



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

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**HÜDAİ (SANDIKLI-AFYONKARAHİSAR) JEOTERMAL SULARININ
KÖKENİNİN VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KULLANIMININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuğba DAĞ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Mustafa AFŞİN

OCAK, 2012

AKSARAY

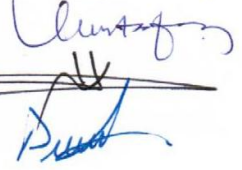
Her hakkı saklıdır

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

Tuğba DAĞ'ın "Hüdaı (Sandıklı-Afyonkarahisar) Jeotermal Sularının Kökeninin ve Sürdürülebilir Kullanımının Değerlendirilmesi" başlıklı Yüksek Lisans tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04.01.2011 tarih ve 2012/01-4 sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 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 : Yrd. Doç. Dr. R. Pelin BİLGEHAN (Aksaray Üniversitesi)

İmza



Tezin Savunulduğu Tarih : 02.01.2012

ONAY

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04.01.2012 tarih ve 2012/01-4 sayılı kararı ile **Tuğba DAĞ'ın** Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesi alması onaylanmıştır.



Doç. Dr. Selçuk REİS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Günümüzde giderek artan enerji ihtiyacı ve çevre kirliliği sorunları jeotermal enerjiye olan ihtiyacın artmasına sebep olmuştur. Türkiye, jeotermal kaynaklarının çok sayıda olması nedeniyle jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyanın sayılı ülkelerinden biri haline gelmiştir. Çalışmaya bu açıdan bakıldığında, Türkiye'nin önemli jeotermal enerji merkezlerinden biri olan Hüdai Jeotermal Alanı'nın hidrojeoloji, hidrokimyasal ve izotopik açıdan değerlendirilmesi, alanın enerji potansiyelinin ortaya konması akademik literatüre belli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma TÜBİTAK ÇAYDAG 110Y034 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bu tezin hazırlanmasında bana yardımcı olan, emeğini hiçbir zaman esirgemeyen, kendisinden çok şey öğrendiğim saygıdeğer hocam Prof. Dr. Mustafa AFŞİN ve değerli eşi Reyhan AFŞİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezi 110Y034 numaralı proje ile mali açıdan destekleyen Türkiye Bilimsel ve Araştırma Teknik Kurumu (TÜBİTAK)'na şükranlarımı sunarım.

Haritaları hazırlamamda bana yardımcı olan çalışma arkadaşım Arş. Gör. Esra ÖNDE (Aksaray Üniversitesi)'ye, tez ile ilgili düzenlemelerde yardımcı olan Öğr. Gör. M. Murat KAVURMACI (Aksaray Üniversitesi) ve Uzman Murat KALKAN'a (Aksaray Üniversitesi), manevi desteklerini hissettiğim başta Öğr. Gör. Dürdane YILMAZ (Aksaray Üniversitesi), Arş. Gör. Emine BAŞTÜRK (Aksaray Üniversitesi), Arş. Gör. Hacer CANBAŞ (Aksaray Üniversitesi), Arş. Gör. Tülin SANDIKÇI (Aksaray Üniversitesi), Arş. Gör. Burcu ÇİÇEK (Aksaray Üniversitesi), Arş. Gör. Özer SEVİM (Aksaray Üniversitesi)'e, Jeoloji Mühendisi arkadaşlarım Yusuf BİLEN ve Yılmaz M. EMRE'ye teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca yanımda olarak beni yalnız bırakmayan, bana güç veren aileme ve hayat arkadaşım Mehmet GÜLTEKİN'e teşekkür ederim.

Bu tezi anneme ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

SAYFA NO

ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER DİZİNİ.....	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	1
1.2. İnceleme Alanı.....	1
1.3. Veri Toplama ve Yöntem.....	2
1.4. Kaynak Özetleri.....	3
2. JEOLOJİ.....	6
2.1. Stratigrafi.....	6
2.1.1. Prekambriyen.....	6
2.1.1.1. Kestel Çayı Porfiroid Birliği (Prk).....	6
2.1.2. Paleozoyik.....	8
2.1.2.1. Hüdai formasyonu (€h).....	8
2.1.2.2. Çaltepe formasyonu (€ç).....	9
2.1.2.3. Seydişehir formasyonu (€s).....	11
2.1.3. Mesozoyik.....	12
2.1.3.1. Karatepe formasyonu (Tr-Jk)	12

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (DEVAM)

2.1.3.2. Derealanı formasyonu (Jd)	13
2.1.3.3. Akdağ formasyonu (Jka).....	14
2.1.4. Senozoyik.....	15
2.1.4.1. Sandıklı formasyonu (Ts).....	15
2.1.4.1.1. Soğucak üyesi (Tss).....	15
2.1.4.1.2. Sandıklı lav üyesi (Tsl).....	16
2.1.4.2 Hamamçayı formasyonu (Plh).....	17
2.1.4.3. Alüvyon (Qal).....	18
2.1.4.4. Traverten (Qtr).....	18
2.2.Yapısal Jeoloji.....	20
2.2.1. Kıvrımlar.....	20
2.2.2. Faylar.....	20
2.3. Paleocoğrafya.....	21
2.4. Jeofizik Çalışmaları.....	23
2.5. Bölgenin Depremselliği.....	23
3. HİDROJEOLJİ.....	24
3.1.Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	24
3.1.1. Geçirimli birimler.....	24
3.1.2.Yarı geçirimli birimler.....	27
3.1.3.Geçirimsiz birimler.....	27
4. SU KİMYASI DEĞERLENDİRMESİ.....	29
4.1. Suların Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	29
4.2. Suların Analiz Sonuçlarının Grafiklerle Gösterilmesi.....	35
4.2.1.Yarı logaritmik Schoeller diyagramları.....	35
4.2.2. Piper ve Durov diyagramları.....	38

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (DEVAM)

4.2.3. Su kimyası fasiyesleri.....	41
4.2.4. Suların metal içeriklerinin değerlendirilmesi.....	41
4.2.5. Doygunluk indisleri.....	45
4.3. Sularda Radyoaktivitenin Değerlendirilmesi.....	49
4.3.1. Radon gazı ve kökeni.....	49
4.3.2. İnceleme alanındaki suların radon gazı değerlendirmesi.....	51
4.3.3. Jeotermal sularda radon tedavisi.....	52
5. İZOTOP HİDROLOJİSİ.....	53
5.1. İzotopların Jeotermal Araştırmalarda Kullanılması.....	53
5.2. İnceleme Alanındaki Suların İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi.....	53
5.2.1. $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi.....	53
5.2.2. $\delta^{18}\text{O}$ - ^3H ilişkisi.....	56
5.2.3. ^3H -Cl ilişkisi.....	56
5.2.4. $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{14}\text{C}$ ilişkisi.....	59
5.2.5. $\delta^{34}\text{S}$ - SO_4 ilişkisi.....	64
6. HÜDAİ JEOTERMAL ALANININ POTANSİYELİ ve SÜRDÜRÜLEBİLİR KULLANIMI.....	68
6.1. Jeotermal Suların Hazne Kaya Sıcaklıkları.....	69
6.1.1. Karışım Modelleri.....	73
6.1.2. HJA'nın kavramsal modeli.....	74
6.2. HJA'da Koruma Alanlarının Belirlenmesi.....	75
6.2.1. I. koruma alanı.....	75
6.2.2. II. koruma alanı.....	76
6.3. Reenjeksiyon.....	76

İÇİNDEKİLER DİZİNİ (DEVAM)

6.3.1. HJA’da reenjeksiyon çalışmaları.....	77
6.4.2. Hüdai Kaplıcası ve termal turizm.....	79
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	80
8. KAYNAKLAR.....	82
9. EKLER.....	88
EK-1 HJA ve çevresinin jeoloji haritası.....	90
EK-2 HJA ve çevresinin koruma alanı haritası.....	92
10. ÖZGEÇMİŞ.....	93

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HÜDAİ (SANDIKLI-AFYONKARAHİSAR) JEOTERMAL SULARININ KÖKENİNİN VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tuğba DAĞ

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa AFŞİN

Bu çalışmada, Hüdai Jeotermal Alanı (HJA) ve çevresindeki jeotermal sular; jeolojik, hidrojeolojik, hidrokimyasal, izotopik amaçlarla araştırılmıştır. Alanın jeotermal enerji potansiyeli, hazne kaya sıcaklığı ile birlikte değerlendirilmiştir.

HJA, Sandıklı, Afyonkarahisar’ın güneybatısında yer almaktadır. İnceleme alanının en yaşlı birimi Prekambriyen yaşlı şistlerdir. Paleozoyik yaşlı kayalar kuvarsit, şist, kireçtaşı ve dolomitlerden oluşmuştur. Mesozoyik, çakıltası, marnlı kumtaşı, silttaşı ve karstik kireçtaşlarıyla temsil edilir. Tüf, yastık lavlar, andezit, çakıltası, kum, silt, kil araldanması ve Kuvaterner yaşlı alüvyon Senozoyik birimlerini oluşturur. Alüvyon, traverten, çakıltası, kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri geçirimli; kuvarsit ve dolomit seviyeleri yarı-geçirimlidir. Şeyl, silttaşı ve marn seviyeleri ise geçirimsizdir. Jeotermal ve soğuk suların hidrokimyasal ve izotopik özelliklerini tanımlamak amacıyla çalışma alanından su örnekleri alınmıştır. İnceleme alanındaki suların sıcaklık (T), pH, özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri iki dönemde sırasıyla; arasındadır. Genel olarak, sular sırasıyla Ca-Mg-HCO_3 , Ca-Mg-SO_4 ve $\text{Na-Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ gibi üç farklı hidrokimyasal fasiyeste toplanmıştır. İzotop sonuçlarına göre tüm sular meteorik kökenlidir. $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri sırasıyla -7.45 ile -10.81 ve -54 ile -75.22 arasındadır. Jeotermal sular uzun ve derin dolaşım süresine sahip iken, soğuk sular kısa ve sık dolaşımındadır. Jeotermal suların hazne kaya sıcaklıkları 24-107°C arasındadır. Tüm soğuk suların $\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB) değerleri (-22.1- 15.1) jeotermal suların $\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB) değerlerinden (-0.6-0.2) düşüktür. Jeotermal suların yüksek ^{14}C görünür yaşları modern biyogenik karbonun katkısına işaret edebilir. $\delta^{34}\text{S}$ değerlerine göre, jeotermal sularda kömür, kireçtaşı, volkanik sülfür katkısı vardır. Günümüzde HJA; balneoterapi, ısıtma, termal turizm gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

2012, 93 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Sandıklı, Jeotermal sular, İzotop, Su kimyası

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE ASSESSMENT OF ORIGIN AND SUSTAINABLE USE OF THE HUDAI (SANDIKLI- AFYONKARAHİSAR) GEOTHERMAL WATERS OF TURKEY

Tuğba DAĞ

T.R.

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

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa AFŞİN

In this study, geothermal waters in The Hudai Geothermal Field (HJA) and its vicinity have been investigated for geological, hydrogeological, hydrochemical, isotopic purposes. Potential geothermal energy of the field has been evaluated by the reservoir temperatures of the geothermal waters.

HJF is located in southwestern of Sandıklı, Afyonkarahisar. In the investigation area, the oldest geologic units are schist of Precambrian age. Paleozoic rocks consist of quartzite, schist limestone, and dolomite. Mesozoic is represented by conglomerate, marly sandstone, siltstone and limestone which is karstic and blocky. Tuff, pillow lava, andesite, alternation of conglomerate, sand, silt, clay and travertine, and alluvium of Quaternary age forms of Senozoic units. Alluvium, travertine, conglomerate, sandstone and limestone levels are permeable; quartzite and dolomite levels are semi-permeable units. However shale, siltstone, claystone and marl levels are impermeable. To determine hydrochemical and isotopic features of both geothermal and cold waters, samples were taken from the locations in the study area. Generally, the waters have assembled in three different hydrochemical facies, such as Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-SO₄ and Na-Ca-SO₄-HCO₃, respectively. All waters are of meteoric origin to the isotope results. The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values range from -7.45 to -10.81 and -54 to -75.22, respectively. Geothermal waters have long residence time and deep circulation. whereas cold waters have short residence time and shallow circulation. The reservoir temperatures of the geothermal waters are between from 24 to 107 °C. $\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB) values of all cold waters (-22.1- 15.1) are lower than geothermal waters (-0.6-0.2). The high ^{14}C apperant ages of geothermal waters may imply the modern biogenic carbon contribution. According to the $\delta^{34}\text{S}$ values, there are coal, limestone, volcanic sulfur contribution to geothermal waters.

The Hudai Geothermal Field has been in used for several purposes such as balneotherapy, heating and thermal tourism in recent years.

2012, 93 Pages

Key words: Sandıklı, Geothermal waters, Isotope, Water chemistry

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1. İnceleme alanının yerbulduru haritası.....	2
2.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.....	7
2.2. Hüdai formasyonuna ait pembe renkli kuvarsitlerden bir görünüm (Demirlik tepe).....	9
2.3. Sıcak su akiferi olan Çaltepe formasyonuna ait alacalı kireçtaşları.....	10
2.4. Seydişehir formasyonundan bir görünüm (Pamuklu tepe civarı).....	11
2.5. Karatepe formasyonunu temsil eden çakıltaşlarının görünümü.....	13
2.6. Üst Miyosen yaşlı kireçtaşlarında karstlaşma (Döşeme tepe).....	15
2.7. Hüdai Kaplıcası'ndaki güncel traverten oluşumları.....	19
3.1. İnceleme alanındaki Akdağ kireçtaşlarında karstlaşma ve kırmızı toprak.....	25
3.2. Akdağ kireçtaşlarında karstlaşmadan bir görünüm (Akin).....	25
3.3. Akdağ kireçtaşlarında karstlaşmadan bir görünüm (Akin).....	26
3.4. Akdağ kireçtaşlarında karstlaşmadan bir görünüm	26
3.5. K-4 Taşoluk (A) ve S-8 Kızılca (B) kaynaklarının görünümü.....	28
4.1. İnceleme alanında örnekleme yapılan noktaların gösterimi.....	29
4.2. İnceleme alanındaki sıcak suların yarı logaritmik Schoeller diyagramı (Ekim, 2010).....	35
4.3. İnceleme alanındaki sıcak suların yarı logaritmik Schoeller diyagramı (Mayıs, 2011).....	36
4.4. İnceleme alanındaki soğuk suların yarı logaritmik Schoeller diyagramı (Ekim, 2010).....	36
4.5. İnceleme alanındaki soğuk suların yarı logaritmik Schoeller diyagramı (Mayıs, 2011).....	38
4.6. İnceleme alanındaki suların Piper diyagramı (Ekim, 2010).....	39
4.7. İnceleme alanındaki suların Piper diyagramı (Mayıs, 2011).....	39
4.8. İnceleme alanındaki suların Durov diyagramı (Ekim, 2010).....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (DEVAM)

4.9. İnceleme alanındaki suların Durov diyagramı (Mayıs 2011).....	40
4.10. İnceleme alanındaki sıcak suların bazı ağır metal ve iyonlarının değişim grafiği (Ekim, 2010).....	42
4.11. İnceleme alanındaki sıcak suların bazı ağır metal ve iyonlarının değişim grafiği (Mayıs, 2011).....	42
4.12. İnceleme alanındaki soğuk suların bazı ağır metal ve iyonlarının değişim grafiği (Ekim, 2010).....	43
4.13. İnceleme alanındaki soğuk suların bazı ağır metal ve iyonlarının değişim grafiği (Mayıs, 2011).....	43
4.14. İnceleme alanındaki suların SiO ₂ değişim grafiği (Ekim, 2010).....	44
4.15. İnceleme alanındaki suların SiO ₂ değişim grafiği (Mayıs, 2011).....	44
5.1. İnceleme alanındaki suların $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği (Ekim, 2010).....	55
5.2. İnceleme alanındaki suların $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği (Mayıs, 2011).....	55
5.3. İnceleme alanındaki suların ^3H (TU)- $\delta^{18}\text{O}$ grafiği (Ekim, 2010).....	57
5.4. İnceleme alanındaki suların ^3H - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği. (Mayıs, 2011).....	57
5.5. İnceleme alanındaki suların ^3H - Cl grafiği. (Ekim, 2010).....	58
5.6. İnceleme alanındaki suların ^3H - Cl grafiği. (Mayıs, 2011).....	58
5.7. Doğal karbon bileşiklerinin kökenlerine bağlı sulardaki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin Clark ve Fritz (1997)'e göre konumu. (Ekim, 2010).....	61
5.8. Doğal karbon bileşiklerinin kökenlerine bağlı sulardaki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin Clark ve Fritz (1997)'e göre konumu. (Mayıs, 2011).....	61
5.9. İnceleme alanındaki sularda ^{14}C (düzeltilmiş, yıl) ve $\delta^{13}_{\text{CVPDB}}$ değişimleri (Ekim, 2010).....	62
5.10. İnceleme alanındaki sularda ^{14}C (pmc, düzeltilmiş) ve $\delta^{13}_{\text{CVPDB}}$ değişimleri (Ekim, 2010).....	62
5.11. İnceleme alanındaki sularda ^{14}C (düzeltilmiş, yıl) ve $\delta^{13}_{\text{CVPDB}}$ değişimleri (Mayıs, 2011).....	63

5.12. İnceleme alanındaki bazı sulara ^{14}C (pmc, düzeltilmiş) ve $\delta^{13}_{\text{CVPDB}}$ değişimleri (Mayıs, 2011).....	63
5.13. İnceleme alanındaki bazı suların $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin Clark ve Fritz (1997)'e göre konumları (Ekim, 2010).....	66
5.14. İnceleme alanındaki bazı suların $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin Clark ve Fritz (1997)'e göre konumları (Mayıs, 2011).....	66
5.15. İnceleme alanındaki bazı suların ^{34}S (CD)- ^{18}O diyagramı (Clark ve Fritz, 1997), (Ekim, 2010).....	67
5.16. İnceleme alanındaki bazı suların ^{34}S (CD)- ^{18}O diyagramı (Clark ve Fritz, 1997), (Mayıs, 2011).....	67
6.1. İnceleme alanındaki sıcak sulara bazı minerallere ait doygunluk indisi grafiği (Ekim, 2010).....	70
6.2. İnceleme alanındaki sıcak sulara bazı minerallere ait doygunluk indisi grafiği (Ekim, 2010).....	71
6.3. İnceleme alanındaki sıcak sulara bazı minerallere ait doygunluk indisi grafiği (Mayıs, 2011).....	71
6.4. İnceleme alanındaki sıcak sulara bazı minerallere ait doygunluk indisi grafiği (Mayıs, 2011).....	72
6.5. HJA'nın kavramsal alan modeli.....	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

4.1. İnceleme alanındaki suların arazide ölçülmüş fiziksel parametre sonuçları (Ekim, 2011).....	30
4.2. İnceleme alanındaki suların arazide ölçülmüş fiziksel parametre sonuçları (Mayıs, 2011).....	31
4.3. İnceleme alanındaki suların su kimyası analiz sonuçları (Ekim, 2010).....	32
4.4. İnceleme alanındaki suların su kimyası analiz sonuçları (Mayıs, 2011).....	33
4.5. İnceleme alanındaki suların diğer su kimyası analiz sonuçları (mg/L) (Ekim, 2010).....	34
4.6. İnceleme alanındaki suların diğer su kimyası analiz sonuçları (mg/L) (Mayıs, 2011).....	34
4.7. İnceleme alanındaki sularda bulunan iyon dizilimleri ve su türleri (*:Ekim, 2010 **: Mayıs, 2011).....	37
4.8. İnceleme alanındaki soğuk suların mineral doygunluk değerleri (*:Ekim, 2010; **: Mayıs, 2011).....	46
4.9. İnceleme alanındaki soğuk suların mineral doygunluk değerleri (*:Ekim, 2010; **: Mayıs, 2011).....	47
4.10. İnceleme alanındaki sıcak suların mineral doygunluk değerleri (*:Ekim, 2010; **: Mayıs, 2011).....	48
4.11. İnceleme alanındaki suların radon konsantrasyonları (*:Ekim,2010; **:Mayıs, 2011).....	51
4.12. Hüdai kaplıcası ve çevresinde açılan sıcak su kuyuları.....	52
5.1. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H izotop analiz sonuçları (*: Ekim, 2010; **:Mayıs, 2011).....	54
5.2. İnceleme alanındaki suların ^{13}C , ^{14}C izotop analiz sonuçları (*:Ekim 2010; **:Mayıs 2011).....	60
5.3. İnceleme alanındaki bazı suların $\delta^{34}\text{S}$ izotop analiz sonuçları (*: Ekim 2010; **: Mayıs 2011).....	65
6.1. HJA'daki jeotermal suların hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları (*:Ekim, 2010; **Mayıs, 2011).....	69
6.2. İncelenen sıcak sularla soğuk suların karışımı.....	73

SİMGELER DİZİNİ

Bq/L : Litrede Bequerel

°C : Derece santigrat

cm : Santimetre

DO : Çözünmüş oksijen

EC : Elektriksel iletkenlik (Mikrosiemens/cm)

Eh : Redoks potansiyeli (mV)

K : Geçirimsizlik (m/s)

meq/L : Litrede miliekivalen değeri

pH : Hidrojen iyon aktivitesi

SI : Doygunluk indisi

TU : Tritiyum birimi

VPDB : Vienna Pee Dee Belemnite

²H : Döteryum

¹³C : Karbon-13

¹⁴C : Karbon-14

³⁴S : Kükürt-34

¹⁸O : Oksijen-18

³H : Tritiyum

δ : (‰) Binde

KISALTMALAR DİZİNİ

HJA	: Hüdai Jeotermal Alanı
KMSD	: Küresel Meteorik Su Doğrusu
TDS	: Toplam çözünmüş madde
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel Teknik Araştırma Kurumu
YAS	: Yeraltı suyu

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

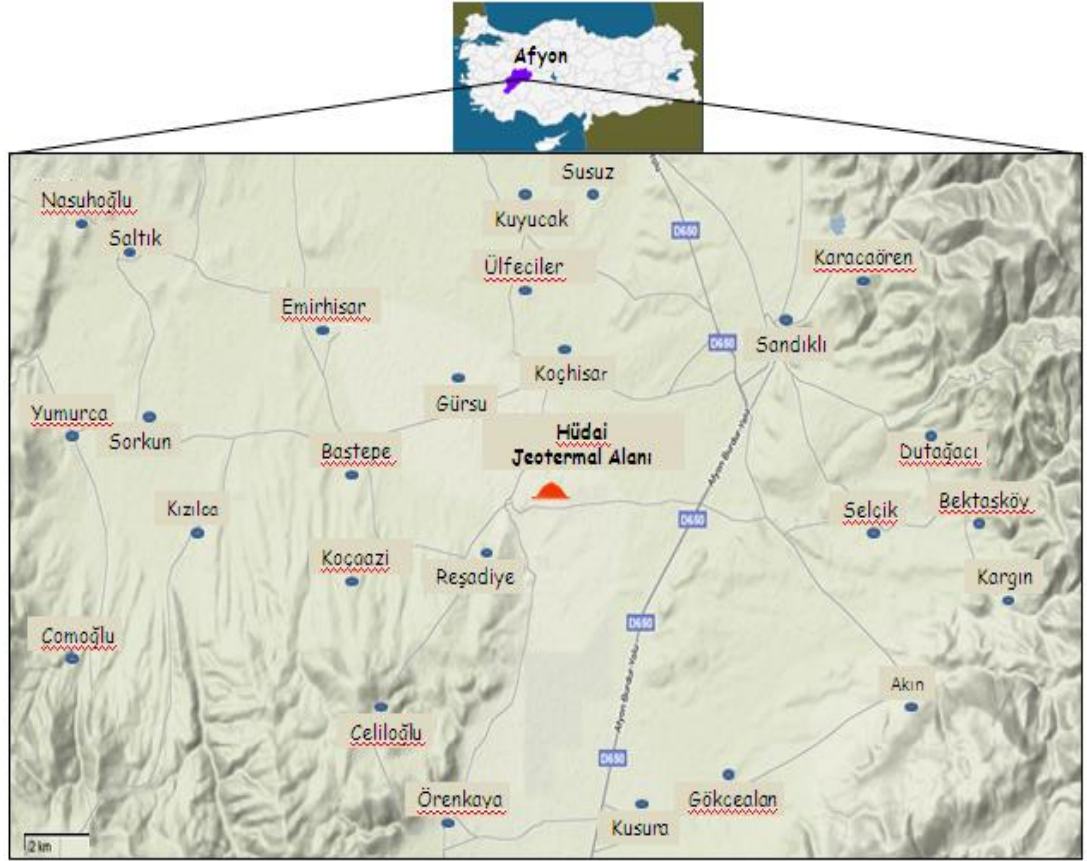
İnsanların ihtiyaçlarına yeterli ve kolay bir şekilde cevap verebilmek ve kalkınmanın devamlılığını sağlamak amacıyla dünya yeni enerji kaynaklarına yönelmiştir. Jeotermal enerji, yenilenebilir, temiz ve daha az maliyetli olması nedeniyle tüm dünya ile birlikte ülkemizde de ilgi alanı haline gelmiştir.

Türkiye jeotermal enerji açısından dünyada önemli bir konuma sahip, zengin kaynakları olan bir ülkedir. İnceleme alanı olan HJA bunlardan biridir.

Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmada, Hüdai Jeotermal Alanı (HJA) ve çevresindeki suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal, izotopik özelliklerinin incelenmesi, kökenlerinin ve birbiriyle ilişkilerinin belirlenmesi, mevcut jeotermal potansiyelin artırılmasına yönelik çalışmalara katkı sağlayacak verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

1.2. İnceleme Alanı

İnceleme alanı olan HJA ve çevresi, Ege Bölgesi'nin İç Batı Ege Bölümü'nde Afyonkarahisar ili içerisinde yer almakta olup, L-24; a1, a2 ve b1 paftalarını içeren yaklaşık 450 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

1.3. Veri Toplama ve Yöntem

Yüksek Lisans Tezi kapsamında yapılan çalışmalar literatür, arazi ve büro olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Literatür çalışmaları HJA ve çevresi hakkında jeolojik ve hidrojeolojik verilerin toplanması ve incelenmesi şeklinde yapılmıştır.

Arazi çalışmaları, su kimyası ve izotop analizleri için su örneklemeleri yağışlı (29-30 Ekim 2010) ve kurak (6-10 Mayıs 2011) dönemde yapılmıştır. Tez kapsamındaki su noktalarında pH, sıcaklık, iletkenlik (EC), çözülmüş oksijen parametreleri ölçülmüş, bu noktalardan su kimyası ve izotop (Oksijen-18, döteryum, trityum, karbon-14, kükürt-34) örnekleri, çift kapaklı polietilen plastik şişelere alınmıştır. Söz konusu su örneklerinin su kimyası ve trityum analizleri H.Ü. Su Kimyası ve Acme (Kanada) Laboratuvarları'nda; radon gazı analizi Ege Üniversitesi, Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde, oksijen-18, döteryum, kükürt-34 ($\delta^{18}\text{O-SO}_4$ ve $\delta^{34}\text{S-SO}_4$) analizleri

Isotope Tracer Technologies (Kanada), ^{14}C ve $\delta^{13}\text{C}$ analizleri ise Geochron (USA) Laboratuvarları'nda yapılmıştır.

Büro çalışmaları, elde edilen veriler doğrultusunda tez yazımı, grafiklerin hazırlanması ve yorumlanması, haritaların ilgili programlarda çizilmesi şeklinde Ekim 2010'dan Temmuz 2011'e kadar olan süre içerisinde yapılmıştır.

