileceğine işaret eder (Afşin vd., 2007).

Çizelge 3.4. ZJA'daki suların izotop değerleri (Afşin vd., 2007)

Örnek Adı	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	^3H		$\delta^{13}\text{C}$	^{14}C (düzeltilmiş yaş)		Modern karbon (düzeltilmiş yaş)		$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ (‰)	Döteryum fazlası (d) $\delta = \delta^2\text{H} - (8 \times \delta^{18}\text{O})$
			TU	±		(yıl)	±	yıl	±		
HDS*	-11.45	-74.15	6.75	0.23	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	17.45
HDS**	-11.75	-73.28	8.1	0.33	1.6	18500	110	9.98	0.15		20.72
YSMS*	-11.47	-80.71	0.64	0.23	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	11.05
YSMS**	-11.59	-72.11	0.28	0.23	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	20.61
ZSMS*	-11.34	-80.92	0.8	0.18	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	9.8
ZSMS**	-11.31	-72.13	0.33	0.24	6.7	43200	560	0.46	0.03	20.7	18.35
ASMS*	-11.41	-76.94	1.49	0.17	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	ö.y.	14.34
ASMS**	-11.16	-71.72	1.67	0.26	5.6	41900	500	0.54	0.03	6.8	17.56

HDS: Helvadere suyu, YSMS: Yaprakhisar mineralli suyu, ZSMS : Ziga sıcak ve mineralli suyu, ASMS: Acıgöl sıcak ve mineralli suyu;
ö.y. : Ölçüm yapılmadı. *: Mayıs 2005 örnekleme , **: Kasım 2005 örnekleme.

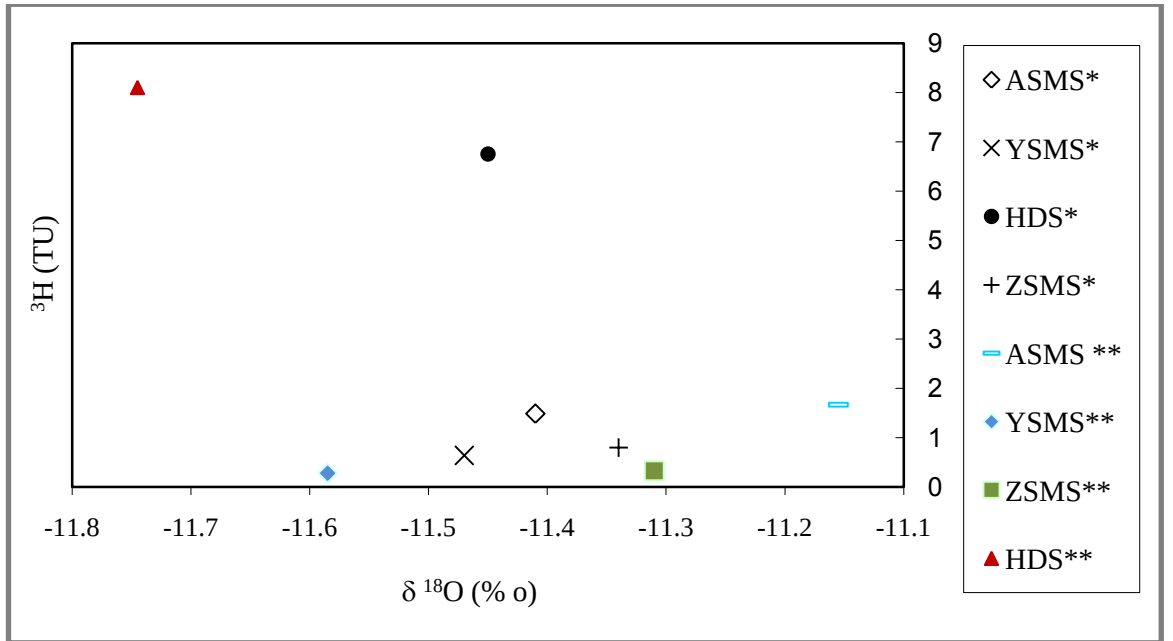


Şekil 3.7. ZJA'daki suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği (Afşin vd., 2007)

3.2.2. $\delta^{18}\text{O}$ - ^3H ilişkisi

Radyoaktif ^3H izotopunun yarı ömrü 12.43 yıl olup suların yaşının belirlenmesiyle beraber jeotermal rezervuara olan en son soğuk su akışının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Clark ve Fritz,1997).

Suların $\delta^{18}\text{O}$ ile ^3H grafiği beslenme yükselteleri ile akifer içinde kalış süreleri arasındaki ilişkiyi yansıtır (Şekil 3.8.). ^3H değerlerine göre HDS sıg ve kısa dolaşimli; YSMS, ZSMS ve ASMS derin dolaşimli olup, bu daha uzun dolaşım süresine ve yüksek sıcaklığa işaret eder (Afşin vd., 2007).



Şekil 3.8. ZJA'daki suların $\delta^{18}\text{O}$ ve ^3H grafiği (Afşin vd., 2007)

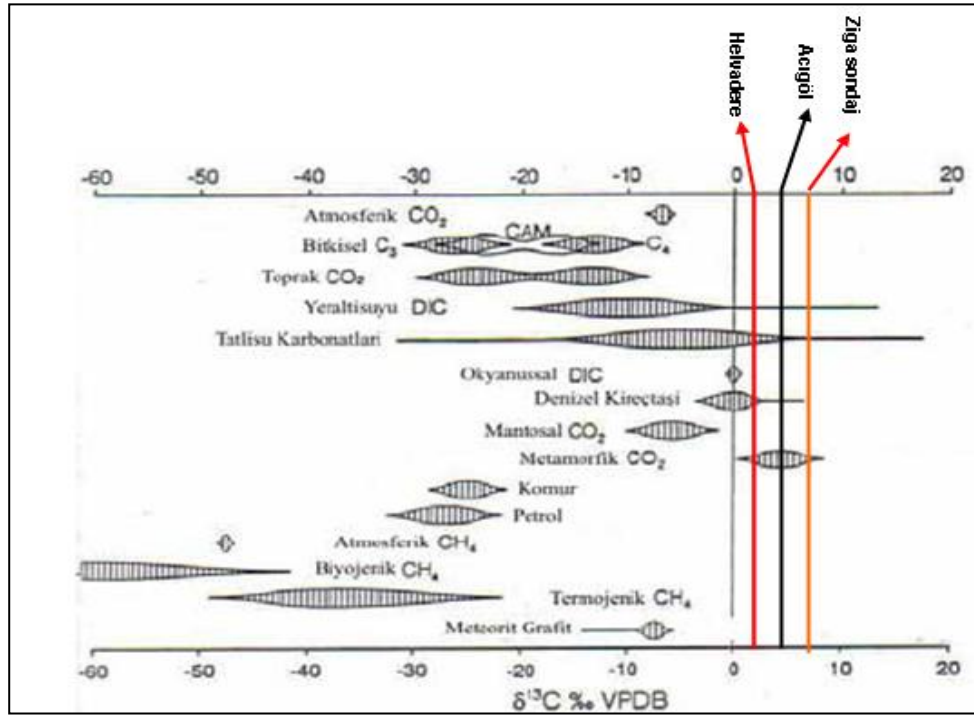
3.2.3. $\delta^{13}\text{C}$ - ^{14}C ilişkisi

Karbon elementinin ^{12}C ve ^{13}C izotopları duraylı. ^{14}C izotopu ise radyoaktiftir. Atmosferik CO_2 bu izotopların tümünü belli oranlarda içerir. Atmosferik CO_2 ile ilişkide bulunan canlılarda bu izotopları içermektedir.

Libby yarılanma ömrü olan 5570 yıl, ^{14}C yaşı olarak esas alınmıştır (Clark ve Fritz, 1997). ^{14}C izotopu atmosferin üst kesimlerinde kozmik ışınların oluşturduğu nötronlar ile etkileşmesi ve nükleer denemeler sonucu da meydana gelmektedir. Daha sonra

havanın oksijeni ile birleşerek radyoaktif $^{14}\text{CO}_2$ 'i oluşturur. Böylece $^{12}\text{CO}_2$, $^{13}\text{CO}_2$ ve $^{14}\text{CO}_2$ atmosferin kimyasında yer almış olmaktadır. Ayrıca jeojenik (manto kökenli metamorfizma sonucu) CO_2 yeraltı sularına katılmaktadır. $^{14}\text{CO}_2$ sadece atmosferde değil, atmosfer ile ilişkili tüm canlılarda bu izotopun bulunmasını sağlamaktadır. Yani radyoaktif karbondioksit sadece güncel yağışlar ile değil aynı zamanda; canlıların kimyasal tepkimeler ile bünyesine katmış olduğu radyoaktif karbondioksiti, bu canlıların zaman gelip bozunması veya metamorfizması sonucunda da katılmaktadır (Sayın ve Çifter, 2002). Fakat Bayarı vd.,(2005), jeojenik kökenli olarak ^{14}C içeriğinin yeraltı sularındabulunamayacağını belirtmişlerdir.

ZJA'da CO_2 'nin kökeni, jeotermal sularda metamorfik, soğuk suda ise daha çok tatlı su karbonatı ve yeraltısuyunda çözülmüş CO_2 'dir (Şekil 3.9). Bu bağlamda, ASMS ve ZSMS'nin içerdikleri ^{14}C miktarları düşük yani güncel su karışımı az, HDS'nin içerdiği ^{14}C miktarı fazla ve daha güncel bir yaşta olduğu yorumu yapılabilir. Suların görünür ^{14}C yaşları 18500 ile 43000 yıl arasında abartılı olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, dolaşım sürelerinin yeraltısuyu akış yolu boyunca HDS gibi genç sulardan ZSMS gibi yaşlı jeotermal sulara doğru arttığının göstergesi (Afşin vd., 2007) olarak değerlendirilmelidir.



Şekil 3.9. ZJA'daki suların Clark ve Fritz (1997)'e göre suların CO_2 kökenleri (Afşin vd., 2007)

BÖLÜM IV

ZJA'DAKİ TRAVERTENLERİN KÖKENİ VE TRAVERTEN ALANLARI OLUŞTURULMASI

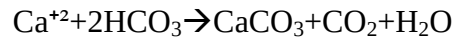
4.1. Travertenin Tanımı ve Çökelim Şartları

Traverten, Latince “tibürtino” ile İtalyanca “travertino” dan türemiş bir terim olan traverten, İtalya'daki Tivoli yakınında yer alan tatlı su karbonatlarına verilen isimdir (Viles ve Goudie, 1990). Günümüze kadar traverten teriminin bir tek tanımlaması yapılmamış olup, literatürde “tufa”, “kalkerli tuf”, “sinter”, “kalkerli sinter” vb terimler kullanılmaktadır (Bögli, 1980; Bayarı ve Kurttaş, 1997; Duru, 2006).

Yüksek oranda CaCO_3 ve CO_2 içeriğiyle kaynaklardan çıkan sular, basıncın düşmesiyle CO_2 'yi kaybederler ve CaCO_3 çökelişi gerçekleşir. Kaynaktan uzaklaştıkça CO_2 kaybı artacağı için CaCO_3 çökelişi de fazlalaşacaktır (Ekmekçi vd., 1995). Sıcaklık artışı, buharlaşma, bitki ve alglerin özümleme yoluyla CO_2 alması, CaCO_3 çökelişini arttırıcı etkenlerdir (Emeis vd., 1987).

4.2. Traverten Oluşumuna Etki Eden Faktörler

Traverten, kalsite doymuş tatlı su çözeltisinde, aniden CO_2 kaybı olması ya da CO_2 kısmî basıncının azalması sonucu meydana gelir.



Bu nedenle, traverten oluşabilmesi için öncelikle CaCO_3 'ça doymuş bir sulu çözeltinin varlığı ve daha sonra da bu çözeltide bulunan CO_2 'nin kendi kısmî basıncından daha düşük CO_2 kısmî basıncına sahip bir ortamda yok olması gerekir (Herman ve Lorah, 1987; Ekmekçi vd., 1995).

4.2.1. Fiziksel parametreler

Sıcaklık arttıkça PCO_2 'de artar (Drake ve Wigley, 1975). Beslenme bölgesinden karbonat akiferine giren su, atmosferdeki kısmî CO_2 basıncına eşdeğer bir PCO_2 'e

(0.03%, T=25°C) sahiptir. Kış aylarında soğuk olan bu su, derinlerde yaklaşık ortalama hava sıcaklığına sahip daha sıcak bölgeye süzülürken, PCO₂ artar. Bu durumda, yeraltı suyu daha fazla CaCO₃ çözebilecek ve böylece kalsite doygunluk derecesi artacaktır. Bu su yüzeye çıktığında, ortam soğuksa, ani bir PCO₂ azalması gözlenecek;



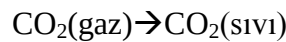
reaksiyonuna bağlı olarak da CaCO₃ çökelecektir. Bu da sıcaklığın artışı ile doygunluk derecesinin artarak CaCO₃ çözünürlüğünün azaldığını ifade etmektedir (Ekmekçi vd., 1995).

4.2.2. Kimyasal parametreler

Karbonat, CaCO₃-CO₂-H₂O sıvı katı ara yüzeyinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucu çökeler. Atmosferdeki CO₂'den sıvı/katı ara yüzeyine kadar olan sıcaklık değişimleri veya sistemdeki her bileşenin derişimleri tüm dengenin yeniden düzenlenmesine neden olur. Bitkiler CO₂'yi atmosferden çok sudan alırlar. Bu da kirecin çökmesine neden olur (Emeis vd., 1987). Doğal sulardan traverten oluşumu için sulu çözeltinin Ca⁺ ve HCO₃⁻ iyonlarınca zengin bir çözelti ve CO₂'nin açığa çıkacağı bir ortam gerekmektedir. Bu reaksiyonu kontrol eden en önemli faktörler suyun doygunluk indeksi ve PCO₂ basıncıdır.

Doğal sularda, kireçtaşının çözünürlüğüne etki eden en önemli asit karbonik asittir. Bu asit CO₂'nin yeraltı suyunda CO₂+H₂O $\leftrightarrow$ H₂CO₃ reaksiyonu ile çözeltiye karışması sonucu oluşur. Ayrıca, çok az miktarda da olsa sülfat cevherinin oksitlenmesine bağlı H₂SO₄ ve bitkilerin çürümeleri ile ortaya çıkan organik vb. asitler de kalsitin çözünürlüğünü artırır (Duru, 2006).

CO₂ atmosferik gazlar içerisinde en kolay çözünen gazdır. Çözünürlüğü;



biçiminde ifade edilmekte olup, PCO₂ basıncı ile doğru, sıcaklık ile ters orantılıdır. PCO₂ basıncı, gaz karışımında CO₂ gazının basıncının, toplam gaz basıncına oranını ifade eder (Ford ve Williams, 1989).

Karbonat çözeltilerinde, sistemde bulunan H_2CO_3 ve PCO_2 , pH değerine bağlı değildir. Ancak HCO_3^- ve CO_3^{2-} iyonlarının varlığı pH değerine bağlıdır. pH arttıkça CO_3^{2-} ve HCO_3^- değerleri de artmaktadır. Bu da çözeltinin doymun hale geçmesini sağlayacağından travertenleşmeyi artırır (Duru, 2006).

Çözünmüş karbonat ve Ca^{+2} iyonlarının varlığı CO_2 miktarına büyük ölçüde bağlıdır. Yüksek alkalinite ve sertlik değerlikli çözeltilerin traverten oluşturmaları daha kolaydır, ayrıca alkalinite ve sertlik, PCO_2 ile doğru orantılıdır.

Farklı kökene sahip, kalsite doymun iki çözeltinin karışması ile oluşan yeni çözelti, doymun olmayan bir çözelti oluşturabilir. Bu durum daha fazla kalsit çözebilme ve traverten oluşturabilme özelliğini artırır (Bögli, 1980).

CaCO_3 çözeltisinde. Ca^{+2} iyonu bir başka bileşeni ile bulunursa kalsitin çözünürlüğü azalır. Örneğin bir çözeltiye CaCO_3 ve CaCl_2 birlikte eklenirse kalsitin çözünürlüğü azalacaktır (Picknett vd., 1976; Duru, 2006).

4.2.3. Karbonatlı akiferin hidrolik özellikleri

Karbonatlı akiferlerde yeraltı suyu akımı, yerel ve yaygın dolaşım rejimleri arasında gerçekleşmektedir. Yaygın dolaşım sistemlerinde yeraltı suyu akımı, gözenek, çatlak, yarıklar arasında oldukça yavaş bir hızda gerçekleşir. Yeraltı suyunun akiferde kalma ve dolayısıyla su-kayaç etkileşim süresi uzundur. Bu tür akış şartlarında, yeraltı suyunun doymunluk derecesi, $\text{DI} > 1$ 'dir (Schuster ve White, 1971).

Yerel akım sisteminde ise, beslenme bölgesinden düden ve dolinler aracılığı ile kaynağın boşaldığı akifere giren su, yeraltı kaynakları, erime boşlukları ve mağaralar aracılığı ile hızla yüzeye ulaşır. Bu tür dolaşım sisteminde su-kayaç etkileşimi çok kısa sürer ve çoğunlukla bu tür sistemlerden boşalan sular kalsit ve dolomite doymun olmaz ($\text{DI} < 1$). Ayrıca, bu tür akım sisteminde yeraltına giren suda CO_2 sadece atmosferden gelir ve toprak zonunda organik CO_2 zenginleşmesi gerçekleşmez. Bu nedenle, dolaşım sisteminden gelen suyun traverten oluşturması mümkün olmaz (Ford ve Williams, 1989).

Yeraltında uzun süre kalan ve kalsite doymun olan suların boşaldığı yaygın dolaşım sistemine sahip kaynaklar ise traverten oluşturmaya daha uygundur.

Karstik akiferin beslenmesi dolin ve düdenlerden noktasal olarak, yüzeyden süzölme şeklinde ise geniş alanlardan gerçekleşebilir. Yüzeysel süzölme ile karstik akifere giren su yüzeyden itibaren toprak zonuna ve daha derinlere inerken, bitki kökleri ve organik artıklar nedeni ile CO₂'ce zenginleşir (Ford ve Williams, 1989). Bu sular tekrar atmosfere çıktıklarında hızlı bir CO₂ kaybı gerçekleşir ve traverten oluşur.

4.2.4. Toprak ve bitki örtüsünün varlığı

Karbonatlı kayaçların çözünürlüğünde etkili olan CO₂'nin en önemli kaynağı toprak zonundaki boşluklarda bulunan CO₂'dir. Bu bölgede bulunan CO₂, organik maddelerin çürümesi ve bitkilerin fotosentez sırasında kökleri aracılığı ile bıraktığı CO₂'dir. Bu bölgede oluşan CO₂ miktarı, toprak türü, dokusu, derinliği, drenaj özellikleri, bitki türü ve faunanın tümüne bağlıdır. Genellikle toprak zonunda, atmosferden daha fazla CO₂ bulunur. Topraktaki CO₂ miktarı sıcaklıkla artar. Topraktaki su içeriğinin artması da bu bölgede CO₂ miktarını arttırıcı rol oynar. Yüzeyden toprak zonuna süzölün sular, bu zondan geçerken CO₂ ile zenginleşerek, kalsit çözücü özelliklerini arttırırlar. Tane boyu, toprağın rezervuar kapasitesi, bitki örtüsünün varlığı, CO₂ miktarının dolayısıyla kalsitin çözünürlüğünün artmasına yol açar. Bu durumda aşırı doymun hale geçen sular, yeraltından tekrar yüzeye çıktıklarında travertenleşmeye yol açarlar (Duru, 2006).

4.2.5. Biyolojik etkiler

Traverten oluşumu başlıca iki şekilde gerçekleşir (Emeis vd., 1987). İnorganik kökenli travertenler, daha önce de belirtildiği gibi kalsite aşırı doymun hidrotermal kökenli çözeltilerin oluşturduğu çökellerdir. Örneğin Pamukkale travertenleri.

Diğer yandan daha yüksek gözeneklikleri ve silis içermesiyle tipik olan biyojenik kökenli travertenler ise, basit bitkilerin fotosentezi ile bakteriler, kaya yosunları ve mavi – yeşil algler tarafından denetlenen bir sürecin sonunda oluşurlar (Emeis vd., 1987).

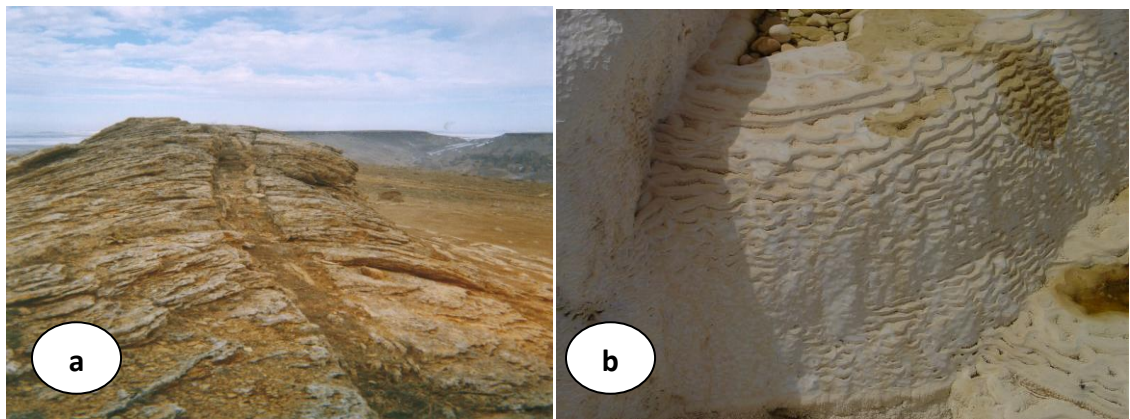
4.3. ZJA'da Traverten Oluşumunun İncelenmesi

4.3.1. ZJA'daki travertenlerin makro özellikleri

ZJA'daki traverten kütleleri morfolojileri göz önüne alındığında çatlak sırtı, aşınmış örtü ve teras olmak üzere 3 farklı tipte sınıflandırılabilir (Göçmez, 1994; Atabey, 2002; Duru, 2006; Karabacak, 2007).