Tez yazımında "Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tez Yazım Kılavuzu, 2009" esas alınmıştır.

1.4. Kaynak Özetleri

Parejas (1942), Sandıklı, Dinar, Burdur, Isparta, Eğirdir civarının 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını yapıp, alanın Alp Jeosenklinali, Torid çukurunun kuzey sahilinde olabileceğini ve bölgenin stratigrafisinin Paleozoyik, Verrucana, Mesozoyik, Tersiyer (Eosen-Oligosen) ve Neojen'den meydana geldiğini savunmuştur.

Ronner (1962), Sandıklı ovasını tektonik ve volkanik açıdan incelemiş, Hüdai kaplıcası sıcak su kaynaklarının Kuvaterner içinde oluştuğunu ve bunların çıkış ısısı ve radyoaktivite tenörü bakımından orta termal ve post volkanik bir safhaya sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Şamilgil (1964), Hüdai kaplıcasının jeolojisi ve hidrojeolojisini incelemiş, sıcak suların kökenlerini yaptığı analiz sonuçlarına göre açıklayarak, bölgede jeofizik çalışmalara gerek duyulduğunu açıklamıştır.

Öngür (1973), Sandıklı ve çevresinin jeolojisini 1/25 000 ölçekli olarak inceleyerek, bölgenin jeomorfolojik ve tektonik özelliklerini ayrıntılı olarak ele almış; hidrojeolojik ve jeotermal açıdan ayrıntılı çalışmaların yapılması gerektiğini vurgulamıştır.

Çakmakoğlu (1986), Çivril-Sandıklı-Dinar arasındaki bölgenin jeolojisi, yapısal-jeolojik evrimini araştırmış. Menderes Masifi örtü şist ve karbonatlarına karşılık gelen, Paleozoyik'ten Eosen'e kadar değişik kaya türleri içeren Burgaz Grubu ile, Batı Toroslar kapsamında, Paleozoyik'ten Lütetiyen'e kadar çeşitli kaya türlerinin görüldüğü Akdağ Grubunun, çalışma alanında birbiri ile yakın ilişki içinde olduğunu belirtmiştir.

Öztaş (1989), Homa-Akdağ yöresi, Sandıklı-Şuhut köylerinin jeolojisi ve petrol olanaklarını ele almıştır.

Afşin (1991), Sandıklı Kuruçay ovası ve Hüdai kaplıcasının ayrıntılı olarak hidrojeoloji incelemesini yapmış. 450 km²'lik bir alana yayılan inceleme sahasının temelini, Paleozoyik yaşlı epimetamorfitlelerin oluşturduğunu, bunların üzerine gelen birimlerin Mesozoyik ve Senozoyik boyunca Kuvaterner'e kadar yer yer kesikli olarak devam ettiğini belirtmiştir, inceleme alanına düşen yıllık ortalama yağış miktarının 474,93 mm, gerçek buharlaşma-terlemenin 380,74 mm olduğunu, serbest ve basınçlı akiferlerde yeraltısuyu akım yönünün GD'dan KB'ya doğru olduğunu belirlemiştir. Hüdai kaplıcası sıcak ve mineralli su kaynaklarının K-G ve D-B doğrultusunda uzanan fayların birbirini kestiği noktalarda çıkmakta olduğunu, sıcaklıklarının 46,5-70 °C, debilerinin ise 87,0-91,5 l/s arasında değiştiğini saptamıştır.

Afşin vd (1993), Kuruçay ovasının yeraltısuyu bilançosunu iki kurak ve bir yağışlı dönemde yapılan gözlem ve hesaplamaların değerlendirilmesi ile ortaya koymuşlardır.

Afşin ve Canik (1996), jeotermal alandaki kayaçların hidrojeoloji özelliklerinin yanı sıra sıcak ve mineralli suları farklı jeotermometreler ve izotopik veriler kullanılarak istatistiksel açıdan yorumlayıp, jeotermal enerji potansiyeline sahip suların önceden aktif bir volkanizma ile ısınma sonucu yükselen sıcak akışkanın kalıntıları taşıyan ve halen soğumakta olan bir sistemle açığa çıkan meteorik kökenli yeraltısuları olduklarını açıklamışlardır.

Afşin (1997), Kuruçay ovası boyunca yeraltısuyu akım yolu boyunca meydana gelen su kimyası fasiyes ve kalite değişikliklerini ve bunların dolaşım süresi ile ilişkilerini ayrıntılı olarak ifade etmiştir.

Özpınar vd., (1999), Uşak kuzeyi ve Sandıklı çevresindeki volkanitlerin yayılımlarını belirlemiş, aglomera ve tüflerin jeolojik, petrografik, özelliklerini saptamışlardır.

Özpınar vd. (2002), inceleme alanını mühendislik özellikleri açısından değerlendiren araştırmacılar, bölgede volkanitlerin yayılımı ve, jeokimyası, tüflerin teknolojik özellikleri, mineralojik bileşimleri, yapı taşı özelliği, tüf ve tüfitlerin tras olarak kullanılabilirliği araştırmalarına yönelik olmak üzere çok sayıda deneyler gerçekleştirmişler; deney verilerine göre, ekonomik değere sahip volkanitlerin değerlendirilerek bölge ekonomisine çok yönlü katkılar sağlayacağı sonucuna varmışlardır.

Koçyiğit vd., (2001), Sandıklı grabeninin neotektonik özelliklerini ve depremselliğini incelemişler, Sandıklı grabenini sınırlayan fayların küçük ve orta büyüklükte deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Erdoğan vd., (2004), Sandıklı (Afyonkarahisar) bölgesindeki iz fosiller yardımıyla bölgenin Alt Kambriyen metaklastiklerinin litostratigrafisini incelemişlerdir.

Güngör vd., (2004), Sandıklı (Afyonkarahisar) bölgesinde bulunan Erken Kambriyen yaşlı birimlerin deformasyon özelliklerini tanımlamışlardır.

Gürsu ve Göncüoğlu (2005), Batı Toroslar'ın (Sandıklı KB'sı) geç neoproterozoyik ve erken Paleozoyik yaşlı birimlerinin jeolojisini ve petrografisini ayrıntılı olarak inceleyerek, bölgenin jeolojik evrimini ortaya koymuşlardır.

Karamandere (2008), sıcak su arama kuyularında jeolojik, mineralojik ve petrografik analiz verileri jeotermal enerji açısından değerlendirmiş; bölgedeki ilksel jeotermal sistemlerin yüzeyletiği en az üç evreli yapıların halen gömülü olduğu, depremselliğe bağlı olarak yeni sistemlerin derinlerden beslendiği belirlenmiş; kontrolsüzlüğe bağlı olarak işletilen sığ sistemlerin 100-500 m'lik zonlarının kaybedilmesi yolunda hızla ilerlendiği için reenjeksiyon sisteminin devreye girmesinin zorunlu olduğunu belirtmiştir.

Aksever (2011), Sandıklı havzasının jeolojisini ve hidrojeolojisini incelemiş; havza bazında genel yeraltısuyu akış yönü, yeraltısuyu seviye değişimleri, bölgedeki soğuk ve sıcak suların hidrojeokimyası ile ilgili veriler sunmuştur.

2. JEOLJİ

2.1. Stratigrafi

İnceleme alanında Prekambriyen, Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşı kayaçlar mostra vermektedir (Gürsu ve Göncüoğlu, 2005). Prekambriyen yaşı birimler meta-dasit ve meta-riyolitlerle, Paleozoyik yaşı birimler metamorfik kayaçlarla, Mesozoyik yaşı birimler kırıntılı ve kimyasal kayaçlarla, Senozoyik yaşı birimler ise volkanitler, çakıltaşı, kum, silt, kil, traverten ve alüvyonla temsil edilirler (Afşin, 1991) (EK-1).

2.1.1. Prekambriyen

İnceleme alanında Prekambriyen, Geç Proterozoyik yaşı Kestel Çayı Porfiroyid Birliği ile karakterize edilir.

2.1.1.1. Kestel çayı porfiroyid birliği (Prk)

İnceleme alanının batı ve güneybatısını oluşturan birim Yumruca köyünün güneyinde ve Kestel çayı boyunca mostra verir (Afşin, 1991).

Kestel çayı porfiroyid birliğini, (Öngür, 1973), “Kestel Yeşilşist Formasyonu”, (Gutnic, 1977), “Sandıklı Porfiroyidler”, (Öztürk, 1981), “Kocayayla Metamorfikleri” (Çakmakoglu, 1986), “Kestel Formasyonu”, (Öztaş, 1989), “Kocayayla Formasyonu”, (Erdoğan vd., 2004), Kestel Çayı Formasyonu” olarak adlandırmıştır. Bu çalışmada birim, (Gürsu ve Göncüoğlu, 2005)’nin tanımladığı “Kestel Çayı Porfiroid Birliği” (KÇPB) şeklinde ele alınacaktır.

KÇPB meta-bazik dayklar tarafından kesilen, son derece deforme olmuş meta-riyolit ve meta-kuvars porfirlerden oluşmuş; yeniden kristallenmiş kuvars, albit ve iri taneli serisit büyük ölçekli milonitik deformasyon ve düşük dereceli metamorfizmanın ürünü olarak kayaç kütlelerinin yerini almıştır. Formasyonun tabanı inceleme alanında görülmemekle birlikte görünür kalınlığı 200 m dolayındadır. Birimin yaşı Geç Neoproterozoyik olarak belirtilmiştir (Gürsu ve Göncüoğlu, 2005).

2.1.2. Paleozoyik

İnceleme alanında Paleozoyik, Kambriyen yaşlı Hüdai, Çaltepe ve Seydişehir formasyonları ile temsil edilmektedir.

2.1.2.1. Hüdai formasyonu (Ch)

Birim inceleme alanında Hüdai Kaplıcası güneyindeki Demirlik'ten Tahirtarla ve Akçapınar tepelere oradan da Celiloğlu'nun güney-güneydoğu ve kuzey-kuzeybatı kesimlerindeki Kuzyaka, Kale, Koçgazi, Koçgazidede tepelere kadar ve Reşadiye civarında oldukça geniş bir alanda yayılım göstermektedir (Afşin, 1991).

İlk defa "Hüdai kuvarsit üyesi" olarak (Öngür, 1973) tanımlanan birim Ötaz (1989), Gedik (1989), Afşin (1991) ve Gürsu (2002) tarafından "Hüdai formasyonu" olarak adlandırılmıştır.

Hüdai formasyonu genellikle kuvarsitlerden meydana gelmekle birlikte yer yer şistlerle ardalanmalıdır. Kuvarsitler orta-kalın, yer yer düzlemsel çapraz katmanlı, katman içi laminalı, açık gri, demirpası ve pembe renklidir (Afşin, 1991).

Hüdai formasyonunun alt birimleri kuvars arenit ve silttaşlarından oluşmaktadır. Kuvars arenitler; KÇPB'nin deforme olmuş meta-felsik ve meta-klastik kayaç parçacıklarıyla birlikte serisitlik matriksin olduğu serisit ve deforme olmuş kuvarstan ve üst birimleri genel olarak az oranda ara katmanlı sileyle birlikte kuvarsitlerden oluşmuştur (Göncüoğlu vd., 2006). Formasyonun yer yer Neojen çökelleriyle örtülü olmasından dolayı kesin olmamakla birlikte, 400-600 m dolayında olduğu (Afşin, 1991) tahmin edilmiştir.

Alt dokanağı KÇPB ile, üst dokanağı ise Çaltepe formasyonu ile uyumlu (Afşin, 1991) olup, inceleme alanında Hüdai jeotermal alanı güneyinde ve Reşadiye çevresinde gözlenen birimin yaşı, Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonu ile geçişli olması nedeniyle Erken Kambriyen (Kozlu ve Göncüoğlu, 1995; 1997) olmalıdır.



Şekil 2.2. Hüdai formasyonuna ait pembe renkli kuvarsitler (Demirlik tepe)

2.1.2.2. Çaltepe Formasyonu (Çç)

Çaltepe formasyonu Hüdai kaplıcasının güneyinde Demirlik tepenin kuzeyinden itibaren başlayarak Çevrik tepeden Tahirtarla tepenin kuzeydoğusunda Neojen'in altına girinceye kadar devam eder. Çiloğlantarla tepenin doğusunda tekrar açığa çıkan formasyon Toptaş ve Karakaya tepeye doğru ince bir şerit halinde uzanır (Afşin, 1991).

Birimi, ilk defa Blumenthal (1947) tanımlamış, daha sonra birim Dean ve Monod (1971) ile Özgül ve Gedik (1973) tarafından incelenmiştir.

Birim başlıca dolomit, siyah renkli neritik kireçtaşı ve en üst düzeylerinde alacalı renkli yumrulu kireçtaşından oluşmaktadır. Birimin büyük bir bölümünü oluşturan dolomitler, ayrışma yüzeyinin kızılımsı, koyu kahve renkli olmasıyla ayrılırlar. Formasyonun kalınlığı yer yer değişik olmakla birlikte 350 m (Afşin, 1991) olabilir.

Alttan Hüdai formasyonu ile uyumlu olan birim, üstüne gelen Seydişehir formasyonu ile uyumlu geçişlidir (Afşin, 1991).

Afşin (1991), çoban sopası şeklinde trilobit fosilleri belirlemiş, Dean ve Özgül (1994), Çiloğlantarla tepe civarında birimin üst kesimini karakterize eden gri renkli kireçtaşı seviyelerden Orta Kambriyen'i temsil eden trilobit fosilleri (*Acadoparadoxides*

mureroensis, *Ellipsocephalus* sp, *Protolenus pisidianus* n.sp, *Latoucheia* sp, *Corynexochella?* *Venusta* n.sp) saptamışlardır.

Gedik (1989) ise, Çiloğlantarla tepe -Maymunkayası tepe arasında *Hadimopanella murselae* n. sp faunasının yer aldığını ve birimin yaşının Orta Kambriyen olduğunu belirtmiştir. Birimin, tip lokalitesi olan Seydişehir bölgesinde Sarmiento vd., (1997) tarafından Erken Kambriyen sonunu karakterize eden fosillerin saptanması, birimin yaşının Erken-Orta Kambriyen'e kadar indiğini göstermektedir (Gürsu ve Göncüoğlu, 2005).



Şekil 2.3. Sıcak su akiferi olan Çaltepe formasyonuna ait alacalı kireçtaşları

2.1.2.3. Seydişehir Formasyonu (Es)

İnceleme alanında Sandıklı güneyindeki Maymunkayası tepeden başlayarak Toptaş tepenin doğusuna kadar uzanır.

Birimi Blumenthal (1947) “Seydişehir şistleri” Öztaş (1989) ise “Seydişehir formasyonu” olarak ele almıştır.

Başlıca ince katmanlı yeşilimsi kumtaşı, sarımsı-gri silttaşı ve açık yeşil laminalı şeylden meydana gelen birimde yer yer morumsu killi kireçtaşı merceklerini görmek mümkündür. (Afşin, 1991).

Seydişehir formasyonunun alt dokanağı Çaltepe formasyonunun kireçtaşlarıyla uyumlu, üst dokanağı Karatepe formasyonu ile uyumsuzdur (Afşin, 1991).

Birimin yaşı Geç Kambriyen-Erken Ordovisiyen’dir (Göncüoğlu vd., 2006).



Şekil 2.4. Seydişehir formasyonundan bir görünüm (Pamuklu tepe civarı)

2.1.3. Mesozoyik

Mesozoyik yaşı istif Öngür (1973) tarafından ilk defa “Psidya Mesozoyik Grubu” olarak ele alınmıştır. Genel olarak çakıltası, şeyl ve kireçtaşlarından meydana gelen ve Mesozoyik istifini oluşturan birimler; Karatepe, Derealanı ve Akdağ formasyonlarıdır.

2.1.3.1. Karatepe formasyonu (Tr-Jk)

İnceleme alanında Sandıklı-Dinar karayolu üzerinde Karatepede, Körhasan çiftliği batısında Maymunkayası tepeden Karakaya ve Orta tepelere doğru uzanarak dar ve uzun bir şerit halinde yayılım gösterir.

Birimi, ilk kez Parejas (1942) Güney Avrupa’daki Verrucano Fasiyesi’ne benzetilerek “Verrucano”, Öztürk (1981) “Derealanı formasyonu” Öngür (1973) ve Çakmakoğlu (1986) “Karatepe Verrucano formasyonu”, Öztaş (1989) “Verrucano formasyonu” olarak adlandırmıştır. Bu çalışmada ise, Afşin (1991) tarafından verilen “Karatepe formasyonu” ismi benimsenmiştir.

Genel olarak bordo, kırmızı, yer yer açık kahve, demirpası, kirli sarı ve açık yeşil renklerde çakıltası, kumtaşı ve kızıl alacalı renkli şistlerden oluşmaktadır. Şistler ince taneli kumtaşı ve silttaşlarından oluşmaktadır. Kalın tabakalanma gösteren birim yer yer yukarıya doğru incelenerek tabakasız bir görünüm sunmaktadır (Öngür 1973, Çakmakoğlu 1986, Afşin 1991).

Karatepe formasyonu, Seydişehir formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmektedir.

Birimin yaşı ile ilgili farklı görüşler öne sürülmüştür. Parejas (1942) Permiyen yaşını vermiş, Öngür (1973) Permo-Triyas, Gutnic (1977) ve Öztürk (1981) Alt Liyas, Çakmakoğlu (1986) Orta Triyas?-Liyas olarak yaşlandırmışlardır. Öztaş (1989) ile Afşin (1991) birime Üst Triyas- Alt Jura yaşını vermişlerdir.



Şekil 2.5. Karatepe formasyonunu temsil eden çakıltaşlarının görünümü

2.1.3.2. Derealanı formasyonu (Jd)

İnceleme alanında Sandıklı-Dinar karayolunun doğusunda Karatepe civarında mostra vermektedir.

Birimi, Öngür (1973) “Derealanı Şist Formasyonu” şeklinde Gutnic (1977), Öztürk (1981), Çakmakoglu (1986) ve Afşin (1991) “Derealanı formasyonu” olarak adlandırmıştır.

Formasyon, marnlı kumtaşı, şist, silttaşı, kiltası ve killi kireçtaşıdan oluşmaktadır. Alt düzeylerde bordo, mor, kirli sarı renklerde kaba taneli kumtaşları ile başlayan formasyon, üste doğru koyu gri, mor, bordo, kirli sarı yeşilimsi kahve, yeşilimsi sarı, bej renklerde değişen kumtaşı, silttaşı, kiltası, killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı aralanması olarak devam eder (Öngür 1973, Çakmakoglu, 1986). Tabanda Karatepe formasyonu ile üstte ise Akdağ formasyonu ile uyumlu olan birimin kalınlığı Kara tepe güneyinde 300-450 m civarındadır (Afşin, 1991).

Derealanı formasyonu tabanda Karatepe formasyonu ile üstte ise Akdağ formasyonu ile uyumludur (Afşin,1991).

Birimin yaşı, Öngür (1973)'e göre Triyas-Alt Kretase, Gutnic (1977), Gutnic vd. (1979)'e göre Liyas-Dogger, Öztürk (1981)'e göre Liyas, Öztaş (1989) resifal kireçtaşları ve dolomitleri de Derealanı formasyonu içine alarak birimin üst seviyelerinde bulunduğu bentonik fosiller, alg, mercan, echinid ve foraminiferlerden hareketle Liyas-Malm yaşını vermiştir. Bu çalışmada birimin yaşı Liyas olarak alınmıştır.

2.1.3.3. Akdağ formasyonu (Jka)

Birim Sandıklı'nın güneydoğusunda Akin köyü çevresinde Kalem, Cirimbolu ve Küçükçal tepelerde, Dinar karayolu üzerinde Karatepe'de ve Sandıklı'nın batısında Yumruca köyünün batı ve kuzeybatısında gözlenmektedir (Afşin, 1991).

Birim, Öztürk (1981) ve Afşin (1991) tarafından "Akdağ Formasyonu", Çakmakoglu (1986) tarafından "Akdağ Kireçtaşları", Öztaş (1989) tarafından "Akkıraç formasyonu" olarak adlandırılmıştır.

Birim, farklı özelliklerdeki kireçtaşlarından oluşmuştur. Bu kireçtaşları genel olarak killi, kumludur. Killi kireçtaşı sarı, yeşilimsi sarı, gri yer yer de mor renkli, kumlu kireçtaşı ise ince, üstlere doğru kalın tabakalı ve çört bantlarından oluşmaktadır. Birim Derealanı detritiklerinin geçişli olarak yerini önce killi, kumlu kireçtaşlarına bırakmasıyla başlar. Bunları da klastik dokulu kireçtaşı ile mikrobillursal killi kireçtaşı düzeylerinin ardalanması izlemektedir. Üste doğru litoloji bütünüyle gri, koyu gri renkli, plaket görünümlü, ince katmanlı killi kireçtaşına dönüşmüş, pembe-kahverengi, mikritik, ince plaket katmanlı, kireçtaşları ile son bulmaktadır (Öngür 1973, Öztürk 1981, Çakmakoglu, 1986).

Birimin kalınlığı inceleme alanında farklılık göstermektedir. Yer yer 500-700 m olan kalınlık alanının bazı kesimlerinde 1000 m'ye kadar ulaşabilmektedir (Öngür 1973, Çakmakoglu 1986).

Formasyonun yaşı Gutnic (1977) ve Öztürk (1981)'e göre Dogger, Öngür (1973), Çakmakoglu (1986) ve Öztaş (1989)'e göre Jura-Kretase'dir. Afşin (1991), formasyondan aldığı numunelerde belirlediği, *Trochammina sp*, *Siphovalvulina sp*, *Ataxophragminidae*, *Reophax sp* fosilleri ile mavi yeşil algler ve Peleciopoda kavkalarına göre birimi Üst Jura-Alt Kretase olarak yaşlandırmıştır.

2.1.4. Senozoyik

İnceleme alanındaki Senozoyik istifini Tersiyer yaşı Sandıklı formasyonu ile Kuvarterner yaşı traverten ve alüvyon oluşturmuştur (Afşin, 1991).

2.1.4.1. Sandıklı formasyonu (Ts)

Birimi, ilk defa Öngür (1973) “Sandıklı Neojen formasyonu” olarak incelemiş, Çakmakoglu (1986) birimi “Sandıklı Neojen Formasyonu” ve “Sandıklı Üst Miyosen Üyesi”nin “Alacami Gölsel Kireçtaşı” ile eşdeğer olarak ele almıştır. Afşin (1991) tarafından “Sandıklı Formasyonu” olarak adlandırılan birim, bu çalışmada da aynı adla ele alınmıştır.



Şekil 2.6. Üst Miyosen yaşı kireçtaşlarında karstlaşma (Döşeme tepe)

2.1.4.1.1. Soğucak üyesi (Tss)

Birim inceleme alanının batısında ve kuzeyinde oldukça geniş bir bölgede yayılım sunmaktadır. Üye Sandıklı'nın doğusu, Dutağacı, Selçik, Bektaş, Kargın ve Akın köyleri ile Kara tepe arasında geniş bir hat boyunca uzanırken, güneybatıda Gökçealan, Doğansu ve Ballık köyleri doğusunda dar bir yayılıma sahiptir. İnceleme alanının kuzeyinde ise Karacaören, Yolkonak, Ekinhisar ve Kızık köyleri doğusunda geniş bir alanda yayılım göstermektedir (Aksever, 2011).

Birim Çakmakoglu (1986) tarafından “Akın Üyesi” olarak adlandırılırken, Afşin (1991) tarafından “Tüfit-Aglomera” başlığı altında tanımlanmıştır. Öngür (1973)’de birimi, en merkezi, en tanıtıcı özelliklerinin Soğucak çevresinde ve tamamen tüflerden kurulu bir yapıya sahip olması ile “Soğucak Tüf Üyesi” olarak adlandırmıştır. Bu çalışmada ise Sandıklı formasyonunun üyesi olarak “Soğucak Üyesi” ismi benimsenmiştir.

Soğucak Üyesi, genel olarak tüf, tüfit ve volkanik tüf içeren aglomeralardan oluşmuştur (Çakmakoglu, 1986). Öngür (1973) ve Afşin (1991)’in yaptığı gözlem ve kesitlere göre istif, köşeli lav, kireçtaşı, süngertaşı parçaları ile kum-kil boyutunda piroklastik malzeme içeren, boz renkli tüf breşleri ile başlamakta, kırmızı renkli, yuvarlak lav çakılları içeren çakıllı bir düzeyden sonra, süngertaşı ve kum tüfü ile devam ettikten sonra tüf breşi ile sonlanmaktadır.

Soğucak üyesi, Sandıklı Lav üyesi ile geçişli olup, üstte Hamamçay formasyonu ile uyumludur. Birimin kalınlığı Öngür (1973)’e göre 50-120 m, Afşin (1991)’e göre 60-100 m civarındadır.

Birimin yaşı, yer yer içerdiği lav parçacıklarından dolayı Üst Miyosen olmalıdır (Öngür, 1973; Çakmakoglu, 1986; Afşin, 1991).

2.1.4.1.2. Sandıklı lav üyesi (Tsl)

Birim, inceleme alanının doğusunda Sandıklı, Karacaören, Dutağacı, Kargın ve Bektaş köylerinin civarında trakiandezitler gözlenirken, Yolkonak ve Ekinhisar doğusunda, kuzeyde Çiğiltepe çevresi, Serban kuzeyinde andezitler ve Karadirek köyünün kuzeybatısında dar bir alanda da bazaltlar gözlenmektedir (Aksever, 2011).

Birim, Öngür (1973) tarafından Sandıklı formasyonu’nun bir üyesi olarak “Volkanit Zonu” olarak adlandırılmıştır. Afşin (1991) ise birimi magmatik kayaçlar kapsamında ‘Andezit ve Bazalt’ başlığı altında incelemiştir. Bu çalışmada da trakiandezit, andezit, bazalt vb. volkanik içeriğine sahip olan birim “Sandıklı Lav Üyesi” olarak adlandırılmıştır.

İnceleme alanında Soğucak üyesini oluşturan tüflerle birlikte lav akıntıları ve lav domları da yer almaktadır. Bunlar trakit, trakiandezit, andezit, latit, bazalt, fonolit, ve tefritten oluşan volkanik bir zonun meydana getirmektedir. Bunlar yer yer tüflerin tabanında ya da üzerinde yer almaktadır (Öngür, 1973; Tuzcu, 1974; Afşin, 1991).

Sandıklı Lav üyesi, Soğucak üyesi ile yanal geçişlidir. Sandıklı formasyonu altındaki kendinden yaşlı tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. Hamamçay formasyonu ise üzerine uyumlu olarak gelmektedir (Aksever, 2011).

Volkanizma, Orta Miyosen'in sonlarına doğru başlayıp tüm Üst Miyosen boyunca devam etmiştir (Ercan, 1986). Bu verilere göre Becker-Platen (1977) birimin yaşını Üst Miyosen olarak doğrulamıştır.

2.1.4.2. Hamamçay formasyonu (Plh)

İnceleme alanının kuzeydoğu ve güneydoğusunu kaplayan birim, Sandıklı'nın doğusundan itibaren geniş bir alanda yayılım gösterir.

Birim, Öngür (1973) tarafından Sandıklı formasyonu'nun bir üyesi olarak "Pliosen Hamamçay Üyesi" olarak adlandırılmıştır. Çakmakoglu (1986) "Pliyo-Kuvaterner Çökeller" , Afşin (1991) ise Sandıklı formasyonu'nun üyesi olarak "Hamamçay Üyesi" adı altında incelemişlerdir. Bu çalışmada Aksever (2011)'de olduğu şekilde "Hamamçay formasyonu" olarak ele alınmıştır.