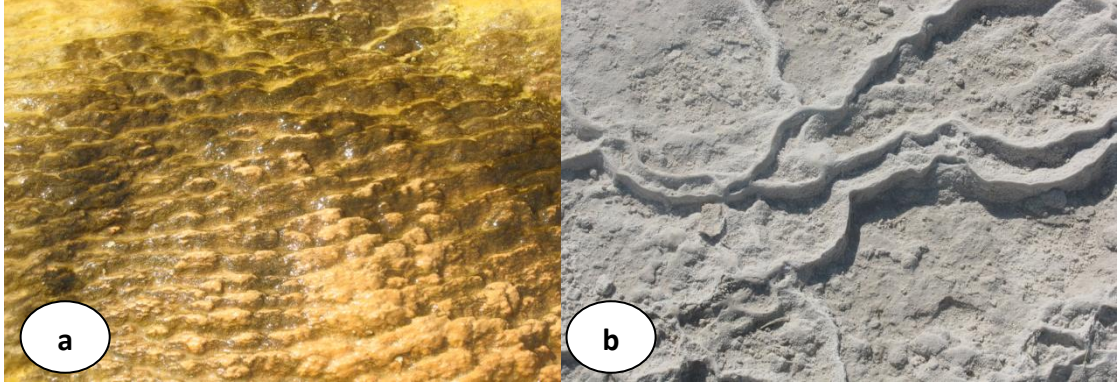
Yaprakhisar çatlak sırt tipi lamine traverten KD-GB yönlü bir açılma çatlak boyuncası boyunca depolanmış ve sırt tipini almıştır (Duru, 2006; Afşin vd., 2007) (Şekil 4.1a). Sıcak ve mineralli su bu yarıklardan yukarı çıkarken CO₂'yi kaybeder ve traverten çökeline sebep olur. Traverten sırtının ortasında bulunan yarığa paralel konumda lamine ve ince tabakalı sert ve sık dokulu kristalin kabuklar mevcuttur. Bu kabuklar hidrostatik basıncın düşmesine, yavaş yavaş yeraltı suyu akışına ve yavaş CO₂ kaybına işaret etmektedir. Su miktarının az olması yavaş çökelmeye neden olmuş ve zamanla suyun şiddetini tamamen yitirmesiyle de traverten kütlesi ortasındaki yarık karbonat çökelişiyle tıkanmıştır (Atabey, 2002; Duru, 2006).

Su akımının devam ettiği yerlerde güncel olarak gözlenen ve oluşumları devam eden mikroteras havuz yapıları bulunmaktadır (Şekil 4.1b, 4.2a, b). Mikroteras havuzları dendritik yapıların oluşması için uygun ortam sağlar (Atabey, 2002; Duru, 2006).



Şekil 4.1. Çatlak sırt tipi traverten oluşumuna örnek (eski travertenler, Yaprakhisar)(a), mikroteras havuz yapıları (Ziga sondaj kuyusundan akıtılan suyun oluşturduğu yeni travertenler), (Duru, 2006; Afşin vd., 2007) (b)

Aşınmış örtü türü travertenler aktif olmayıp, yapısal elemanlarla doğrudan ilişkili değildir. Aktif olarak çökelmeye devam eden çatlak sırtı traverten kütleleri ise, üzerinde çökeldikleri yapısal elemanlar hakkında önemli bilgiler sunmaktadır (Karabacak, 2007).



Şekil 4.2. Ziga sondaj kuyusundan akıtılan suyun oluşturduğu yeni travertenler(**a**), Ziga kaplıca girişindeki mikroteras havuz yapıları(**b**)

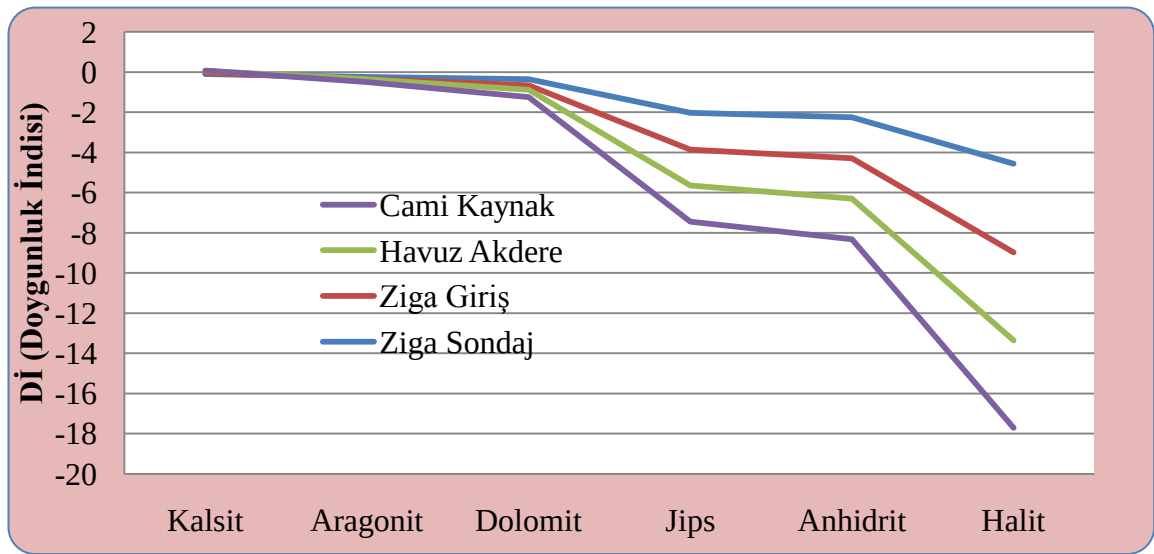
4.3.1.1. Traverten çökelimindeki doygunluk indislerinin önemi

Yeraltı suyu dolaşımı sırasında, akifer sisteminde oluşan kimyasal tepkimeler, hidrojeokimyasal ortam ve dolayısıyla traverten çökelimi konusunda değerlendirme yapabilme imkânı sağlamaktadır. Bu bağlamda, ZJA’da traverten çökeliminde suların çeşitli minerallerce doygunluk durumlarının araştırılması gerekmektedir (Duru, 2006). ZJA’daki sıcak ve mineralli suların ve soğuk suların mineral doygunluk indisleri Phreeqc (Parkhurst ve Appelo, 1999) bilgisayar programında hesaplanmıştır (Çizelge 4.1., 4.2., 4.3., 4.4.). Bu kapsamda, ZJA’daki bazı önemli suların kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit ve halit gibi çökelme ortamlarında bulunabilecek başlıca minerallerin doygunluk durumları grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4.3., 4.4., 4.5. ve 4.6.).

ZJA’daki suların Eylül ayındaki mineral doygunluk indis (Dİ) değerlerine göre (Çizelge 4.1., Şekil 4.3.) kalsit dışında hiçbir minerale doygun olmayıp, diğer mineralleri çözmeyi sürdürmekte olduğu anlaşılabılır.

Çizelge 4.1. ZJA'daki suların mineral doygunluk indis (Dİ) değerleri (örnekleme tarihi: 21.09.2010)

Dİ↓	Örnek adı→	Ziga Sondaj	Ziga Giriş	Havuz Akdere	Cami Kaynak
Kalsit		-0.1	0.05	0.12	0.01
Aragonit		-0.24	-0.09	-0.02	-0.14
Dolomit		-0.35	-0.31	-0.21	-0.37
Jips		-2.02	-1.83	-1.79	-1.8
Anhidrit		-2.24	-2.05	-2.01	-2.02
Halit		-4.56	-4.41	-4.39	-4.35

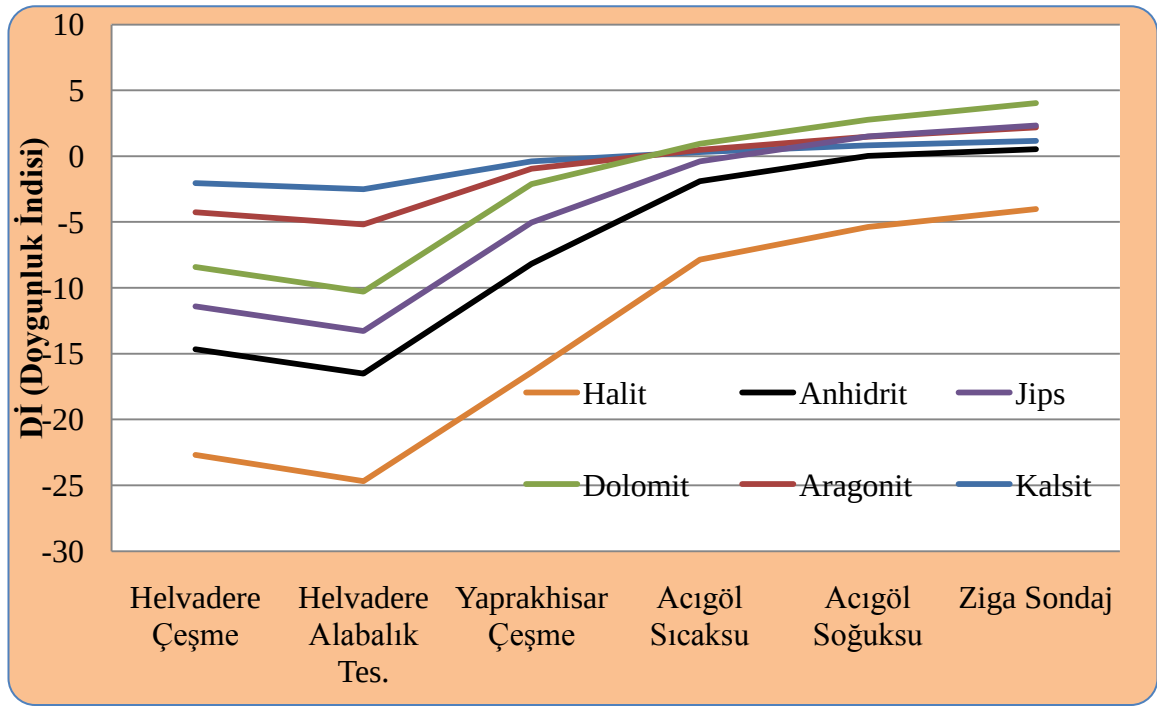


Şekil 4.3. ZJA'daki suların mineral doygunluk indis (Dİ) grafiği (örnekleme tarihi: 21.09.2010)

Acıgöl sıcaksu, Acıgöl soğuksu ve Ziga sondaj suyu Kasım ayında kalsit, aragonit ve dolomite doygun; jips, anhidrit ve halite doygun değildir (Çizelge 4.2., Şekil 4.4.).

Çizelge 4.2. ZJA'daki suların mineral doygunluk (Dİ) değerleri (örnekleme tarihi: 11.11.2010)

Dİ↓	Örnek adı→	Helvadere Çeşme	Helvadere Alabalık Tesisi	Yaprakhisar Çeşme	Acıgöl Sıcaksu	Acıgöl Soğuksu	Ziga Sondaj
Kalsit		-2.05	-2.51	-0.4	0.31	0.81	1.16
Aragonit		-2.2	-2.67	-0.55	0.17	0.66	1.03
Dolomit		-4.17	-5.1	-1.18	0.47	1.29	1.83
Jips		-3	-2.99	-2.9	-1.34	-1.25	-1.69
Anhidrit		-3.25	-3.24	-3.15	-1.52	-1.49	-1.81
Halit		-8.02	-8.18	-8.24	-5.95	-5.39	-4.54

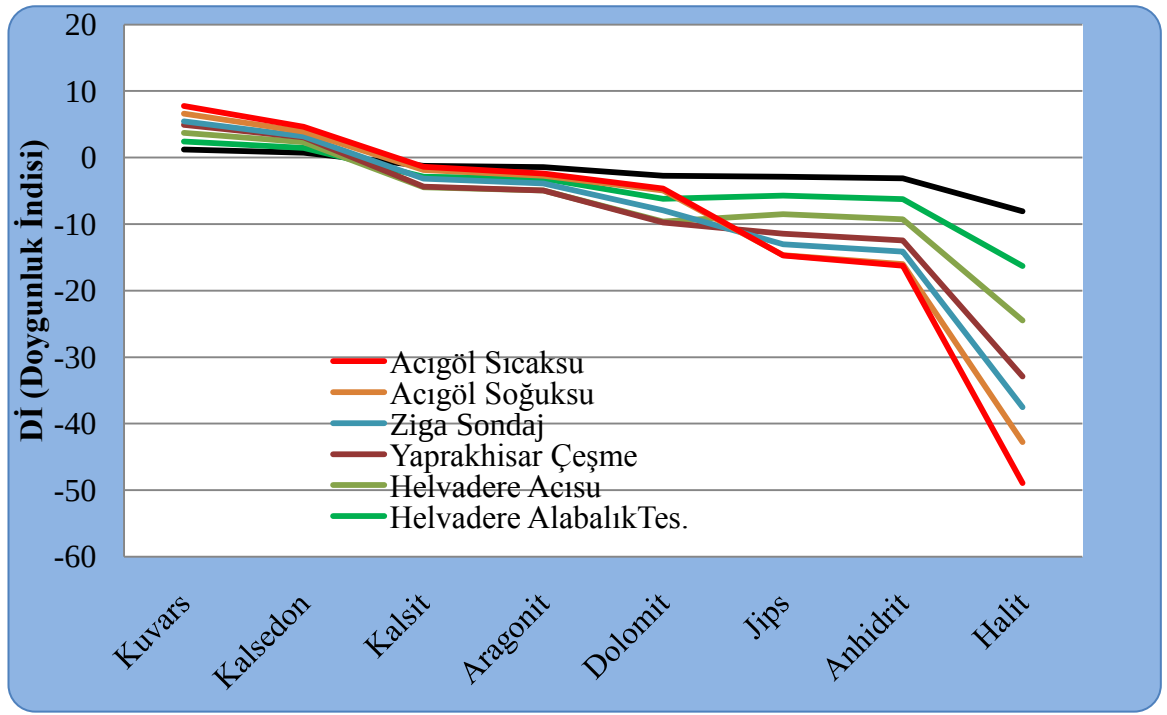


Şekil 4.4. ZJA’ daki suların mineral doygunluk indis (Dİ) grafiği (örnekleme tarihi: 11.11.2010)

Acıgöl soğuksu, Acıgöl sıcaksu, Ziga sondaj suyu Mayıs ayında kalsit, aragonit, dolomit, kalsedon ve kuvarsa doygun; jips, anhidrit ve halite doygun değildir (Çizelge 4.3, Şekil 4.5.). Burada Helvadere çeşme, Helvadere Alabalık Tesisleri, Helvadere Acısu ve Yaprakhisar çeşme sularının da kuvars ve kalsedon mineralleri bakımından doygunluğa ulaşması ilginç bir durumdur.

Çizelge 4.3. ZJA’ daki suların mineral doygunluk indis (Dİ) değerleri (örnekleme tarihi: 28.05.2011)

Dİ↓	Örnek adı→	Helvadere Çeşme	Helvadere Alabalık Tes.	Helvadere Acısu	Yaprakhisar Çeşme	Ziga Sondaj	Acıgöl Soğuksu	Acıgöl Sıcaksu
Kuvars		1.21	1.19	1.31	1.2	0.52	1.16	1.14
Kalsedon		0.73	0.71	0.86	0.74	0.14	0.71	0.72
Kalsit		-1.26	-1.62	-1.61	0.14	1.19	1.31	0.45
Aragonit		-1.42	-1.77	-1.76	-0.01	1.06	1.17	0.31
Dolomit		-2.75	-3.46	-3.4	-0.16	1.83	3	0.26
Jips		-2.86	-2.88	-2.79	-2.92	-1.57	-1.67	-0.03
Anhidrit		-3.12	-3.13	-3.03	-3.17	-1.67	-1.91	-0.24
Halit		-8.08	-8.22	-8.21	-8.41	-4.59	-5.25	-6.16



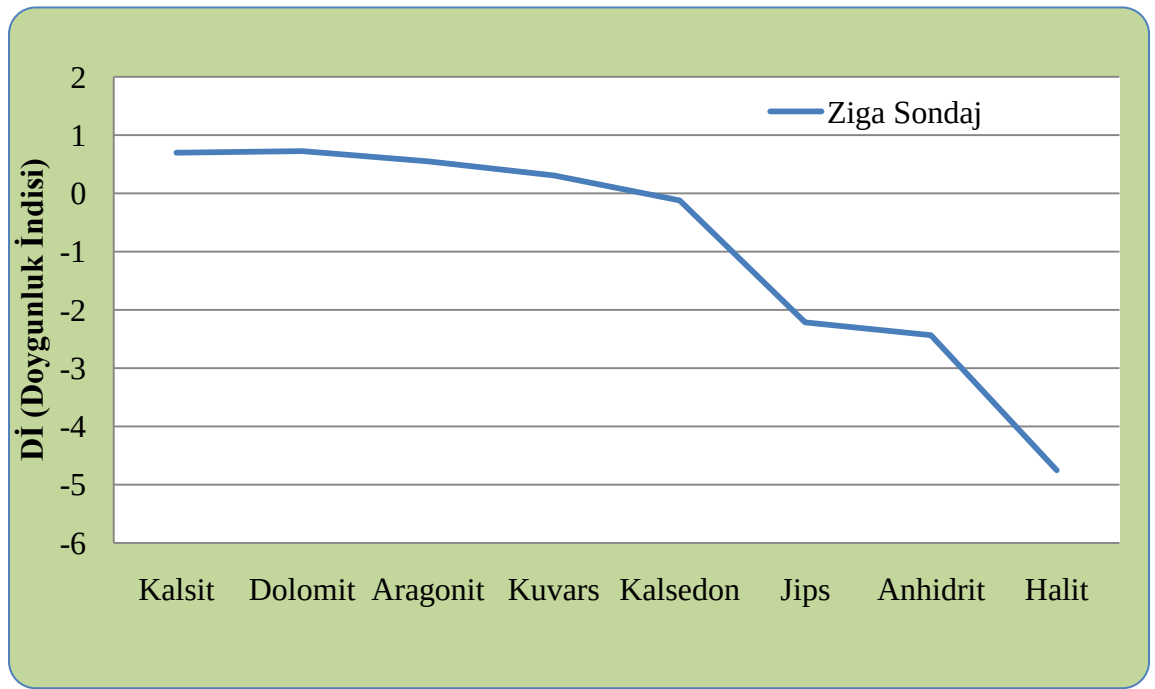
Şekil 4.5. ZJA'daki suların mineral doygunluk indis (Dİ) grafiği (örnekleme tarihi: 28.05.2011)

Temmuz ayında ise Ziga sondaj suyu, kalsit, dolomit, aragonit ve kuvarsa doymuş; kalsedon, jips ve anhidrite doymuş değildir (Çizelge 4.4., Şekil 4.6.).

Yukarıda adı geçen aylarda söz konusu sular doygunluğa ulaştığı tüm mineralleri içikeltme, doymuş olmadığı tüm mineralleri çözme özelliğine sahiptir.

Çizelge 4.4. ZJA'daki Ziga sondaj suyunun mineral doygunluk indis (Dİ) değerleri (örnekleme tarihi: 12.08.2011)

Dİ↓	Örnek adı→	Ziga sondaj	Dİ↓	Örnek adı→	Ziga sondaj
Kalsit		0.7	Kalsedon		-0.12
Dolomit		0.73	Jips		-2.21
Aragonit		0.55	Anhidrit		-2.43
Kuvars		0.31	Halit		-4.75

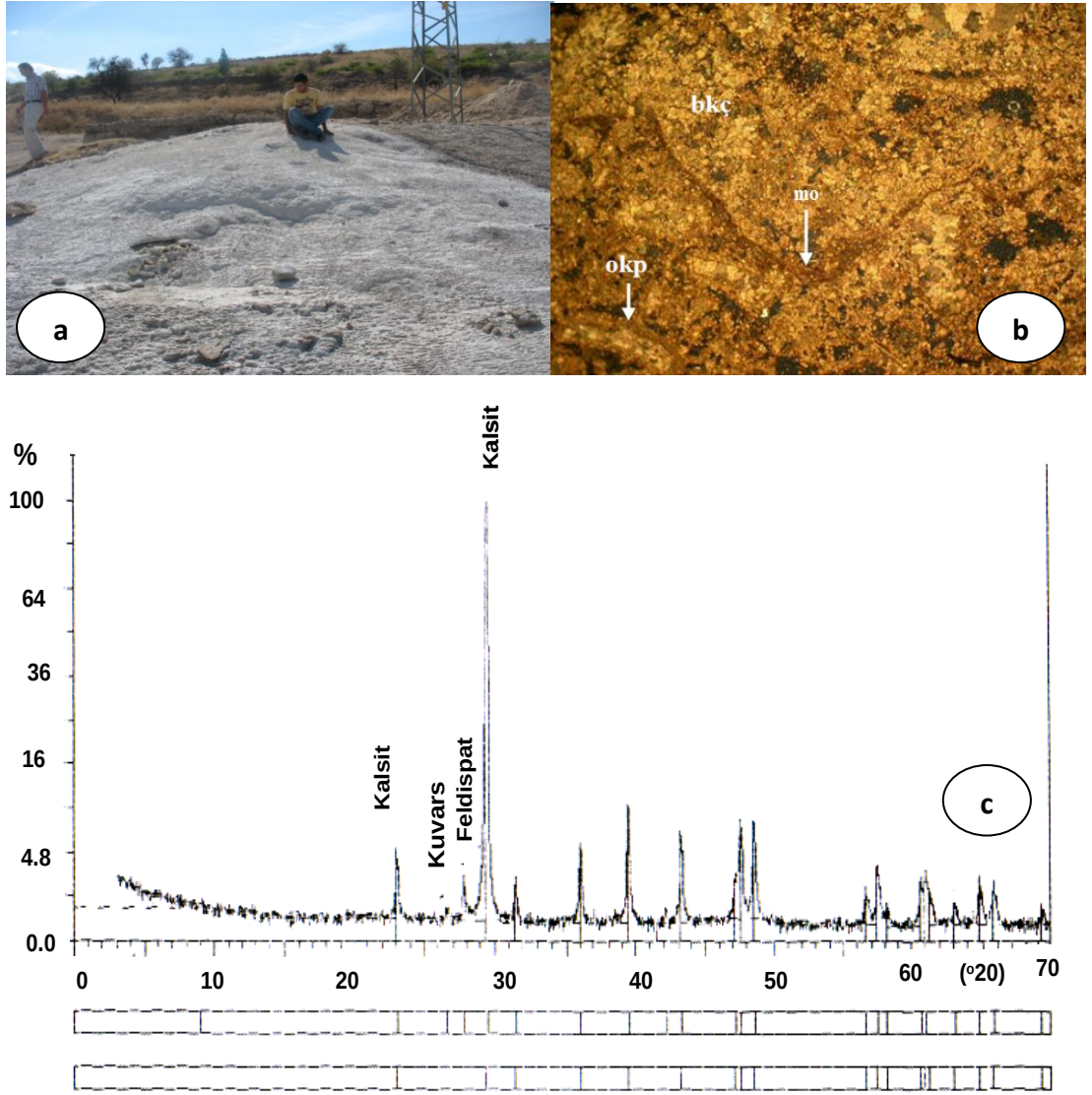


Şekil 4.6. ZJA'daki Ziga sondaj suyunun mineral doygunluk indis (DI) grafiği (örnekleme tarihi: 12.08.2011)

4.3.2. ZJA'daki travertenlerin mikro özellikleri

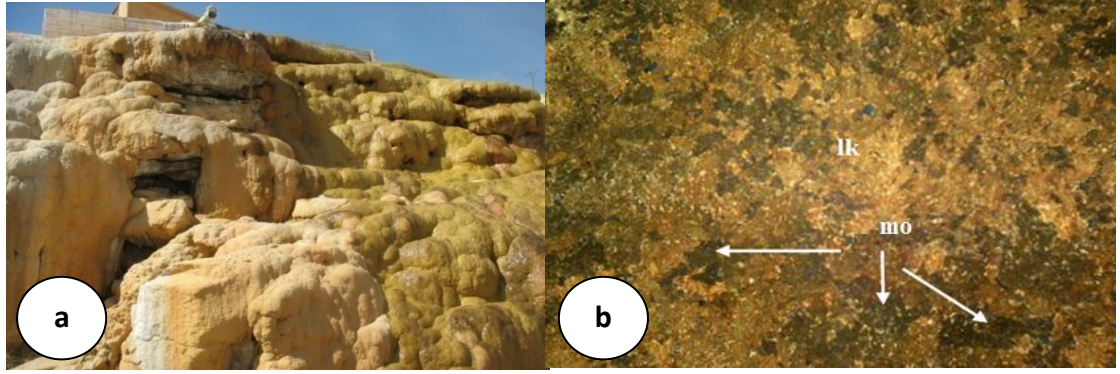
ZJA'da çökelmiş travertenlerin iç yapılarını belirlemek amacıyla travertenlerden alınan örneklerin ince kesit tanımlamaları polarizan mikroskopta yapılmıştır (Duru, 2006, Afşin vd., 2007).

ZJA'daki mikroteras havuz yapılarında (Şekil 4.1b ve 4.2.) mikroorganizma etkinliği dendritlerin oluşmasına yol açmıştır (Duru, 2006). Bu havuzlarda suda erimiş CO_2 'nin daha yavaş uzaklaşması mikroorganizmaların mevcut CO_2 'yi kullanmalarından sonra karbonat çökeltilmelerine neden olur (Atabey, 2002; Duru, 2006). Bu bağlamda, Ziga kaplıca girişinden alınan traverten örneğinin incekesitinde ortada ince bant şeklinde mikroorganizma kolonisi, bunun etrafında organik kavkı parçaları ve blok kalsit çimento gözlenmiştir. Bu sonuçlar, mikroorganizma az, kavkıları bol ve iri taneli doğru sönmeli kalsit içeren söz konusu travertenlerin sığ ve dingin bir ortamda çökelmiş olduklarına işaret eder (Duru, 2006; Afşin vd., 2007), (Şekil 4.7a, b).



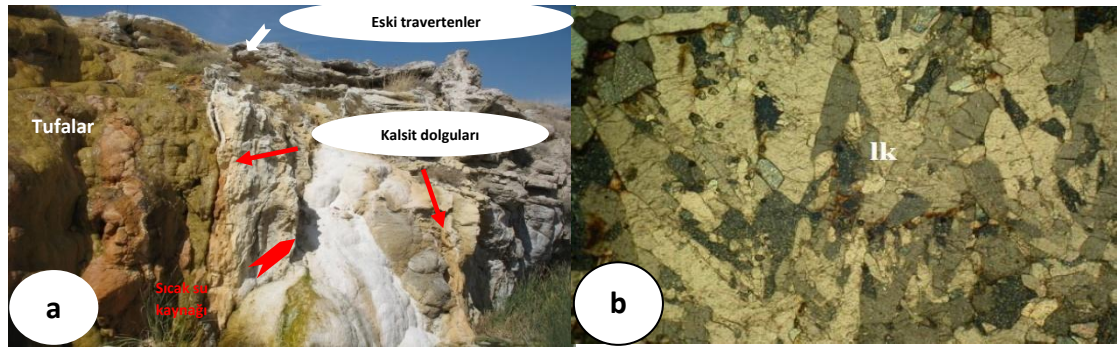
Şekil4.7. Ziga kaplıca giriş travertenlerinin görünüşü(a), giriş(ZSMS-1) travertenlerine ait çift nikolde çekilmiş ince kesit fotoğrafı (4X) (mo:mikroorganizma, okp: organik kavk parçaları, bkç: blok kalsit çimento) (b) ve x-ışını grafi (c)

Mikroorganizma faaliyetleri katkısının net bir biçimde gözlenmiş olduğu bu travertenlerin x-ışını grafiğinde ise, kalsitin yoğunluğunun yanı sıra kuvars ve feldispat mineralleri de saptanmıştır (Şekil 4.7c). ZJA'ya ait ikinci örnek Ziga sondaj kuyusunun yanındaki güncel travertenlere aittir (Şekil 4.8a, b). Bu ince kesitte yumrular biçiminde olan mikroorganizmalar fazla olup, tek eksenli (uniaxial) karakterde kalsitin dışında yabancı mineraller bulunmamaktadır. Kalsit genellikle lifsi, ince taneli sparit ve mikrittir. Lifsi kalsit oldukça küçük parçalardan oluşmuş ve dalgalı sönmelidir. Bu sonuçlar, söz konusu sondaj kuyusundan aralıklı olarak akıtılmakta olan sudan oluşan travertenlerin hızlıca kanal (akım yolu) içerisinde çöktüklerinin göstergesi olabilir (Duru, 2006; Afşin vd., 2007).



Şekil 4.8. Ziga sondaj alanında oluşan güncel travertenler **(a)** ve Ziga sondajında oluşan (ZSMS-2) yeni travertene ait ince kesit (4X) (lk: lifsi kalsit, mo: mikroorganizma) **(b)**

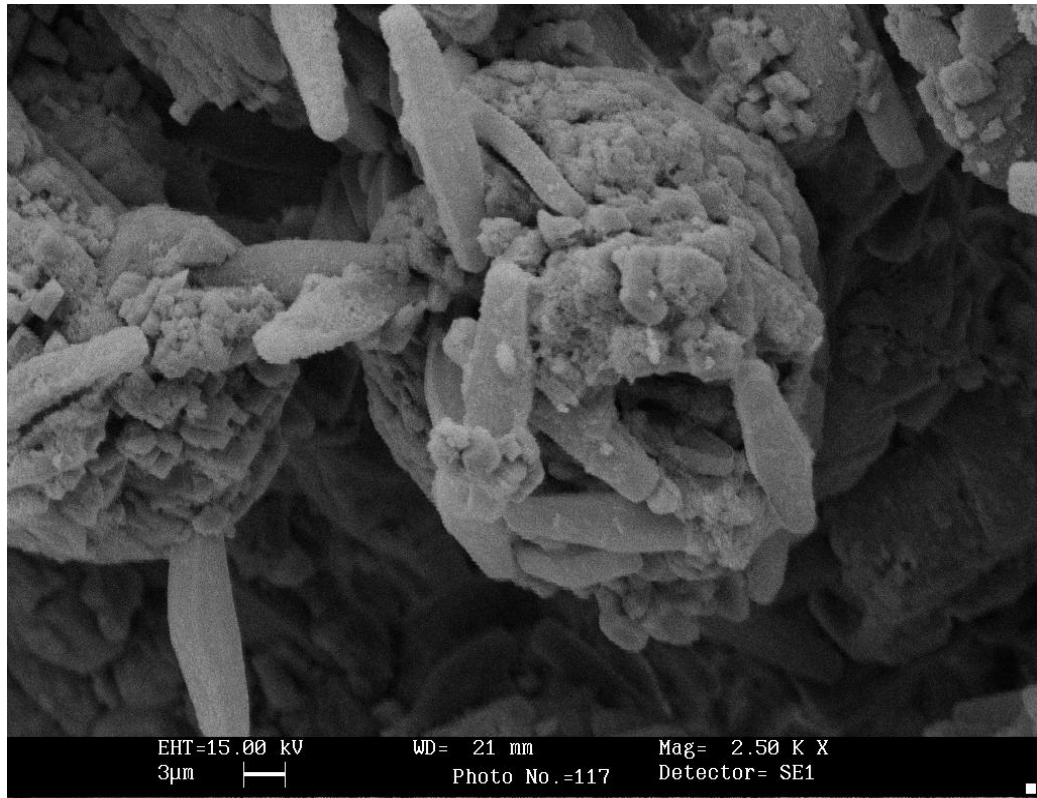
ZJA'ya ait üçüncü örnek ise (ZSMS-3) Ziga ikinci örneğe yakın eski travertenlere aittir (Şekil 4.9.). Bu alanda büyük ölçekte travertenler arasındaki çatlaklarda bulunan kalsitler ve sondajdan önce de var olan sıcak su kaynağı gözlenmektedir (Şekil 4.9a). İncekesitte ise, iri taneli ışınal lifsi, açık renkli, kirlenmemiş, oldukça saf ve izometrik dalgali sönmeli ve yakınsak optik özelliklik kalsit gözlenmiştir. Buna göre, söz konusu eski travertenler akıntının fazla olmadığı dingin bir ortamda çökelmiş olabilir (Duru, 2006; Afşin vd., 2007).



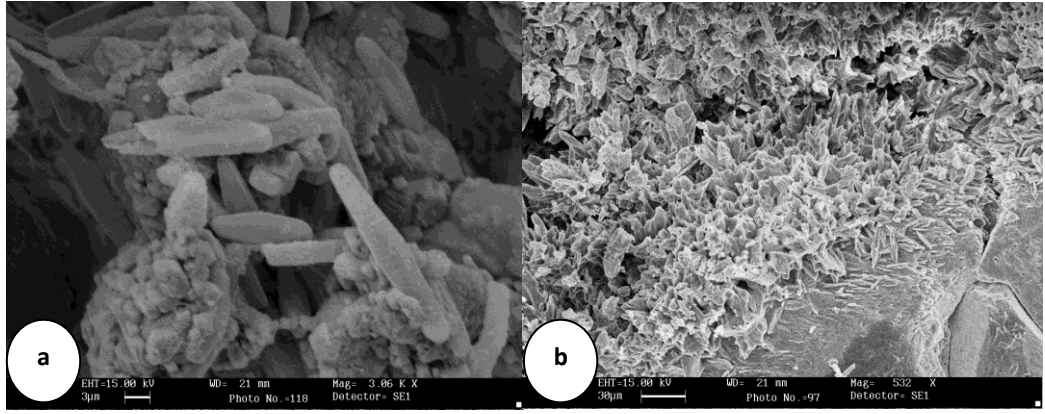
Şekil 4.9. Ziga sondaj kuyusu altında oluşmuş eski ve güncel (tufalar) travertenler **(a)** ile eski travertenlere ait ince kesit (lk: iri taneli lifsi kalsit) **(b)**

Traverten oluşumunda bakterilerin rolü ise oldukça önemlidir. Bakteriler H_2S yönünden zengin hidrotermal sularda traverten oluşumunda %90 etkilidir (Chafetz ve Folk, 1984). Sülfürü okside eden bakteriler fotosentetiktir. Işık enerjisini kullanarak H_2S 'den hidrojeni, H_2CO_3 'den karbonu alarak karbonhidratları oluşturup, $CaCO_3$ çökeliminde etkili olurlar.

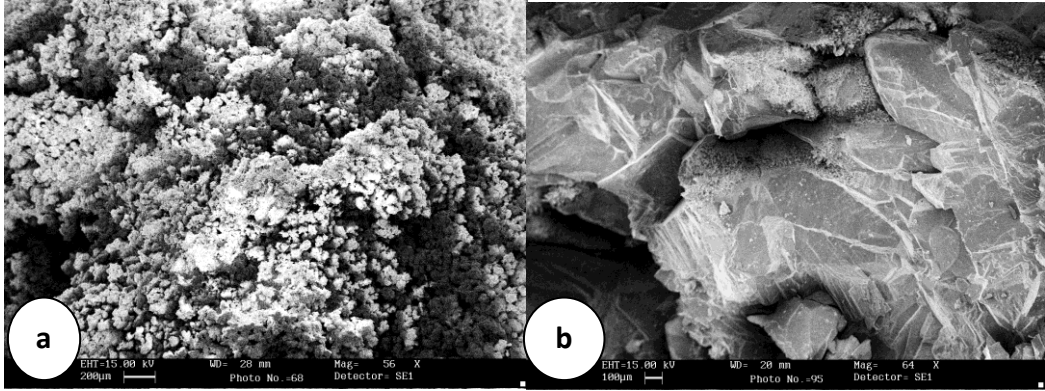
ZJA'daki travertenlerin oluşumunda, önceden söz edildiği gibi, mikroorganizma faaliyeti de oldukça önemlidir. Bu bağlamda, biyojenik kökenli travertenler(Emeis vd. 1987), yüksek gözeneklilikleri ve silis içermeyişleriyle tipik olan, basit bitkilerin fotosentezi ile bakteriler, kaya yosunları ve mavi-yeşil algler tarafından denetlenen bir sürecin sonunda oluşmuştur. Bu süreç, bakteri, alg ve/veya yosunların sümüksü salgılarından dolayı su içinde asılı olarak taşınmakta olan diyatomları yüzeylerine yapıştırmaları ile başlamaktadır (Şekil 4.10., 4.11. ve 4.12.). Daha sonra su içinde asılı mikrit kristalleri halinde taşınmakta olan CaCO_3 molekülleri diyatomların sivri kısımlarını kristal çekirdeği olarak kullanmakta ve daha iri kristaller oluşturmak üzere çökelmektedirler (Emeis vd., 1987). ZJA içinde Ihlara-Selime çevresine ait bir çalışmada (Gürel ve Yıldız, 2007) Pliyosen yaşlı diyatom topluluklarının litofasiyes özellikleri ve çökelim ortamları ile yorumlar, travertenlerde saptanan diyatomlarla ilgili açıklamaları desteklemektedir.



Şekil 4.10. Ziga yeni travertenlerine ait taramalı elektron mikroskop (SEM) kesitlerde gözlenmiş diyatomlar ve kalsit mineralleri (Afşin vd., 2007) (tanımlamalar Aksaray Üniversitesi'nden A.Yıldız'a aittir)



Şekil 4.11. Ziga yeni travertenlerine ait taramalı elektron mikroskop (SEM) kesitlerinde gözlenmiş diatomlar **(a)** ve kalsit mineralleri **(b)** (Afşin vd., 2007)

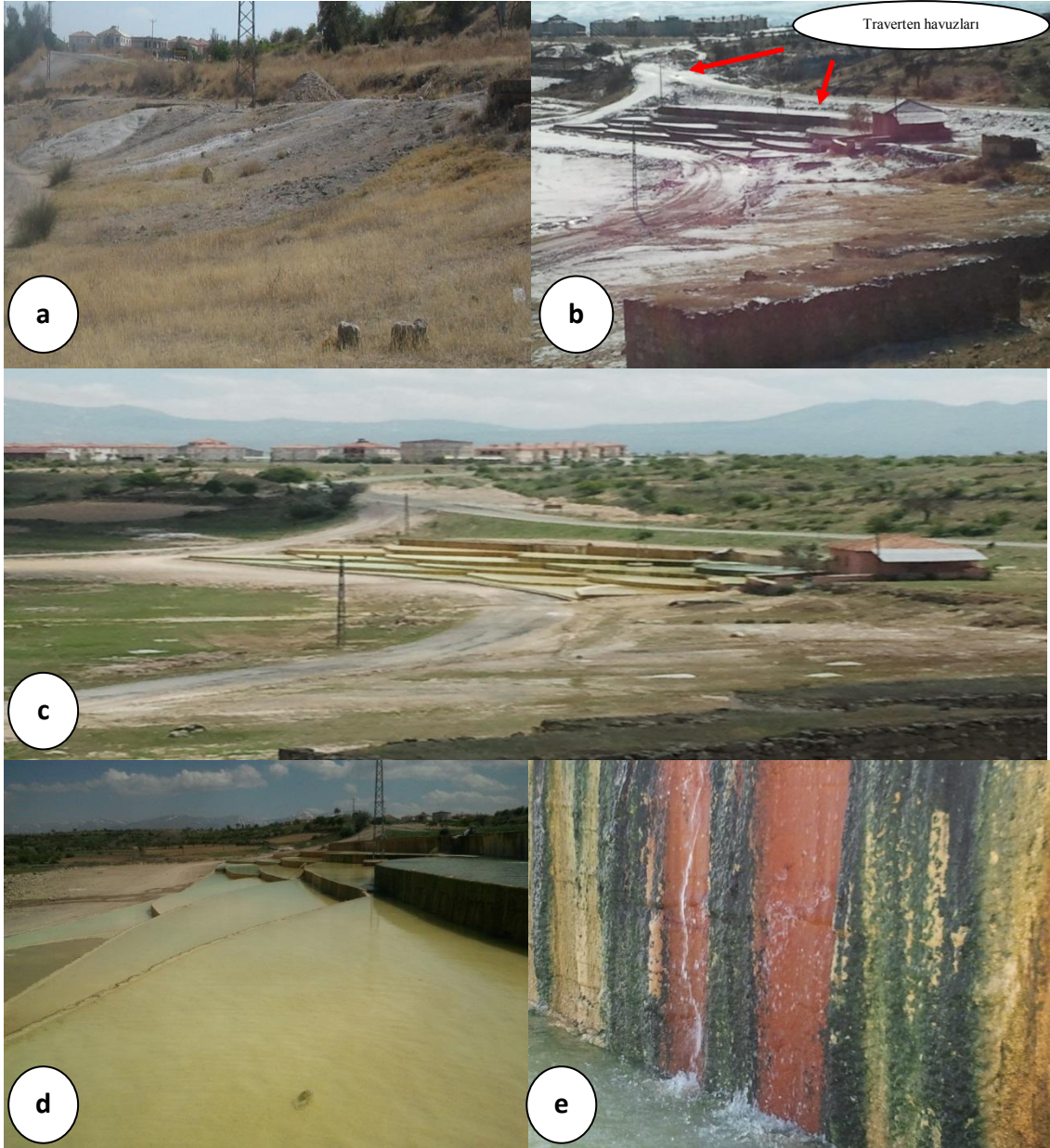


Şekil 4.12. Ziga yeni travertenlerine ait taramalı elektron mikroskop (SEM) kesitlerinde gözlenmiş diatomlar **(a)** ve kalsit mineralleri **(b)** (Afşin vd., 2007)

4.3.3. ZJA’da traverten alanları oluşturulması

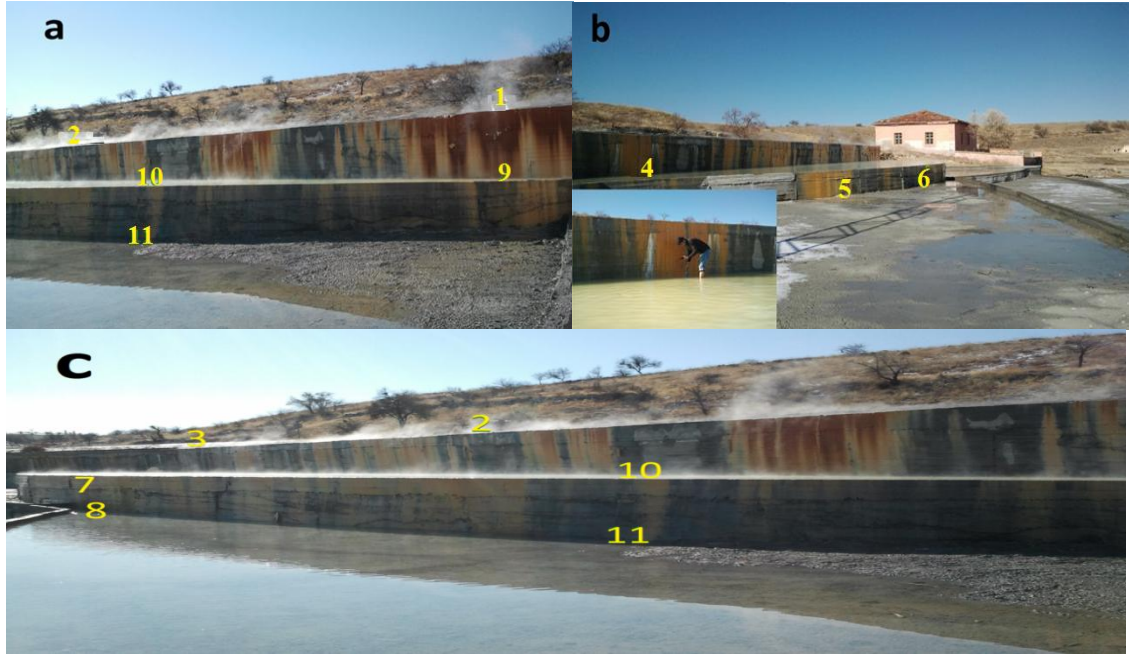
ZJA’da Ziga kaplıca girişinde eski travertenlerin bulunduğu alanda Pamukkale kaynaklarında olduğu gibi, traverten havuzlarının oluşturulmasının görsel ve turistik açıdan bölgenin değerini arttıracakı düşünülmüştür. Bu amaçla daha önce söz edilen proje kapsamında deneysel çalışma alanı (DÇA)’nda traverten havuzları inşa edilmiştir (Şekil 4.13.). DÇA’da su toplama kanalları ve dinlendirme havuzları yapıldıktan sonra dinlendirilen su Akdere’ye verilecektir. Kış şartlarının ağırlaşmasıyla henüz çevre düzenleme çalışmaları tamamlanamamıştır. Ancak, bu tez kapsamında gerekli olan, travertenlerin çökelişinde etkin olan bazı fiziksel parametreler, ZJA’daki Ziga sondajından alınan su 20 cm genişliğindeki kanal içerisinde alandaki havuzlara K-G yönlü hat boyunca 6 Kasım 2011’de başlatılıp yaklaşık 10 gün süre ile akıtılmıştır. Bu

sürede DÇA'da yapılan gözlem ve ölçümler sonuçlarının değerlendirilmesi aşağıda sunulmuştur.