Birim, volkanik çakıltası örtüsü, ince çakıl, kil, silt yer yer kireçtaşı katkılı çakıltası, gevşek çimentolu çakıltalarıyla yer yer bordo renkli kuvarsit, kireçtaşı ve silttaşı çakıllarından meydana gelmiştir (Öngür, 1973; Çakmakoglu, 1986; Afşin, 1991).

Birim alttan Üst Miyosen yaşlı Sandıklı lav üyesi ile uyumlu Kızılca ve Sorkun çevresindeki metamorfik kayalarla uyumsuzdur. Üstten ise alüvyon ile uyumsuzlukla sınırlanmaktadır (Afşin, 1991).

Birimin kalınlığı Öngür (1973)'e göre 20-100 m, Afşin (1991)'e göre ise 100-250 m dolayındadır.

Birimin yaşı kesin olmamakla birlikte, Üst Miyosen göl çökelleri ile ilişkilerine göre muhtemelen Pliosen (Afşin, 1991) olarak belirtilmiştir.

2.1.4.3. Alüvyon (Qal)

Alüvyon inceleme alanında kollara ayrılarak yayılım göstermektedir. Yayılım Kuyucak-Hüdaihamamı, Hüdaihamamı-Kızılören, Kuyucak-Yumruca, Yumruca-Çomoğlu hattı boyunca devam etmektedir. Özellikle Kestel Çayı, Hamam Çayı ve çevresi tamamen alüvyon ile kaplıdır. Sandıklı Kuruçay Ovası'nı oluşturan alüvyonun alanı 115 km²'dir (Aksever, 2011).

Alüvyon, Hamamçayı ve Kestel çaylarının bıraktığı sıkışmamış çakıl, kum, silt ve kil gibi pekişmemiş güncel çökellerdir. Bu sıkışmamış birimler diğer akarsuların ovaya getirdikleri gevşek malzemelerle yanal olarak geçişlidirler. Başlıca çakıl ve kumlu seviyelerle temsil edilen alüvyon, içerisinde yer yer kil bantları içermektedir. Ayrıca birim killi çakıl, kumlu kil, kumlu killi çakıl, çakıl arabantlı kil şeklinde bir istif sunmaktadır (Afşin, 1991).

1.2.1.4. Traverten (Qtr)

Hüdai Kaplıcası çevresinde yaklaşık 20 m kalınlığında ve 800 m uzunluğunda iki çizgi halinde KB-GD yönünde uzanır. Yüksek oranda CaCO₃ ve CO₂ içeriğiyle kaynaklardan çıkan sular, basıncın düşmesiyle CO₂ kaybederler ve CaCO₃ çökelişi gerçekleşir. Bu olay traverten oluşumuna sebep olur. Çevrik tepe kuzey ve batısındaki küçük bir alanda traverten oluşumları gözlenmiştir (Afşin, 1991).



Şekil 2.7. Hüdai Kaplıcası'ndaki güncel traverten oluşumları

2.2.Yapısal Jeoloji

İnceleme alanını stratigrafisiyle birlikte tektonik gelişimi de Permiyen öncesi ve sonrası gerçekleşmiş iki temel süreçte oluşmuştur. Sandıklı ve çevresinde daha önce yapılan bazı çalışmalarda Paleozoyik yaşlı istifler Kaledoniyen ve Hersiniyen orojenezlerine bağlanmıştır. Şengör vd (1984)'nin yaptıkları çalışmada Prekambriyen yaşlı birimlerin tartışmalı da olsa Pan Afrikan ve Eburiyen evresine ait olduğu ileri sürülmüştür. Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı formasyonlar ise Alpin orojenezinden etkilenmişlerdir. Çalışma alanında tektonik gelişime işaret eden değişik formasyonlarda oluşmuş kıvrım, fay ve çatlaklar yer almaktadır (Afşin, 1991).

2.2.1. Kıvrımlar

Paleozoyik sonunda metamorfizma sonucu KÇPB'deki kayalar dilinimli bir yapı kazanmıştır. Bundan sonra yükselme ve faylanma başlamış, orojenezin şiddetlenmesiyle ve yerçekimi etkisiyle kuzeybatıya doğru harekete ve kıvrımlanmaya başlamışlardır. Litolojik özelliklere bağlı olarak kıvrımlanmanın başlangıcında gerilime yenilen kireçtaşlarında çatlaklar oluşmuştur (Afşin, 1991).

İnceleme alanı içinde yer alan kıvrımlar şunlardır:

Celiloğlu'nun kuzeyinde Koçgazi tepede kuvarsitler içinde KB-GD yönünde dalım yapan asimetrik antiklinal ve senklinaller yer almaktadır. Kıvrımların kanat eğilimleri 62° GB, 54° KD ve 36°-40° GB olarak belirlenmiştir (Afşin, 1991).

Sandıklı-Dinar karayolu üzerinde Kara tepede Akdağ formasyonunda GB'ya dalan KD-GB uzanımlı asimetrik bir senklinal yer almaktadır. Kanat eğimleri 35°-45° GD ile 36°-44° KB arasında değişen kıvrım KB-GD uzanımlı bir fayla kesilmiştir (Afşin, 1991).

2.2.2. Faylar

İnceleme alanında faylanma oldukça yaygındır. Faylar Miyosen öncesi, Miyosen başı ve Miyosen-Pliyosen arasında meydana gelmişlerdir.

Çevrik tepe Fayı: Miyosen'de oluşan K-G yönlü bu fay, Sandıklı'nın G-GB'sındaki Karakaya ve Maymunkayası tepelerin doğu eteklerinden geçerek Çevrik tepeye doğru uzanır. Batısındaki diğer fay Toptaş'tan Çiloğlantarla'ya oradan da Tahirtarla ve Demirlik tepelere kadar devam eder.

Kaplıca Fayları: Hüdai Kaplıcası ve civarında D-B ve K-G doğrultusunda gelişmiş iki ana fay bulunmaktadır. Bu fay hatları boyunca ve bunların kesişme noktalarından sıcak ve mineralli su kaynakları açığa çıkmıştır (Afşin, 1991).

Kara Tepe- Sandıklı Fayı: Kara tepenin kuzeybatısından K 30°D doğrultusunda Sandıklı'nın kuzeydoğusuna kadar uzayarak volkanik kayalara ulaşan ve batı kenarı düşen normal bir faydır. Şamilgil (1964)'e göre Miyosen öncesine ait, Öngür (1973)'e göre ise Miyosen başında oluşmuş fakat Miyosen sonunda tekrar hareket kazanmıştır (Afşin, 1991).

Koçgazi Fayı: Koçgazi-Yayman-Reşadiye köyleri ve Hüdai Kaplıcası boyunca uzanan D-B doğrultulu, kuzey bloğu düşen fay, Üst Miyosen birimleri yanında Reşadiye köyü civarındaki Paleozoyik yaşlı istiflerin de yükselmesine neden olmuştur (Afşin, 1991).

2.3. Paleocoğrafya

Paleozoyik'te Afyon ve Sandıklı'da sığ, bölgenin güneyinde ise derin deniz tortulları izlenmektedir. Bu durum, Toros jeosenklinalinin Paleozoyik'te dolmaya başladığını göstermektedir. Permien öncesinde bu kuşaktaki kayalar yeşilist fasiyesi grubu düşük basınç altında metamorfizmaya uğramışlar (Öngür, 1973) ve KÇPB'ye ait kayalar dilinimlenme ve şistozite özellikleri kazanmışlardır. Bundan sonra kıvrımlanma, çatlaklı yapı ve faylanma gelmiştir. Çatlaklanma DGD –BKB yönlü bir sıkışma ortamının sonucudur. Bu yapısal durum Alpin öncesi hareketlerle oluşmuştur. Daha genç kayalarda Alpin orojenezi ve Neojen içi fazlardan tansiyon gerilimi etkisiyle gelişmiş kıvrımlı ve kırıklı yapısal şekiller ve bloklu yapılar açığa çıkmıştır (Öngür, 1973; Afşin, 1991).

İnceleme alanı ve dolayında Permien ya da Triyas başlarında güney yönden bir transgresyon başlamış ve muhtemelen Jura ortalarına kadar devam etmiştir.

Çaltepe formasyonunda kayaların ilk dokuları hafif metamorfize olmuştur. Tabandaki dolomitlerden en üstteki tabakalı fosilli kireçtaşlarına kadar kayalar sırasıyla; gelgit üstü, gelgit içi ve gelgit altı ortamdaki karbonat platformunda gelişmiştir (Wilson, 1975). Ayrıca yeşil renkli kil arakatlı morumsu kireçtaşları tektonik olaylar sonucu dengesini kaybederek şelf düzlüğünden yamaçlı bir ortama dönüşmüştür.

Seydişehir formasyonu ise türbidit akıntılarının etkin olduğu duyarsız ve sığ bir kıta şelfi ortamına işaret eder (Özgül ve Gedik, 1973). Bu da Çaltepe formasyonundan daha derin ve yüksek enerjili bir ortamı gösterir (Öztaş,1989).

Alanda sığ denizel tortulları olarak önce kırıntılılar şeklinde Karakaya, sonra Derealanı formasyonları daha sonra da kimyasal olarak Akdağ formasyonu çökelmiştir. Deniz seviyesinin başlangıçta doğuda kararlı batıda ise sürekli yükselmesinin işaretçileri doğudaki kireçtaşlarının masif, batıdakilerin ise tabakalı olarak bulunmasıdır. Muhtemelen Kretase sonuna doğru deniz derinleşmeye başlamıştır. Kireçtaşlarının çoğunluğu mikritiktir. Ortam düşük enerjili ve neritiktir (Özgül ve Gedik, 1973). Doğuda denizaltı püskürmeleri sonucu türemiş radiolariaların oluşturduğu radyolaritler yer almaktadır.

Senozoyik yaşlı birimler karasal ve gölsel bir ortamda depolanmıştır. Kırıntılılarla başlayıp kimyasal tortullarla sona eren istif zaman zaman gölün çekilmesiyle oluşmuş kaliş depolarını da kapsar. Orojenez sonrasında gelişmiş volkanik etkinlik sonucu, piroklastik akıntıların yanı sıra yok edilen bitki kalıntıları Kargın ve Akin köyleri civarında ince kömür damarlarının oluşmasına neden olmuştur. Çoğunlukla tuf ve lavlardan oluşmuş volkanik kayalar genellikle çatlaklar boyunca yükselmişlerdir. Akıntılar bazen göl içerisine kadar ulaşarak pilov lavları oluşturmuştur.

Epirojenik hareketler sonucu oluşmuş çöküntü alanlarına karasal tatlı sulu göl ortamında meydana gelen yer yer dağ eteği türünden akarsu çökelleri yerleşmişlerdir. Pliyosen yaşlı bu birimlerin üzerine Kuvarterner yaşlı alüvyon çökelleri gelmiştir.

Genç tektonizmaya bağlı olarak K-G ve D-B yönlü kırık çizgisinin kesim noktasında sıcak ve mineralli sular oluşmuş ve bunlara bağlı traverten oluşukları açığa çıkmıştır (Afşin, 1991).

2.4. Jeofizik Çalışmaları

Sanjet A.Ş. tarafından yayınlanan (Eylül, 2010) raporlarda; HJA'da yeraltı suyu ve jeofizik öz direnç araştırması yapılmıştır. Söz konusu çalışmalarda; yer altından su alınabilecek jeolojik birimlerin kalınlık ve derinliklerinin tespiti ile arazinin kırık ve çatlak sistemini çözümleyerek uygun görülen yere mekanik sondaj yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca alanda jeotermal olanakların araştırılması, potansiyel olabilecek noktaların belirlenmesi hedeflenmiştir. İlgili raporlara göre; jeofizik çalışma olarak düşey elektrik sondajı (DES) Schlumberger açılımı uygulanmıştır. Arazi yapısına uygun görülen yerlerde jeofizik ölçümler alınmıştır. İnceleme alanındaki kireçtaşlarına sondajla girilmesinin yeraltı suyu debisi açısından faydalı olacağı, rezistivite düşümü olan metrelerde sondajın sonlandırılması gerektiği belirtilmiştir.

Bu raporlara göre; jeotermal amaçlı alınan 3 profilde 40 DES noktası ve 3300 m. doğal potansiyel (S.P.) ölçümü ile tanımlanmıştır. Üç etkin jeotermal enerji zonu belirlenmiş olup, bunlardan birincisi 150-250 m derinliğe sahip Hüdai Kaplıcası'nın olduğu bölgedir. İkinci zon 350-450 m derinliğindeki Hüdai Kaplıcası'nın kuzeydoğusunu kapsayan bölge, üçüncü zon Sandıklı güneyindeki 500-750 m derinliğindeki bölgedir. Çalışmalar sonucu derinlikleri 500-750 m arasında değişen Hüdai Kaplıcası kuzeydoğusunda yer alan üç farklı bölgeye araştırma kuyuları, Sandıklı güneyinde reenjeksiyon amaçlı 1000-1200 m derinlikte sondaj yapılması uygun görülmüştür.

2.5. Bölgenin Depremselliği

İnceleme alanı ve yakın çevresi I. Dereceden deprem bölgesi içinde yer almaktadır. (Koçyiğit vd., 2001) tarafından yapılan çalışmalarda bölgenin en önemli deprem etkeninin Sandıklı grabeni olduğu belirtilmiştir. Sandıklı grabeni 3-9 km genişlikte, 34 km uzunlukta ve KKD gidişli bir çöküntü alanıdır. Sandıklı grabenini sınırlayan fayların küçük ve orta büyüklükte deprem üretme potansiyeline sahip olması ve Sandıklı grabeni içindeki yerleşkelerin büyük çoğunluğunun graben kenar faylarının düşen tavan blokları (deprem anında en fazla hasar ve can kaybının beklendiği alan) ve sulaşma potansiyeli olan zemin üzerinde kurul olması nedeniyle yerleşim birimlerinde sık aralıklı ve çok katlı yapılaşmamaya gidilmemesi önerilmiştir (Koçyiğit vd., 2001).

3. HİDROJEOLOJİ

Bu bölümde inceleme alanında yer alan akifer formasyonun ve diğer birimlerin litolojik, yapısal ve hidrojeoloji özellikleri ele alınacaktır.

3.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanında minerolojik, petrografik, yapısal ve hidrojeolojik açıdan farklı özellikte çok sayıda kayaç birimi yer almaktadır.

Genel olarak alüvyon, traverten, çakıltaşı-kumtaşı seviyeleri ve kireçtaşları inceleme alanında geçirimli birimleri; killi, marnlı seviyelerle, kuvarsit ve dolomitler yarı geçirimli birimleri; şist, şeyl, silttaşı ve bazı marn seviyeleri ise geçirimsiz birimleri oluşturur.

3.1.1. Geçirimli birimler

İnceleme alanındaki birimlerden Karatepe formasyonu, tabakalı seviyelerin gevşek tutturulmuş olması, faylı ve çatlaklı yapıya bağlı ikincil gözenekliliğin oluşması (Afşin, 1991) nedeniyle akifer özelliğindedir.

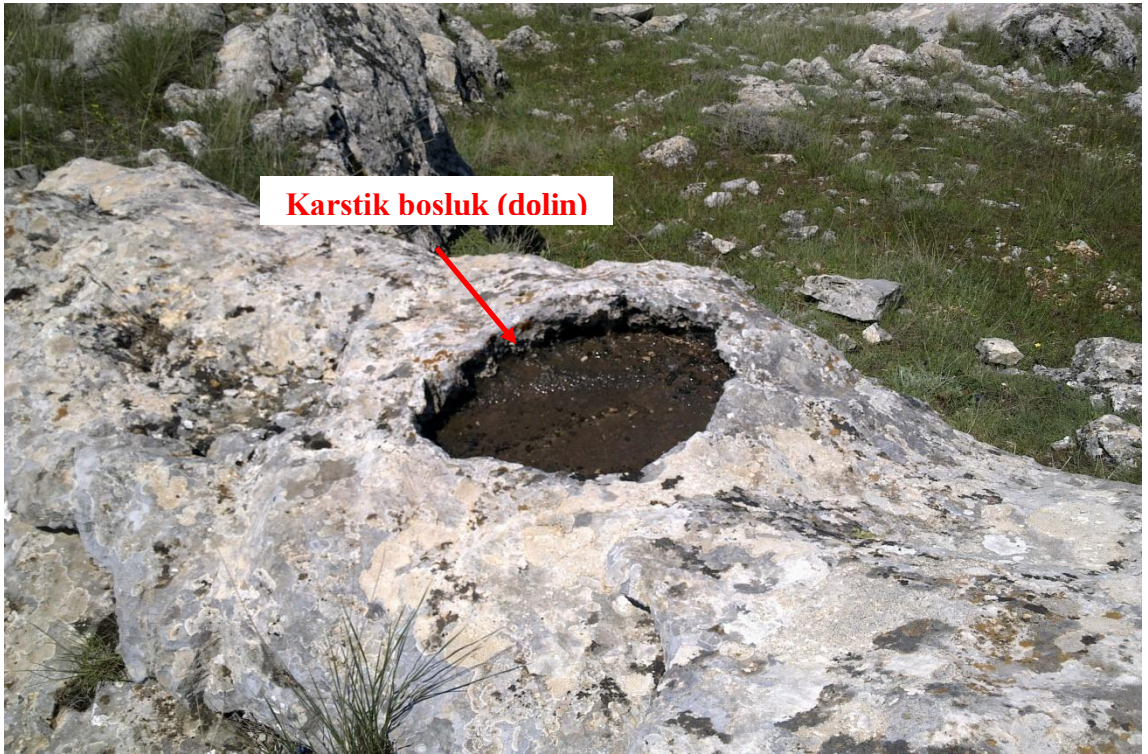
Akdağ formasyonu, alttan üste doğru masif, breşik, çört bantlı dolomitik özellikte kireçtaşlarından oluşan karstik bir birimdir. Birimin en büyük özelliği birbirini kesen çatlaklar, faylar ve kıvrımlar ile bunların yüzeylerinde gelişmiş erime boşluklarının bulunmasıdır. Bu yapılara bağlı olarak gözeneklilik artmış ve süreksizliklerden sızan sular birbiriyle bağlantılı çatlaklar boyunca karstlaşmaya sebep olmuştur (Afşin, 1991). Söz konusu birimlerde, dolin, karen vb. gibi karstik şekiller ve bunlarda oluşmuş kırmızı topraklar (terra rossa) (Sweeting, 1973; Ford ve Williams, 2007) saptanmıştır (Şekil 3.1., 3.2., 3.3. ve 3.4). Burada kısaca değinilen, inceleme alanı ve çevresindeki karstlaşmanın ayrıntılı biçimde ele alınması gerekmektedir.

Hamamçay formasyonu ise volkanik çakıltaşı örtüsü, ince çakıl, kil, silt yer yer kireçtaşı katkılı çakıltaşı, kumlu kil, killi çakıl, kumlu killi çakıl, gevşek çimentolu çakıltaşlarıyla, kireçtaşı ve silttaşı çakıllarından meydana gelen akiferdir.

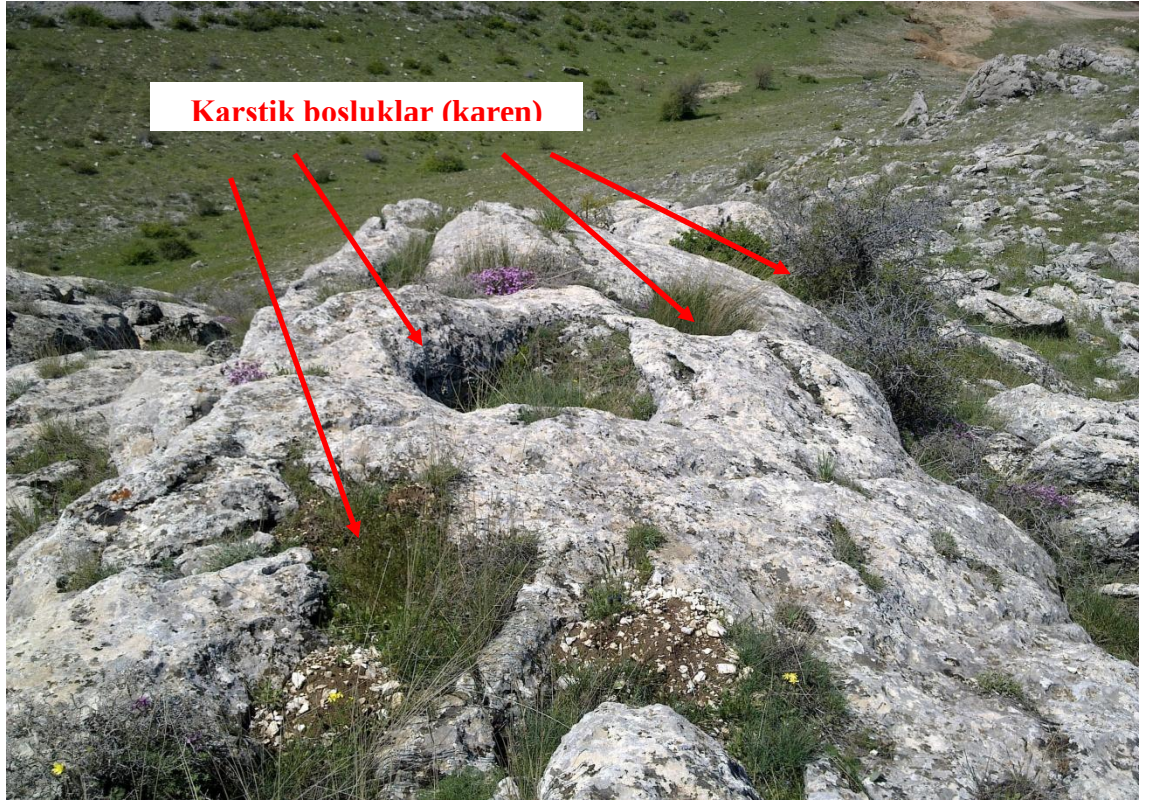
Alüvyon, sıkılaşmamış çakıl, kum, silt, kil gibi sıkılaşmamış güncel çökeller ile killi çakıl, kumlu kil, kumlu killi çakıl, çakıl arabantlı kil şeklinde olup, iyi bir akifer özelliğindedir. Travertenlerde yarık ve çatlaklardan dolayı ikincil gözeneklilik iyi gelişmiştir.



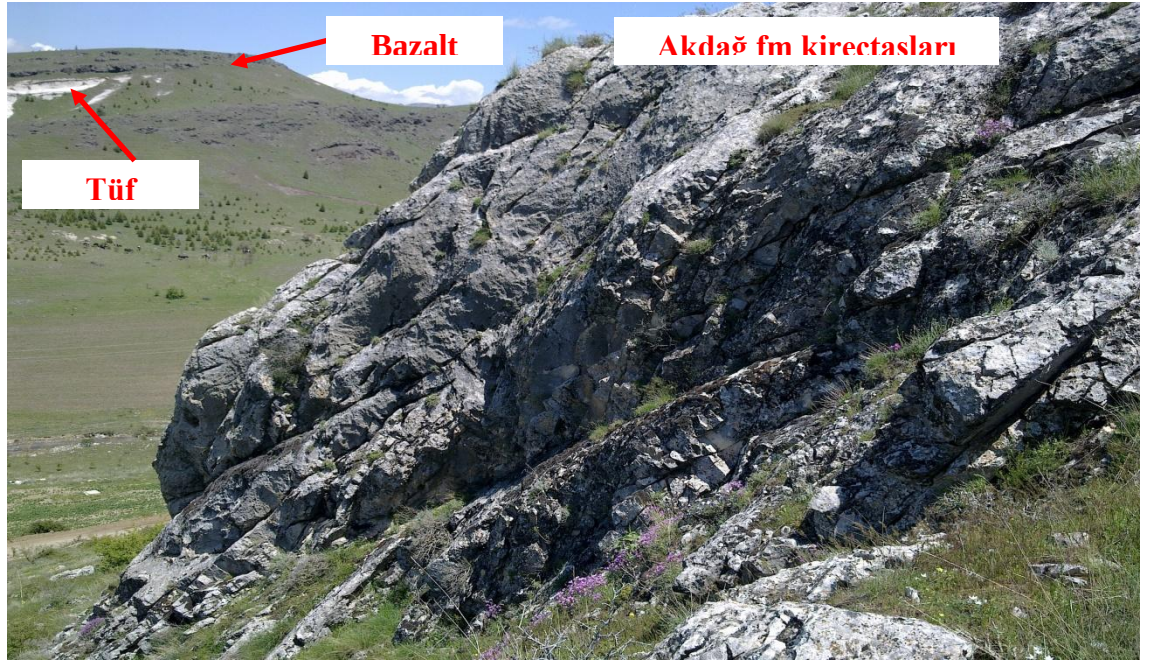
Şekil 3.1. İnceleme alanındaki Akdağ kireçtaşlarında karstlaşma ve kırmızı toprak (terra rossa) oluşumu (Akin)



Şekil 3.2. Akdağ kireçtaşlarında karstlaşmadan bir görünüm (Akin)



Şekil 3.3. Akdağ kireçtaşlarında karstlaşmadan bir görünüm (Akin)



Şekil 3.4. Akdağ kireçtaşlarında karstlaşmadan bir görünüm (Akin)

3.1.2. Yarı geçirimli birimler

Hüdaî formasyonu büyük bölümünü kuvarsitlerin oluşturduğu yer yer fillit aralanmalı çoğunlukla gevrek ve kırılğan kıvrımlı, çatlaklı, faylı özelliklere sahip bir birimdir. Kuvarsitler senklinal türü kıvrımlar ve ikincil gözenekliliğe sahip olması nedeniyle iyi bir akifer özelliğindedir. Bu nedenle sıcak ve mineralli su kaynaklarının yüzeyden beslenme alanlarından en önemlisini oluşturur. Fillit seviyeleri geçirimsiz olan birimin beslenme alanı oldukça geniştir (Afşin, 1991).

Çaltepe formasyonu alt seviyeleri dolomitlerle başlayıp, üste doğru kireçtaşı ve yumrulu kireçtaşlarıyla devam eden birim olup, dolomitler yer yer çözünmeli yapılara sahiptir. Yağış suları erime boşlukları ile çatlak ve faylara bağlı olarak yer altına süzûlebilmektedir.