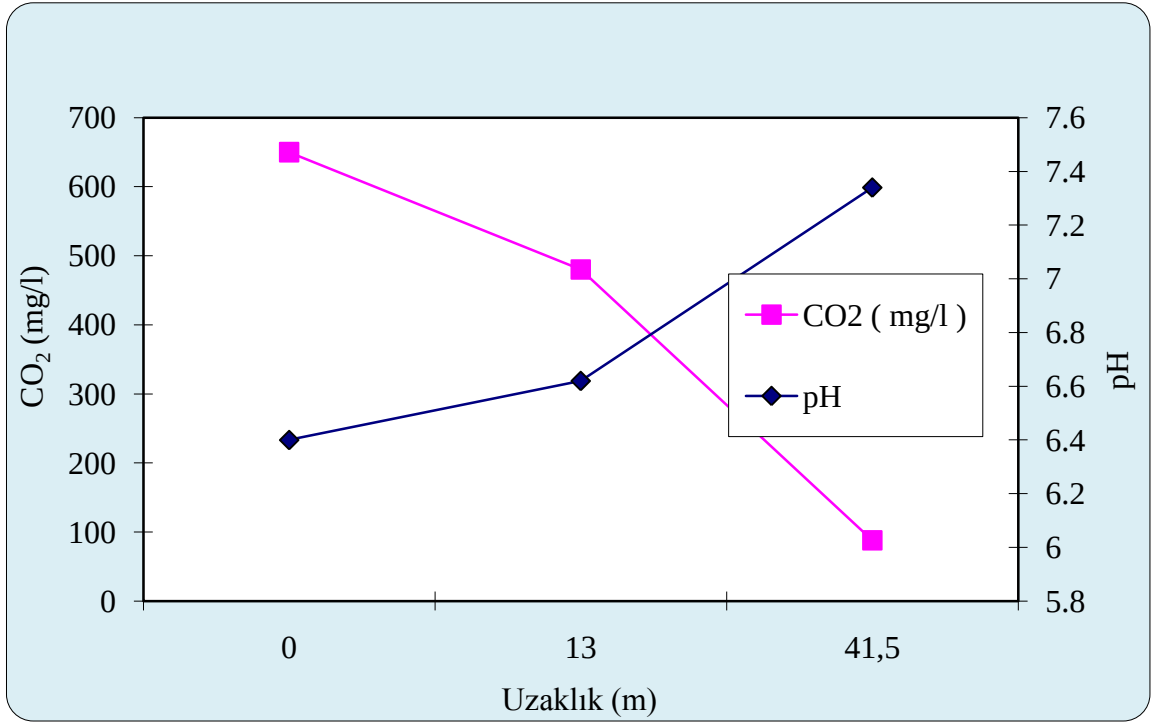


Şekil 4.13. Ziga'daki DÇA'da traverten havuzlarının inşaat öncesi(a); inşaat sonrası (b) ve mayıs ayına ait görüntüleri (c-d-e)

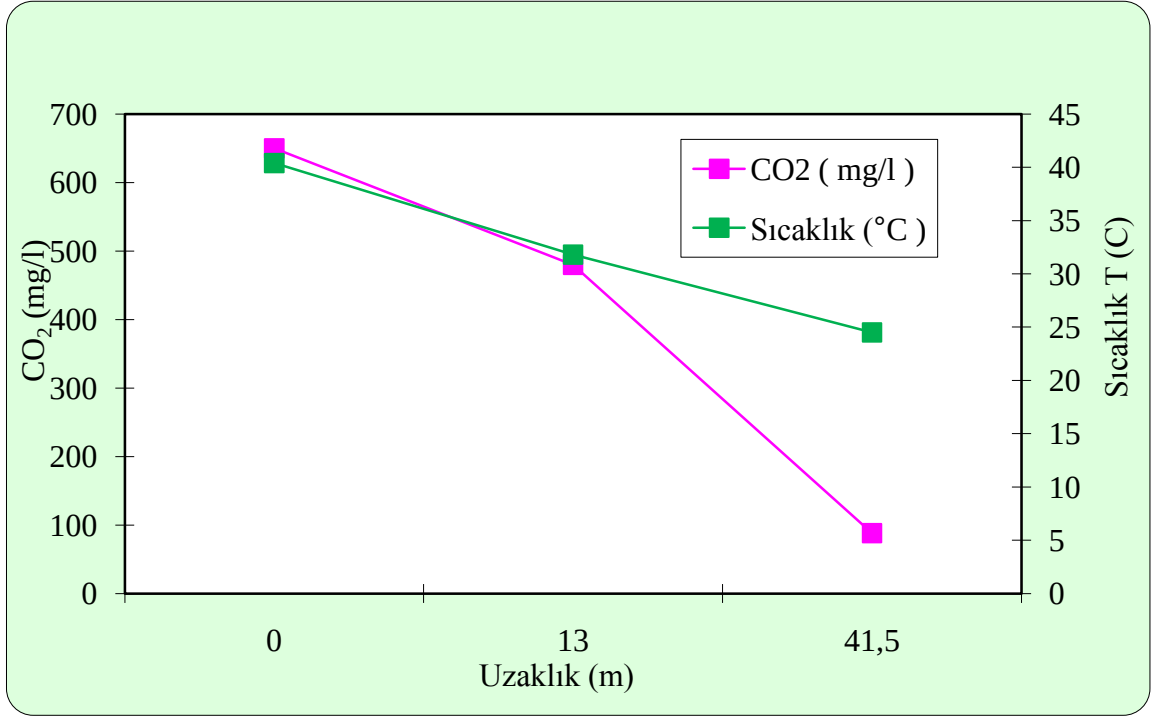
DÇA'da suyun akış yolu üzerindeki 1. nokta, akışkanın verildiği ilk kısım; 2. nokta 13 m; 3. nokta ise 41.5 m ilerisindedir (Şekil 4.14.). Bu hat boyunca belirlenmiş noktalarındaki ölçümlerde, pH'nın giderek yükseldiği, CO₂ ve sıcaklığın ise tersine düştüğü saptanmıştır (Şekil 4.15. ve 4.16.).



Şekil 4.14. DÇA’da ölçüm noktaları **(a)** 1, 2, 9, 10 ve 11; **(b)** 4, 5 ve 6; **(c)** 2, 3, 7, 8, 10 ve 11



Şekil 4.15. DÇA’da 1-2-3 numaralı noktalara ait CO₂-pH grafiği

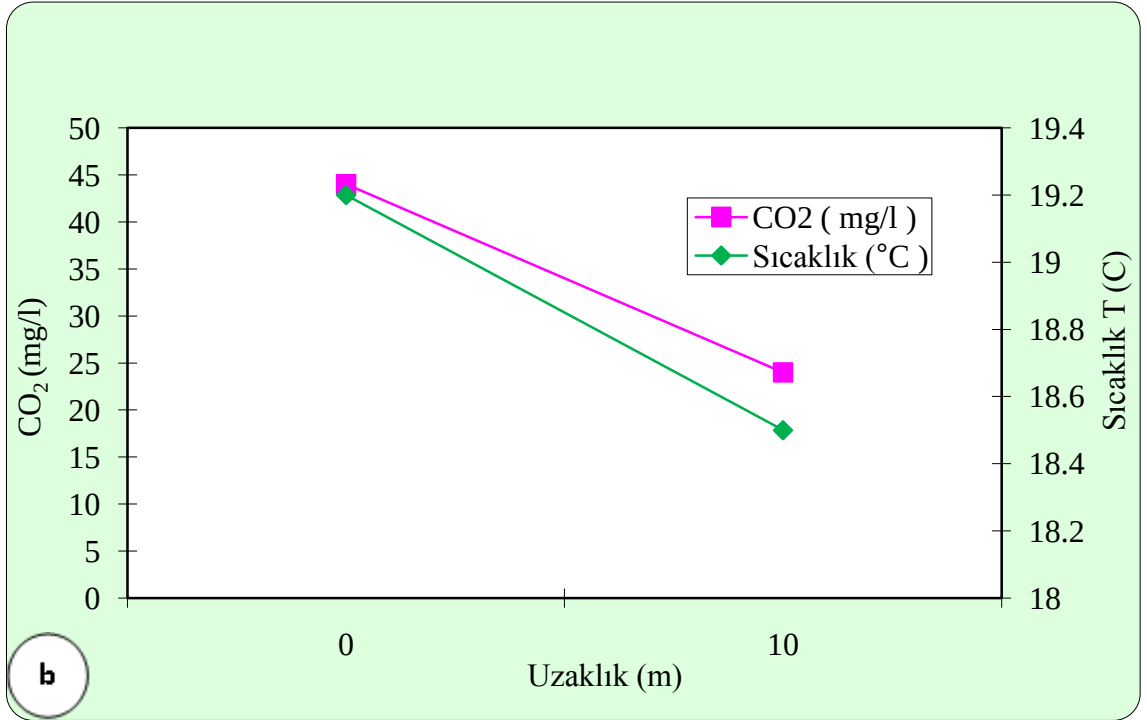
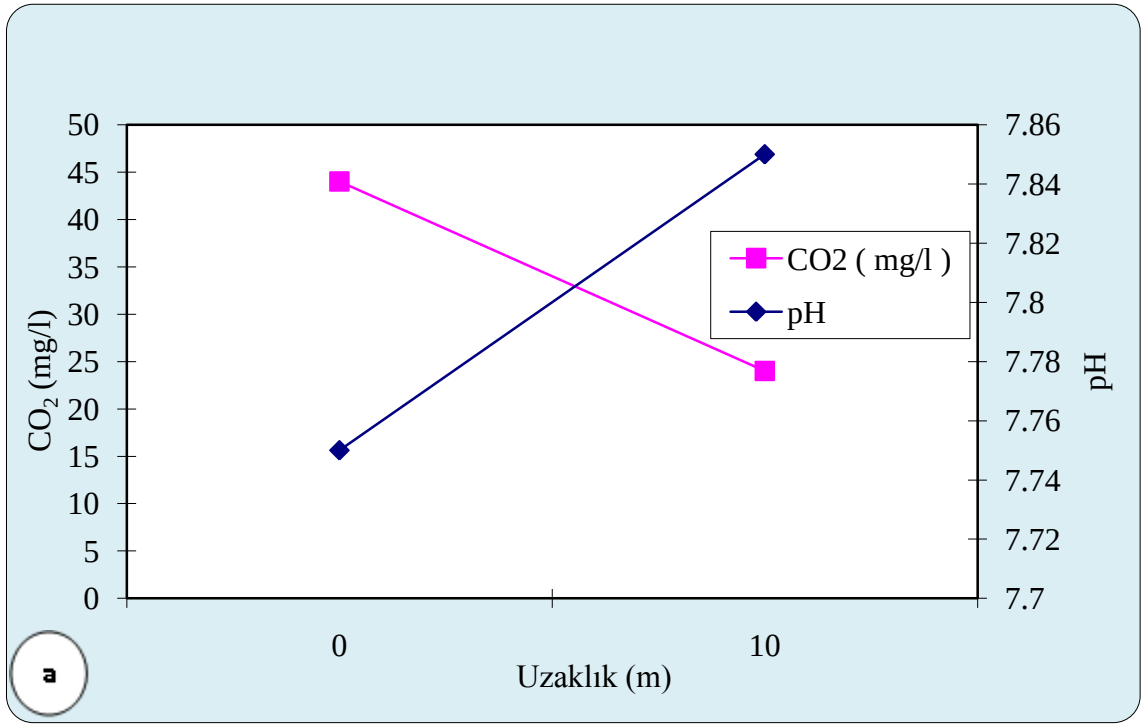


Şekil 4.16. DÇA’da 1-2-3 numaralı noktalara ait CO₂-T grafiği

Jeotermal akışkan DÇA’daki hat içinde akarken, taşma yaparak duvardan aşağıya doğru süzölmüştür. Bu suyun, 1. kademe havuzla birleşme noktasında pH ve T ölçölüp CO₂ hesaplanmıştır. 5. nokta 1. noktadan yaklaşık 25 m uzaklıkta ve 1.80 m düşey mesafededir (Şekil 4.14b). Diğeri ise, 4. nokta olarak ve 1 numaralı noktadan 35 m uzaklıkta, 1.80 m düşey, 5. noktanın 10 m güneyindedir. Bu yapılan ölçölmler, havuzdaki suyun akış yolu boyunca 5. noktadan 4. noktaya doğru gidildikçe pH’nın artıp, CO₂ ve T’nin ise azaldığını göstermiştir (Şekil 4.17., 4.18a, b).

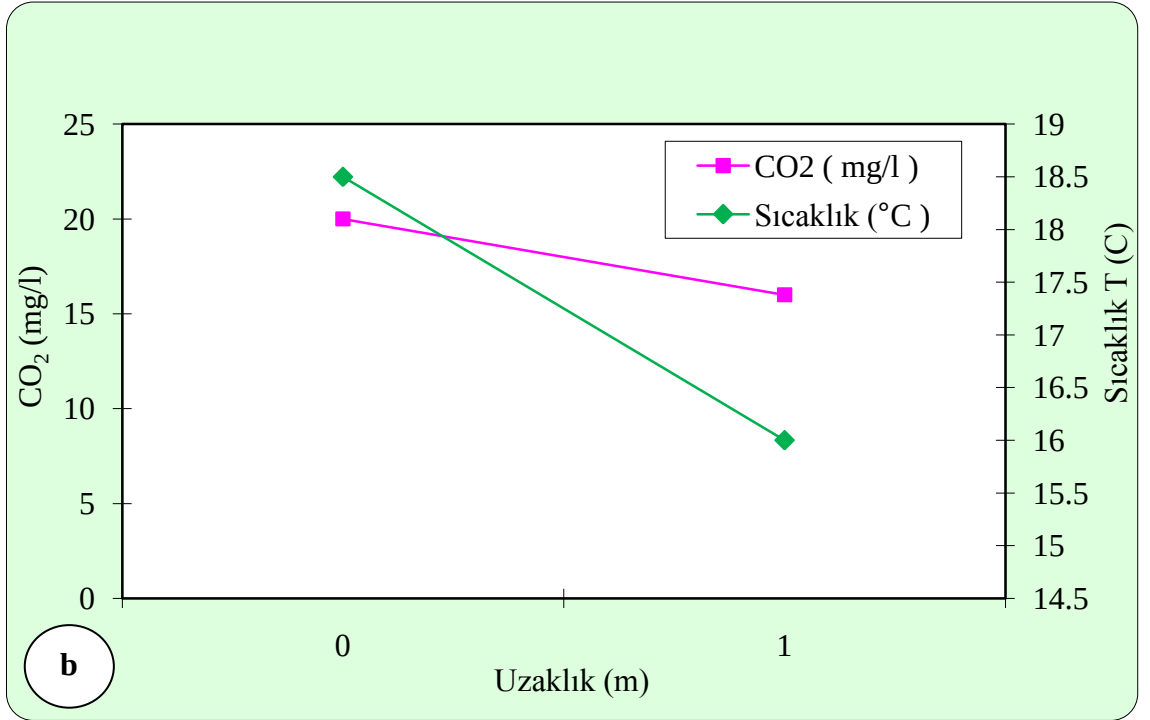
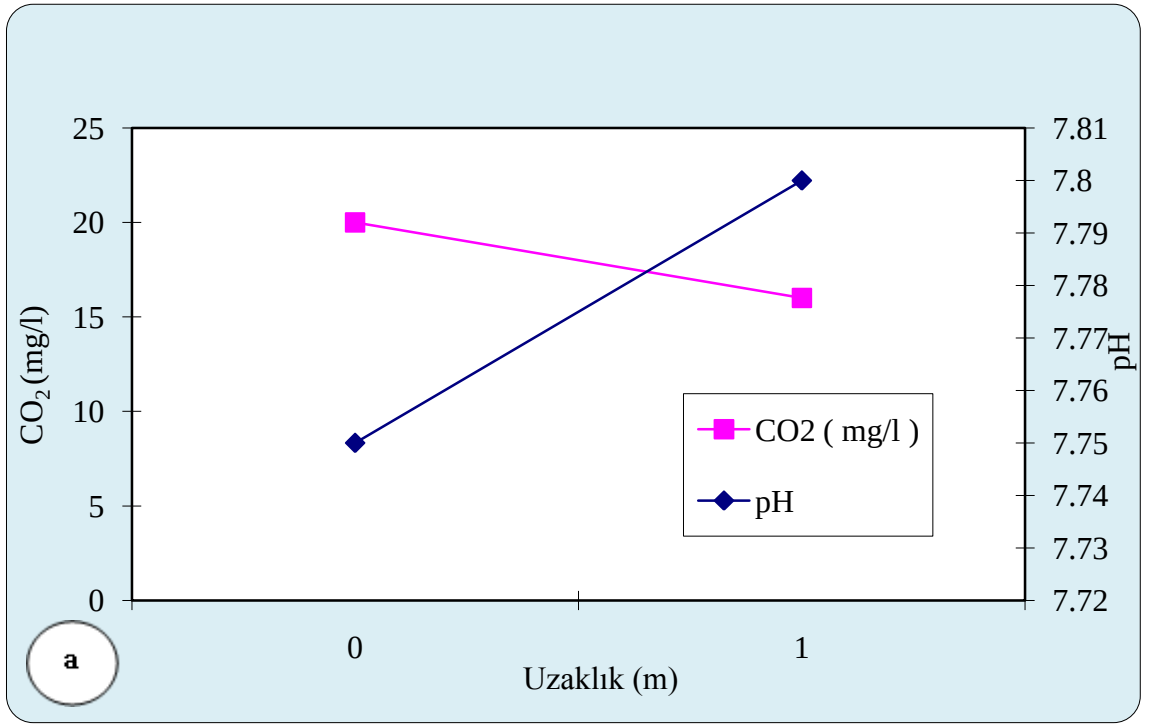


Şekil 4.17. 4 numaralı noktada ölçölmlerin yapılışı



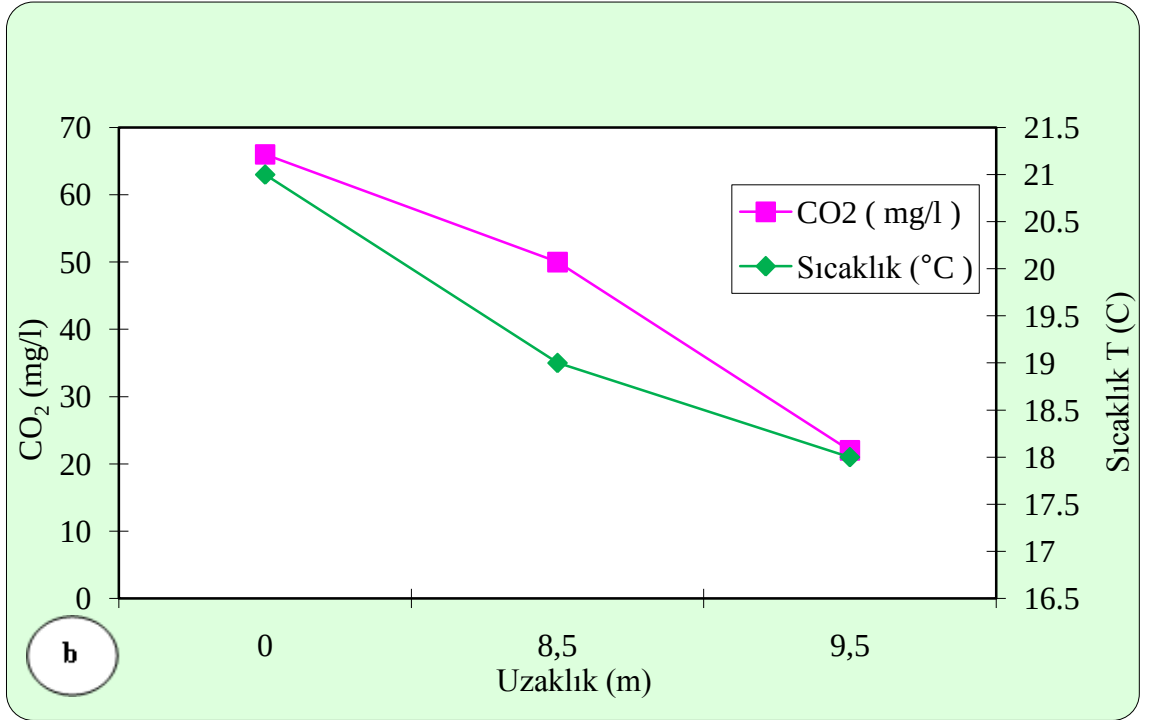
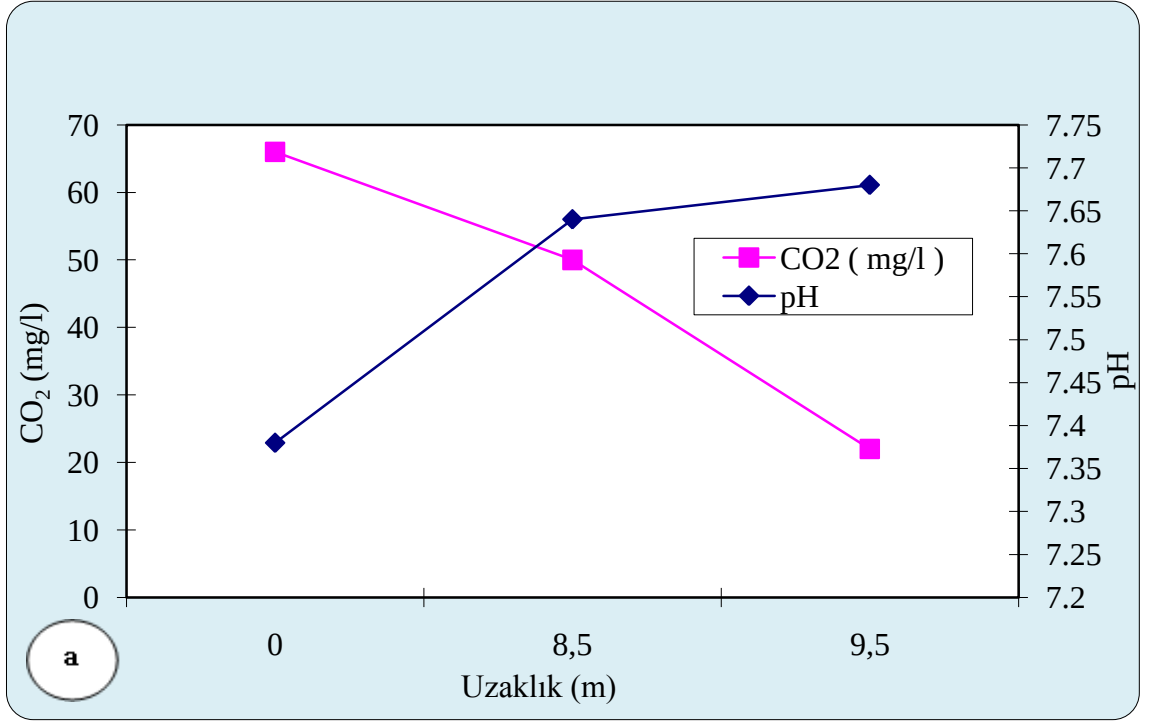
Şekil 4.18. 5 ve 4 numaralı noktalara ait CO₂-pH (a) ve CO₂-T grafiği (b)

DÇA'daki 7 numaralı nokta, 1. noktadan 10 m hat boyunca, yaklaşık 6 m doğudadır. 8 numaralı nokta ise 1. kademe havuzunun 2. kademe havuza bağlandığı kısım olup, 7. noktanın 80 cm düşey mesafesindedir (Şekil 4.14c). Yapılan ölçümlere ilişkin CO₂-pH ve CO₂-T grafikleri gösterilmiştir (Şekil 4.19.).



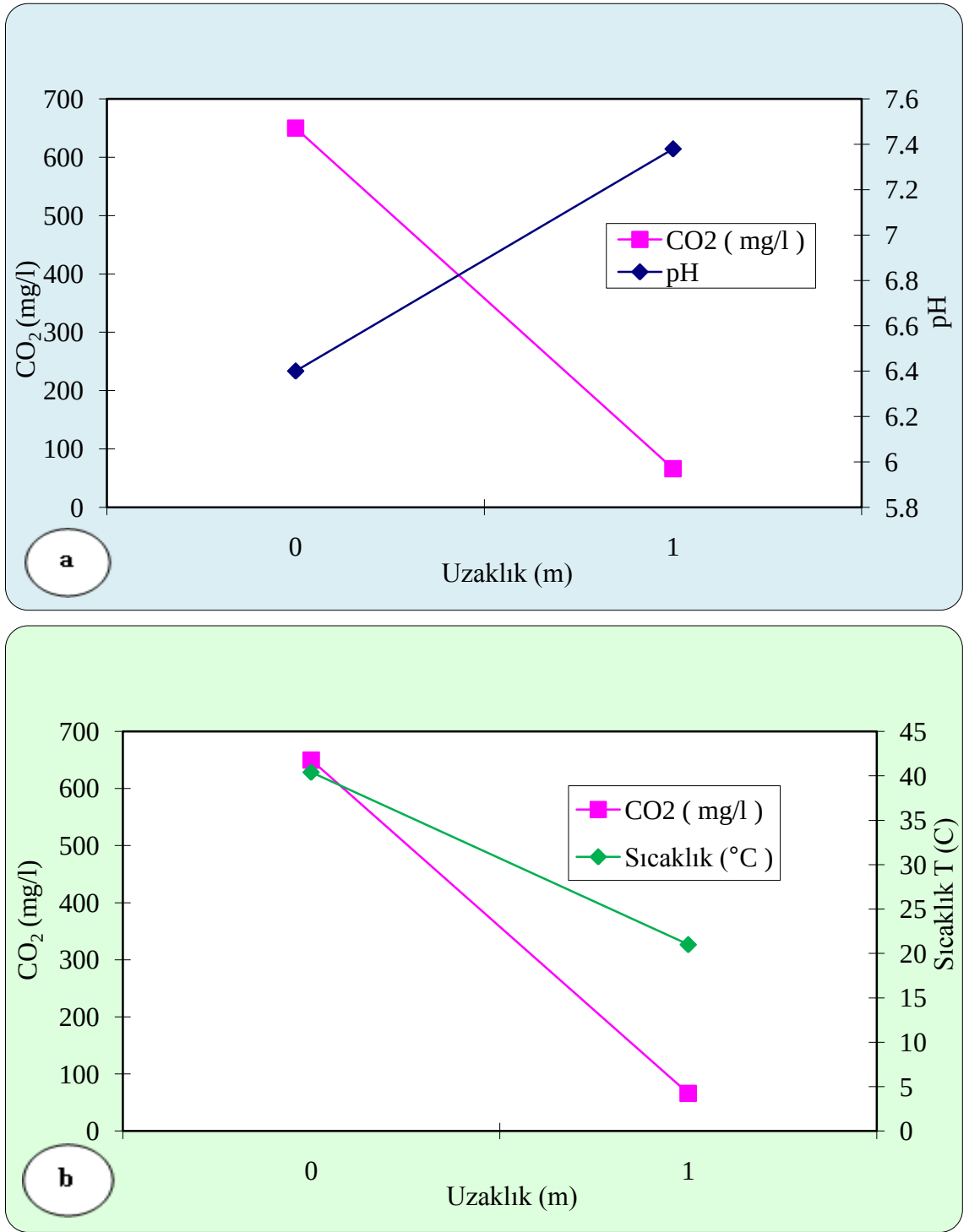
Şekil 4.19. 7-8 numaralı noktalara ait CO₂-pH (a) ve CO₂-T grafikleri (b)

DÇA'daki, 1 numaralı ölçüm noktasındaki suyun bir miktarı hat duvarındaki eşikten 9 numaralı ölçüm noktasına akmaktadır(Şekil 4.14a,c).Bu noktadan yaklaşık 3 m sonra 1. kademe havuzunun bitimindeki 10. nokta ile 80 cm'lik düşey mesafenin ardından 2. kademe havuza bağlandığı 11. noktada birer ölçüm daha yapılmıştır. Bu bölümdeki ölçümler kullanılarak CO₂-pH ve CO₂-T grafikleri halinde gösterilmiştir (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. 9-10-11 numaralı noktalara ait CO₂-pH (a) ve CO₂-T grafikleri (b)

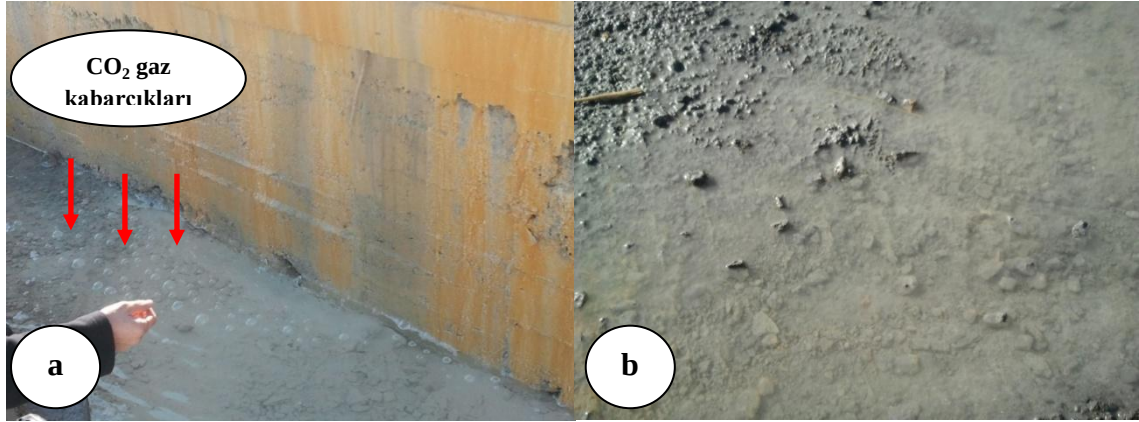
Su 1. noktadan içerisinde bulunduğu gazın etkisiyle sıçrayarak çıkmaktadır. Bu sıçrayan suyun bir kısmı duvardan aşağıya doğru süzülerek 9. numaralı ölçüm noktasına varmaktadır. Bu iki noktaya ait grafiklerde atmosferik türbülansın büyük etkisi gözlenmiştir (Şekil 4.21.).



Şekil 4.21. Şekil 4.16a kodlu fotoğrafta görünen, 1-9 numaralı noktalara ait CO₂-pH (a) ve CO₂-T grafikleri (b)

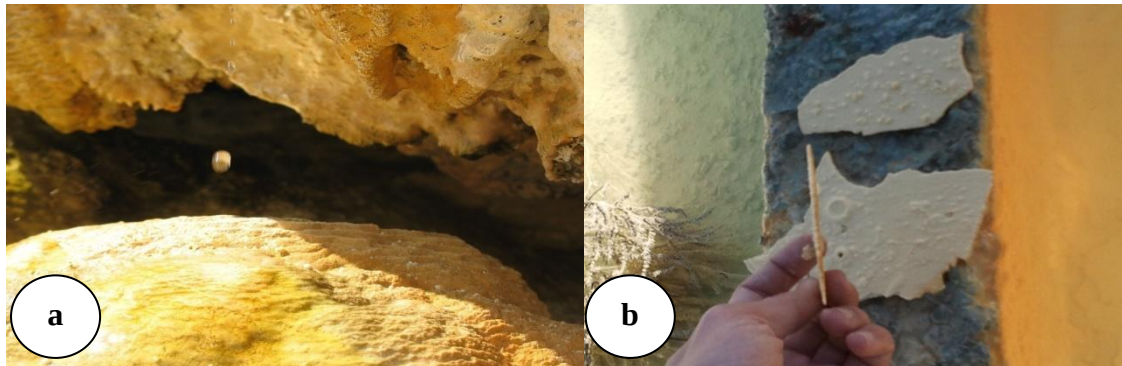
Bu bağlamda, burada arazi gözlemlerini destekleyen bazı görüşlerden söz etmek uygun olacaktır. Herman ve Lorah (1987)'a göre yeraltı suyunun PCO₂'si atmosferdekinden 10 ile 100 kat daha büyük olabilir. Atmosferdeki PCO₂ değeri $10^{-3.5}$ atm'dir. Karbondioksit aşırı doymun yeraltı suyu, yüzeye çıktığında, bünyesindeki CO₂ gazını kaybetmeye başlar. Atmosfere doğru olan bu kayıp, yeraltı suyu PCO₂'si ile

atmosfer PCO_2 'si arasında dengeye ulaşana kadar devam eder. Akım rejimini değiştiren fiziksel engeller ve akarsuyun türbülant akışından dolayı CO_2 gazı kaybının 10-30 kat arttığı (Herman ve Lorah, 1987) saptanmıştır.

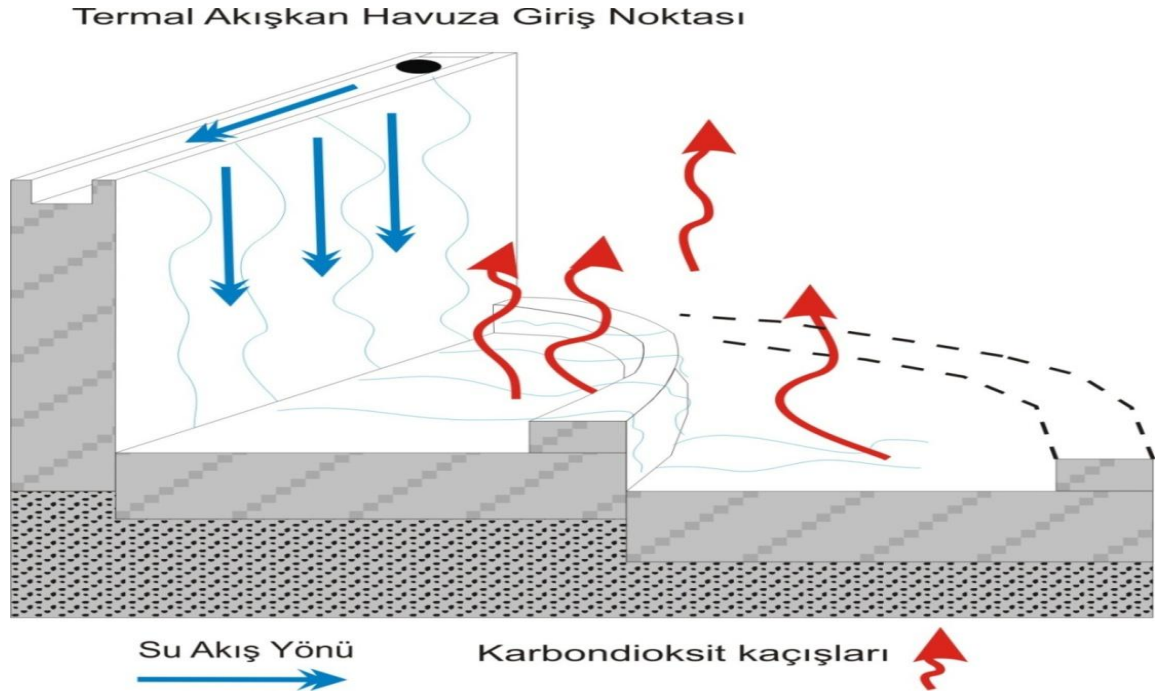


Şekil 4.22. DÇA'da havuzlardan kabarcıklar halinde CO_2 kaçıışı (a) ve tufa çökelişi (b)

ZJA'da DÇA'daki traverten havuzlarında yapılan ölçüm ve gözlemler hidrolik özelliklerin CO_2 gazı kaybı ve dolayısıyla traverten çökelişindeki önemini ortaya koymaktadır (Şekil 4.15., 4.16., 4.18 ve 4.20.). Daha düşük türbülant akışa sahip kesitlerde CO_2 gazı kaybı da oransal olarak azalmaktadır. Çözeltiden CO_2 gazı kayboldukça kalsitin çözünürlüğü azalmakta ve çözelti, kalsite aşırı doymun (5-10 kat) hale gelip kalsit minerali çökelebilmektedir (Şekil 4.22., 4.23. ve 4.24.). DÇA'da kış mevsiminde CO_2 kaybı artışı ile tufa (traverten) oluşumu doğru orantılıdır. Bunun iyi bir örneği 10 günlük zaman diliminde gerçekleşen 1.5-2 mm civarında tufa çökelişidir (Şekil 4.23b).



Şekil 4.23. Ziga sondaj kuyusu yakınında CO_2 kaybına bağlı tufa oluşumu (a), DÇA'da 10 günlük su akışı sonucundaki oluşan tufa (traverten) (kalınlık $\approx 1.5-2\text{mm}$) (b)



Şekil 4.24. ZJA'daki travertenin şematik çökeltim modeli

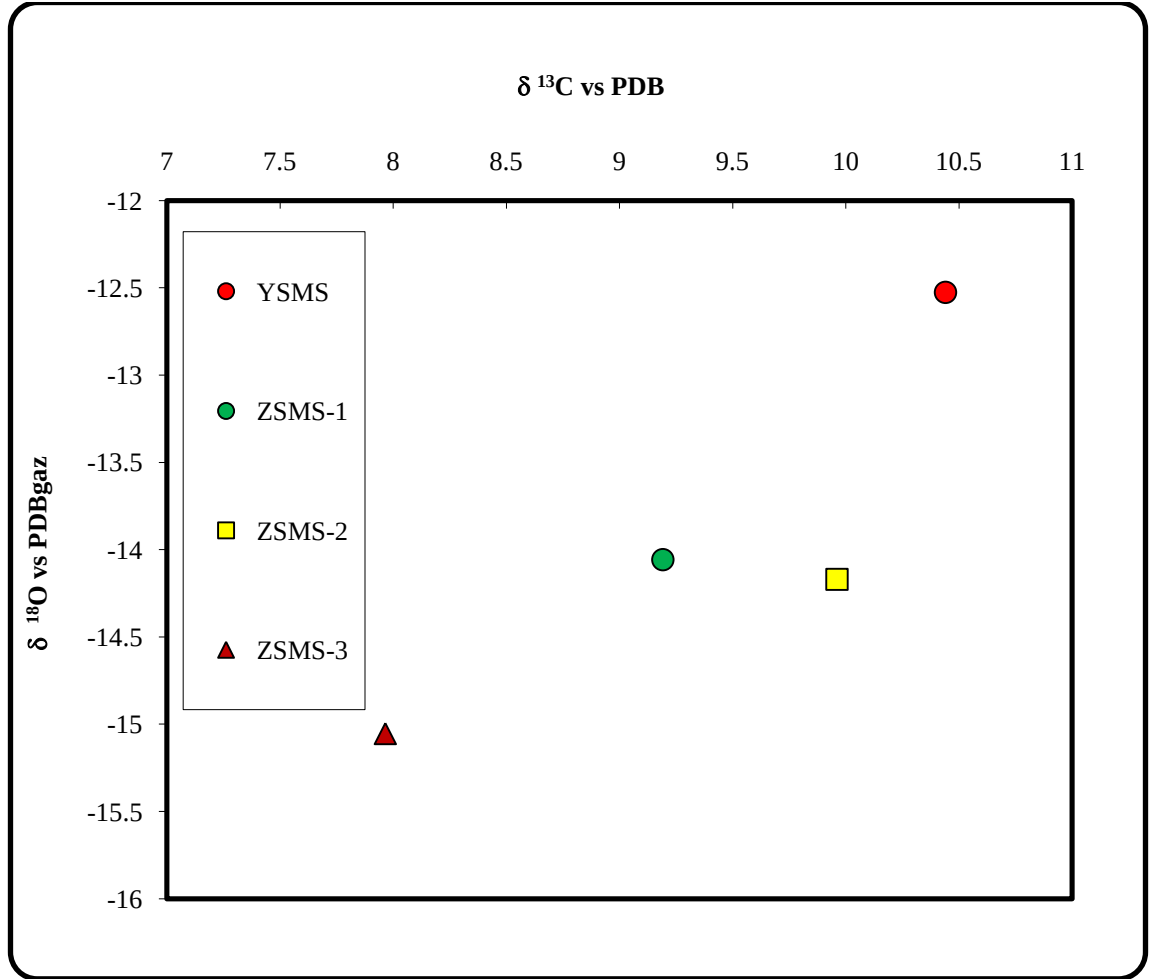
4.3.4. Travertenlerin izotopik özellikleri

ZJA'daki Ziga ve Yaprakhisar kaynak alanlarında bulunan travertenlerden alınmış örneklerin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop analiz sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiş ve Şekil 4.29'da gösterilmiştir (Duru, 2006; Afşin vd, 2007). Travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ sonuçları su-kayaç etkileşimi ve çökeltim ortamları hakkında güvenilir bilgiler vermektedir (Clark ve Fritz, 1997; Pentecost, 2007). Çoğunluğu kalsitten oluşmuş kaynak alanlarında çökeltimi sürmekte olan travertenlerin $\delta^{18}\text{O}$ ile $\delta^{13}\text{C}$ değerleri arasında doğru orantı bulunmaktadır (Duru, 2006). Traverten çökeltiminde, daha önce sözü edilen çok sayıda etken rol oynamaktadır. Örneğin söz konusu jeotermal suların sıcaklıkları arttıkça bu suların akım yolu boyunca çökelen travertenlerin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri azalmıştır (Çizelge 4.5). Bu bağlamda, ZJA'da bulunan eski travertenlerin daha negatif $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinden dolayı bunların sıcaklıkları daha yüksek sıcak sularla ilişkili olarak çökelmiş (O'Neil vd., 1968; Turi, 1986; Pentecost, 2005) oldukları yorumu yapılabilir.

Ayrıca, $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine göre YSMS hariç, diğerleri Clark ve Fritz (1997)'in $\delta^{13}\text{C}$ grafiğinde aynı kökenli beslenim ile yani meteorik kökenli, tatlısu karbonatları ve yeraltı suyu katkılı olduklarını da (Afşin vd., 2007) göstermektedir (Çizelge 4.5., Şekil 4.25.).

Çizelge 4.5. ZJA’da bulunan travertenlere ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri(Afşin vd., 2007)

Örnek Noktaları	$\delta^{13}\text{C}$ vsPDB	$\delta^{18}\text{O}$ vsPDBgaz
YSMS (Eski traverten)	10.44	-12.53
ZSMS-1-Ziga Kaplıca Girişi (Eski traverten)	9.19	-14.06
ZSMS-2-Sondaj (Yeni Traverten)	9.96	-14.17
ZSMS-3-Sondaj yakını (Eski Traverten)	7.97	-15.05
YSMS: Yaprakhisar sıcak ve mineralli suyu, ZSMS : Ziga sıcak ve mineralli suyu		



Şekil 4.25. ZJA’da bulunan travertenlere ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ grafiği (Afşin vd., 2007)

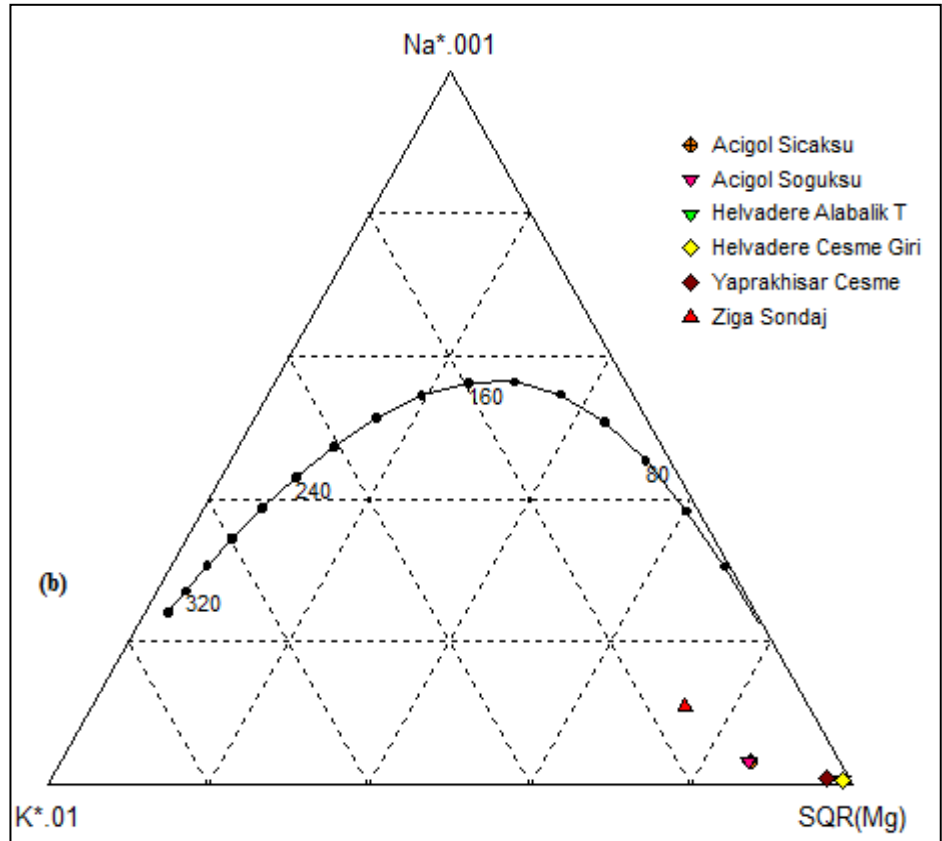
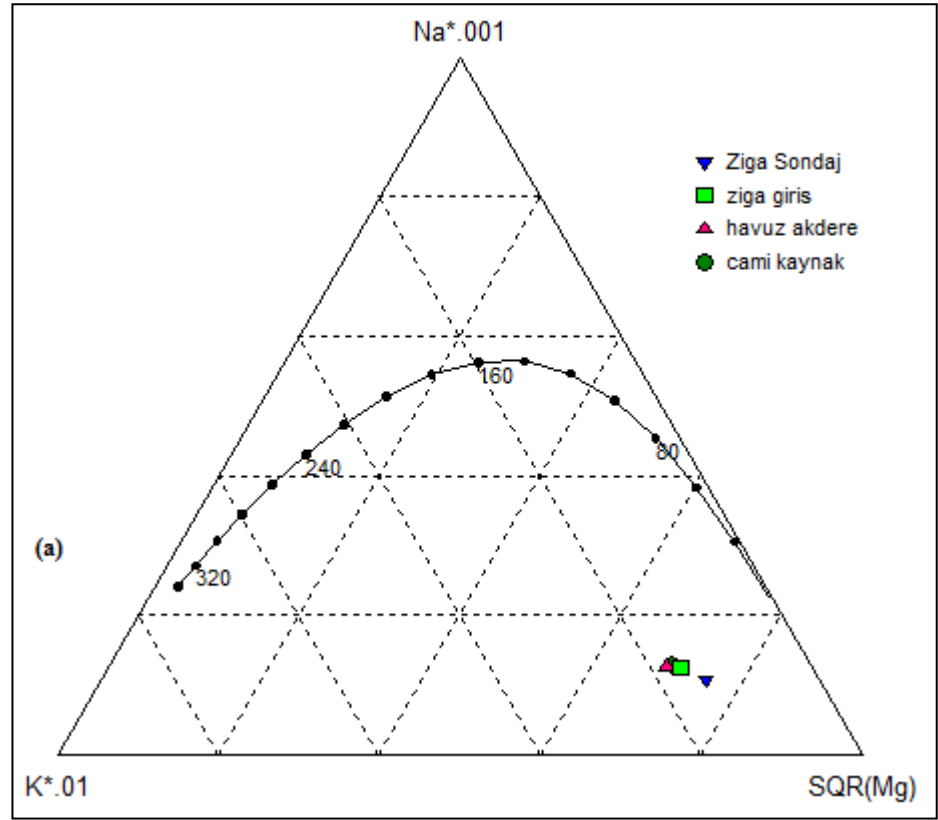
BÖLÜM V