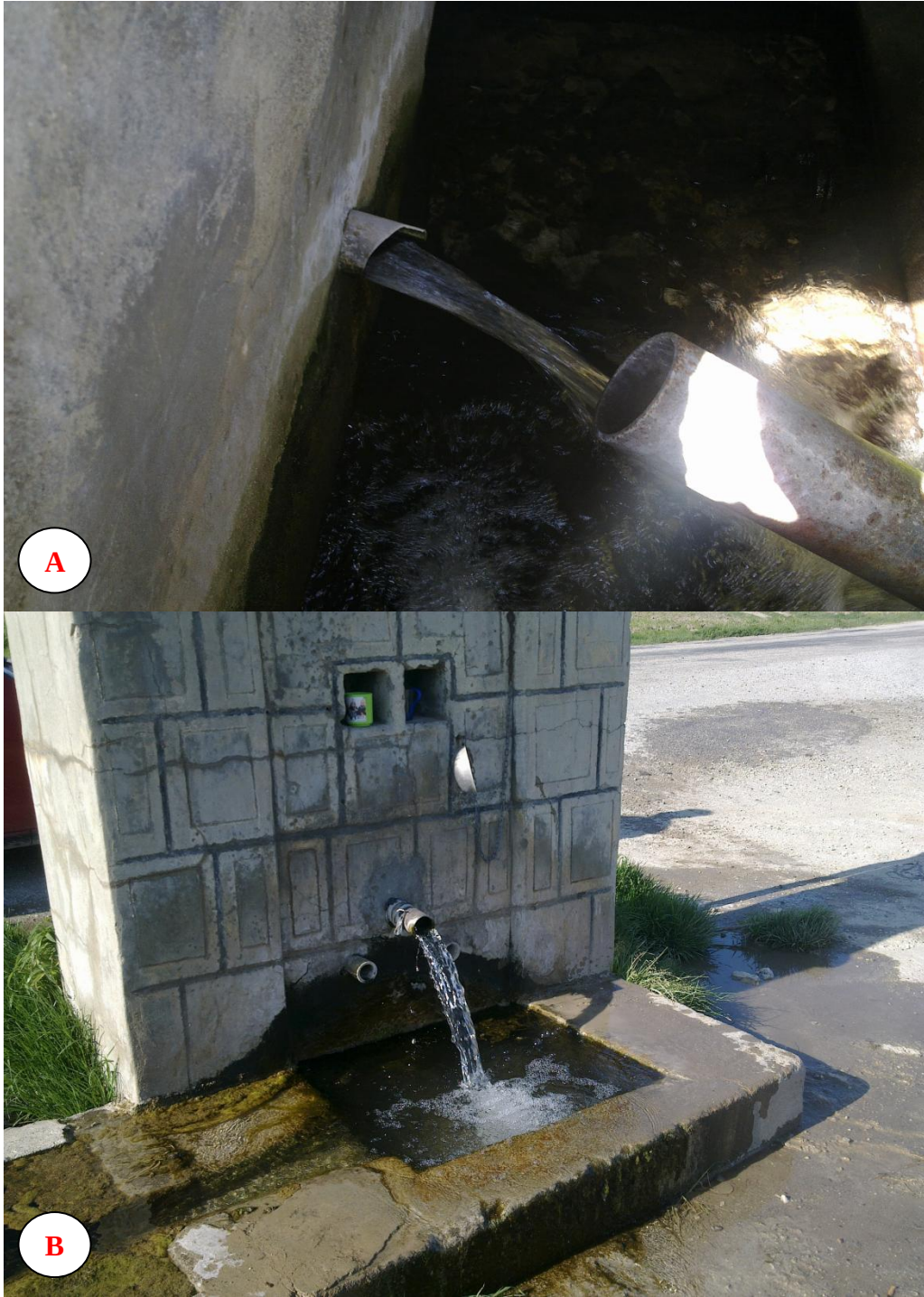
Sandıklı formasyonunun tabanda yer alan çakıltaşı ve kumtaşı seviyelerinde birincil gözeneklilik gelişmiştir. Gölsel birimlerde gelişmiş fay, horst, graben ve karstlaşma ürünü erime boşluklarına bağlı olarak ikincil gözeneklilik artmıştır. Breşik özellikli bazı kireçtaşı seviyeleri az geçirimlidir (Afşin, 1991). Tüf breşlerinden ve süngertaşından oluşan seviyelerde gaz boşluğundan dolayı kapalı gözeneklilik fazladır. Andezit ve bazaltlardaki soğuma çatlakları ve bundan sonra gelişmiş tektonik olaylarla oluşmuş ikincil gözeneklilik geçirgenliğin artmasına neden olmuştur.

3.1.3. Geçirimsiz birimler

İnceleme alanının temelindeki Kestel Çayı Porfiroyid Birliği'ni oluşturan kuvarsit, fillit, serizitli, feldispatlı, kuvarşlı şistler, kuvars serisit şist, albit şist, klorit serizit kuvars şist, klorit albit kuvars şist, feldispat serizit kuvars şist, serizit kuvars şist, kuvars şist, asidik metavolkanit, yerel metamorf kumtaşı, metabazik siller ve yer yer mermer bantları metamorfik özellikleri dolayısıyla geçirimsiz birimleri meydana getirirler (Afşin, 1991).

Kumtaşı, silttaşı, killi kireçtaşı ve mercekli şeyllerden oluşan Seydişehir formasyonu geçirimsiz özelliktedir.

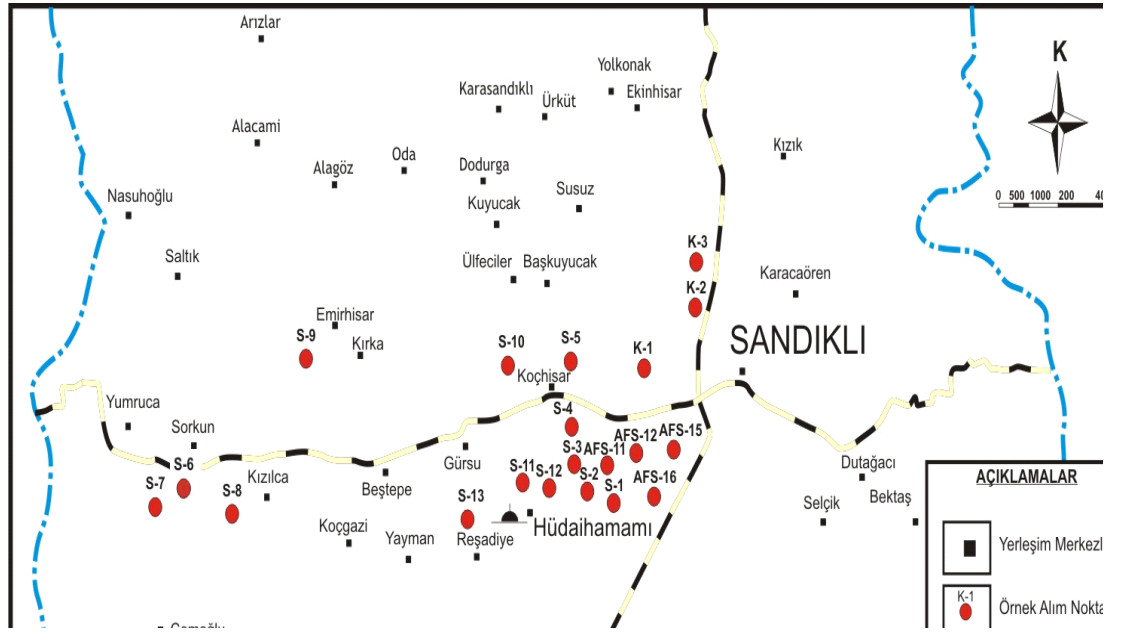
Kumtaşı, killi ve kumlu kireçtaşı aralanmalı Derealanı formasyonunda kıvrımlı ve çatlaklı yapıdan dolayı ikincil gözeneklilik gelişmiştir. Ancak silttaşı, şeyl ve marnlı seviyeler geçirimsizdir.



Şekil 3.5. K-4 Taşoluk (A) ve S-8 Kızılca (B) kaynaklarının görünümü

4. SU KİMYASI DEĞERLENDİRMESİ

HJA ve çevresindeki sulardan kurak ve yağışlı olmak üzere iki dönem halinde örnekleme yapılarak (Şekil 4.1.), suların kimyasal analiz sonuçları ilgili diyagramlar yardımıyla karşılaştırılmalı olarak yorumlanmıştır (Çizelge 4.1., 4.2., 4.3., 4.4., 4.5., 4.6.).



Şekil 4.1. İnceleme alanındaki su kimyası örnekleme noktaları

4.1. Suların Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İnceleme alanındaki suların sıcaklık (T), pH, özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri kurak dönemde sıcak sularda sırasıyla; 23.3-82.4°C; 6.23-7.67; 433-1930 $\mu\text{S}/\text{cm}$, soğuk sularda 11.48-21°C; 4.98-8.1; 215-1635 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. Yağışlı dönemde ise sıcak sularda sırasıyla 23.16-75.65°C; 7.11-7.85; 127-1801 $\mu\text{S}/\text{cm}$; soğuk sularda 9.8-20.6°C; 6.07-7.88; 127-1890 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. İnceleme alanındaki sıcak sularda EC değerleri; bu suların yeraltı suyu akış yolu boyunca uzun süreli temas ettiği kayaların çözünürlükleri ile iyon değişimlerinin fazla olması nedeniyle yüksektir.

Soğuk su olan S-9 (Koçhisar)'un EC değerinin yüksek olması, bunun sıcak sularla etkileşimli bir karışım suyu olduğuna işaret edebilir.

Çizelge 4.1. İnceleme alanındaki suların arazide ölçülmüş fiziksel parametre sonuçları (Ekim, 2010)

Örnek Adı	pH	EC (µS/cm)	T (°C)	Tuzluluk (mg/L)	DO (mg/L)	Eh (mV)	Bulanıklık (Ntu)
K-1	8,19	458	13,86	0,28	9,11		
K-2	7,80	201	13,29	0,12	9,91		
K-3	7,74	148	11,48	0,10	11,23		
S-1	8,92	314	13,92	0,19	29,40		0,27
S-2	7,22	310	21,00	0,18	16,76	-38,2	0,03
S-3	7,8	354	18,00	0,20	29,34	-68	0,25
S-4	6,32	396	17,7	0,24	20,56	-2,7	17,66
S-5	6,23	260	16,57	0,15	24,55	-1,3	0,42
S-6	7,53	371	23,3	0,19	11,92	-58	0,00
S-7	7,45	148	13,6	0,09	24,77	-55,3	5,87
S-8	7,36	432	14,8	0,26	27,72	-47	0,00
S-9	7,43	500	18,7	0,28	1,88	-51,1	2,36
S-10	6,65	1263	14,74	0,80	2,67	-10,8	0,06
S-11	6,50	3192	67,4	0,86	0,34	13,1	
S-12	8,38	1572	32,03	0,70	1,27		
S-13	7,12	513	16,7	0,30	2,33	-33,8	1,48
AFS-11	7,46	3517	54	0,91	1,29		
AFS-12	7,87	2453	8240	0,86	2,17		
AFS-15	7,32	3455	64,80	0,94	1,01		
AFS-16	7,25	3765	71,45	0,98	1,07		

K-1: Sazak Kümeleri kaynağı, **K-2:** Karacaören kaynağı, **K-3:** Karacaören deposu, **S-1:** Yunus Emre kuyusu, **S-2:** Teknepara kuyusu, **S-3:** İnpınarı kuyusu, **S-4:** AFS-16 yanı kuyusu, **S-5:** Meslek Yüksekokulu kuyusu **S-6:** Sorkun-Kızılburun kuyusu, **S-7:** Sorkun kaynağı, **S-8:** Kızılca kaynağı, **S-9:** Emirhisar kuyusu, **S-10:** Koçhisar kuyusu, **S-11:** Hüdai sıcak su kuyusu, **S-12:** Hamamçayı, **S-13:** Reşadiye kuyusu, **AFS-11, AFS-12, AFS-15, AFS-16:** Sandıklı sıcak su kuyuları.

Çizelge 4.2. İnceleme alanındaki suların arazide ölçülmüş fiziksel parametre sonuçları
(Mayıs, 2011)

Örnek Adı	pH	EC µS/cm	T (°C)	SAL mg/L	DO mg/L	Eh (mV)	Bulanıklık (Ntu)
K-1	5.44	799	12	271	0.43	38	5.44
K-2	5.45	212	10.98	446	0.51	-450	5.45
K-3	5.21	158	10.09	102.5	0.50	115.1	5.21
K-4	7.5	337	9.8	240.7	-	-444	7.5
K-5	7.15	30	12.18	302.8	0.37	-350	7.15
S-1	7.79	477	15.78	264	-	-515	7.79
S-2	7.66	380	20.6	292.4	0.75	-388	7.66
S-3	7.97	470	18.18	258.5	87.53	-322	7.97
S-5	6.82	200	17.18	330	0.91	430	6.82
S-6	7.77	476	23.16	245.8	0.53	-353.2	7.77
S-7	8.03	173	11.77	318	1.59	-598	8.03
S-8	7.39	615	13.45	253.7	0.5	-510	7.39
S-9	7.32	956	18.07	240	0.04	-730	7.32
S-10	6.7	2389	14.66	153	7.86	-365	6.7
S-11	6.53	2091	68.6	95.9	1.16	-242	6.53
S-12	7.46	721	22	300.6	123.1	-118	7.46
S-13	7.33	771	16.64	285	12	-354	7.33
AFS-11	6.44	2110	66.18	95.4	0.79	-143	6.44
AFS-12	6.61	2365	73.4	12.7	0.26	-112.4	6.61
AFS-13	6.76	653	75.65	1.4	0.8	-131	6.76

K-4: Taşoluk kaynağı, **K-5:** Sorkun çeşme, **AFS-13:** Sıcak su kuyusu (diğer kısaltmalar Çizelge 3.1’deki gibidir).

Çizelge 4.3. İnceleme alanındaki suların su kimyası analiz sonuçları (Ekim, 2010)

Örnek adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₂	NO ₃	PO ₄	NH ₄	F	Br	Li
				meq/L							mg/L						
K-1	15.5	5.34	597	3.01	2.026	0.836	0.152	1.065	2.3	0.492	<0.01	109.94	<0.01	1.67	0.36	0.63	<0.01
K-2	13.29	4.98	279	1.61	1.038	0.251	0.092	0.067	2.304	0.343	<0.01	20.93	<0.01	0.31	0.47	0.15	<0.01
K-3	11.48	4.59	219	1.134	0.773	0.202	0.079	0.075	1.775	0.196	<0.01	0.14	<0.01	0.67	0.43	0.12	<0.01
S-1	13.92	8.09	505	3.502	0.887	0.452	0.057	0.199	0.69	3.431	<0.01	13.74	<0.01	1.95	0.19	0.03	<0.01
S-2	21	7.96	389	2.215	1.1	0.642	0.071	0.241	1.039	2.255	<0.01	15.97	<0.01	1.54	0.2	0.04	0.015
S-3	19.8	8.1	368	2.562	1.13	0.563	0.074	0.198	0.858	2.745	<0.01	14.51	<0.01	1.27	0.19	0.03	<0.01
S-4	17.7	6.94	569	3	1.656	0.953	0.292	0.674	2.404	1.568	<0.01	52.74	0.26	1.2	0.35	0.04	<0.01
S-5	17.7	6.93	336	1.772	0.926	0.662	0.076	0.219	0.839	2.058	<0.01	9.67	0.77	0.67	0.4	0.05	<0.01
S-6	23.3	7.67	433	1.662	0.942	2.462	0.127	0.342	0.193	4.411	<0.01	0.08	<0.01	2.28	0.63	0.08	<0.01
S-7	13.6	7.91	215	1.801	0.698	0.135	0.023	0.06	0.096	2.255	<0.01	2.62	<0.01	0.35	0.05	0.02	<0.01
S-8	14.8	7.37	561	4.44	1.657	0.642	0.089	0.177	0.294	5.882	<0.01	10.09	<0.01	1.18	0.64	0.07	<0.01
S-9	18.7	7.57	611	3.225	1.649	1.586	0.189	0.64	1.122	3.921	<0.01	27.11	<0.01	1.41	0.61	0.08	<0.01
S-10	14.7	6.73	1635	13.34	4.481	2.421	0.251	3.042	4.177	8.479	<0.01	196.84	<0.01	3.75	0	0.19	<0.01
S-11	67.4	6.46	1727	8.537	2.285	10.326	0.926	2.156	9.305	8.675	<0.01	0.51	<0.01	< 0.01	3.39	0.77	0.16
S-12	32.0	7.2	1445	6.343	1.979	8.51	0.795	2.186	6.964	7.352	<0.01	0.27	<0.01	< 0.01	2.43	0.73	0.12
S-13	15.83	7.26	658	5.64	1.575	0.459	0.034	0.747	0.406	5.146	<0.01	58.56	<0.01	1.42	0	0.88	<0.01
AFS-11	54	6.46	1868	9.104	2.466	11.647	1.017	2.403	11.779	7.842	<0.01	0.49	<0.01	< 0.01	3.98	0.85	0.19
AFS-12	73	7.23	1930	9.09	2.399	12.673	1.211	2.643	11.887	8.822	<0.01	0.43	<0.01	< 0.01	4.1	0.89	0.21
AFS-15	65.36	6.23	1910	8.693	2.4	11.465	1.117	2.365	11.471	8.087	<0.01	0.44	<0.01	< 0.01	4.07	0.88	0.19
AFS-16	82.4	6.56	1870	8.277	2.309	11.503	0.974	2.467	11.684	7.548	<0.01	0.62	<0.01	< 0.01	4.7	0.88	0.18

Çizelge 4.4. İnceleme alanındaki suların su kimyası analiz sonuçları (Mayıs, 2011)

Örnek adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₂	NO ₃	PO ₄	NH ₄	F	Br	Li
				meq/L							mg/L						
S-1	15.78	7.72	413	3.94	1	0.5	0.07	0.18	0.79	4.44	<0.01	15.47	<0.01	0.70	0.20	<0.01	<0.01
S-2	20.6	7.79	368	2.7	1.37	0.73	0.09	0.36	1.34	2.55	<0.01	24.00	<0.01	0.54	0.21	<0.01	0.01
S-3	18.18	7.88	382	3.43	1.27	0.6	0.07	0.3	1.35	3.11	<0.01	21.97	<0.01	1.15	0.16	0.04	0.01
S-5	17.18	7.35	308	2.11	1.18	0.71	0.07	0.24	1	2.89	<0.01	10.24	0.40	0.53	0.45	0.05	<0.01
S-6	23.16	7.85	380	1.66	0.87	2.57	0.12	0.36	0.2	5.11	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.62	0.08	0.02
S-7	11.77	7.88	141	1.31	0.55	0.12	0.02	0.03	0.5	2	<0.01	0.34	<0.01	0.40	0.04	0.01	<0.01
S-8	13.45	7.37	490	4.42	1.63	0.63	0.09	0.15	0.3	6.78	<0.01	8.29	<0.01	0.98	0.74	0.07	0.01
S-9	18.07	7.51	844	6.51	2.76	2.6	0.13	1.92	1.52	6.67	<0.01	96.87	<0.01	<0.01	0.71	0.13	0.02
S-10	14.66	7.19	1890	19.43	6.51	3.01	0.4	5.1	4.74	13.89	<0.01	210.31	<0.01	4.33	2.10	0.41	0.00
S-11	68.6	7.31	1552	9.55	2.32	9.42	0.87	2.01	8.7	10.67	<0.01	0.81	<0.01	10.94	3.47	<0.01	0.16
S-13	16.64	7.43	644	7.1	1.42	0.52	0.03	0.63	0.6	7	<0.01	53.23	<0.01	0.59	0.25	<0.01	<0.01
K-1	12	6.52	640	3.83	2.71	1.05	0.15	1.46	3.2	0.33	0.325	133.60	<0.01	1.23	0.38	0.08	<0.01
K-2	10.98	6.42	183	0.98	0.67	0.19	0.07	0.27	1.7	0.33	<0.01	0.16	<0.01	0.48	0.37	<0.01	0.01
K-3	10.09	6.07	127	1.32	1.01	0.33	0.11	0.09	2.42	0.22	<0.01	0.26	<0.01	0.84	0.70	<0.01	0.01
K-4	9.8	6.59	276	3.46	0.4	0.34	0.05	0.06	0.16	4.17	<0.01	3.78	<0.01	0.88	0.21	0.01	<0.01
K-5	12.18	7.17	127	1.28	0.44	0.2	0.02	0.04	0.1	2	<0.01	0.09	<0.01	0.63	0.05	<0.01	<0.01
AFS-11	66.18	7.22	1603	9.43	2.41	10.44	0.89	2.07	8.54	10.83	<0.01	0.51	<0.01	2.13	3.43	0.11	0.17
AFS-12	73.4	7.11	1785	10.2	2.5	12.53	1.11	2.53	10.83	11.11	<0.01	0.76	<0.01	0.67	3.91	0.10	0.20
AFS-13	75.65	7.19	1801	10.09	2.58	12.45	0.99	2.58	10.74	11.28	<0.01	0.95	<0.01	15.54	5.05	0.11	0.18

Çizelge 4.5. İnceleme alanındaki suların diğer su kimyası analiz sonuçları (mg/L) (Ekim, 2010)

Örnek adı	Fe	Mn	Cu	Zn	Sr	Pb	Ni	B	SiO ₂
K-1	< 0.01	0.028	0.047	0.077	0.438	<0.01	0.08	0.22	44.22
K-2	< 0.01	0.243	0.028	0.055	0.177	<0.01	0.02	0.01	51.95
K-3	< 0.01	0.433	0.058	0.061	0.133	<0.01	0.01	0.01	49.28
S-1	< 0.01	<0.01	0.016	<0.01	0.566	<0.01	<0.01	0.02	44.60
S-2	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.584	<0.01	<0.01	0.02	56.29
S-3	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.559	<0.01	0.017	0.02	50.88
S-4	< 0.01	0.02	0.001	<0.01	0.466	<0.01	0.013	0.05	57.88
S-5	< 0.01	0.014	<0.01	0.02	0.033	<0.01	<0.01	0.01	72.29
S-6	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.281	<0.01	<0.01	0.08	16.48
S-7	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.107	<0.01	<0.01	<0.005	12.51
S-8	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.793	<0.01	<0.01	0.05	25.65
S-9	< 0.01	<0.01	<0.01	0.012	1.146	<0.01	<0.01	0.12	69.99
S-10	< 0.1	<0.01	<0.01	<0.01	0.2	<0.01	<0.01	0.27	55.15
S-11	< 0.01	0.177	<0.01	<0.01	8.942	<0.01	<0.01	0.77	64.22
S-12	< 0.01	<0.010	<0.01	<0.01	6.818	<0.01	<0.01	0.56	56.37
S-13	< 0.01	<0.010	<0.01	<0.01	0.638	<0.01	<0.01	0.03	22.05
AFS-11	< 0.01	0.0176	<0.01	<0.01	9.524	<0.01	<0.01	0.76	66.33
AFS-12	< 0.01	0.22	<0.01	<0.01	11.214	<0.01	<0.01	0.89	66.89
AFS-15	< 0.01	0.094	<0.01	0.0154	11.229	<0.01	0.026	0.84	70.77
AFS-16	0.107	0.014	<0.01	<0.01	11.161	<0.01	0.023	0.83	75.49

Çizelge 4.6. İnceleme alanındaki suların diğer su kimyası analiz sonuçları (mg/L) (Mayıs, 2011)

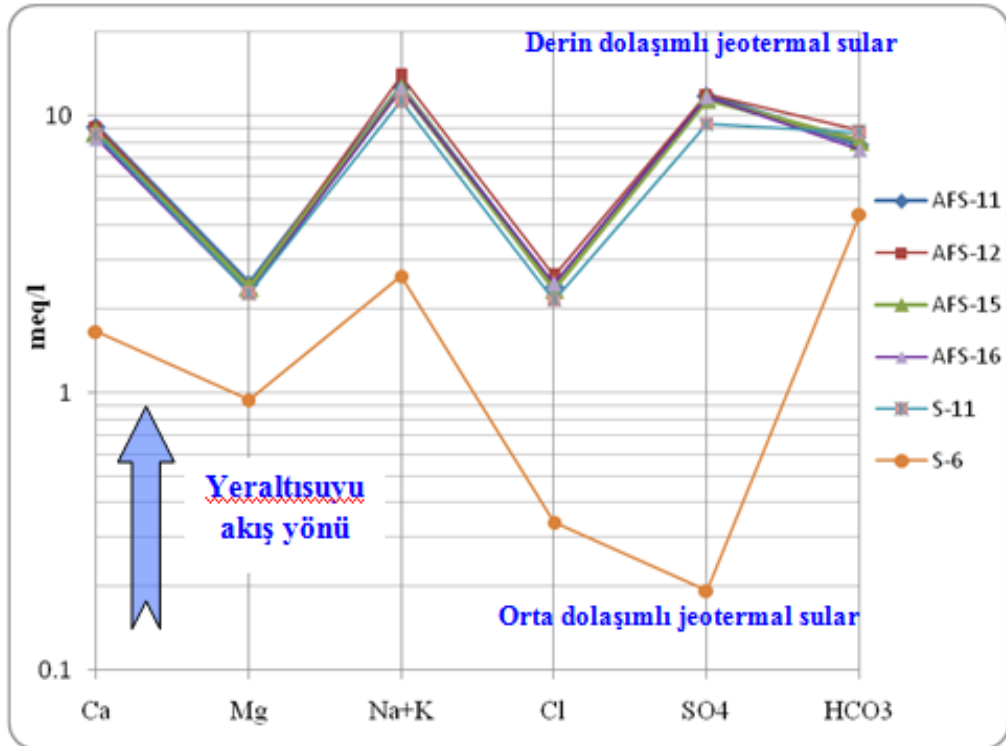
Örnek adı	Fe	Mn	Cu	Zn	Sr	Pb	Ni	B	SiO ₂
K-1	<0.01	<0.01	0.077	0.113	0.677	<0.01	0.128	0.055	45.07
K-2	<0.01	0.14	0.03	0.47	0.147	<0.01	0.02	0.315	44.52
K-3	0.055	0.224	0.045	0.45	0.09	<0.01	0.013	0.025	35.64
K-4	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.395	<0.01	<0.01	0.015	47.49
K-5	<0.01	<0.01	<0.01	0.165	0.104	<0.01	<0.01	0.017	16.77
S-1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.645	<0.01	<0.01	0.032	39.74
S-2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.66	<0.01	<0.01	0.027	51.47
S-3	2.301	0.069	<0.01	<0.01	0.673	<0.01	<0.01	0.028	46.55
S-5	0.021	0.024	<0.01	0.01	0.032	<0.01	<0.01	0.027	69.57
S-6	0.184	0.015	<0.01	<0.01	0.326	<0.01	<0.01	0.111	16.43
S-7	<0.01	<0.01	<0.01	0.012	0.098	<0.01	<0.01	0.009	11.78
S-8	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.891	<0.01	<0.01	0.056	24.28
S-9	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	2.331	<0.01	<0.01	0.188	61.52
S-10	<0.1	0.03	<0.01	<0.01	2.510	<0.01	<0.01	0.259	47.15
S-11	0.204	0.152	<0.01	<0.01	7.87	<0.01	<0.01	0.749	47.92
S-12	3.362	0.31	0.012	0.017	2.761	<0.01	<0.01	0.247	44.21
S-13	1.055	0.018	<0.01	<0.01	0.859	<0.01	<0.01	0.247	25.18
AFS-11	0.265	0.164	<0.01	0.016	8.552	<0.01	<0.01	0.807	52.12
AFS-12	0.191	0.204	0.016	0.03	10.28	<0.01	<0.01	0.910	53.10
AFS-13	0.232	0.074	<0.01	0.011	10.037	<0.01	<0.01	0.971	55.73

4.2. Suların Analiz Sonuçlarının Grafiklerle Gösterilmesi

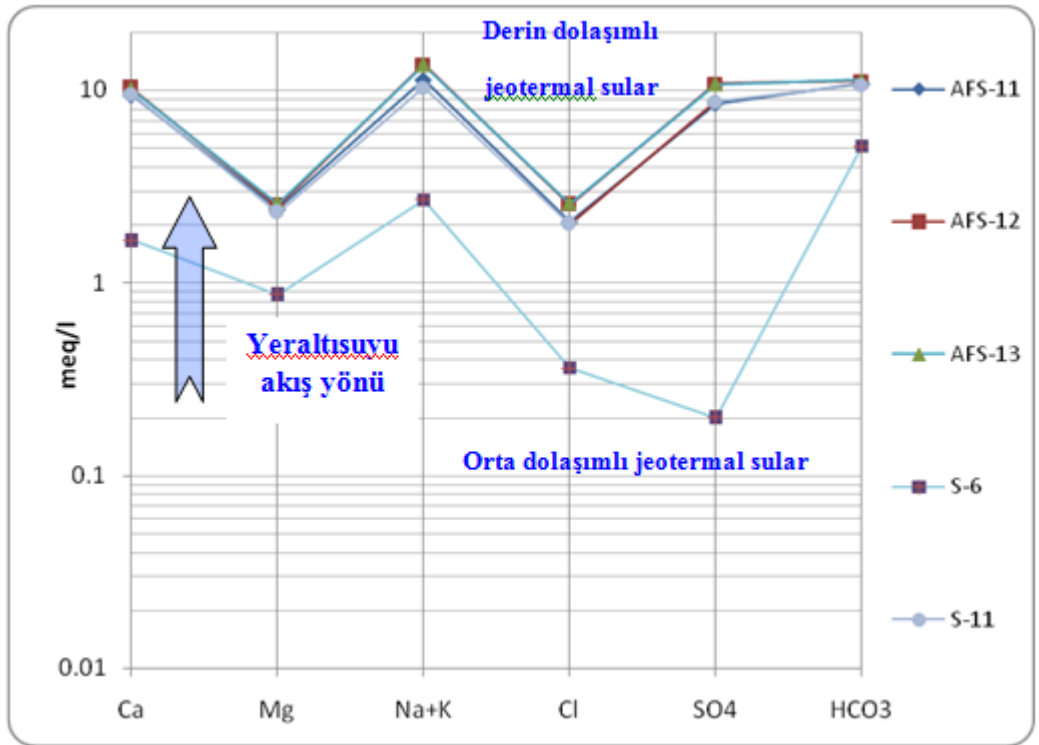
4.2.1 Yarı logaritmik schoeller diyagramları

İnceleme alanında yer alan suların yarı logaritmik Schoeller diyagramlarına göre iyonların sıralanması farklıdır (Şekil 4.1., 4.2., 4.3., 4.4.). Kurak dönemde iyon bolluk dizilimleri, katyonlarda jeotermal sularda $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$, $\text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$, anyonlarda S-6 sıcak suyunda $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$, jeotermal sulara ise $\text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ dir. Soğuk sulara iyon bolluk dizilimi katyonlarda $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2}$ ve $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$, anyonlarda genelde $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^-$ dir. Ancak bunlardan K-1, $\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$, K-3, K-2, ve S-4 $\text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ dizilimi ile ayrılır (Şekil 3.3). Yağışlı dönemde S-6 sıcak suyunda iyon dizilimi aynı kalırken, sıcak ve mineralli suların sadece anyon dizilimi $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^-$; soğuk sulardan K-1'in katyonları $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$, S-13'ün ise anyonları $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^-$ biçiminde değişmiştir.