5. ZJA’NIN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİNİNDEĞERLENDİRMESİ

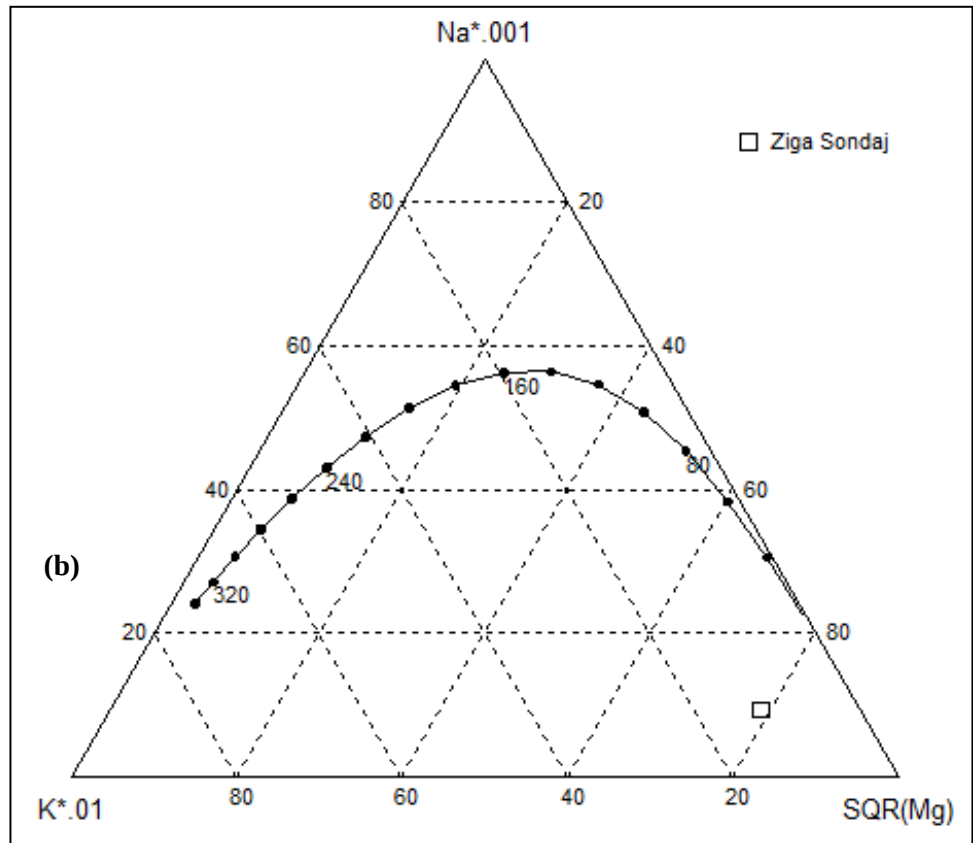
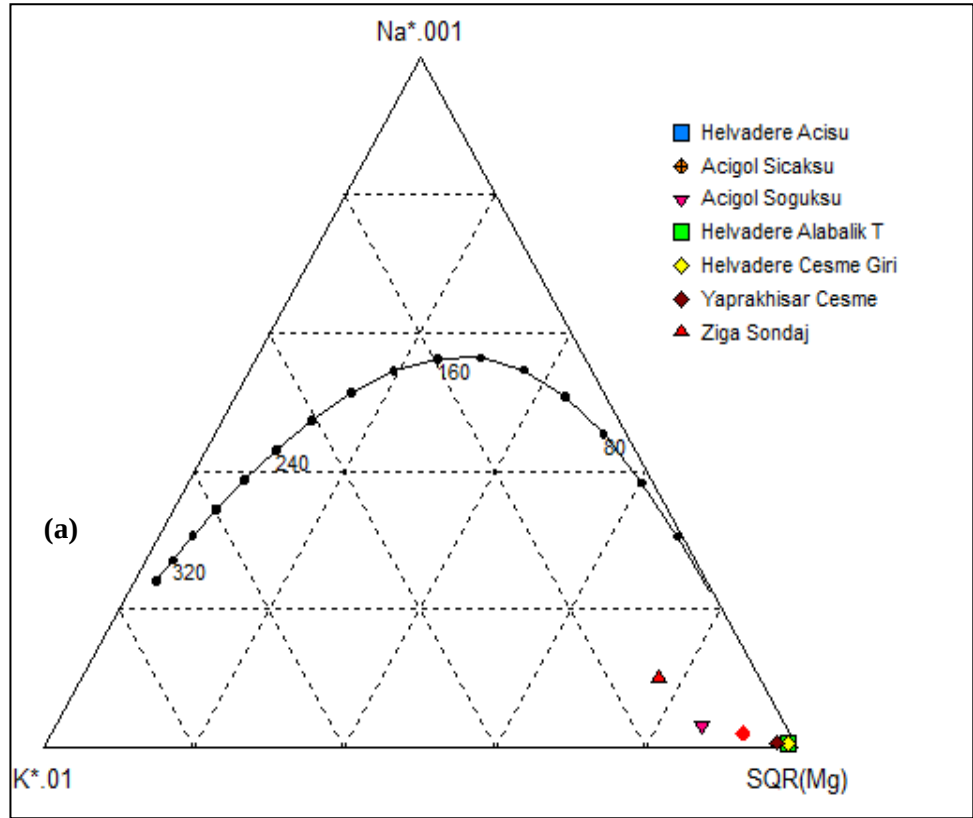
İnceleme alanı olan ZJA ve hemen hemen aynı bölgede gelişmiş Acıgöl, Şahinkalesi jeotermal sahaları Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Faylarının birleştiği alanın iç-orta kısmında yer alır. Bu bölgede kalan ve inceleme alanına yakın olan Hasandağı volkanizmasına ait ürünler jeotermal sistemin önemli faktörlerinden olan ısıtıcı kaya görevini yerine getirmiştir. Jeolojik anlamda bu genç volkanlara ait bacalar; derinliklerde olan ısıyı yer yüzüne olağandan daha hızlı bir şekilde ulaştırabilmektedir. Ayrıca volkanik ürünlerin hemen altında yer alan sedimanter kayalar da jeotermal sistemde kısmen örtü, kısmen de üst rezervuar gibi davranabilmektedir. Paleozoyik yaşlı temel kayaları üzerine yerleşmiş olan sedimanter havzalar tektonik kontrollü bir görüntüye sahiptir. Bu havzalarda yerleşen birimlerin kalınlığı vederinliği havzayı kontrol eden tektonik hatların özelliklerine bağlı olarak gelişmiştir (Burçak, 2006).

5.1. Jeotermometre Çalışmaları

Jeotermometreler, jeotermal akışkanların içerdikleri çözünmüş mineral bileşimlerini dikkate alarak jeotermal suların hazne kaya sıcaklığı hakkında yorum yapılabilmesini sağlamaktadır (Gupta ve Roy, 2007). Bu bağlamda, ZJA’nın jeotermal enerji potansiyelinin saptanmasına katkı sağlaması için önemli olan bazı jeotermometreler kullanılmıştır. Örneğin katyon jeotermometreleri, iyon değişimine dayalıdır. Bunlardan sıkça kullanılanı Giggenbach (1988, 1991) tarafından önerilmiş Na-K-Mg üçgen diyagramıdır (Şimşek vd., 1997; Duru, 2006). Bu diyagramda, denge durumu bölümünde yer alan suların analizleri katyon jeotermometresi olarak kullanılabilir. Bu bağlamda, ZJA’daki sular Na-K-Mg üçgen diyagramında denge durumundan oldukça uzak, olgun olmayan sular grubuna girmektedir (Şekil 5.1. ve 5.2.). Bu durum jeotermal sular açısından rezervuarda sıcaklık ile su-kayaç etkileşiminin zaman içinde kurulmuş dengesinin olmadığını göstermektedir. Yani, bu suların hazne kaya sıcaklıklarının hesaplanmasında, katyon jeotermometrelerinin kullanılması hatalı sonuçlar verebilir. Bu nedenle, söz konusu suların hazne kaya sıcaklıklarının hesaplanmasında mineral çözünürlüğüne dayalı silis jeotermometrelerini kullanmak daha mantıklıdır.



Şekil 5.1. ZJA ve çevresindeki suların Giggenbach (1988) üçgen diyagramı (örnekleme tarihleri; a: 21.09.2010, b: 11.11.2010)



Şekil 5.2. ZJA ve çevresindeki suların Giggenbach (1988) üçgen diyagramı (örnekleme tarihleri; a: 28.05.2011, b: 12.08.2011)

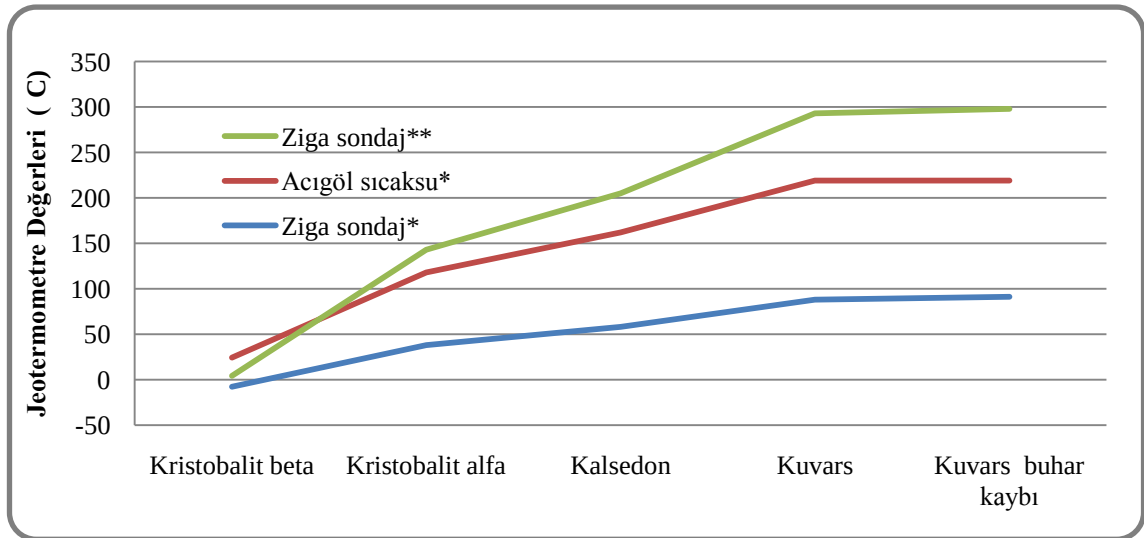
SiO₂'nin çözünürlüğü diğer mineraller gibi sıcaklık ve basınçla değişmektedir. Bu jeotermometrelerin esası bu temel bağıntıya dayanmaktadır (Şahinci, 1991; Gupta ve Roy, 2007). Silis jeotermometre bağıntıları, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kaya sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına bağlı olarak hazırlanmıştır. Ancak, kuvars jeotermometreleri çok yüksek sıcaklıklı sulara daha doğru sonuçlar vermektedir.

ZJA'daki jeotermal suların SiO₂'nin çözünürlüğüne bağlı silis jeotermometrelerine göre; Acıgöl sıcak ve mineralli suyu için 131 °C; Ziga sondaj suyu için 58 ile 91°C arasında değişmiştir (Çizelge 5.1. ve Şekil 5.3.). Söz konusu sular için kuvars buhar kaybı jeotermometresi daha yüksek hazne kaya sıcaklık değeri vermesine rağmen, düşük entalpili sulara kalsedon jeotermometresinin daha güvenilir olduğu (Gupta ve Roy, 2007) belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. ZJA'daki jeotermal suların kuvars jeotermometrelerine göre hesaplanan tahmini hazne kaya sıcaklıkları (°C)

	Kristobalit beta	Kristobalit alfa	Kalsedon	Kuvars	Kuvars buharkaybı
Ziga sondaj*	-8	38	58	88	91
Ziga sondaj**	-20	25	43	74	79
Acıgöl sıcaksu*	32	80	104	131	128

Örnekleme tarihleri: *: 28.05.2011, **: 12.08.2011, (Fournier, 1977 referansı ile)



Şekil 5.3. ZJA'daki jeotermal suların kuvars jeotermometrelerine göre hesaplanan tahmini hazne kaya sıcaklıkları (örnekleme tarihleri; *: 28.05.2011 ve **: 12.08.2011)

5.2. Ziga Jeotermal Sularının Koruma Alanları

ZJA'da Ziga jeotermal sularının doğal ve insan kaynaklı kirleticilerden uzak tutulabilmesi ve yenilenebilir özelliklerinin kaybolmasını önlemek amacıyla kaynak ve sondaj alanlarının jeolojik ve hidrojeolojik yapısı ile bu alanın çevresindeki yerleşim birimleri, sanayi ve atık alanları gibi kirleticilerin olduğu alanlar göz önünde bulundurulmalıdır.

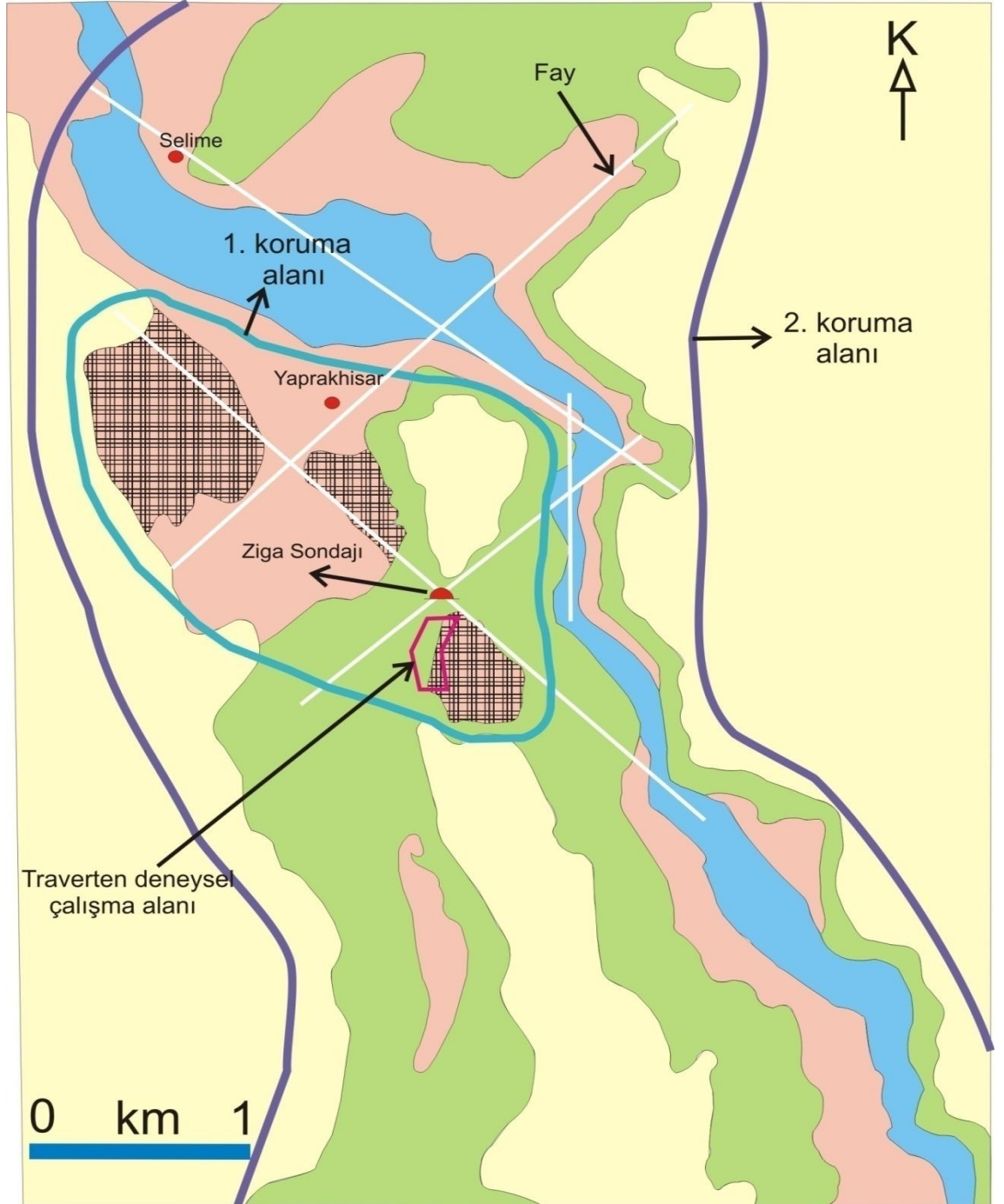
Jeotermal sistemin korunması amacıyla, meteorik suların yer altına inmesine sebep olan traverten ve ignimbrit özellikle, KB-GD tektonik etkilerine açık olan alanlarda koruma alanları olarak belirtilmelidir.

Birinci koruma alanı olarak; kaynak alanlarının olduğu ve traverten çökelişinin meydana geldiği alanlar ile fayların kesişim noktaları dikkate alınmıştır (Şekil 5.4). İkinci koruma alanı olarak; geçirimli zonlar sınır içerisinde bırakılmıştır. Üçüncü koruma alanı olarak; beslenme çizgisi düşünülerek geniş bir coğrafya çember içerisinde bırakılmıştır.

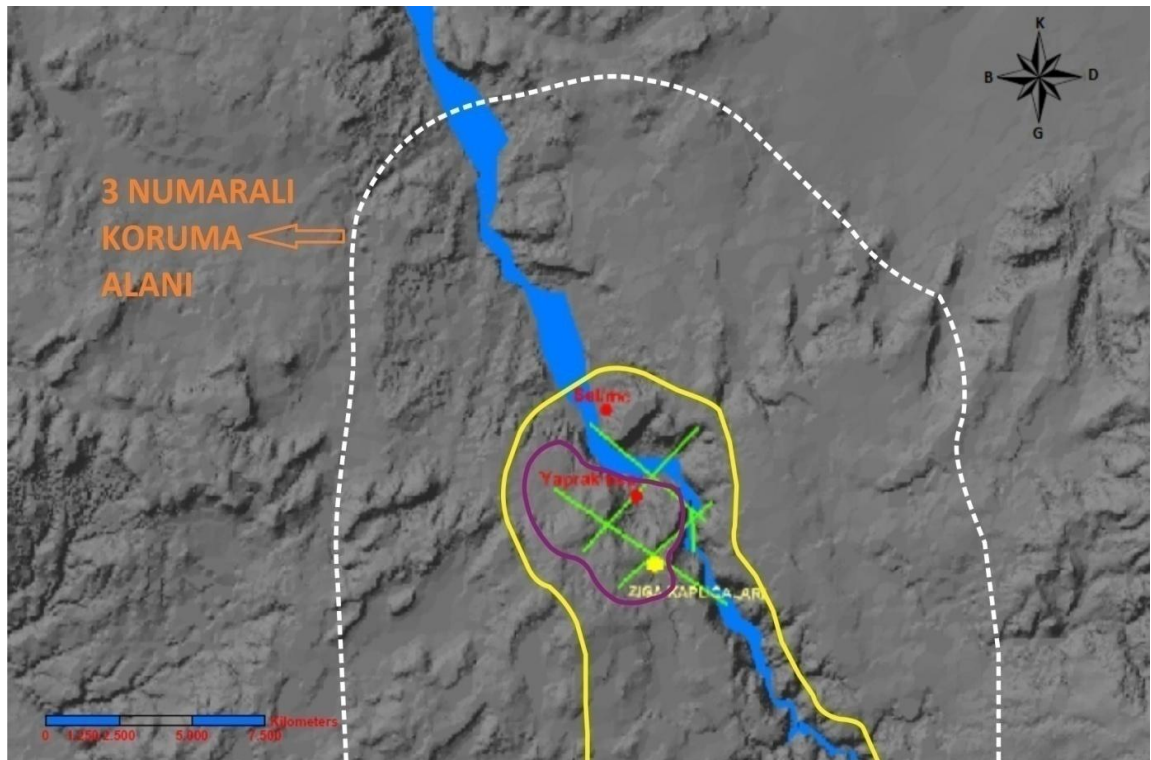
Birinci koruma alanında; her türlü kirlenme ihtimali kesin olarak önlenmeli, alan çimle kaplanmalı (kökü derine dalmayan fidanlar ekilebilir) veya temiz tutucu bir madde ile örtülmeli; alan içerisinde kalan dere yatakları değiştirilmeli, bu mümkün değilse yatak betonlanmalı ve alan taşkından korunmalı; alanda suyun alınması depolanması için gerekli yapılar dışında hiçbir yapı bulunmamalı; alanda 30 cm'den derin kazıya izin verilmemelidir (Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu, 2007; Ok, 2007).

İkinci koruma alanında; kirli sular iyi tecrit edilmeli, kapalı borularla sevk edilmeli; kirlenmeye sebep olacak gübre yığını; taş ocağı, yarma, kanal ve bunun gibi kazılara, dinamit patlatılması gibi tahribata izin verilmemelidir; terk edilmiş veya temiz tutulmayan kuyular uygun bir malzeme ile doldurulmalıdır. Alanda 3 metreden daha derin kazı yapılmamalı; kirli suları iyi tecrit edilmiş kanalizasyonla koruma alanları dışına sevk edilmek şartıyla kaplıca tesisleri kurulabilir (Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu, 2007; Ok, 2007).

Üçüncü koruma alanında; kirlenmeye sebep olabilecek artıkları bulunan kuruluşlara, bu artıkları koruma alanı dışına atmadıkları sürece 10 ve 100 metreyi geçen derin kazılarına onay verilmemelidir (Şekil 5.5.). 3. koruma alanlarında her çeşit tarım yapılabilir, iyi nitelikli kanalizasyona sahip yerleşim alanları kurulabilir, artıkları kirlenmeye sebep olmayacak her çeşit endüstri ve iş yeri kurulabilir (Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu, 2007; Ok, 2007).



Şekil 5.4. ZJA'nın 1. ve 2. koruma alanlarını gösteren harita



Şekil 5.5. ZJA'nın 1, 2 ve 3 numaralı koruma alanlarını gösteren harita

5.3. ZJA’da Öngörülen Yeni Sondaj Noktaları

İnceleme alanında, sıcaklıkları ve debileri değişim gösteren birçok kaynak yer almaktadır. Bunlar aktıkları alanları eski ve yeni olarak traverten ile kaplamıştır/kaplamaktadırlar. Alanda 234 metre derinliğinde bir sondaj kuyusu açılmış olup, yaklaşık üretim debisi 144 l/s, üretim sıcaklığı 48.5°C'dir (Afşin ve Yıldız, 1997).