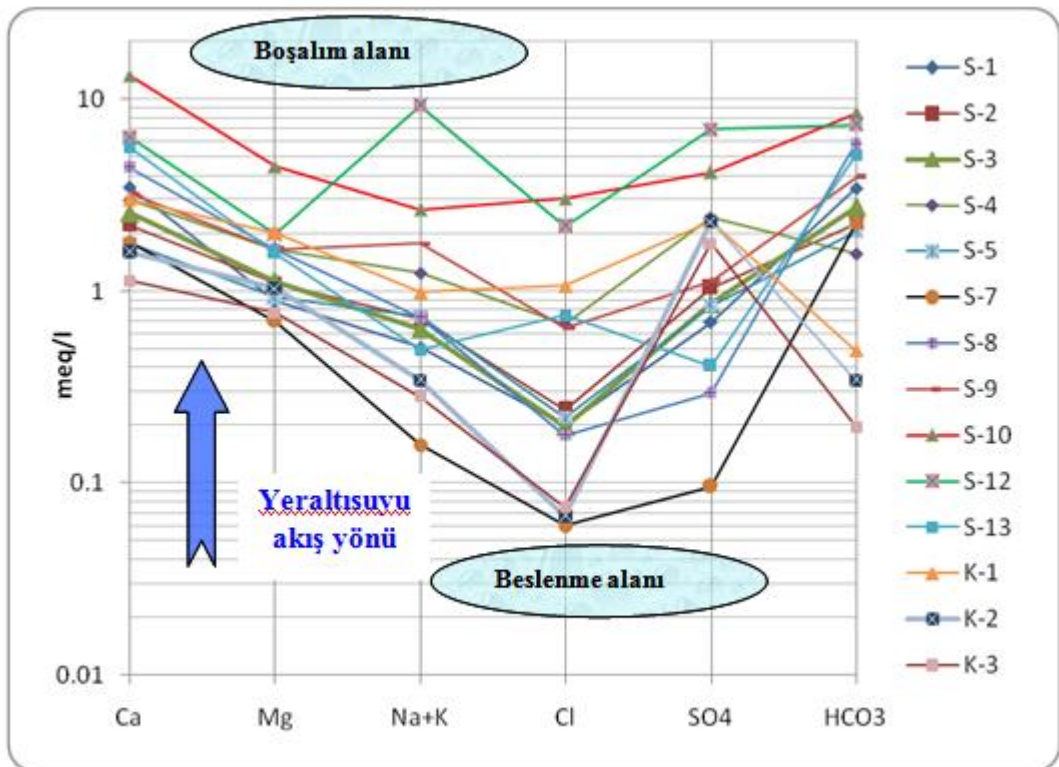
Yarı logaritmik diyagramlarda çizgileri birbirine paralel olan sular benzer kökene; sülfatı diğer iyonlara oranla düşük olan sular ise sülfat indirgenmesine işaret eder.



Şekil 4.2. İnceleme alanındaki sıcak suların yarı logaritmik Schoeller diyagramı (Ekim, 2010)



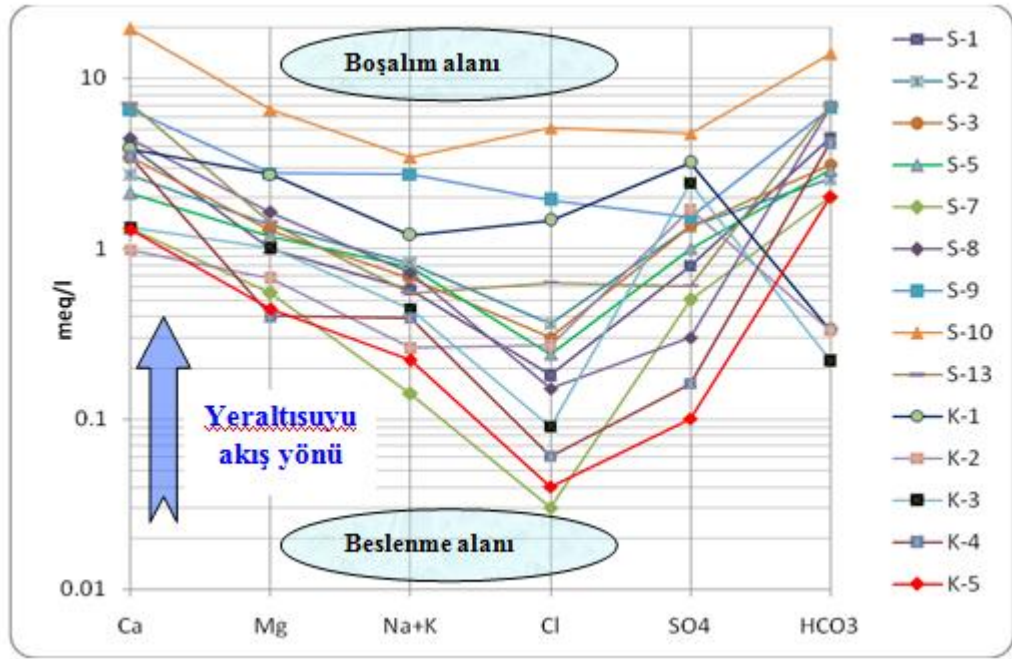
Şekil 4.3. İnceleme alanındaki sıcak suların yarı logaritmik Schoeller diyagramı (Mayıs, 2011)



Şekil 4.4. İnceleme alanındaki soğuk suların yarı logaritmik Schoeller diyagramı (Ekim, 2010)

Çizelge 4.7. İnceleme alanındaki sularda bulunan iyon dizilimleri ve su türleri
(*:Ekim, 2010 **: Mayıs, 2011)

Örnek Adı	İyon Dizilimi (*: Ekim 2010, **: Mayıs 2011)	Su türü
K-1*/ K-1**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-} > \text{HCO}_3^{-}$	Ca-Mg-SO ₄
K-2*/ K-2**/ K-3*/ K-3**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-}$	
K-4**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Ca-HCO ₃
K-5**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Ca-Mg-HCO ₃
S-1*/ S-1**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Ca-HCO ₃
S-2*/ S-2**		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
S-3*/ S-3**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
S-4*	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-}$	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
S-5*/ S-5**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
S-6*/ S-6**	$\text{Na}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Na-Ca-HCO ₃
S-7*/ S-7**/ S-8*/ S-8**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Ca-Mg-HCO ₃
S-9*/S-9**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Ca-Mg-Na-HCO ₃
	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	
S-10*/S-10**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Ca-Mg-HCO ₃
	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
S-11*/S-11**	$\text{Na}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}; \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-}$	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃
	$\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄
S-12*	$\text{Na}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Na-Ca- HCO ₃ -SO ₄
S-13*/S-13**	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Ca-HCO ₃
	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^{+} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Ca-Mg-HCO ₃
AFS-11*/AFS-11**	$\text{Na}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}; \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-}$	Na-Ca- SO ₄ - HCO ₃
	$\text{Na}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Na-Ca- HCO ₃ -SO ₄
AFS-12*/AFS-12**	$\text{Na}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}; \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-}$	Na-Ca- SO ₄ - HCO ₃
	$\text{Na}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Na-Ca- HCO ₃ -SO ₄
AFS-13**	$\text{Na}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}; \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Na-Ca- HCO ₃ -SO ₄
AFS-15*	$\text{Na}^{+} > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^{+}; \text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-}$	Na-Ca- SO ₄ - HCO ₃
AFS-16*		

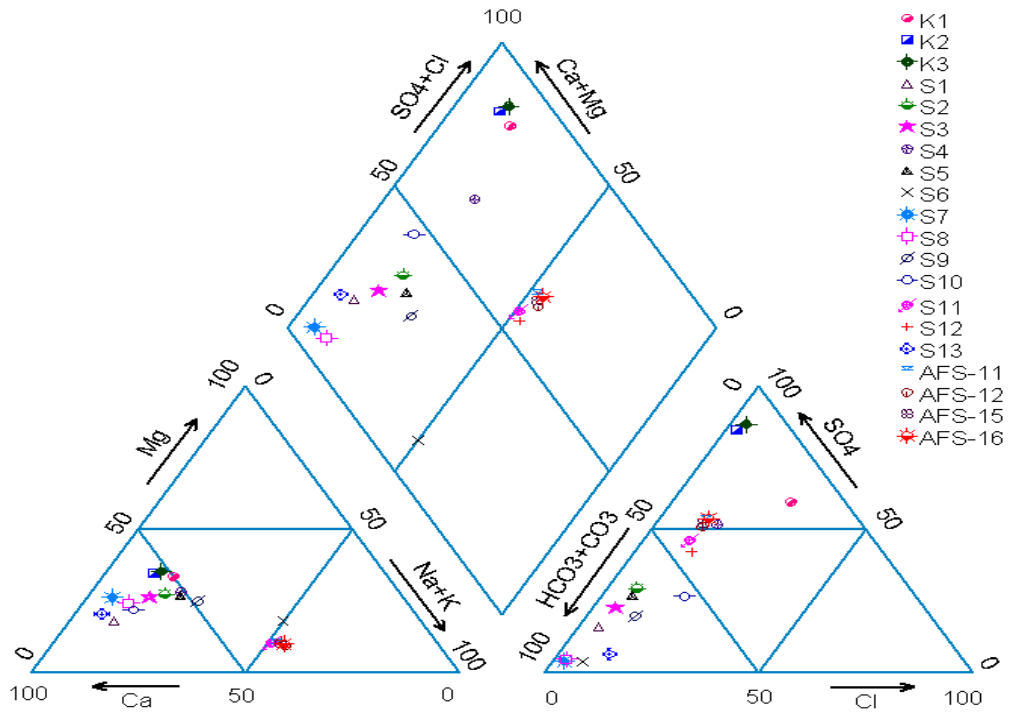


Şekil 4.5. İnceleme alanındaki soğuk suların yarı logaritmik Schoeller diyagramı (Mayıs, 2011)

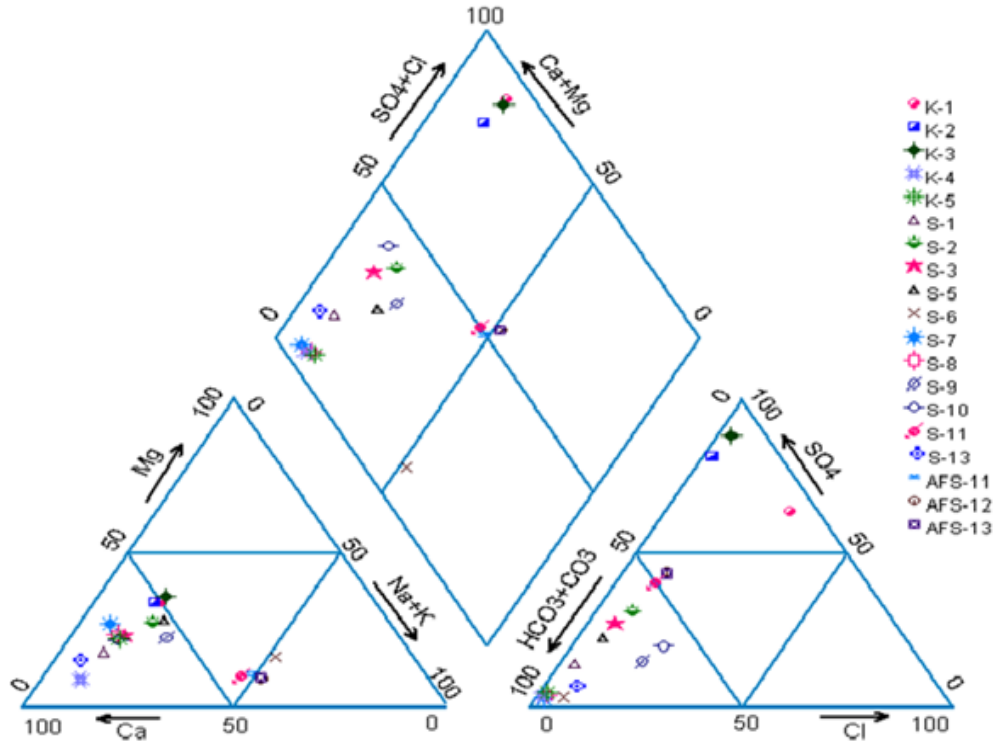
4.2.2. Piper ve Durov diyagramları

İnceleme alanındaki sular Piper diyagramına göre iki dönemde de ayrı gruplar halinde genelde aynı bölgelere düşmüştür. S-6, S-11, AFS-11, AFS-12, AFS-13, AFS-15, AFS-16 sıcak suları ile Hamam çayı (S-12), $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$ ve $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ iyon dizilimine sahip tuzlu ve sodalı sulardır. S-12'nin bu özellikte olmasının nedeni Hüdai kaplıcasının sularıyla karışmasıdır. Karbonat olmayan alkalitesi % 50'den fazla olan bu sular NaCl, Na_2SO_4 ve KCl'lüdür. Soğuk sulardan K-1, K-2, K-3; $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$, $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ iyon dizilimi ile karbonat olmayan sertliği % 50'den fazla olan, CaSO_4 ve MgSO_4 'lüdür. K-4, K-5, S-1, S-2, S-3, S-4, S-5, S-7, S-8, S-9, S-10, S-13 ise, $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$, $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ iyon dizilimine sahip, karbonat sertliği %50'den fazla olan CaCO_3 ve MgCO_3 'lü sulardır (Çizelge 4.5., 4.6., 4.7., 4.8.).

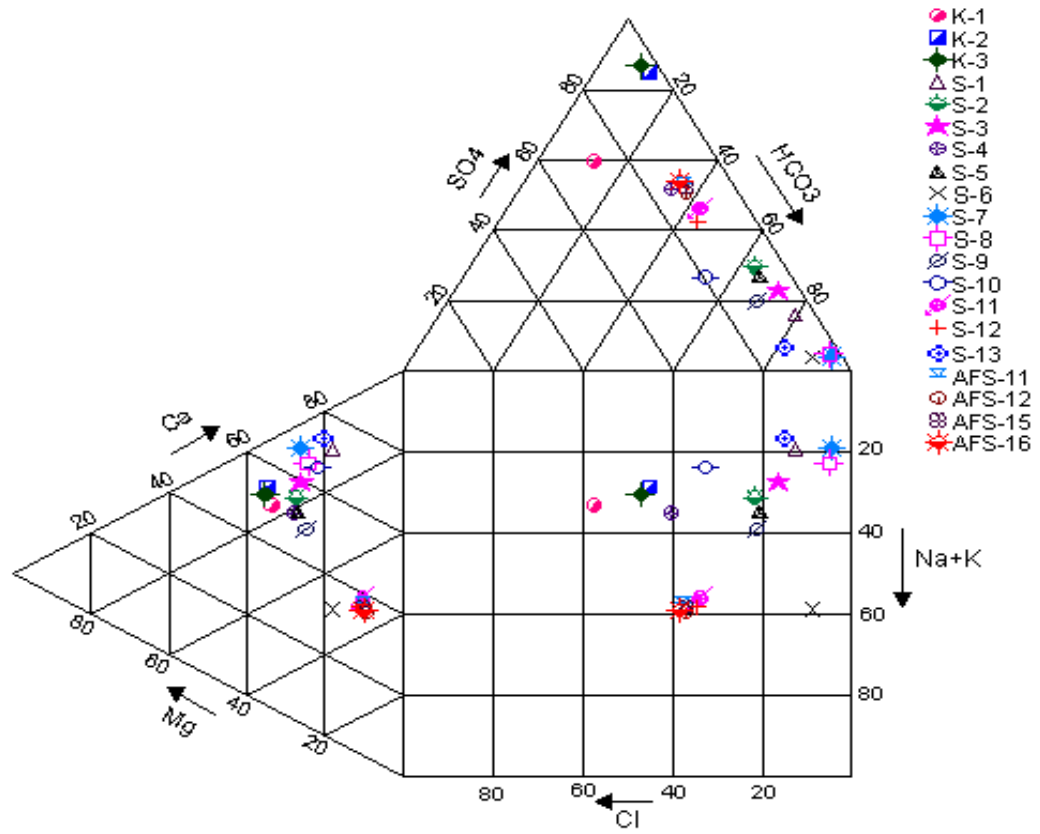
Durov diyagramına göre; sular her iki dönemde de aynı bölgede yer almaktadır. Sıcak ve mineralli sularda Na ve SO_4 , soğuk sularda ise Ca ve HCO_3 baskın iyonlar olup, sonuçlar Piper diyagramı ile uyumludur. K-1, K-2, K-3 soğuk sularında SO_4^{2-} 'ün fazla oluşu dolaşım süresinin uzunluğuna ve/veya yeraltısıyu akış yolu boyunca sülfürce zengin kayalarla yıkamaya bağlı olabilir.



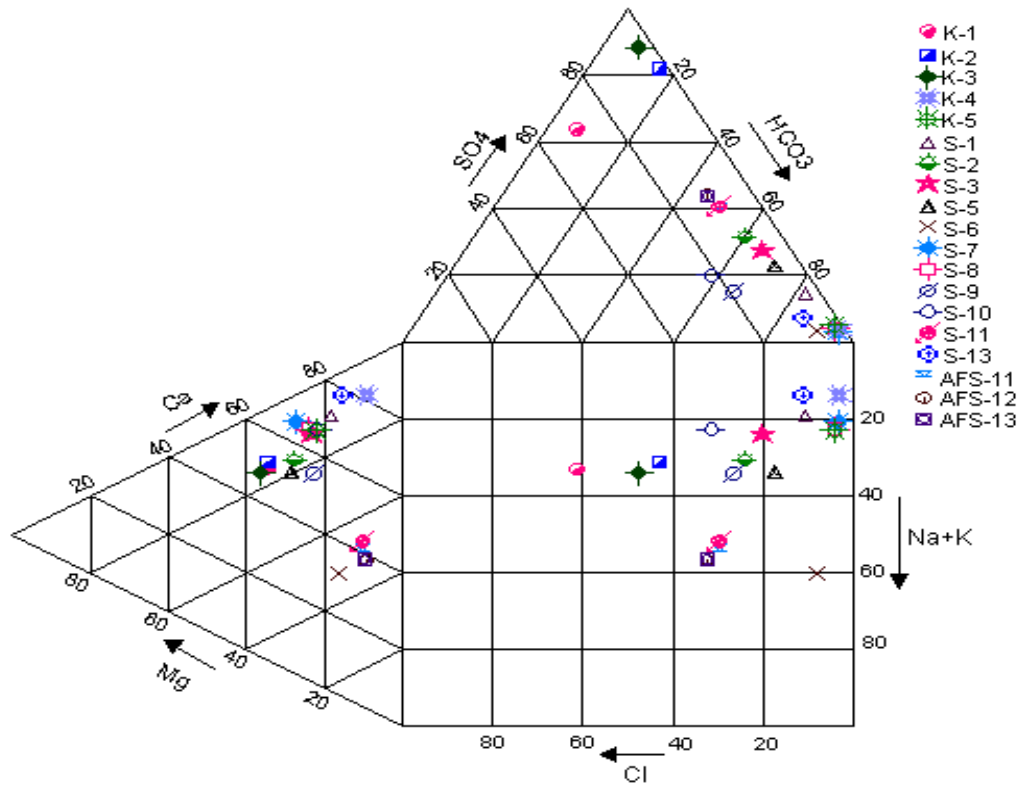
Şekil 4.6. İnceleme alanındaki suların Piper diyagramı (Ekim, 2010)



Şekil 4.7. İnceleme alanındaki suların Piper diyagramı (Mayıs, 2011)



Şekil 4.8. İnceleme alanındaki suların Durov diyagramı (Ekim, 2010)



Şekil 4.9. İnceleme alanındaki suların Durov diyagramı (Mayıs, 2011)

4.2.3. Su kimyası fasiyesleri

İnceleme alanındaki sulara üç su kimyası fasiyesi belirlenmiş olup, bunlar; (1) Ca-Mg-HCO₃, (2) Ca-Mg-HCO₃-SO₄; Ca-Mg-SO₄-HCO₃; Ca-Mg-SO₄-Cl; (3) Na-Ca-SO₄-HCO₃ biçimindedir. (1) fasiyesi beslenme alanında serbest akiferdeki hızlı dolaşımli genç suları (Freeze ve Cherry, 1979; Afşin, 1997); (2) fasiyesi göreceli olarak basınçlı akiferdeki daha uzun dolaşımli karışım sularını, (3) fasiyesi basınçlı sıcak su akiferindeki çok uzun dolaşımli yaşlı jeotermal suları temsil eder.

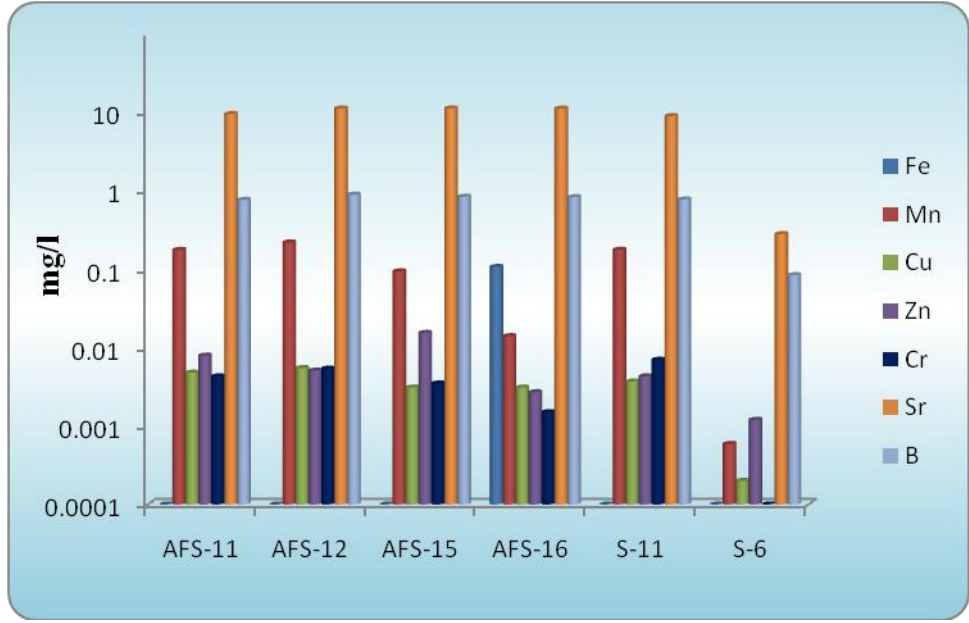
4.2.4. Suların metal içeriklerinin değerlendirilmesi

İnceleme alanındaki suların kurak ve yağışlı dönemde yapılan analiz sonuçları çeşitli grafikler yardımıyla değerlendirilmiştir (Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14.).

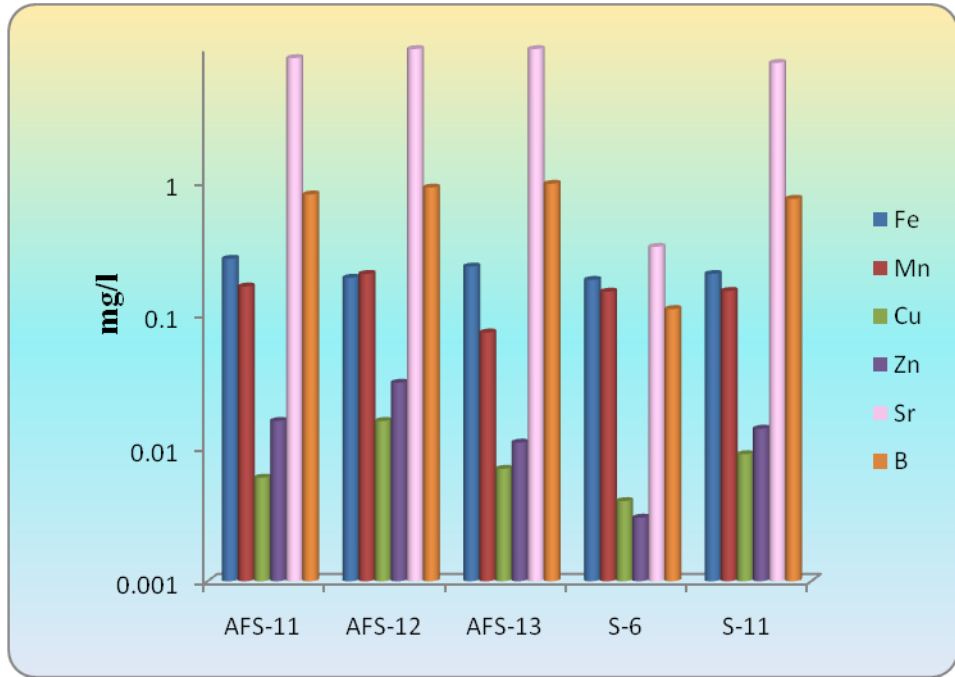
Kurak dönemde; Fe, en yüksek AFS-16'da olup, diğer sulara ise 0.01 mg/l'nin altındadır. Cu ve Mn K-3'te ve B, AFS-12'de en yüksek; Mn S-8 ve S-9'da, B ise S-7'de en düşük; Pb, tüm sulara 0.01 mg/l'den düşüktür. Ni, K-1'de en yüksek miktardadır. Sr, AFS-15'te en yüksek S-5'te en düşük miktardadır. SiO₂, AFS-16'da en yüksek, S-7'de ise en düşüktür.

Yağışlı dönemde; Fe en yüksek S-12'dedir. Mn, en düşük S-8'de en yüksek K-3'tedir. Cu, S-12'de en düşük AFS-12'de en yüksektir. B, AFS-13'te en yüksek, S-7'de en düşük değerdedir. Sr, en yüksek AFS-12'de en düşük S-5'tedir. Pb değerleri tüm sulara 0.01 mg/l'nin altındadır. SiO₂, en yüksek S-5'te en düşük S-7'dir.

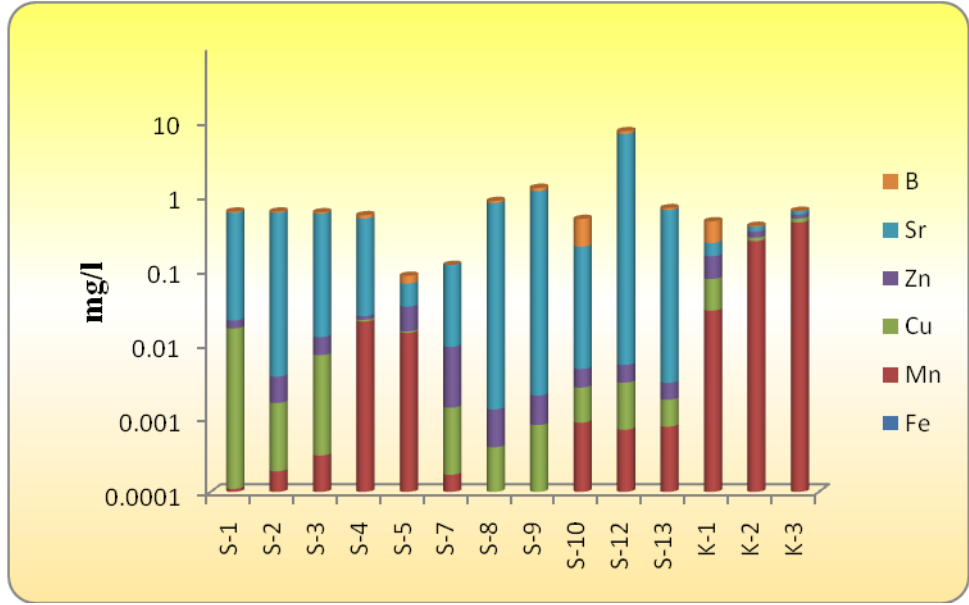
Her iki dönemde suların jeotermal suların ağır metal içeriği yüksektir. Bunun nedeni, uzun dolaşım süresine sahip, sıcaklığı fazla olan suların akış yolu boyunca temas ettiği kayalar daha kolay çözmesidir. SiO₂'nin yüksek olması, bileşiminde SiO₂ içeren inceleme alanında bulunan kayalardan (kuvarsit vb.) kaynaklanmaktadır. İncelenen sulara, Sr sıcak ve mineralli sulara dikkate değer ölçüdedir. Düşük sıcaklıklarda izomorf seri oluşturduğu minerallerde yüksek oranda bulunabilir. İyon yarıçapı dikkate alındığında Ca, Ba, Na ve K ile benzer olan Sr; magmatik parajenezlerde, kalsiyumlu mineraller içerisinde ve kalsiyum elementiyle yer değiştirmiş olarak bulunur (Goldschmidt, 1958). Kireçtaşlarının ve diğer stronsiyum taşıyıcı kayaların yüzeysel bozunmaları sonunda Sr ve kalsiyum taşınmaktadır. Bu bağlamda, jeotermal sulara yüksek Sr değerleri inceleme alanındaki Çaltepe ve Akdağ formasyonlarına ait kireçtaşlarının yıkanması ile ilişkilendirilebilir.



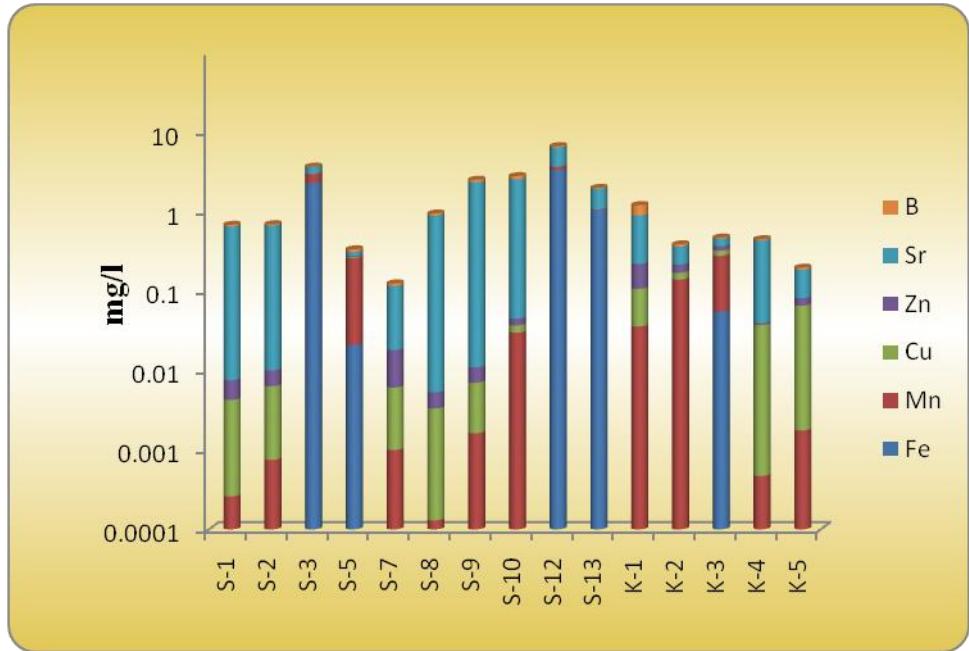
Şekil 4.10. İnceleme alanındaki sıcak suların bazı ağır metal ve iyonlarının değişim grafiği (Ekim, 2010)



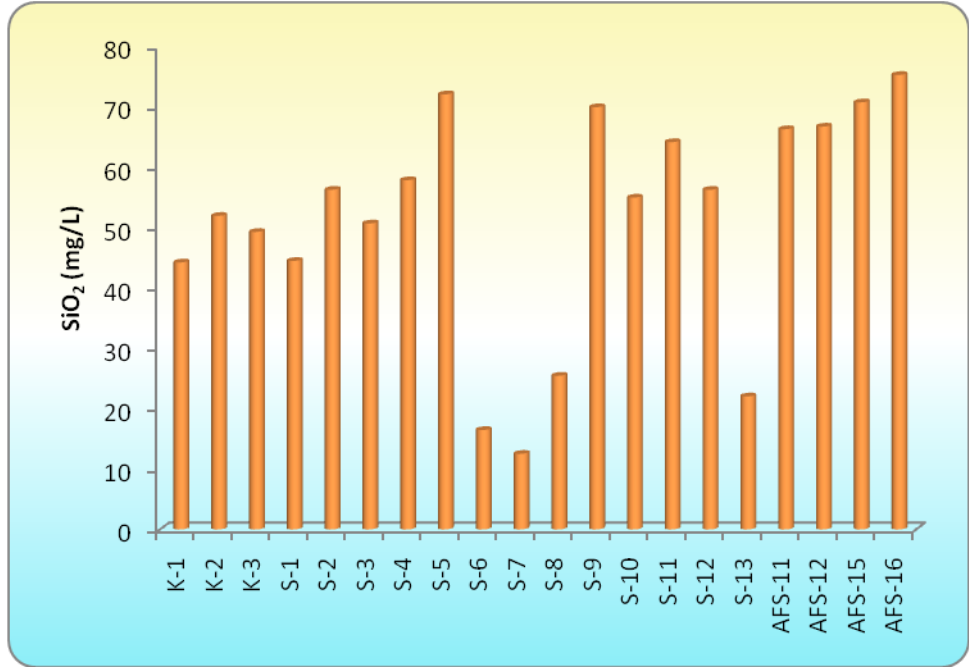
Şekil 4.11. İnceleme alanındaki sıcak suların bazı ağır metal ve iyonlarının değişim grafiği (Mayıs, 2011)



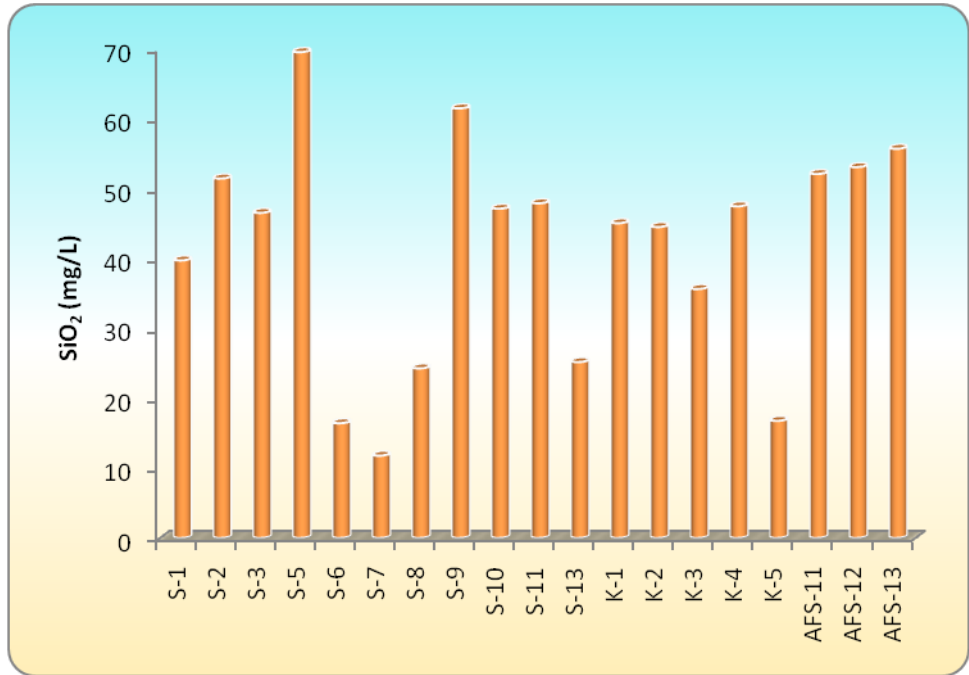
Şekil 4.12. İnceleme alanındaki soğuk suların bazı ağır metal ve iyonlarının değişim grafiği (Ekim, 2010)



Şekil 4.13. İnceleme alanındaki soğuk suların bazı ağır metal ve iyonlarının değişim grafiği (Mayıs, 2011)



Şekil 4.14. İnceleme alanındaki suların SiO₂ değişim grafiği (Ekim, 2010)



Şekil 4.15. İnceleme alanındaki suların SiO₂ değişim grafiği (Mayıs, 2011)

4.2.5. Doygunluk indisleri

İnceleme alanında bulunan kayalar dikkate alınarak anhidrit, aragonit, kalsit, dolomit, kalsedon, jips, kuvars, talk ve stronsiyonit gibi mineraller seçilerek doygunluk indisleri hesaplanmıştır. (Çizelge 4.8., 4.9., 4.10.).

İncelenen tüm sular kurak ve yağışlı dönemde genelde kalsit, barit, kaolinit, kuvars, aragonit, dolomit, kuvars ve stronsiyonite doymuş; halit, jips ve anhidrite doymuş değildir.

Doygunluk indis (SI) değerleri >0 olan sularda çökelme, SI değerleri <0 olan sularda çözünme eğilimi vardır.

Çizelge 4.8. İnceleme alanındaki soğuk suların mineral doygunluk değerleri (Ekim*, Mayıs**)

Mineraller	S-1*	S-1**	S-2*	S-2**	S-3*	S-3**	S-4*	S-5*	S-5**	S-7*	S-7**	S-8*	S-8**
Anhidrit	-2.25	0.17	-2.24	0.28	-2.27	0.33	-1.88	-2.43	0.09	-3.33	-0.98	-2.62	-0.27
Aragonit	-	2.83	-	2.59	-	2.80	-0.97	-1.02	2.11	-0.04	2.42	0.16	2.66
Kalsit	-	2.99	-	2.73	-	2.95	-0.82	-0.87	2.26	0.12	2.57	0.32	2.81
Kalsedon	0.22	1.97	0.24	2.01	0.20	2.00	0.29	0.39	2.18	-0.33	1.46	-0.03	1.79
Dolomit	-	5.18	-	5.04	-	5.31	-1.87	-2.0	4.09	-0.21	4.49	0.19	4.94
Barit	0.15	-	0.02	-	0.01	-	0.17	-	-	-0.29	-	0.33	-
Jips	-2.0	0.41	-2.01	0.51	-2.03	0.57	-1.63	-2.19	0.33	-3.07	-0.73	-2.37	-0.03
Halit	-8.67	-6.06	-8.45	-5.57	-8.59	-5.73	-7.85	-8.47	-5.73	-9.71	-7.21	-8.59	-6.03
Kuvars	0.69	2.43	0.68	2.45	0.65	2.45	0.74	0.84	2.64	0.14	1.94	0.44	2.25
Talk	1.47	8.77	2.22	10.55	2.78	10.53	-3.87	-4.14	7.96	-2.10	6.97	-3.02	6.06

Çizelge 4.9. İnceleme alanındaki soğuk suların mineral doygunluk değerleri (Ekim*, Mayıs**)

Mineraller	S-9*	S-9**	S-10*	S-10**	S-13*	S-13**	K-1*	K-1**	K-2*	K-2**	K-3*	K-3**	K-4**	K-5**
Anhidrit	-2.16	0.44	-1.25	1.08	-2.37	0.14	-1.90	0.70	-2.04	0.13	-2.26	0.30	-0.44	-0.76
Aragonit	0.11	2.90	-	3.10	-	2.92	-	0.43	-	-0.16	-	-0.64	1.68	1.73
Kalsit	0.25	3.05	-	3.25	-	3.07	-	0.59	-	-0.00	-	-0.49	1.83	-
Kalsedon	0.36	2.16	0.31	2.16	-0.10	1.77	0.20	2.08	0.30	2.06	0.30	1.98	2.11	1.61
Dolomit	0.27	5.58	-	5.86	-	5.26	-	0.77	-	-0.45	-	-1.37	2.39	3.01
Barit	0.17	-	0.69	-	0.46	-	0.15	-	0.38	-	1.30	-		-
Jips	-1.92	0.67	-	1.31	-2.12	0.37	-1.65	0.94	-1.79	0.38	-2.0	0.55	-0.19	-0.51
Halit	-7.65	-4.35	-6.83	-3.90	-8.11	-6.48	-7.71	-4.82	-9.39	-7.02	-9.43	-6.48	-6.66	-7.03
Kuvars	0.81	2.61	0.77	2.62	0.35	2.23	0.66	2.55	0.77	2.53	0.77	2.46	2.59	2.09
Talk	0.37	9.67	-4.51	7.95	-3.81	6.67	-13.94	2.69	-16.83	0.12	-19.8	-2.06	0.57	3.08

Çizelge 4.10. İnceleme alanındaki sıcak suların mineral doygunluk değerleri (Ekim*, Mayıs**)

Mineraller	S-6*	S-6**	S-11*	S-11**	AFS-11*	AFS-11**	AFS-12*	AFS-12**	AFS-13**	AFS-15*	AFS-16*
Anhidrit	-3.12	-0.76	-0.72	1.27	-0.82	-0.8	-0.61	1.4	1.4	-0.72	-0.46
Aragonit	0.08	2.75	-	3.31	0	1.07	1.02	3.2	3.2	-0.09	-
Kalsit	0.23	2.89	-	3.43	0.13	1.18	1.14	3.31	3.31	0.03	-
Kalsedon	-0.28	1.48	-0.18	1.59	-0.04	-1.26	-0.21	1.61	1.61	-0.12	-0.24
Dolomit	0.32	5.45	-	6.21	-0.07	1.99	1.84	5.92	5.92	-0.32	-
Barit	-0.09	-	0.01	-	0.17	-0.07	-0.02	-	3.33	0.03	0.05
Jips	-2.89	-0.54	-0.81	1.14	-0.78	-0.88	-0.76	1.23	1.23	-0.79	-0.71
Halit	-7.73	-5.03	-6.46	-4.01	-6.35	-6.48	-6.31	-3.81	-3.81	-6.39	-6.39
Kuvars	0.11	1.92	0.13	1.9	0.31	-0.94	0.09	1.91	1.91	0.2	0.04
Stronsiyonit	-1.39	1.7	-	2.41	-0.83	0.1	0.17	-	2.32	-0.89	-
Talk	-1.64	8.61	-1.8	-	-2.95	-1.75	3.12	-	11.05	-3.31	0.05

4.3. Sulara Radyoaktivitenin Değerlendirilmesi

4.3.1. Radon gazı ve kökeni

Uranyum (^{238}U) radyoaktif serisi içinde, radyumun (^{226}Ra) bozunma ürünü olan radon (^{222}Rn), doğal olarak yer kabuğunda bulunan radyoaktif bir asal gazdır. Diğer türlerle reaksiyona girmeyen radon gazının tutucu özellikte olması ve yeraltı sularında yüzey sularından 2-3 kat daha fazla oranda bulunması birçok hidrojeolojik sürecin izlenmesinde radonun ilgi odağı haline gelmesini sağlamıştır (Peterson vd., 2010).

Doğal radyoaktif bir izleyici olan radonun litosferdeki göçünün ve radon taşıyıcı olarak görev yapan yeraltı suyunun geçirdiği süreçlerin aydınlatılması; suda çözünmüş radon konsantrasyonunu bulmada jeolojik yapının ve kaya türünün etkisini tanımak açısından önemlidir (Przylibski vd., 2004).

Radonun ilksel kaynağı zemindeki ve ana kayadaki uranyumun (^{238}U) yüksek oranda bulunmasıdır. Yarılanma ömrünün kısa (3,8 gün) olması nedeniyle suda iyi bir çözücü olmasına rağmen temel iyon bileşiklere göre daha kısa mesafelere taşınır. Bu sebeple radon, çoğunlukla zeminden sızmanın olduğu kuşakta bulunur (Przylibski vd., 2004).

Yeraltı suyundaki radon seviyelerini tahmin etmek; uranyum ve toryumun heterojen dağılımı, akış profili ve çeşitli jeokimyasal şartlar nedeniyle zordur. Ana kayadaki yüksek uranyum seviyesi her zaman yüksek radon konsantrasyonu demek değildir. Radonun varlığını ortaya koyabilmek için topografya, arazi kullanımı, ana kayanın türü, zeminin geçirimsizlik ve gözenekliliği, kayacın metamorfizma derecesi, çatlak yoğunluğu, ana kayadaki uranyum içeriği ve dağılımı birlikte incelenmelidir (Choubey vd., 2003). Radon içeriği derinlikle (Choubey vd., 2003), florür miktarı uranyum ile doğru orantılıdır (Salih vd., 2004).

Ana kayada ve zeminde radonun taşınması kırılma düzlemi boyunca gözeneklerden suyun süzülmesi ile olur (Choubey vd., 2009). Radon içeriği, kayaç türlerinde zamana bağlı olarak farklılık gösterir. Bunun nedenleri; beslenme alanındaki seyrelme ve su çekimi nedeniyle akiferin beslenme alanında meydana gelen değişimlerdir. Yüksek radon seviyelerinin, yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında oluşan, uranyum içeren, alttaki birimlerin granit ya da yüksek dereceli metamorfizma geçirdiği kayaçların olduğu özellikle deprem bölgeleri, jeotermal ve volkanik alanlarda bulunduğu bilinmektedir (Tanner, 1986; Yener vd., 2005; Choubey vd., 2009).

UNSCEOR (1993), çalışmalarında bulduğu yüksek radon değerlerini granitlerle, orta değerleri sedimanter ve metamorfik kayaçlarla, nispeten düşük değerleri ise kireçtaşlarıyla ilişkilendirmiştir.

Skeppstrm ve Olofsson (2006), kot değeri fazla olan kuyulardan alınan sulardaki radon konsantrasyonunun daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Kuyuların açıldığı ana kayanın önemli ölçüde çatlaklı yapıya ve hidrolik iletkenliğe sahip olduğu şartlarda yeraltı suyu hidrolik yükün fazla olduğu yerden az olduğu yere doğru hareket eder. Yer altından sızan radon, gözenek boşluğunda yarılanmadan önce su ile taşınır. Düşük kotlarda akış en az seviyede olup, su durağandır. Konveksiyon akımı ile taşınan radonun alçak alanlara taşınmadan önce yarılandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, Akerblom ve Lindgren (1997)'e göre radonun ana elementi olan uranyum ve radyum redoks şartlarına bağlı olarak minerallerden suya geçerek ana kaya çatlaklarına dolabilir. Uranyum ve radyum sonuç olarak akış yolu boyunca çatlak yüzeyinde birikir ve yarılanmaya devam eder. Bu durumda düşük kotlarda toplam radon konsantrasyonunun artmasına sebep olur.

Skeppstrm ve Olofsson (2006), geçirimsiz birimlerle örtülü kuyuların radon konsantrasyonunun yüksek, yeraltına szlmeye olanak sağlaması nedeniyle geçirimli birimlerle kuyuların düşük radon konsantrasyonuna sahip olduğunu belirtmişlerdir. Düzenli kullanılan kuyularda yeraltı suyunun sürekli bir dolaşım halinde olduğunu, böyle kuyularda radon miktarında azalma olabileceğini, açılan kuyuların derinliği ile radon miktarı arasında doğru bir orantı olduğunu vurgulamışlardır.

4.3.2. İnceleme alanındaki suların radon gazı değerlendirmesi

İnceleme alanındaki sularda ölçülen radon değerleri Çizelge 4.11.'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. İnceleme alanındaki suların radon konsantrasyonları
(*:Ekim,2010; **:Mayıs, 2011)

Örnek No	Örnek Adı	Radon Konsantrasyonu (Bq/L)
1	K-4	13.3
2	AFS-6**	15.0
3	AFS-11*	3.3
	AFS-11**	7.0
4	AFS-12*	5.6
	AFS-12**	4.1
5	AFS-13**	8.6
6	AFS-15*	26.3
7	AFS-16*	3.2

Bu sonuçlara göre en yüksek radon değeri 26.3 Bq/L ile AFS-15'e, en düşük değer ise 3.2 Bq/L ile AFS-16 sıcak su kuyusuna aittir. Sıcak suların akiferle uzun teması ve derin dolaşımı radon konsantrasyonunun artmasına sebep olabilirken; ortamın yüksek gözeneklilik, geçirimlilik, iletimlilik ve türbülant akış şartları radonun doğal olarak uçmasını etkileyebilir (Choubey vd., 2003; Choubey vd., 2009). İnceleme alanının temelinde muhtemel bir sokulum olduğu düşünüldüğünde derin dolaşıma sahip jeotermal sularda nispeten daha yüksek radon değerlerinin çıkması olasıdır.

Çizelge 4.12. Hüdai kaplıcası ve çevresinde açılan sıcak su kuyuları
(Sandıklı Belediyesi, 2012)

KUYU NO	Y Koordinatı	X Koordinatı	SICAKLIK (°C)	DERİNLİK (m)	DEBİ (l/s)	Durumu
AFS-1	254270	4257690	70.5	226	50	Reenjeksiyon
AFS-2	254342	4257656	69	139.4	60	Üretimde
AFS-3	254326	4257888	40	301	50	Pasif
AFS-4	254294	4752862	69	75	50	Pasif
AFS-5	254262	4257625	69	76.5	50	Pasif
AFS-6	254544	4257628	69.7	49.15	60	Üretimde
AFS-7	254678	4258067	68	92	60	Üretimde
AFS-8	254686	4258057	68	100	60	Pasif
AFS-9	254312	4257362	68	70	60	Pasif
AFS-10	254395	4257758	68	54	45	Pasif
AFS-11	255731	4258473	69.7	258	60	Üretimde
AFS-12	257249	4258903	80	508	60	Üretimde
AFS-13	257428	4259123	76	422	60	Üretimde
AFS-14	259808	4259604	77	1022	47	Üretimde
AFS-15	257760	4259900	72	563	47	Üretimde
AFS-16	257786	4259006	76	856	60	Üretimde
AFS-17	258415	4258780	82	1053	25	Üretimde
AFS-18	260003	4259934	-	AÇILAN	-	Reenjeksiyon amaçlı
AFS-19	258405	4259219	79	620	55	Üretimde
188	258860	4259261	77	750	50	Üretimde

4.3.3. Jeotermal sularda radon tedavisi

Sulardaki radon içeriği insan sağlığını yakından ilgilendirmektedir. Bu sular üzerine kurulmuş kaplıcalardan veya doğal oluşum bölgelerinden faydalanan halk belli bir düzeyde radona maruz kalır. Radon terapisi adı verilen bu uygulamada insan vücuduna belli dozlarda radon verilir. Aşırı dozda alınan radon, akciğer kanserini tetiklemesine rağmen son yıllarda yapılan çalışmalarla başta romatizmal olmak üzere birçok hastalıkta tedavi edici özelliğinin olduğu bilinmektedir (Falkenbach vd., 2005).

666 Bq/L radon içeren sular, radonlu sular olarak sınıflanmaktadır (Van der Aa1, 2003). Bu bağlamda, Hüdai jeotermal alanında da radon ile tedavi uygulanmaktadır. Örnekleme sırasında radonun uçabileceği göz önüne alındığında elde edilen düşük değerler normaldir. Belirli dönemlerde düzenli olarak yapılacak radon ölçümleri, daha sağlıklı veriler elde etmek açısından önemli olacaktır.

5. İZOTOP HİDROLOJİSİ

5.1. İzotopların Jeotermal Araştırmalarda Kullanılması

Bir elementin proton ve elektron sayıları aynı, nötron sayıları farklı atomlarına izotop adı verilir. İzotoplar, radyoaktif ve kararlı olmak üzere ikiye ayrılır. Radyoaktif bozuşma yoluyla bir başka elemente dönüşenlere radyoaktif, bozunma olmayanlara ise kararlı izotop denilmektedir. Jeotermal alanların hidrojeolojik açıdan incelenmesinde hidrojen, oksijen, karbon, kükürt gibi elementlerin izotopları kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlileri, ^{16}O , ^{18}O , ^2H , ^{12}C , ^{13}C , ^{34}S , ^{14}C ve ^3H 'dur. ^{14}C ve ^3H kararsız izotoplardır. Bu izotoplar, fiziksel ve kimyasal özelliklerini korumaları sebebiyle suların kökenlerini ve bölgesel akım yönlerini belirlemede izleyici parametre olarak kullanılabilir. İzotop ayrışması; sıcaklık, kayaç-akışkan etkileşimi, sıcak-soğuk su karışımları ve buhar ayrışması gibi fizikokimyasal süreçlere duyarlı olduğundan, jeotermal sistemlerde akışkanın kökeni, yaşı ve rezervuar sıcaklığı izotop çalışmaları ile belirlenmektedir.