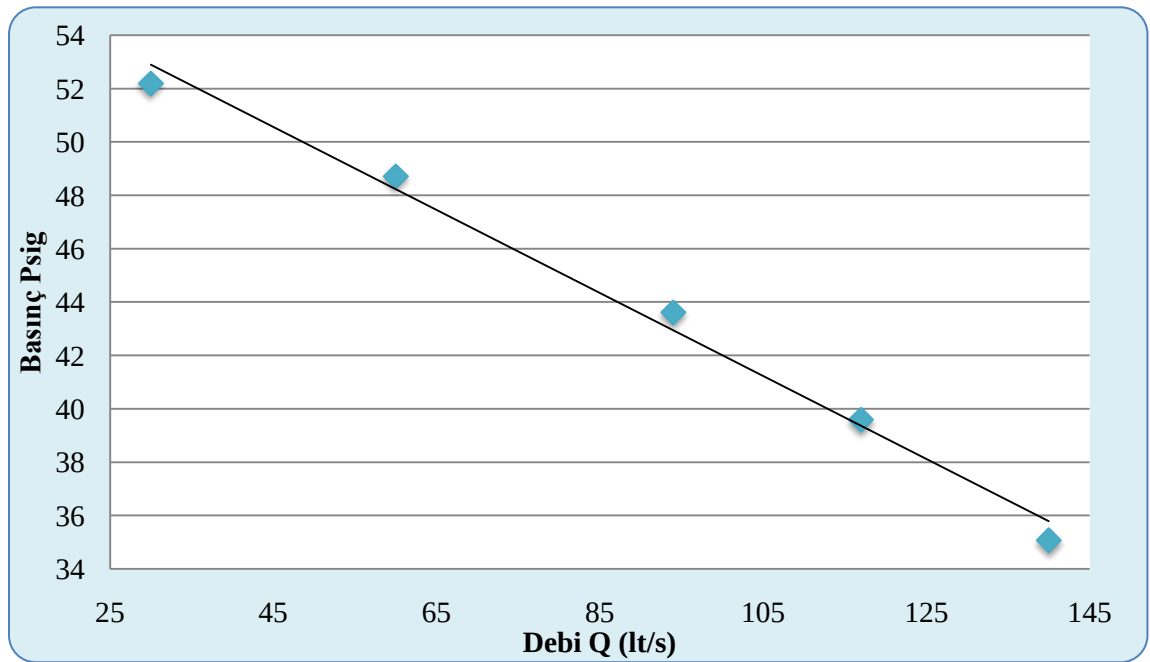
Söz konusu sondaj kuyusunda Aksaray İl Özel İdaresinin İller Bankası Anonim Ortaklığına, Ziga sondajının sıcaklık ve akışkan üretim potansiyelini belirlemek amacıyla yaptırmış olduğu çalışmada, sondaj kuyusunda kuyu içi statik-dinamik sıcaklık ve basınç profilleri alımı ile çok debili basınç düşüm-yükselim testleri gerçekleştirilmiştir.

Kuyunun log derinliği 240 metre olmasıyla birlikte ölçümler de en fazla 175 metre inilebilmiştir. Statik sıcaklık ve basınç ölçümlerine göre; kuyu başı basıncı 49.85 psi_g olup, 175. metreye kadar doğrusal bir artış göstererek 310.87 psi_g değerine ulaşmıştır. Sıcaklık değerleri ise 0 metrede 44.69°C iken profil boyunca artış göstererek 45.27 °C'a yükselmiştir. Dinamik sıcaklık ve basınç ölçümlerine göre; kuyuda 30, 60 ve 94 l/s debi

değerlerinde 6 saatlik üretimler sonucu ölçümler yapılmış ve sıcaklık değerlerinin her üç profilde de benzer olduğu saptanmıştır. Sıcaklık 45.19°C ile başlangıç gösterirken, kuyuda düşük miktarlarda artışlar sürmüştür. En yüksek sıcaklık artışı 130-150 metreler arasında 0.1 °C olup, 175. metrede 45.51°C civarına ulaşmıştır (İller Bankası Anonim Ortaklığı, 2011) (Şekil 5.6.).

Çok debili basınç düşüm ve basınç yükselim deneylerine göre; kuyu üretime açılmadan önce kuyu başı basıncı 49.94 psi_g olarak ölçülmüştür. İlk kademe debisi olan 30 l/s'de 2 saat üretim yapılmış ve kuyu başı basıncı 52.2 psi_g; ikinci kademe debisi olarak 60 l/s'de 5 saat 40 dakika süreyle üretim yapılmış ve kuyu başı basıncı 48.72 psi_g; üçüncü kademe debisi olan 94 l/s'de 8 saat süreyle üretim yapılmış ve kuyu başı basıncı 39.6 psi_g; dördüncü kademe debisi olan 117 l/s'de 20 saat süreyle üretim yapılmış ve kuyu başı basıncı 35.08 psi_g olarak ölçülmüştür. Basınç düşüm deneyi sonunda kuyu üretime kapatılmış ve 22 saat süreyle basınç yükselim değerleri ölçülmüştür. Bu süre sonunda kuyu başı basıncı 46.14 psi_g olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre yapılan hesaplamalardan; 30 l/s ile 140 l/s üretimlerde 110 l/s debi artışına karşılık kuyu başında 17.12 psi düzeyinde basınç azalmış ve özgül verimi 6.42 l/s/psi olarak hesaplanmıştır. Dinamik profil verilerine göre 30, 60, 94 l/s debilerindeki kuyu dibi basınçları bakımından, 64 l/s debi artışına karşılık 3.74 psi düzeyinde basınç azalması saptanmıştır. Kuyu dibi basınç verilerine göre kuyunun özgül verimi 17.11 l/s/psi'dir. Kuyu içi 0 metre basınç değerlerine göre ise 30 ve 94 l/s debi değerlerinde 64 l/s debi artışına karşılık 8.58 psi düzeyinde basınç azalmış ve kuyu içi 0 metre verilerine göre kuyunun özgül verimi 7.46 l/s/psi olarak hesaplanmıştır (İller Bankası Anonim Ortaklığı, 2011).

Dinamik basınç verilerine göre 135-150 metre seviyelerde jeotermal akışkan içerisinde sıvı halde bulunan CO₂ gaz fazına geçmeye başlamakta ve bunun sonucunda CO₂ sudan ayrılırken bir miktar enerji harcamakla beraber sıcaklık 0.2 °C düzeyinde azalmaktadır. Kuyu dibi ve kuyu başı basınç değerlerine göre hesaplanan özgül verim değerlerindeki fark kuyu dibinde tek fazda bulunan jeotermal akışkanın kuyu başında CO₂'nin gaz fazına geçmesiyle iki fazla akış göstermesi, CO₂'nin kısmî basıncının etkisiyle oluşmaktadır. Kuyudan yapılan üretim arttıkça daha çok CO₂ akışkandan ayrılmakta ve gaz fazına geçmektedir. Bunun nedeni ise, CO₂'nin kısmî basıncından dolayı basıncı arttırmasıdır (İller Bankası Anonim Ortaklığı, 2011).

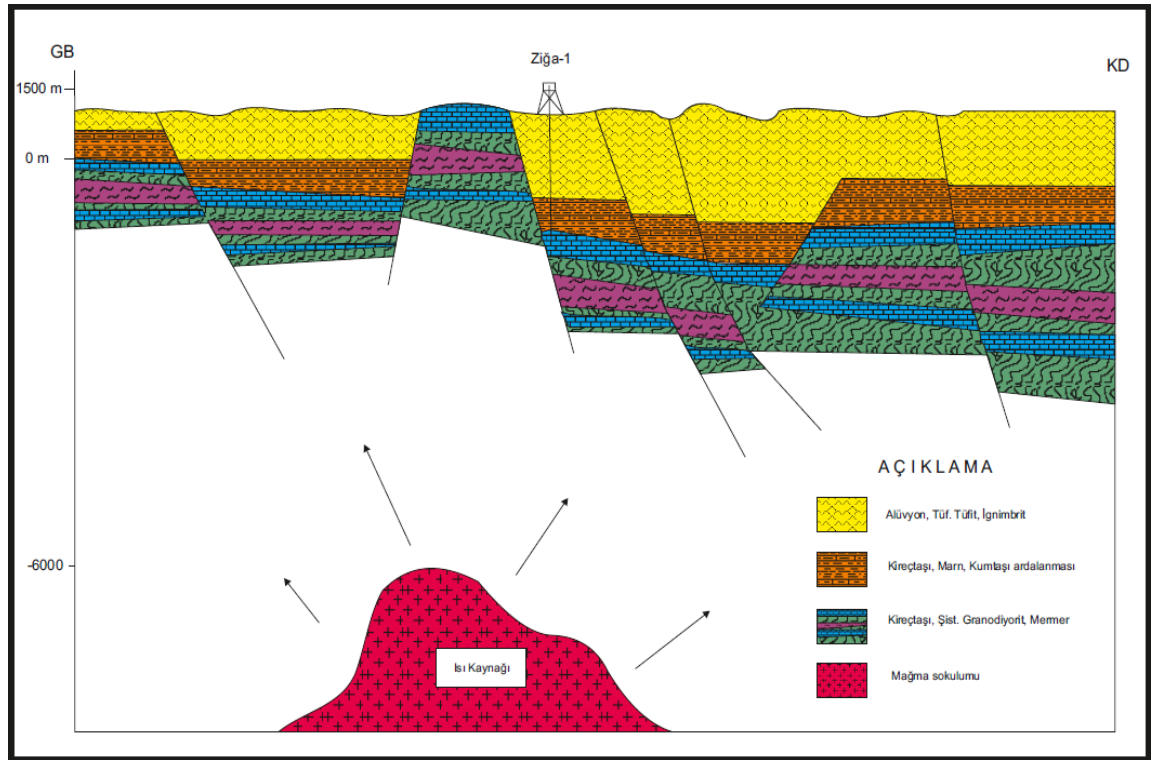


Şekil 5.6. Ziga sondaj kuyusuna ait çok debili basınç düşüm ve basınç yükseli grafiği (İller Bankası Anonim Ortaklığı, 2011)

Söz konusu sondajda yıllar bazında uzun süreli yüksek debilerde üretim yapılması durumunda kuyunun özgül verim değerlerinde bir değişiklik olmayacak, ancak statik ve dinamik basınç/seviye değerleri değişebilecektir. Sıvı faz aşamasının sona erdiği 150. m'den sonra teorik olarak kuyuda kabuklaşma oluşacak ve bunun giderilmesi için kimyasalların 150 metrenin altından basılması uygun olacaktır (İller Bankası Anonim Ortaklığı, 2011).

ZJA'daki Ziga sondaj kuyusu, mevcut durumuyla bile bölgenin sosyo-ekonomik yapısına turizm-otelcilik ve şehir ısıtması açısından fayda sağlamaktadır. Fakat imkânların daha iyiye taşınması düşünülürse yeni üretim ve reenjeksiyon kuyuları açılmalıdır. Bu bağlamda, bölgede yer alan, Paleozoyik yaşlı mermerler, Eosen yaşlı kireçtaşları birincil ve ikincil sıcak su akiferi konumundadır.

ZJA ve çevresinde yapılan çalışmalarda, önemli tektonik hatlara ait doğrultular KD-GB, GD-KB ve K-G olarak ifade edilmektedir. Ayrıca jeofizik yöntemler ile yapılan çalışmalar ısı kaynağının 7500 metre derinliğe kadar yükseldiğini işaret etmektedir (Şekil 5.7.) (Burçak, 2006).



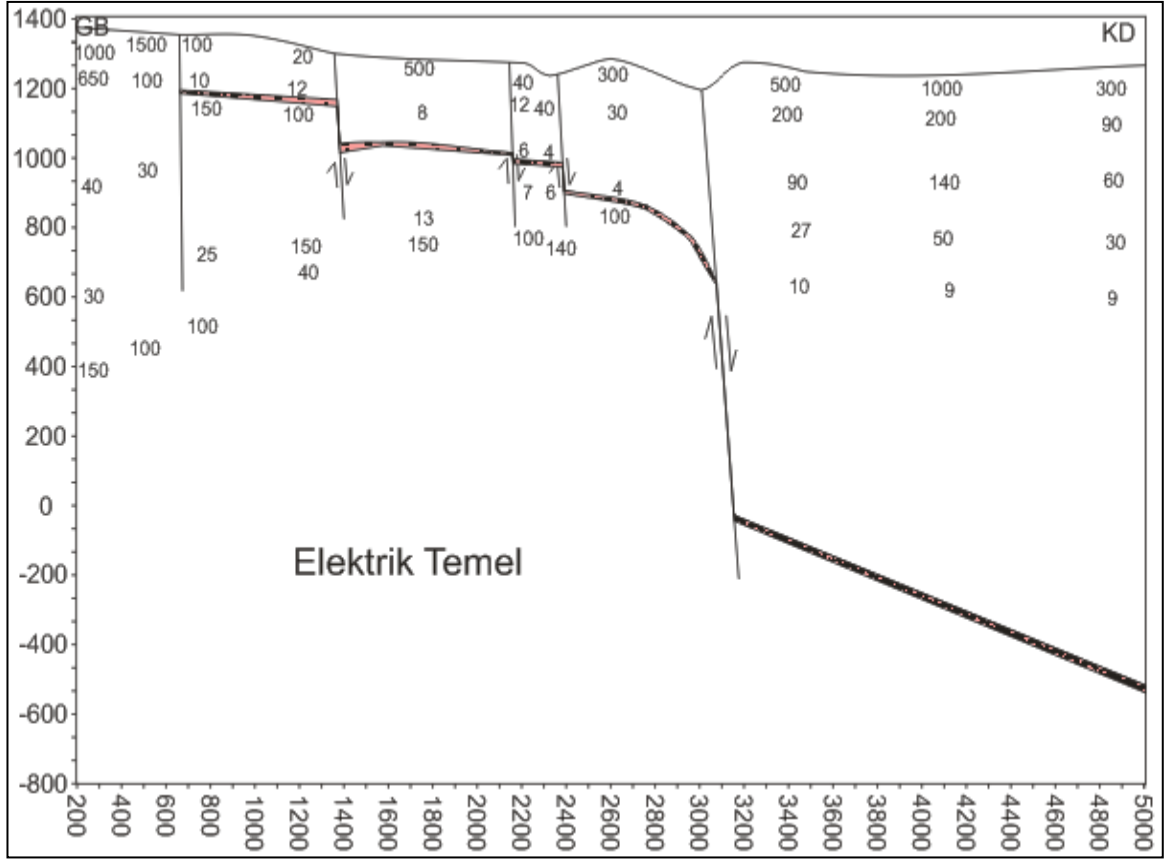
Şekil 5.7. ZJA ve çevresinde yapılmış jeofizik çalışmaları sonucu tanımlanan ısıtıcı kaya (Burçak, 2006)

Ziga kaplıcası ve civarında yapılan jeolojik ve jeofizik incelemelere göre baskın tektonik hatlar KB-GD doğrultuludur. Bu hatlar, havzayı Ziga kaplıcaları civarında KD'ya doğru derinleştirmektedir. Ayrıca Ziga kaplıcaları GB'sinde yer alan Paleozoyik yaşlı kayalar KB-GD uzanım gösteren bir horst şeklindedir (Burçak, 2006).

Sondaj seçim yerleri örtülü alanlarda yapılacak olan jeofizik çalışmaları ile KB-GD tektonik hatlarıyla bunları kesen tektonik hatların (KD-GB, K-G) birleşim yeri özellikle düşen blokları üzerinde seçilmelidir. Bunun nedeni, bölgede etkili olan KB-GD doğrultulu tektonik hatları kesen diğer faylar sistemin su taşıyıcısı olarak kullanılabilmesidir. Ayrıca, sondaj yerleri litoloji haritası üzerinde işlenmiş olan travertenler üzeri ve civarında belirlenmelidir. Çünkü bu tür lokasyonlarda debi olumlu debi sıcaklık artışları mümkündür.

DES haritasına göre, rezistivite ölçümleri bazı noktalarda 1000 ohm değerinden tek rakamlı sayılara düşerek çok iyi değerler verdiği görülmektedir (Şekil 5.8.). Sonuç olarak; çalışmaya konu olan Ziga jeotermal alanı ve civarı jeotermal bir sahanın gerektirdiği özellikleri taşımaktadır. Yüksek debi ve basınca sahip kuyular yapabilmek

için kalın örtü, altere olmamış rezervuar kaya ve yüzeye yaklaşmış ısıtıcı kayanın varlığı iyi araştırılmalıdır.



Şekil 5.8. DES verilerine göre hazırlanmış GB-KD yönlü kesit (Burçak vd., 2007)

5.4. ZJA’da Olası Reenjeksiyon Noktası

Jeotermal suların çevreye bırakılması doğaya zarar vermektedir. İçermiş olduğu yüksek derişimli element ve mineraller yeryüzünde suların barındırabileceği miktarlardan çok fazla olduğundan dengeleri alt üst etmektedir. Bu sular bırakıldıkları alana göre akış süreleri boyunca tarım alanlarına veya içme sularına karışabilmektedir. Bununda hem ekonomiye hem de insan sağlığına zararı dokunmaktadır.

Jeotermal atık sulardan kurtulmanın en iyi yolu, bu suları yer altına geri basmaktır (reenjeksiyon). Bu yöntemle, atık suyun doğaya verdiği zarardan kurtulunmakla beraber jeotermal rezervuardan daha iyi ve daha uzun süreli olarak da faydalanılmaktadır. Bu da; geri basılan atık suyun sıcak su akiferinin beslenimine, basınç ve sıcaklık düşümleri

ile yüzeyde oluşabilecek çökme ve kaymaların önlenmesine katkı sağlaması anlamına gelmektedir (Aksoy, 1997).

Reenjeksiyonun nereden ve nasıl yapılacağı, getireceği maliyet ile başarı şansı çalışmanın başlangıç noktasını oluşturmaktadır (Aksoy, 1997). Bu açıdan, suyun reenjekte edileceği noktanın saptanması, maliyet açısından gayet kûlfetli olmaktadır. Bu durum işletmelerin konuya sıcak bakmasını engellemektedir. Fakat başarılı reenjeksiyonların sağladığı faydalar gözle görülür hale gelmeye başladıktan sonra, faydalı bir yatırım olarak işletme sahiplerinin dikkatini çekmiştir.

Reenjeksiyonun maliyetinin azaltılması bazı çalışmalarla mümkündür. Örneğin, suyun basılacağı noktayı yeni sondaj noktaları ve bunu izleyen kuyudaki sıcaklık düşüm ve artışları aracılığıyla değil de; yapılacak jeofizik çalışmaları ile yerin eş sıcaklık eğrisinin oluşturulması ile beraber havza oluşumunu kapsayacak detaylı bir jeolojik etüt uygulanması ve suyun üretim sonrası kaldığı sıcaklığa göre, belirlenen zonlara enjekte edilmesi gerekir. Zonların belirlenmesinde nirengi olabilecek bazı gradyan sondajlarının açılması gayet muhtemeldir. Bu ayrıntılı çalışmalar ile karşılaşılan masraf ve şanssızlıklar bir nebze daha ortadan kalkabilir. Eldeki bilgiler kullanılarak reenjeksiyon noktası olarak, havzayı kontrol eden büyük fayların yani en derin büyük açılmalı fayların/fay zonlarının olduğu kısımlarda Burçak (2006) tarafından yapılmış jeofizik incelemelerine dayanılarak rezistivitelerin düşüm noktalarında gradyan sondajlar ile başlamak uygun olabilir.

5.5. Ziga Jeotermal Sularının Oluşturabileceği Bazı Çevresel Problemler

Jeotermal kaynak basitçe, yerin derinliklerinden yeryüzüne ulaşan, yoğun element çeşitliğine sahip sulardır.

Bu sular ile birlikte çeşitli bileşimlerde gazlarda (CO_2 , H_2S , NH_3 vb.) buhar ile birlikte yeryüzüne çıkmaktadır. CO_2 yoğun olarak çıkarken fazla solunuma maruz kalınması bayılmalara neden olabilmekte ve bazı gazlar ile birlikte sera etkisi de yapmaktadır.

H_2S , çürük yumurta kokusundan ayırt edilebilir. 20 ppm değerindeki H_2S 'nin devamlı solunması halinde merkezi sinir sistemini etkileyerek ölümlere sebep olabilir. Bitkilerin üzerinde zaman içinde birikmeleri ile yapraklarında pörsümeler ve lekelenmeler görülür

(Topbaş, 1998). Ayrıca, H_2S ve ortamda bulunan sülfürler oksitlenerek kükürt oksitli bileşikler oluşur. Bu oksitler suyla birleşerek asit yağmurlarına neden olurlar. Asit yağmurları da göl ve nehirlerin üzerinde ortamın pH'sını azaltıcı etkisi vardır. Bu da o ortamda yaşayan canlıların ölmesine neden olabilmektedir.

NH_3 ise vücut için zehirli bir gaz olup, solunumla vücuda alınması durumunda boğucu etkiye yol açmaktadır (Topbaş, 1998). Ayrıca atmosferde değişik kimyasal reaksiyonlara girerek azot oksitlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu azot oksitler kükürtler gibi asit yağmurlarına neden olarak nehir ve göllerde yaşayan canlıların ölümlerine neden olabilmektedir (Engin ve Engin, 2008).

Kaynaklarda bulunan bir diğer element bordur (B). Jeotermal kaynaklardaki en etkili kirlilik unsurlarından biridir. İnsanlar için içme suyunda 1 ppm normaldir. Hayvanlar için daha düşük toksite etkisi vardır ki, balıklar için 10 mg/l civarındır. Bitkiler için 4 ppm'e kadar gerekli bir elementtir (Topbaş, 1998). Ziga jeotermal suyu ortalama 40 mg/l B içermektedir.

Arsenik 10 ppb den fazla olduğu zaman karaciğer ve böbreklerde birikmeye neden olur. Uzun süreli etkileşim sonucunda kanser hastalığına yakalanma riski vardır (Topbaş, 1998). Ayrıca, bitkilerde de birikerek, bitkilerin yapraklarının sararmasına ve insanlar tarafından tüketildiği zaman toksite etkisine devam etmiş olmaktadır. Ziga jeotermal suyunda Aksaray İl Özel İdaresine bağlı olarak İller Bankası tarafından yapılmış çalışmada arsenik oranı 884.6 ppb'dir.

Na, K, Mg, Ca ve Cl gibi tuzluluk oluşturacak iyonlarda mevcuttur. Akışkanın bünyesinde tuzluluk fazlaysa, çevre sularına verilmesiyle birlikte canlılar ve toprak etkilenmektedir. Özellikle bazı meyve ağaçları tuzluluğa çok duyarlıdır (Engin ve Engin, 2008).

5.6. Ziga Jeotermal Sularının Sağlık Açısından Değerlendirilmesi

Hemen her bölgesinde sıcak su kaynaklarına sahip olan Türkiye'nin gerek kaynak gerekse termal tesis açısından en zengin kesimi Ege Bölgesidir. İkinci sırayı Orta Anadolu Bölgesi almaktadır.