5.2. İnceleme Alanındaki Suların İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi

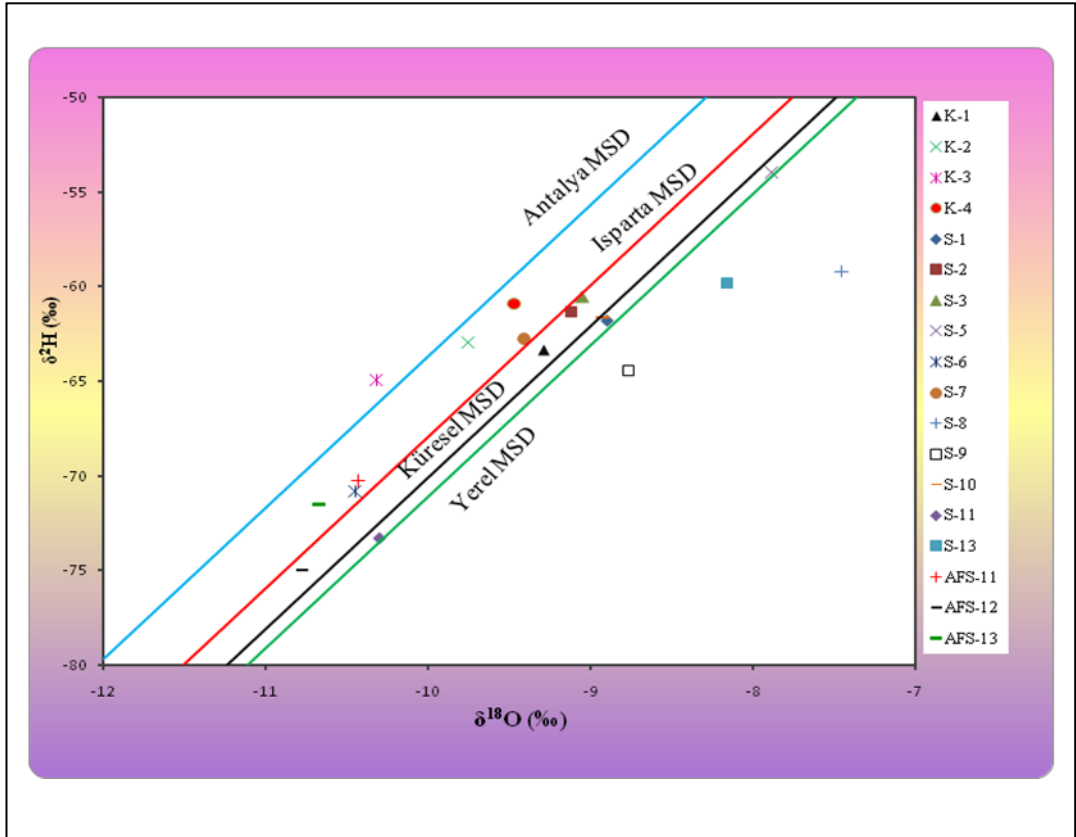
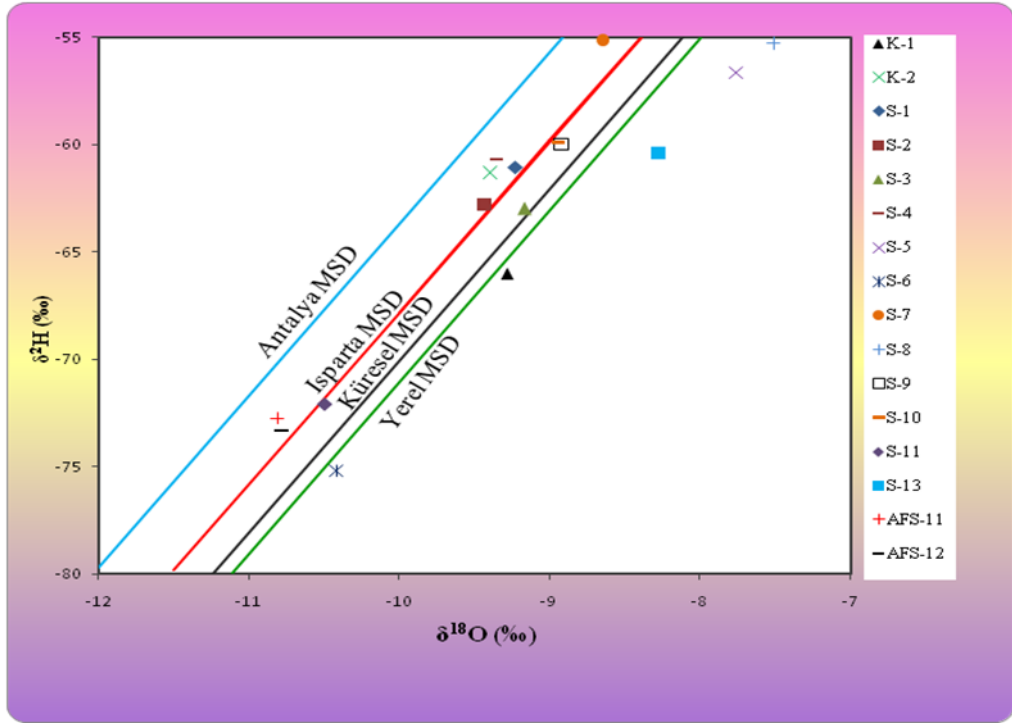
İncelenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk sulardan kurak ve yağışlı dönemde örnekler alınarak $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H ve ^{14}C , $\delta^{34}\text{S}$ analizleri yapılmıştır (Çizelge 5.1.).

5.2.1. $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ İlişkisi

$\delta^{18}\text{O}$ değerleri (‰) sıcak sularda -10.81 ile -10.30, soğuk sularda ise -10.32 ile -7.45 arasında değişmektedir. $\delta^2\text{H}$ değerleri (‰) sıcak sularda -75.22 ile -70.29, soğuk sularda -66.02 ile -54 arasındadır (Şekil 5.1.). $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ grafikte tüm suların Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD) etrafında yer alması; bu suların meteorik kökenli olduğunu göstermektedir (Craig, 1961).

Çizelge 5.1. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H izotop analiz sonuçları (*: Ekim, 2010; **:Mayıs, 2011)

Örnek Adı	Örnekleme Tarihi	Sıcaklık (°C)	pH	EC (µS/cm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	^3H (TU)	Örnek Adı	Örnekleme Tarihi	Sıcaklık (°C)	pH	EC (µS/cm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	^3H (TU)
K-1*	29.10.2010	15.5	5.34	597	-9.28	-66.02	3.88	K-1**	08.05.2011	12	5.44	799	-9.29	-63.33	5.41
K-2*	29.10.2010	13.29	4.98	279	-9.39	-61.32	5.00	K-2**	08.05.2011	10.98	5.45	212	-9.75	-62.98	7.38
S-1*	30.10.2010	13.92	8.09	505	-9.23	-61.06	2.5	K-3**	08.05.2011	10.09	5.21	158	-10.32	-64.95	-
S-2*	30.10.2010	21	7.96	389	-9.43	-62.82	0.03	K-4**	08.05.2011	9.8	7.5	337	-9.47	-60.91	5.3
S-3*	30.10.2010	19.8	8.1	368	-9.17	-62.98	0.61	S-1**	07.05.2011	15.78	7.79	477	-8.90	-61.78	2
S-4*	30.10.2010	17.7	6.94	569	-9.36	-60.69	1.39	S-2**	07.05.2011	20.6	7.66	380	-9.12	-61.33	1.6
S-5*	30.10.2010	17.7	6.93	336	-7.76	-56.68	-0.5	S-3**	07.05.2011	18.18	7.97	470	-9.05	-60.55	0.63
S-6*	30.10.2010	23.3	7.67	433	-10.41	-75.22	0.15	S-5**	08.05.2011	17.18	6.82	200	-7.88	-54	-0.59
S-7*	30.10.2010	13.6	7.91	215	-8.65	-55.15	5.05	S-6**	07.05.2011	23.16	7.77	476	-10.45	-70.84	0.67
S-8*	30.10.2010	14.8	7.37	561	-7.51	-55.3	5.76	S-7**	07.05.2011	11.77	7.88	141	-9.41	-62.77	6.29
S-9*	30.10.2010	18.7	7.57	611	-8.92	-60.03	0.32	S-8**	07.05.2011	13.45	7.37	490	-7.45	-59.2	9.61
S-10*	30.10.2010	14.7	6.73	1635	-8.94	-59.91	4.78	S-9**	07.05.2011	18.07	7.51	844	-8.77	-64.43	0.88
S-11*	30.10.2010	67.4	6.46	1727	-10.49	-72.09	-0.07	S-10**	07.05.2011	14.66	7.19	1890	-8.93	-61.64	5.94
S-13*	30.10.2010	15.83	7.26	658	-8.28	-60.43	3.12	S-11**	07.05.2011	68.6	7.31	1552	-10.3	-73.29	0.53
AFS-11 *	30.10.2010	54	6.46	1868	-10.81	-72.76	-0.41	S-13**	07.05.2011	16.64	7.43	644	-8.16	-59.83	5.59
AFS-12*	30.10.2010	73	7.23	1930	-10.79	-73.34	-0.42	AFS-11**	07.05.2011	66.18	7.22	1603	-10.43	-70.29	1.31
								AFS-12**	07.05.2011	73.4	7.11	1785	-10.78	-74.97	0.31
								AFS-13**	07.05.2011	75.65	7.19	1801	-10.67	-71.5	0.22



Şekil 5.1. İnceleme alanındaki suların $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği (Ekim, 2010)

Şekil 5.2. İnceleme alanındaki suların $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği (Mayıs, 2011)

Silikat hidrasyonu, CO₂ ve H₂S değişimi, buharlaşma, yoğunlaşma, su-kayaç etkileşimi gibi izotopik süreçler suların meteorik su doğrusundan sapmalarına neden olur (Clark ve Fritz, 1997; Mazor, 2004). Kurak ve yağışlı dönemde KMSD'nin sağında yer alan S-5, S-6, S-8, S-9, S-13, K-1 no'lu suları besleyen yağışlar buharlaşmaya uğramış olabilirler.

İncelenen sulardan S-2, S-3, S-13 ve AFS-11 buharlaşma; S-5, S-9, S-11 silikat hidrasyonu; S-7 ve K-2 yoğunlaşma; AFS-12, K-1, S-6, S-8 ve S-10 H₂S değişimi; S-1 su-kayaç etkileşimi gibi izotopik süreçlerin etkilerini de yansıtmaktadır. Her iki dönemde de, daha negatif ¹⁸O-²H değerlere sahip olan AFS-11, AFS-12, AFS-13, S-6 no'lu sıcak sular, en yüksek kotlardan; S-8 no'lu soğuk su en düşük kottan, diğer soğuk sular ise orta kotlardan beslenmektedir.

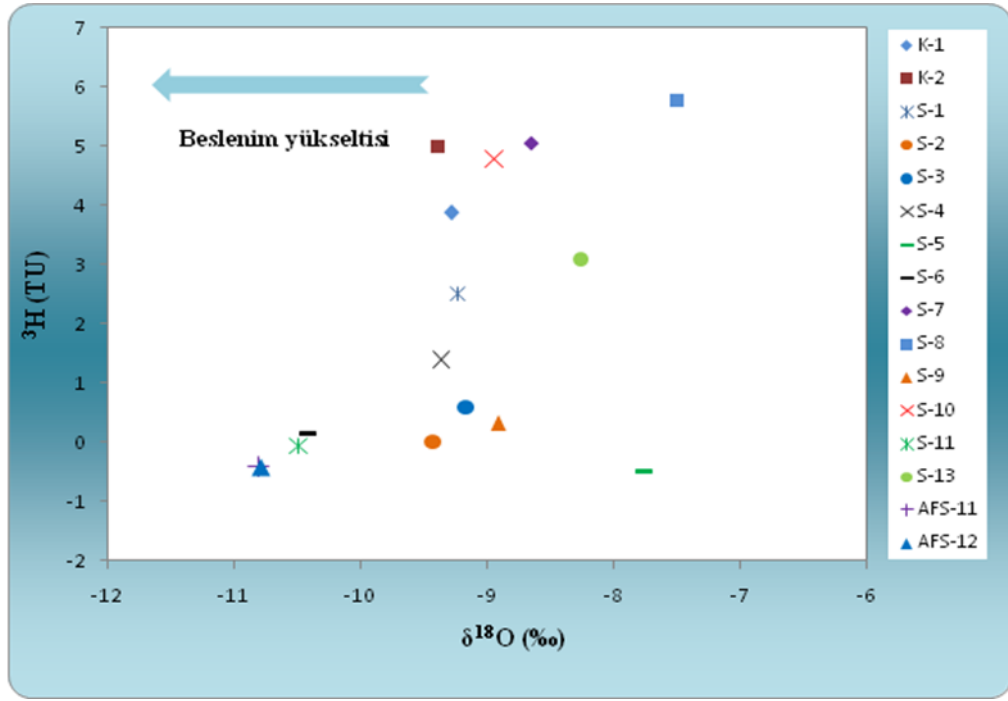
5.2.2. $\delta^{18}\text{O}$ - ^3H ilişkisi

Kıtasal alanlarda trityum içeriklerine göre sular üç farklı gruba ayrılmıştır (Clark ve Fritz, 1997). Bunlar; 5-10 TU trityum içeren, nükleer denemeler (1952) sonrası yağışlardan beslenen genç sular, 0.8-4 TU trityum içeren 1952 öncesi ve 1952 sonrası yağışlarla beslenen karışım suları ve 0.8 TU'dan düşük trityum içeren 1952 öncesi yağışlardan beslenen yaşlı sulardır.

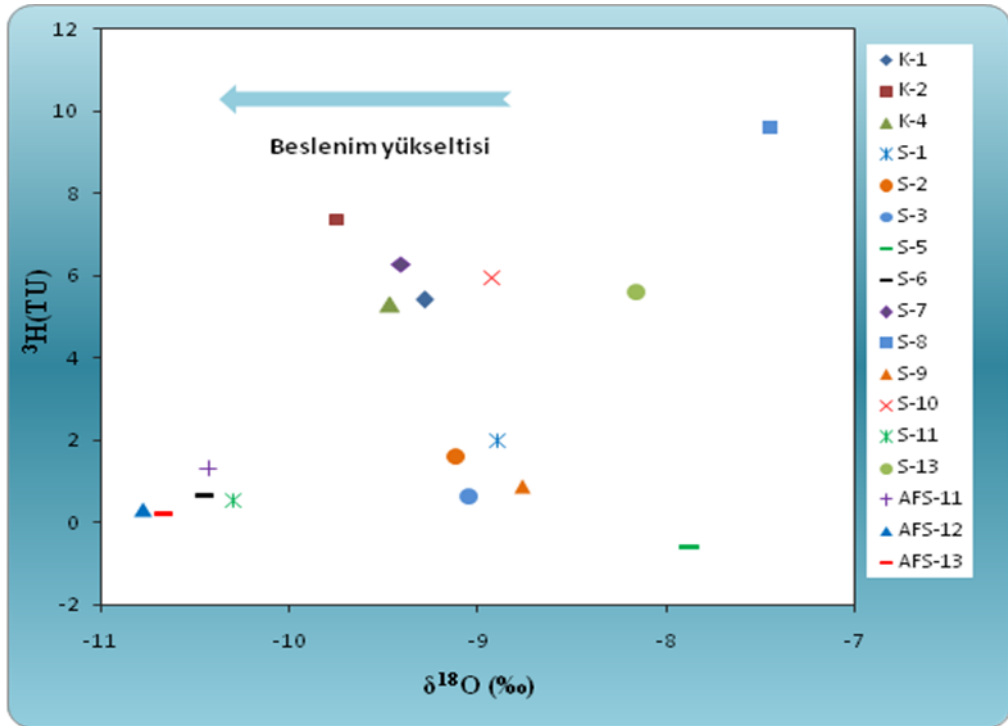
HJA ve çevresindeki suların $\delta^{18}\text{O}$ - ^3H diyagramlarına göre (Şekil 5.2.), sıcak sularda -0.42 ile 0.67 TU arasında değişen TU değerlerinin yağışlı dönemde göreceli olarak artması, derin ve uzun dolaşım bu sulara güncel yağışların katkısına işaret eder. Soğuk sulardan S-1, S-2, S-3, S-5 ve S-9 yaşlı suları çağrıştıran -0.5 ile 0.88 TU değerleri ile dikkat çekmektedir. K-1, S-4, S-13 karışım; K-2, S-7, S-8 ve S-10 ise genç sulardır.

5.2.3. ^3H -Cl ilişkisi

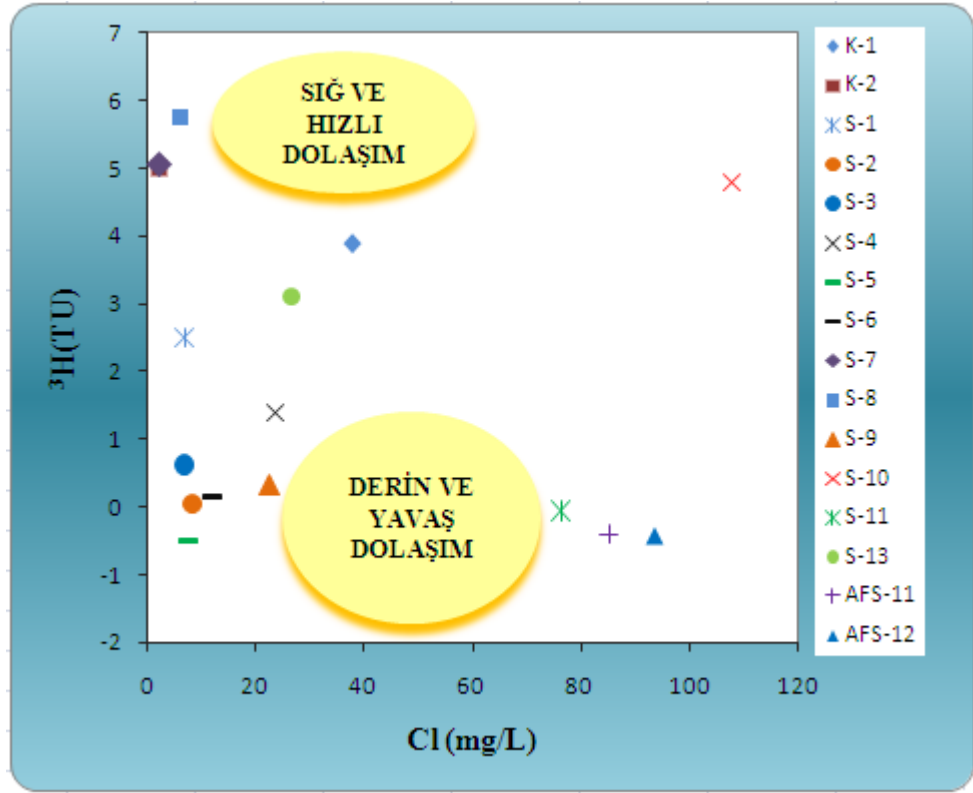
$\delta^{18}\text{O}$ - ^3H grafiğine göre; jeotermal sular (S-11, AFS-11, 12, 13) düşük ^3H , yüksek Cl içeriğine; soğuk sular ise S-10 (Koçhisar) hariç düşük Cl yüksek ^3H değerlerine sahiptirler. Cl'nin yüksek, ^3H 'nin düşük olması derin ve uzun dolaşım sistemine işaret etmektedir. S-10'nun yüksek Cl içermesi, bu suyun sıcak sularla karışmasının bir işareti olabilir.



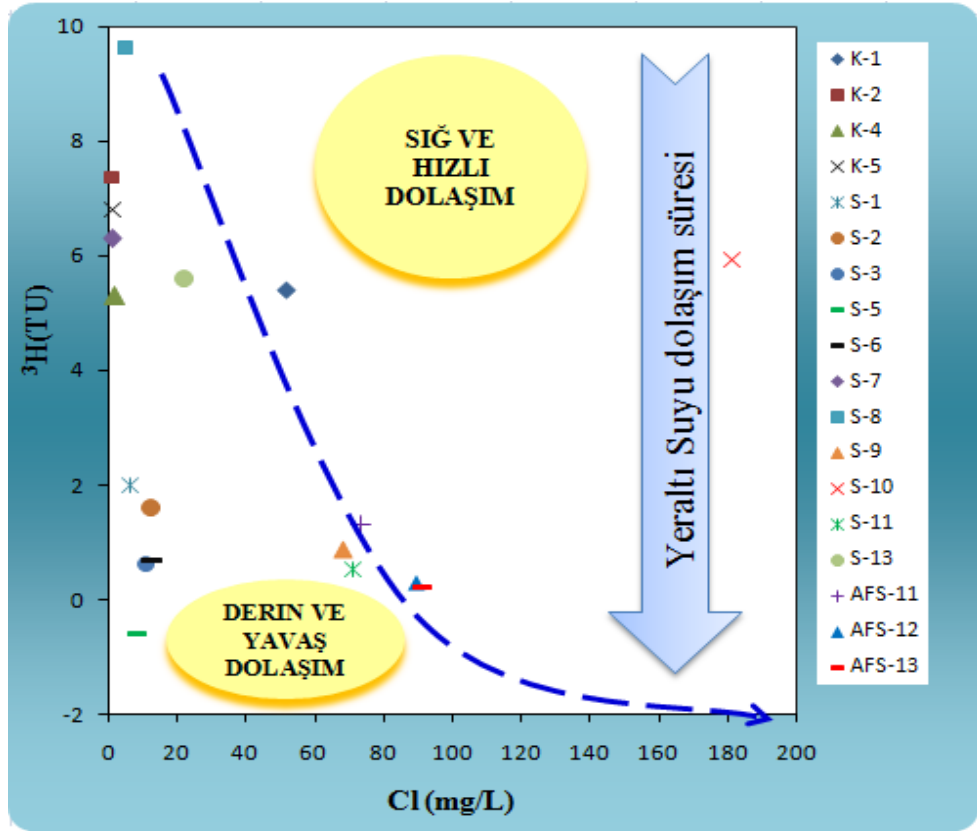
Şekil 5.3. İnceleme alanındaki suların ^3H (TU)- $\delta^{18}\text{O}$ grafiği. (Ekim, 2010)



Şekil 5.4. İnceleme alanındaki suların ^3H - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği. (Mayıs, 2011)



Şekil 5.5. İnceleme alanındaki suların ^3H - Cl grafiği. (Ekim, 2010)



Şekil 5.6. İnceleme alanındaki suların ^3H - Cl grafiği. (Mayıs, 2011)

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

Yaşamın temel yapıtaşlarından olan karbon elementinin ^{12}C ve ^{13}C izotopları duraylı, ^{14}C izotopu ise radyoaktiftir. Radyokarbon (^{14}C , 6p, 8n; p: proton, n: nötron) karbon elementinin 14 kütle numaralı izotopudur. Radyokarbon izotopunun başlıca kaynağı ^{14}N 'ün stratosferde kozmik nötronlarca bombardımanı sonucu oluşan ^{14}C 'ü içeren atmosferik CO_2 (karbon dioksit) gazıdır. Atmosferik CO_2 , C elementinin tüm izotoplarını (^{12}C , ^{13}C ve ^{14}C) içerir ve fotosentez süreci ile (CO_2 atmosferik + ışık enerjisi = karbonhidrat) bitkilerin yapısına taşınır. Bitki bünyesinde içeren $^{14}\text{CO}_2$ 'in bir bölümü kök terlemesi (respiration) yoluyla toprak zonu atmosferine geçmekte buradan da hidroliz yoluyla karbonik aside dönüşerek yeraltısuyu beslenim sürecinde akifere taşınmaktadır. Bitki örtüsü içermeyen ortamlarda da beslenim zonundaki atmosferik kökenli $^{14}\text{CO}_2$ yeraltısuyu beslenimi ile akifere taşınmaktadır (Bayarı ve Özyurt, 2005).

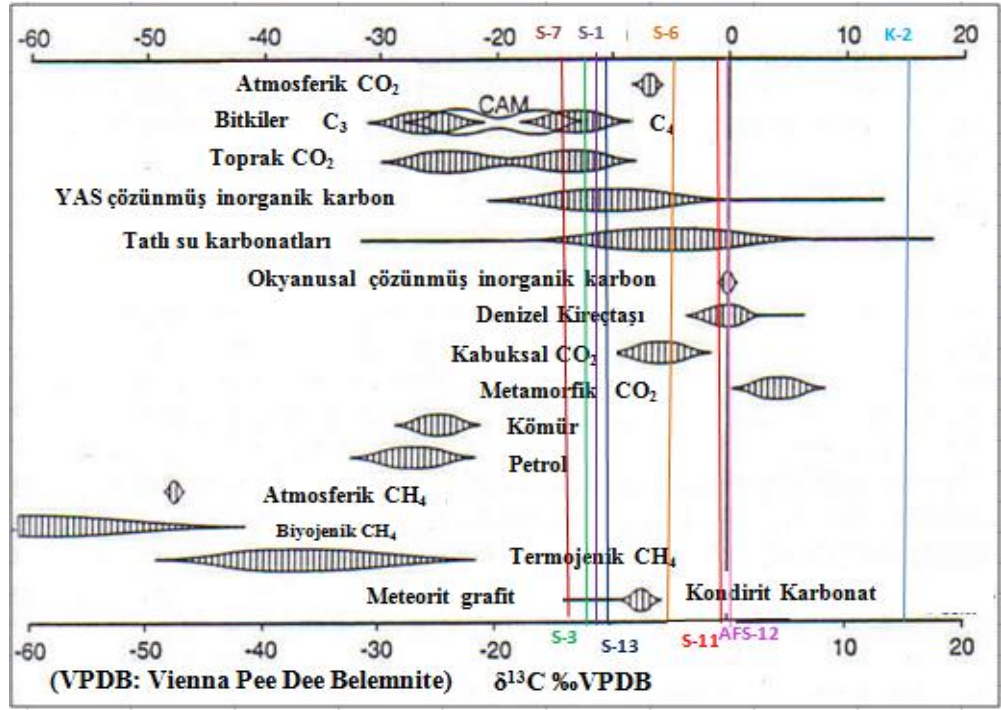
^{14}C izotopu atmosferin üst kesimlerinde kozmik partiküllerin özellikle ^{14}N izotopları ile çarpışması sonucu üretilir ve zaman içinde radyoaktif bozunma sonucu yeniden ^{14}N izotopuna dönüşür. Bu izotopun üretilme ve bozunma süreçleri arasında oluşan doğal denge sonucunda atmosferik CO_2 'nin ^{14}C aktivitesi 100 pmc (yüzde modern karbon) düzeyindedir. Bu değer jeolojik zaman ölçeğinde değişim göstermektedir (Bayarı ve Özyurt, 2005).

Radyokarbon yaşlandırma yöntemleri yeraltı suyunun yaşını belirlemede uygulanmaktadır. Yeraltı suyunun radyokarbon yaşının belirlenmesi için önce suyun bünyesinde farklı türler halinde taşınan karbon elementinin beslenme anından akiferin içine kadar geçirdiği değişimin bilinmesi gerekmektedir.