Balneoterapi olarak adlandırılan tedavi, balneolojik kaynakların banyo, içme, soluma gibi belli bir yöntemle, belirlenmiş doz ve sürede uygulanmasıdır.

Ziga jeotermal suları uzun yıllardır bilimsel biçimde tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Söz konusu suların, romatizma, deri, kadın hastalıkları, iç salgı sistemi, sindirim sistemi, böbrek ve idrar yolu rahatsızlıkları, metabolizma bozuklukları gibi hastalıklara iyi geldiği bilinmektedir (Erdoğan, 2002). İnhalasyon ile solunum sistemi hastalıkları, kulak burun boğaz sistemi hastalıklarının tedavisinde kullanılabilmektedir. Suyun içerisine girildiği zaman oluşan kaldırma kuvveti ile %90 ağırlık azalması, dokunma reseptörlerinin uyarılması ile kaslarda gevşeme ve ağrı baskılanması olur. Kaldırma kuvveti dolaşımın kalbe yönlenmesinde de rol oynamaktadır.

Yeterli ölçüde yararlanılamayan Ziga jeotermal suları, uygun noktalardan yapılacak daha verimli sondajlarla tesis kapasitesi arttırılarak ve gerekli sağlıklı şartlarda tıbbi denetim altında termal turizme kazandırılabilir. Ayrıca seracılık, şehir ısıtmacılığı ve bunun gibi durumlardan insanların hizmetine sunulabilir.

SONUÇLAR

İnceleme alanı, Anatolidler tektoniği içinde yer almaktadır. Temeli Paleozoyik yaşlı mermer, gnays ve şistlerden oluşan Bozçaldağ metamorfikleri oluşturmaktadır. Miyosen ve Pliyosende de aktivitesine devam eden tektonizma ile Pliyosen yaşlı ignimbrit ile tüfler serinin üst kısımlarını oluşturmaktadır.

Yapısal olarak diskordanslar faylar ve çok önemli olmamakla beraber kıvrımlanmalar gözlenmiştir. En belirgin diskordans Paleozoyik ile olan sınırdan olup bir diğeri de inceleme alanı içerisinde Kızılkaya ignimbritleri ile Selime tüfleri arasında yer almaktadır. Alanın şekillenmesinde büyük katkısı olan KB-GD fayları ile bunları kesen KD-GB ve K-G fayları bulunmaktadır.

Ziga civarında yapılan örneklemelerde, jeotermal sularda baskın iyonlar Na^+ ve Cl^- dir. Diğerlerinde HCO_3^- ve Cl^- anyon olarak baskınlık gösterirken katyonlarda Ca^{+2} ve Na^+ olarak değişkenlik göstermektedir. ZJA'da jeotermal sular için sıcaklıklar 33-45 °C arasında değişkenlik gösterirken, diğer sular için 10-20 °C arasında değişmiştir. Piper diyagramları üzerinde incelenen sular; Ziga civarındaki örneklemeler, karbonat olmayan alkaliliği %50'den büyük olan sular sınıfına girmiştir.

Ziga jeotermal suları giggenbach üçgen diyagramına göre olgun değildir. Fakat örneklemelerin tümü olgun olmayan sular kısmında kalarak, rezervuarda sıcaklık ile su-kayaç etkileşiminin zaman içinde kurulmuş dengesi olmadığını göstererek katyon jeotermometrelerinin kullanılmasının sağlıklı sonuçlar vermeyeceğini belirtmektedir. İki farklı dönemde ölçümleri alınmış Ziga Sondaj ve tek zamanlı ölçülmüş Acıgöl Sıcaksu örneklemesine göre; Ziga Sondajı için hazne kaya sıcaklığı en yüksek 91°C, Acıgöl Sıcaksu için 131 °C olarak hesaplanmıştır.

Doygunluk indislerine göre; tüm sular jips, anhidrit ve halite hiçbir örnekleme için doymun olmayıp çözücü durumdadır. Ziga sondajı suyu tüm örneklemelerde kalsit, aragonit, dolomite kuvars ve minerallerine doymundur.

$\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiklerinde güncel yağışların etkileri tüm örneklemeler üzerinde görülmektedir. Ziga sondaj örneklemelerinde sıcaklığın ^{18}O üzerindeki etkisi

görülmemektedir. Genel bir ifade olarak örneklemeler Kasım ayı ölçümlerinde AkdenizMSD'na yaklaşmıştır.

3H değerleri açısından 0.5 TU değerlerinde olduğundan güvenilir bir değerlendirmeye uygun, kasım ayında beslenme kotu en yüksek olan Acıgöl Sıcak suyu, mayıs ayında Ziga Sıcak suyudur. Helvadereden yapılan örneklemeler ise yüksek TU miktarları ile güncel su içerikli olabilir.

^{14}C - $\delta^{13}\text{C}$ grafiğine bakıldığında; Acıgöl Sıcak suyu ve Ziga Sıcak suyu'nun içerdikleri ^{14}C miktarları düşükken yani güncel su karışımının az olduğu, Helvadere'ye ait örneklemede, ihtiva ettiği ^{14}C miktarı fazladır. Bu hesaplamalara göre, Helvadere 18530 yıl, Acıgöl Sıcak suyu 41970 ve Ziga Sıcak suyu ise 43210 yaşında bulunmuş, abartılı olmakla birlikte bu yaşlar, sık dolaşımli suların derin dolaşımli olan sulardan ayrılmasına yardım etmektedir.

ZJA'daki travertenlerden yapılan $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ analizleri, bu travertenlerden eski oluşumlu olanların yenilere göre daha yüksek sıcaklıklarda oluştuğunu desteklemektedir.

Traverten çökeliminde fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerin uygunluğunun büyük önemi vardır. Burada pH, iklim (sıcaklık, yağış, buharlaşma vb.), CO_2 miktarı ve kısmi basıncının etkisi çok fazladır. Sularda CO_2 kaybı ile pH yükselmekte ve çözünürlük düşmektedir. Çözünürlük düştüğü için CaCO_3 doygunluğu artan sular bir süre sonra bu iyonları taşıyamaz hale gelmekte ve traverten çökelimi gerçekleşmektedir. Ziga ve çevresinde 3 çeşit olarak fiziksel açıdan sınıflandırılan traverten oluşumları gözlenmiştir. Alanda yapılan çalışmalarda travertenler içerisindeki canlıların diyatome oldukları da saptanmıştır.

Pamukkale ve Karahayit kaynaklarında olduğu gibi, Ziga termal sularının oluşturduğu travertenler ile görsel ve turistik açıdan bölgenin değerini arttıracak düşünülmüş olan projenin inşaat aşaması geçilerek, traverten oluşumuna başlanmıştır. Belirlenen bazı noktalarda CO_2 , pH ve T değerlerinin değişimleri irdelenmiştir. 10 günlük süre dilimi içerisinde 1.5-2mm civarında oluştuğu belirlenmiştir.

İnceleme alanı jeotermal sisteme uygunluk göstermektedir. Rezervuar kayaları, ısıtıcı kaya ve basınç sağlayıcı olarak örtü kaya alanda mevcuttur. Burçak vd., (2007) tarafından yapılmış olan manyeto tellürik çalışmalarında 7500 m derinliğine kadar ısıtıcının girmiş olduğu belirtilmiştir.

Ziga jeotermal sularının koruma alanı olarak; kaynak alanlarının olduğu ve traverten çökeliminin meydana geldiği alanlar ile fayların kesişim noktaları alınmıştır. İkinci koruma alanı olarak; geçirimli zonlar sınır içerisinde bırakılmıştır. Üçüncü koruma alanı olarak; beslenme çizgisi düşünülerek geniş bir coğrafya çember içerisinde bırakılmıştır.

İnceleme alanındaki kuyuda, sıvı faz ayrışmasının sona erdiği 150. m'den sonra teorik olarak kabuklaşma oluşacaktır. Yapılmış deneylerde, kuyunun daha yüksek debilerde yıllar bazında üretim yapması durumunda özgül verimi açısından bir değişiklik olmayacağı, ancak statik ve dinamik basınç/seviye değerlerinin değişebileceği tespit edilmiştir. Fakat alandan daha fazla verim alınması için bu kuyunun daha derin yapılması yada coğrafyanın şekillenmesinde büyük etkisi olan aktif tektonik hatların olduğu bölgelerde, özellikle bu tektonik hatların kesiştiği bölgelerde ve bir yardımcı etki olarak da yeni traverten alanlarında (suyun yüksek debide alınabilme ihtimali) yeni sondaj noktaları açılabilir. Ayrıca Ziga sıcak ve mineralli suları turizm ve sağlık açısından tıbbi denetim eşliğinde kullanılabilir özelliktedir.

Reenjekte edilmeyecek olan jeotermal sular insan ve çevre sağlığı açısından zararlı olacaktır. Sahanın verimi için de, reenjekte edilmesi gerekmektedir. Olası reenjeksiyon noktaları için, yapılacak detaylı jeolojik ve jeofiziksel incelemelerin ardından sonuca gidilmelidir. Ancak mevcut bilgiler ile havzayı içerisine alan derin/büyük fayların olduğu kısımlarda reenjeksiyon denenebilir.

KAYNAKLAR

- Afşin, M. ve Baş, H., 1997. Bazı önemli soğuk ve sıcak su kaynaklarının hidrokimyasal ve izotopik incelemesi ve kökensel yorumu (Aksaray-Niğde arası),TÜBİTAK-195Y-009 numaralı proje, 64 s. (yayımlanmamış).
- Afşin, M. ve Elhatip, H., 2000. Traverten çökeltten Tuzlusu (Aksaray) sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik açıdan incelenmesi, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, No: 22, 63-78.
- Afşin, M. ve Yıldız, M., 1997. Ziga kaplıcası ve çevresinin jeolojik ve hidrojeolojik incelenmesi, N.Ü. Aksaray Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 10 s, (yayımlanmamış).
- Afşin, M., Erdoğan, N., Gürdal, H., Gürel, A., Kavurmacı, M., Onak, A. ve Oruç, Ö., 2007. Orta Anadolu'daki sıcak ve mineralli suların ve travertenlerin hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesi ve suların tıbbî ve biyoiklimsel değerlendirilmesi, TÜBİTAK- YDABÇAG 104Y197, 119 s, (yayımlanmamış).
- Akdoğan, N. ve Burçak, M., 2002. Orta Anadolu Hasandağı volkanizması kuzeyinin jeoloji, jeofizik verilerin korelasyonu ile jeotermal olanaklarına yeni bir bakış, Orta Anadolu Jeotermal Enerji ve Çevre Sempozyumu, Aksaray, Bildiriler Kitabı, No: 1, Aksaray, 45-57.
- Akdoğan, N., 1989. Aksaray İhlara Vadisi jeotermal enerji aramaları gravite etüt raporu, MTA, Jeofizik Rapor No: 8599, Ankara.
- Aksoy, N., 1997. Kızıldere (Denizli) jeotermal enerji sahasının reenjeksiyon olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 32-75.
- Arnorsson, S., 2000. Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use, IAEA publication, Vienna, 351 pp.
- Atabey, E., 2002. Çatlak Sirt Tipi Laminallı Traverten-Tufa Çökelleri Oluşumu, Mikroskopik Özellikleri ve Diyajenezi, MTA Dergisi, No: 123-124, Kırşehir, 59-65.
- Ayhan, A., ve Papak, İ., 1988. Aksaray-Taşpınar-Altınhisar-Çiftlik Delihebil (Niğde) civarının jeolojisi, MTA, Rapor No: 2324, Ankara.
- Batum, İ., 1975. Petrografische und Geochemische Untersuchungen in den Vulkangebieten Göllü Dağ and Acıgöl (Zentralanatolie. Türkei) Doktora Tezi, Albert-Luwinas Üniv. Friburg, Almanya, 1-101.
- Bayarı, C.S., Özyurt, N.N. ve Kilani, S., 2005. Konya kapalı havzası yeraltı suyunda karbon-14 yaş dağılımı, (II. Ulusal hidrolojide izotop teknikleri sempozyumu), İzmir, Bildiri Kitabı, 147-168.
- Bayarı, S. ve Kurttaş, T., 1997. An important in deposition of Karstic Travertines observation and natural bridge Yerköprü Travertines, Aladağlar, Eastern Tourids-

- Turkey, Int. Symp. and Field Sem. On Karst Waters and Enviromental Impacts, Rotterdam, 269-280.
- Beekman, P.H., 1966. Hasandağı Melendiz Bölgesinde Pliyosen ve Kuvaterner Volkanizma Faaliyetleri, MTA Dergisi, No: 66, Ankara, 88-103.
- Bögli, A., 1980. Karst hydrology and physical speleogy. Verlag, Berlin.
- Burçak, M., 2006. Aksaray jeotermal sahaları (Acıgöl-Ziga-Şahinkalesi) jeotermal ısı kaynaklarının araştırılması ve jeotermal sistemlerin kavramsal modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, 58-78.
- Burçak, M., Hacısalihoğlu, Ö., Kılıç, A.R. ve Özkan, H., 2007. Aksaray Ziga, Acıgöl, Şahinkalesi jeotermal sahaları jeoloji-jeofizik-jeokimya etüt raporu, MTA, Rapor No: 10994, Ankara, 20-45, (yayımlanmamış).
- Burçak, M., 2009. Aksaray jeotermal sahalarında (Acıgöl-Ziga-Şahinkalesi) su kimyası ve izotopik çalışmalar, MTA Dergisi, No: 138, Ankara, 45-68.
- Chafetz, H.S. ve Folk R.L., 1984. Travertines, Depositional Morphology and the Bacterially Constructed Constituents, J. Sed. Pet. 54 (1), 289-316.
- Clark, I. ve Fritz, P., 1997. Environmental isotopes in hydrogeology, Lewis Publishers, 328pp.
- Craig, H., 1961. İstotopic variations in meteoric waters. Science, Vol 133, 1702-1703.
- Dirik, K. ve Göncüoğlu, M.C., 1996. Neotectonic characteristics of Central Anatolia, Int. Geology Review, S. 38, 807-817.
- Drake, J.J. ve Wigly, T.M.L., 1975. The effect of climate on the chemistry of carbonate groundwater, Water Resources Research, vol 11, no:6, USA, 62-958.
- Duru, G., 2006. Ziga-Yaprakhisar (Aksaray) sıcak ve mineralli kaynak alanlarındaki traverten çökeliminde etkili olan faktörlerin su kimyası ve izotopik yöntemlerle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Müh. ABD, 59-107, (yayımlanmamış).
- Ekmekçi, M., Günay, G., Şimşek, Ş., Yeşentener, C., Elhatip, H. ve Dilsiz, C., 1995. Pamukkale sıcak sularının traverten çökeltme özelliklerinin CO₂ kaybı-çökelme kinetiği ilişkileri açısından irdelenmesi, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, No: 17, Ankara, 3-4.
- Ellis, A.J. ve Mahon, W.A.J., 1977. Chemistry and geothermal systems, Academic Press, New York, 392 pp.
- Emeis, K.C., Richnow, H.H. ve Kempe, S., 1987, Travertino formation in Plitvice National Park, Chemical Biological Control, Sedimentology, Vol. 3, Yugoslavia, 595-609.

- Engin, A. ve Engin, İ.C., 2008. Jeotermal kaynakların kullanımıyla oluşabilecek çevre sorunları ve Afyonkarahisar ili üzerine bir inceleme, Termal ve Maden Suları Konferansı, Afyonkarahisar, Bildiriler Kitabı, 332-344.
- Ercan, T., Matsuda, J., Nagao, K. ve Kita, I., 1992. Noble gas isotopic composition in gas and water samples from Anatolia Proc. Of; Geology of The Black Sea Region, September 7-11, 1992, Turkey, Publ. of MTA General Directorate, Ankara, 197-206.
- Erdoğan, N., 2002. Orta Anadolu termomineral sularının fiziksel kimyasal ve tıbbi balneolojik değerlendirilmesi, Orta Anadolu Jeotermal Enerji ve Çevre Sempozyumu, Aksaray, Bildiriler Kitabı, 95-100.
- Ford, T.C.D. ve Williams, P.W., 1989. Karst geomorphology and hydrology, Unwin Hyman Ltd., London, 601 pp.
- Fournier, R.O., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems, *Geothermics*, 5, 41-50.
- Freeze, R.A. ve Cherry, J.A., 1979, Groundwater, Prentice hall, Inc. Englewood Cliffs, 07632, New Jersey, 604 pp.
- Giggenbach W.F., 1988. Geothermal solute equilibria, derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W. F., 1991. Collections 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, Rome, 144-199.
- Göçmez, G., 1994. Aksaray sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi, S.Ü. Fen Bil. Enst., 150 s.
- Göncüoğlu, M.C., Erler, A., Toprak, V., Yalınız, K., Olgun, E. Ve Rojay, B., 1992. Orta Anadolu masifinin batı bölümünün jeolojisi, Bölüm 2: Orta Kesim, TPAO, Rapor No: 3535, 76 s, (yayımlanmamış).
- Gupta H. ve Roy S., 2007. Geothermal energy, an alternative resource for the 21st century, Elsevier, The Netherlands, 279 pp.
- Gürel, A. ve Yıldız, A., 2007. Diatom communities, lithofacies characteristics and paleoenvironmental interpretation of Pliocene diatomite deposits in the Ihlara-Selime plain (Aksaray, Central Anatolia, Turkey), *Journal of Asian Earth Sciences* (Elsevier), 170-180.
- Herman, J.S. ve Lorah, M.M., 1987. CO₂ outgassing and calcite precipitation in falling pring creek, *Chemical Geology*, Virginia, V. 62, 251-262.
- IAEA, 1981. Stable isotope hydrology. Deuterium and in oxygen-¹⁸ water cycle. Ed. J.R. Gat, R. Gonfiatini, International Atomic Agency, Technical Reports, No: 210, Vienna, 1-339.

- İller Bankası, 2011. Aksaray İl Özel İdaresi Ziga AZ-1 numaralı jeotermal kuyusu test ve ölçüm raporu, İLB-JTE, Rapor No: 163, Ankara, 1-13, (yayımlanmamış).
- Karabacak, V., 2007. İhlara Vadisi (Orta Anadolu) travertenlerinin genel özellikler ve kabuksal deformasyon açısından önemleri, Eskişehir Osmangazi Üniv. Müh. Mim Fak. Dergisi, No: 20(2), 65-82.
- Kaynak, M., 1989. Niğde-Aksaray jeotermal enerji aramaları jeofizik manyetik etüdü, MTA, Rapor No: 8921, (yayımlanmamış).
- Ketin, İ., 1969. Tectonic units of Anatolia, MTA Dergisi, No:66, Ankara, 24-33.
- O'Neil, J.R., Clayton, R.N. ve Mayeda, T.K., 1968. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates, J. Chem. Phys., 51, 5547-5558.
- Ok, G., 2007. Kozaklı (Nevşehir) ve terme (Kırşehir) sıcak ve mineralli sularının su kimyası ve izotopik yöntemlerle karşılaştırılması, tıbbi ve biyoiklimsel değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, NÜ Fen Bilimleri Enst., Niğde.
- Öktü, G. ve Kalkan, İ., 1984. Niğde-Aksaray-Ziga kaplıcasının hidrojeoloji incelemesi, MTA, Rapor No: 7505, 33 s, (yayımlanmamış).
- Ölmez, E. ve Gevrek, A.İ., 1991. Aksaray-Sofular-1(SFG1) ve Sofular-2 (SFG2) ile Ziga-Belisırma 1-2 (ZBG1 ve ZBG2) gradyan sondajları kuyu bitirme raporu, MTA, Rapor No: 9194, (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 report 95-4227, 143 pp.
- Pentecost, A., 2007. Tufa and travertine, In: Nash, D., McLaren, S. (Eds). Geochemical sediments and Landscapes, Blackwell Publishing, Oxford, 173-199.
- Pentecost, A., 2005. Travertines, Springer Verlag, Heidelberg, 445 pp.
- Picknett, R.G., Bray, L.G. ve Stenner. R.D., 1976. The chemistry of cave waters, The Science of Speleology, T.D. Ford, C.D., Cullingford (eds.) Academic Press, London.
- Sayın, M. ve Çifter, C., 2002. Hidrojeolojide izotop tekniklerinin kullanılması. Orta Anadolu Jeotermal Enerji ve Çevre Sempozyumu, Aksaray, Bildiriler Kitabı, 160-169.
- Schuster, E.T. ve White, W. B., 1971. Seasonal fluctuations in the chemistry of limestone springs; A possible means for characterizing carbonate aquifers, Jour. of Hyd., Vol 14, 93-128.
- Şahinci, A., 1991. Jeotermal sistemler ve jeokimyasal özellikleri, Reform Matbaası, No: 37/4, Beyler-İzmir, 247s.

- Şimşek, Ş., 1993. Ihlara (Kapadokya) özel koruma bölgesinin ve bölgede yer alan termal kaynakların hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal araştırması ve korumaya ilişkin öneriler, Özel Çevre Koruma Kurumu Teknik Raporu, No: 6, Ankara, 116 s.
- Şimşek, Ş., Doğdu, M. ve Akan, B., 1997. Hidrojeotermometreler, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü, Ders Notları, Ankara, 54s.
- T.C. Resmi Gazete, Jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular kanunu uygulama yönetmeliği, 26727, 11.12.2007, Ek-8.
- Tokgöz, T. ve Kaya, C., 1988. Aksaray Sofular, Acıgöl ve Ziga sahaları jeotermal enerji aramaları, Jeofizik CSAMT Etüdü, MTA, Rapor No: 8560.
- Topbaş, M.T., 1998. Çevre kirliliği, Çevre Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- Toprak, V., 1998. Vent distribution and its relation to regional tectonics, Cappadocian Volcanics, Turkey Jour. Volcanol. Geoterm. Res., No: 85, 55-68.
- Toprak, V., 2000. Tuz Gölü fay kuşağı Hasandağı kesiminin özellikleri. Haymana-Tuz Gölü-Ulukışla Basenleri. Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Sayı 5.
- Turi, B., 1986. Stable isotope geochemistry of travertines, in: B.P. Fritz, J.C. Fontes (eds), Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Amsterdam (Elsevier), 207-235.
- Uygun, A., 1981. Tuzgölü havzasının jeolojisi, evaporit oluşumları ve hidrokarbon olanakları, İç Anadolunun Jeolojisi Sempozyumu, Ankara, Bildiriler Kitabı, 66-71.
- Viles, H.A. ve Goudie, A.S., 1990. Tufas travertines and allied carbonate deposits, Prog. Phys. Geogr, No: 14, 19 s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hulusi Buğrahan DEMİREL

Doğum Yılı : 08.07.1985

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği ABD, 2008

Yüksek Lisans: Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği ABD, 2012

Haberleşme Bilgileri

Adres : Gayret Mahallesi, Ahmet Hamdi Sokak, 23/9 Yenimahalle-ANKARA

Telefon : 0507 357 86 70

E-posta : demirelhb@gmail.com