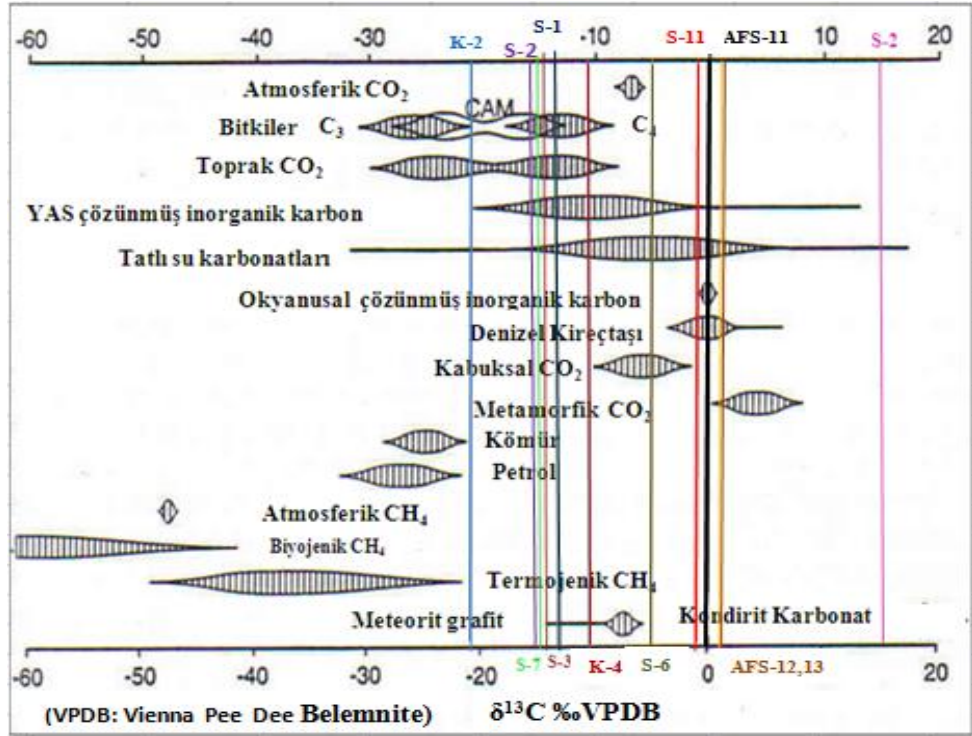
Çizelge 5.2. İnceleme alanındaki suların ^{13}C , ^{14}C izotop analiz sonuçları
(*:Ekim 2010;**Mayıs 2011)

Örnek Adı	$\delta^{13}\text{C}$ (VPDB)	^{14}C (Düzeltilmiş yaş, yıl)	Modern karbon yüzdesi (pmc, düzeltilmiş)
K-2*	15.1	1670±130	81.2±1.3
K-2**	-22.1	130±70	98.4±0.9
K-4**	-10.9	4190±40	59.3±0.3
S-1*	-13.3	1630±40	81.6±0.4
S-1**	-13.2	1620±40	81.7±0.4
S-2**	-15.4	3870±50	61.8±0.4
S-3*	-13.6	3100±50	68±0.4
S-3**	-14.1	2740±40	71.1±0.3
S-6*	-5.4	42500±1800	0.5±0.1
S-6**	-5.8	39700±1200	0.7±0.1
S-7*	-14.2	1800±40	79.9±0.5
S-7**	-14.8	1980±60	78.2±0.5
S-8**	-13.4	Modern	101±0.4
S-11*	-0.6	32600±500	1.7±0.1
S-11**	-0.2	31500±400	2.0±0.1
S-13*	-12.9	1310±40	85±0.4
AFS-11**	0.0	33400±500	1.6±0.1
AFS-12*	-0.5	>48000	<0.3
AFS-12**	0.2	>45700	<0.3
AFS-13**	0.2	>46900	<0.3

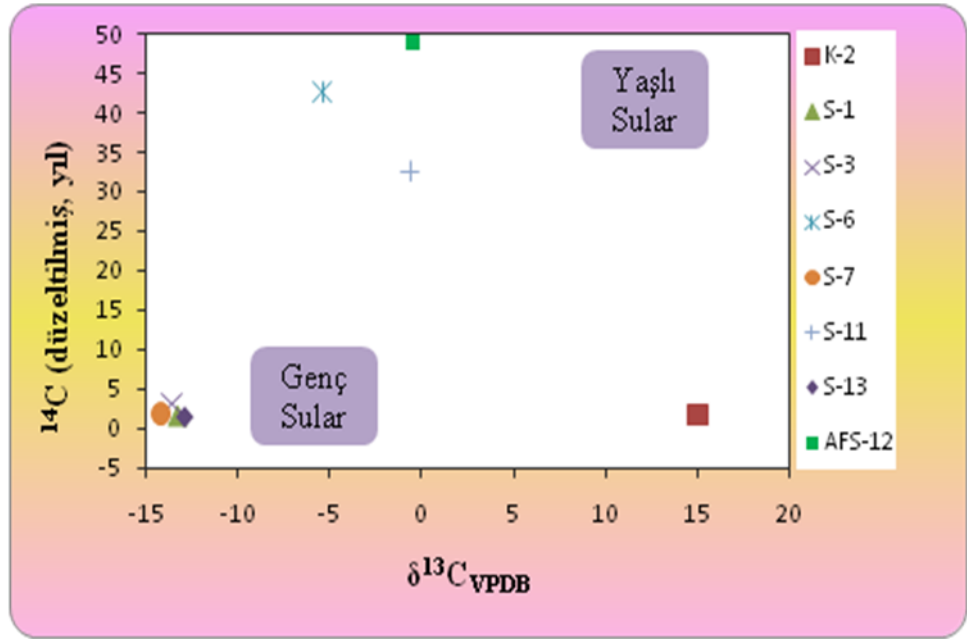
Analiz sonuçlarına göre $\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB) değerleri sıcak sularda -5.8 -0.2, soğuk sularda -22.1- 15.4 arasında değişmektedir. K-2, S-2 ve S-8 dışındaki tüm soğuk suların $\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB) değerleri sıcak sulardan daha düşüktür. ^{14}C görünür yaşları (x1000 yıl) sıcak sulardan soğuk sulara doğru azalmaktadır. Sıcak sularda ^{14}C görünür yaşların yüksek olması, modern biyojenik karbonun katkısının bir değeri olarak (Afşin ve Ok, 2007) yorumlanabilir. Clark ve Fritz (1997)'e göre soğuk sularda bitki, toprak, yas çözünmüş inorganik karbon, tatlı su karbonatı; sıcak sularda metamorfik CO_2 , denizel kireçtaşı ve tatlı su karbonatı katkısı görülmektedir. Sıcak sulardaki ^{13}C (‰)'nin kaynağı uzun ve derin dolaşımli bu suların, inceleme alanının temelindeki metamorfik birimleri, Mesozoyik yaşlı karstik kireçtaşlarını ve Miyosen'in gölsel çökellerini yıkaması olabilir.



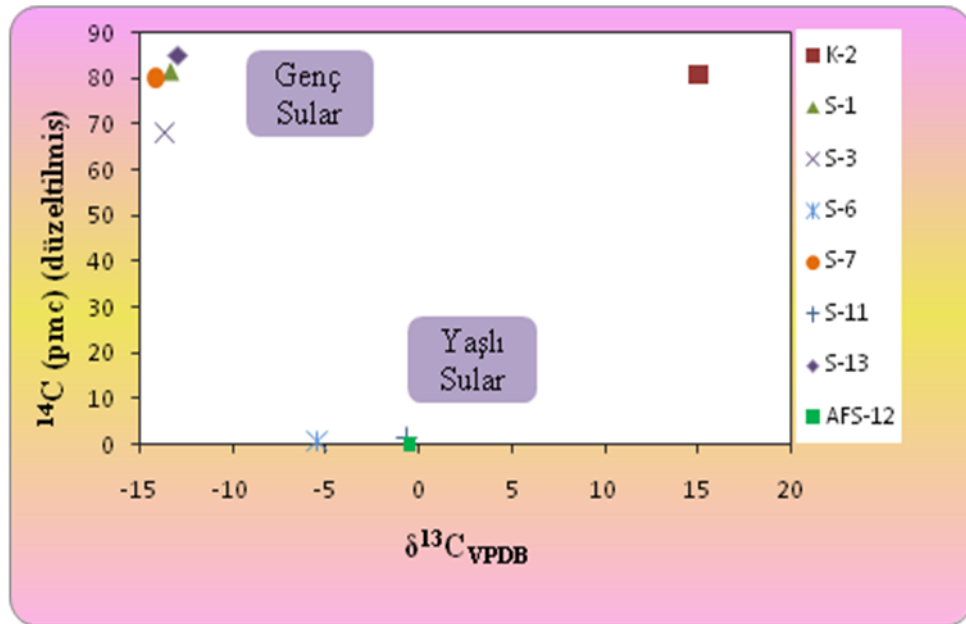
Şekil 5.7. Doğal karbon bileşiklerinin kökenlerine bağlı sularındaki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin Clark ve Fritz (1997)'e göre konumu (Ekim, 2010)



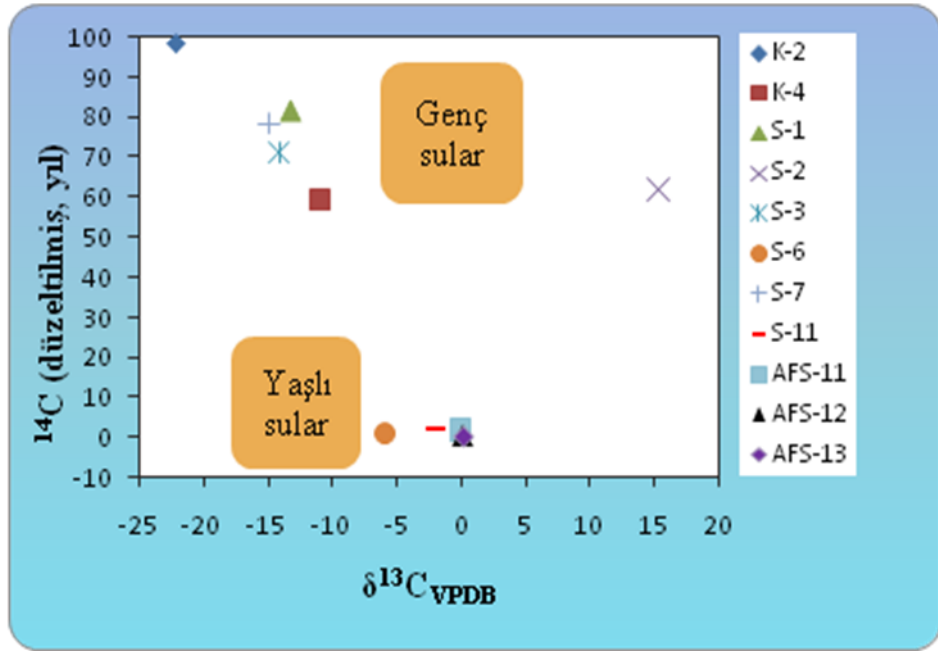
Şekil 5.8. Doğal karbon bileşiklerinin kökenlerine bağlı sularındaki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin Clark ve Fritz (1997)'e göre konumu (Mayıs, 2011)



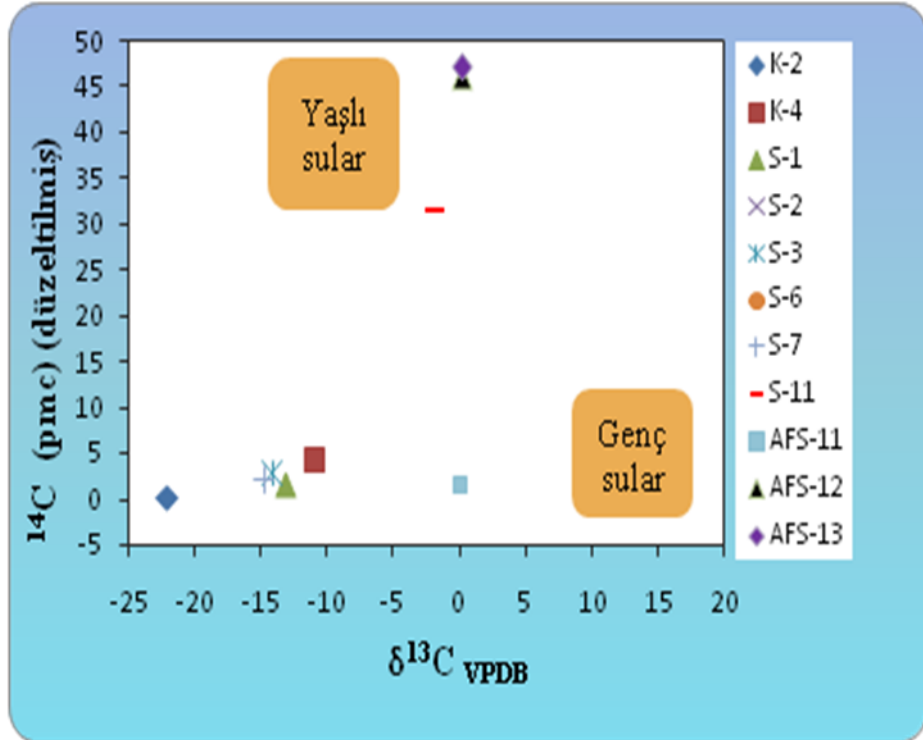
Şekil 5.9. İnceleme alanındaki sulara ^{14}C (düzeltilmiş, yıl) ve $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değişimleri (Ekim, 2010)



Şekil 5.10. İnceleme alanındaki sulara ^{14}C (pmc, düzeltilmiş) ve $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değişimleri (Ekim, 2010)



Şekil 5.11. İnceleme alanındaki bazı sularda ^{14}C (düzeltilmiş, yıl) ve $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değişimleri (Mayıs, 2011)



Şekil 5.12. İnceleme alanındaki bazı sularda ^{14}C (pmc, düzeltilmiş) ve $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değişimleri (Mayıs, 2011)

5.2.5. $\delta^{34}\text{S}$ - SO_4 ilişkisi

Jeotermal suların temel bileşiklerinden biri olan kükürt, bu suların geçirdiği jeokimyasal süreçlerin tanımlanmasında önem taşımaktadır (Kaasalainen ve Stefansson, 2011). Kükürt yer altında sülfat ve sülfid mineralleri olarak, çözünmüş sülfat (SO_4^{2-}), sülfid (HS^-) şeklinde ve hidrojen sülfür gazı (H_2S) olarak bulunur. Organik kükürt ise kerojen, hidrokarbon ve humik madde bileşiklerinin bir parçasıdır.

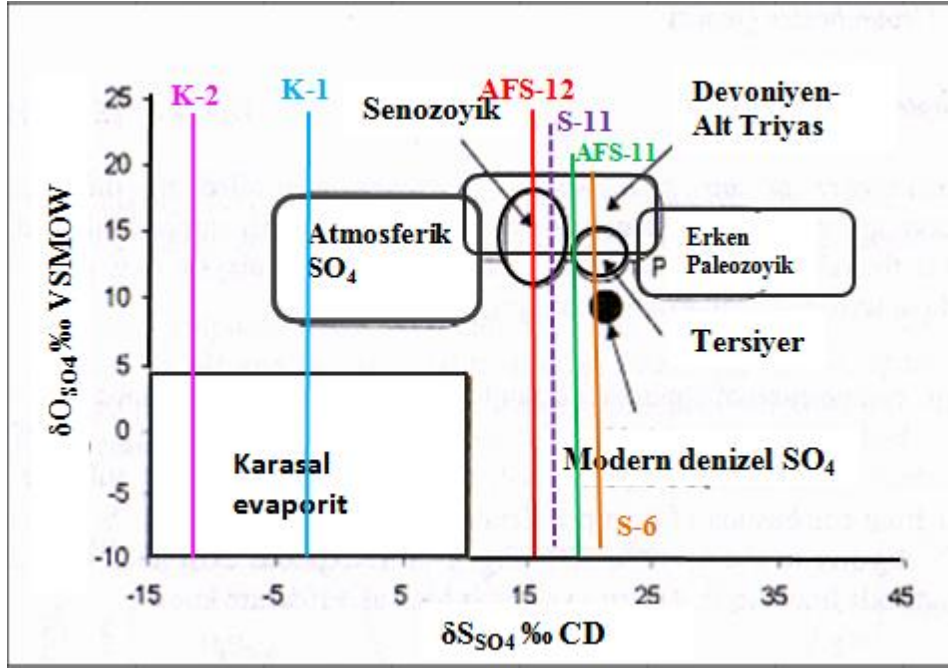
Kükürtün topraktaki oksidasyonu ve döngüsü yarı kurak alanlarda karasal sülfatı meydana getirir. Atmosferik kükürtün kaynakları ise doğal, endüstriyel SO_2 'dir denizel sülfatın aerosollarını içerirler. Kükürtün değişik kaynaktan gelen topraktaki bu devinimi kükürt döngüsünü oluşturmaktadır. Farklı kökene sahip kükürt bileşikleri yeraltı suyunun evrimine de katkı sağlamaktadır. Kükürt bileşikleri arasında biyolojik döngü sebebiyle en çok farklılaşan ^{34}S 'dir. Sülfattaki kükürt ve oksijen içeriğinin bilinmesi denizel evaporitik ve çözünmüş sülfatın volkanik kökeninin ayırımına yardımcı olur (Krause, 1980; Person ve Rightmire, 1980; Bahati vd., 2005).

HJA'da bulunan kükürtün kaynağını tanımlamak amacıyla kükürt izotop analizi yapılmıştır. Çizelge 5.3. ve Şekil 5.6.'da çözünmüş sülfattaki kükürt izotop oranları verilmiştir.

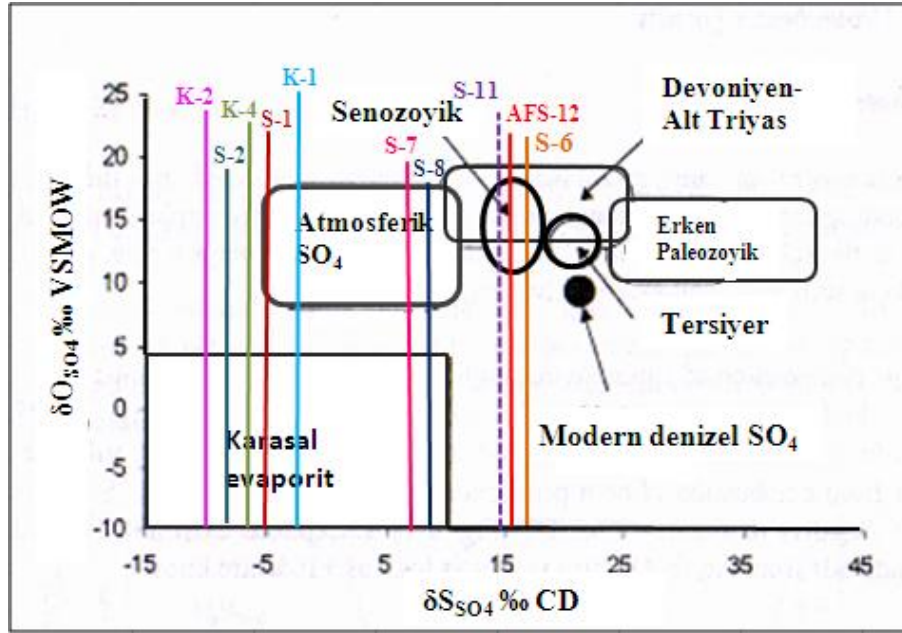
Çizelge 5.3. İnceleme alanındaki bazı suların $\delta^{34}\text{S}$ izotop analiz sonuçları
(*: Ekim 2010; **: Mayıs 2011)

Örnek Sembolü	$\delta^{18}\text{O}(\text{SO}_4)$ (SMOW)	$\delta^{34}\text{S} (\text{SO}_4)$ (CDT)
K-1*	1.59	-3.86
K-1**	1.07	-3.50
K-2*	-0.76	-10.30
K-2**	-1.12	-9.63
K-4**	-0.79	-7.21
S-1**	-0.07	-5.07
S-2**	-0.76	-8.84
S-3**	-1.04	-7.77
S-6*	10.76	18.61
S-6**	9.08	16.4
S-7**	4.31	7.81
S-8**	4.20	8.37
S-11*	10.51	15.31
S-11**	10.04	14.67
AFS-11*	11.19	16.17
AFS-12*	10.92	15.03
AFS-12**	10.98	16.07

$\delta^{34}\text{S} > 15$ ‰ olan sular hidrotermal sistemin nispeten daha derinlerinde dolaşan ve daha yüksek sıcaklıktaki sulardır (Bayon ve Ferrer, 2005). İnceleme alanında bu gruba S-6, S-11, AFS-11, AFS-12 sıcak suları girmektedir. Bu sularda, volkanik sülfür, Devoniyen-Permiyen CaSO_4 , Senozoyik CaSO_4 , kireçtaşı ve az miktarda kömür katkısı vardır (Şekil 5.6.). İnceleme alanındaki Akdağ fm. (kireçtaşı/ dolomitik kireçtaşı) ve Sandıklı lavları fm. (andezit, bazalt, tüf, tüfit) sıcak sulardaki SO_4 'ün kaynağı olabilir. $\delta^{34}\text{S}$ değeri 1-15 ‰ olan S-7 ve S-8 karışım özelliğindeki sulardır. Bu sulardaki SO_4 'ün kökeni volkanik sülfür, petrol ve kömür, magmatik kayalar, şeyl ve kireçtaşlarıdır. $\delta^{34}\text{S} \leq 0$ ise genç ve sık dolaşım K-1, K-2, S-1, S-2, S-3 olup, bu sulardaki SO_4 biyojenik pirit ve şeyle ilişkili olabilir.



Şekil 5.15. İnceleme alanındaki bazı suların ^{34}S (CD)- ^{18}O diyagramı (Clark ve Fritz, 1997), (Ekim, 2010)



Şekil 5.16. İnceleme alanındaki bazı suların ^{34}S (CD)- ^{18}O diyagramı (Clark ve Fritz, 1997), (Mayıs, 2011)

6. HÜDAİ JEOTERMAL ALANININ POTANSİYELİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KULLANIMI

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısınin oluşturduğu, sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlardan oluşan akışkandan elden edilen enerji olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanında herhangi bir akışkan içermeyen de bazı teknik yöntemlerle yeraltındaki ısıdan yararlanılması mümkün olmaktadır. Jeotermal enerji ile; elektrik üretimi, ısıtma (bölgesel, konut, termal tesis, sera vb.), kimyasal madde üretimi, kurutmacılık, bitki ve kültür balıkçılığı, termal turizm yapılabilmektedir. Ülkelere göre değişik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerji kaynakları; düşük (20-70°C), orta (70-150°C) ve yüksek (150°C'dan yüksek) entalpili olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Düşük ve orta sıcaklıklı sahalar bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında, başta ısıtmacılık olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayiinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, akışkandaki CO₂' den kuru buz eldesinde) kullanılmaktadır. Yüksek entalpili sahalardan elde edilen akışkandan elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da kullanılabilir. Bunun yanında orta entalpili sahalardaki akışkanlardan da elektrik üretimi için teknolojiler geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur.

Ucuz ve temiz olan jeotermal enerjinin kullanılması, bu kaynakların bulunduğu yörelerin ve ülkemizin gelişiminde önemli bir faktör olması nedeniyle mevcut kaynakların etkin ve verimli kullanılması bir zorunluluktur (Çirkin ve Kaymakçioğlu, 2005). Bu amaçla, jeotermal alanlar birçok yönüyle araştırılmalı, elde edilen veriler doğrultusunda mevcut potansiyel ortaya konmalıdır.

6.1. Jeotermal Suların Hazne Kaya Sıcaklıkları

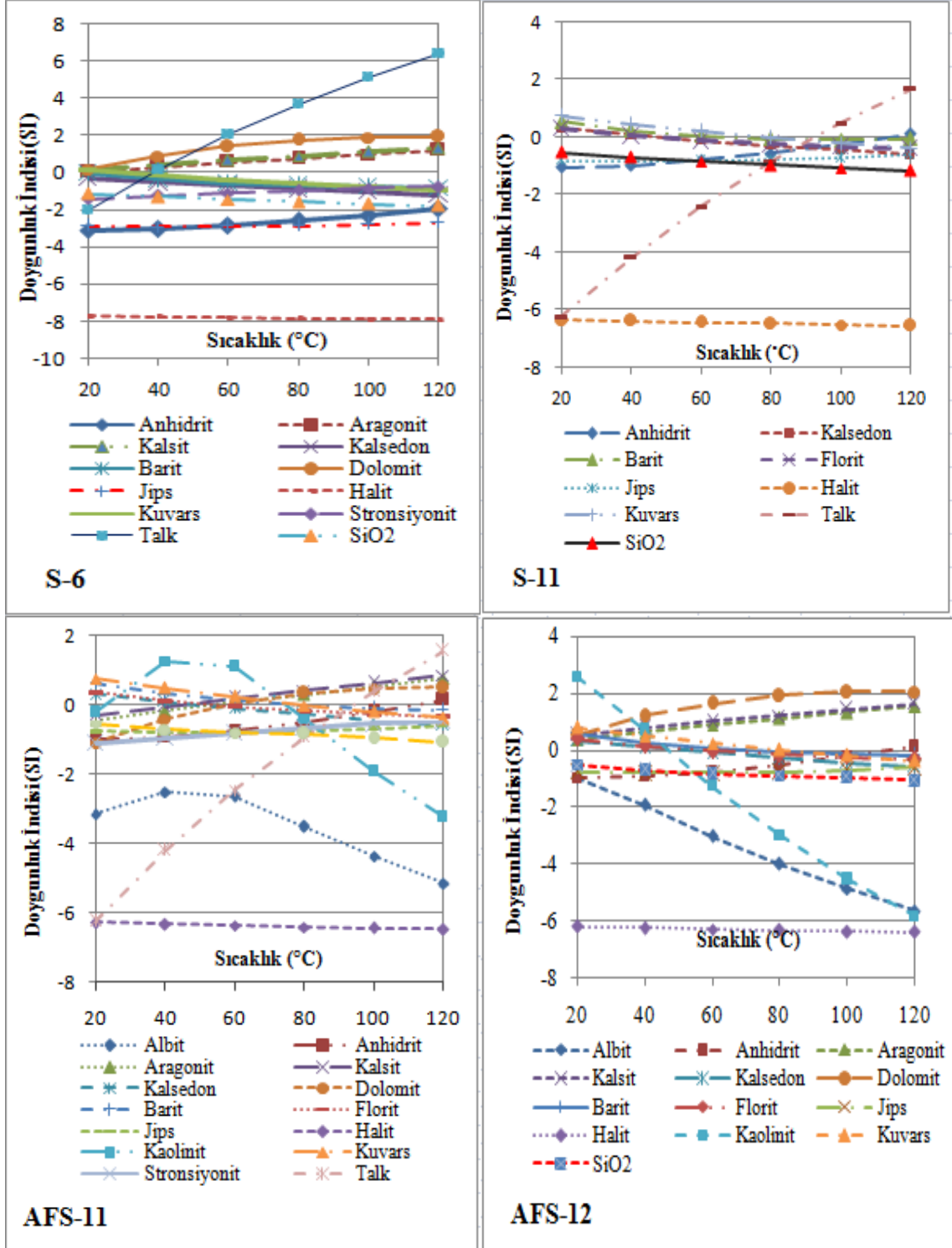
İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli suların hazne kaya sıcaklıkları kalsedon, kuvars ve kuvars buhar kaybı jeotermometrelerine (Nicholson, 1993)'e göre hesaplanmıştır (Çizelge 6.1.). Jeotermometre, jeotermal alanlardan çıkan akışkanların özelliklerinden yararlanılarak sıcak su rezervuarı veya akiferin sıcaklıklarını tahmin yöntemlerini açıklayan bir terim olup, jeotermal sularda bulunan kimyasal elementler (iyon, gaz, izotop vb.) yardımıyla sıcak su akiferinin sıcaklığını tahmin etme yöntemidir.

Çizelge 6.1. HJA'daki jeotermal suların hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları (*:Ekim, 2010; **:Mayıs, 2011)

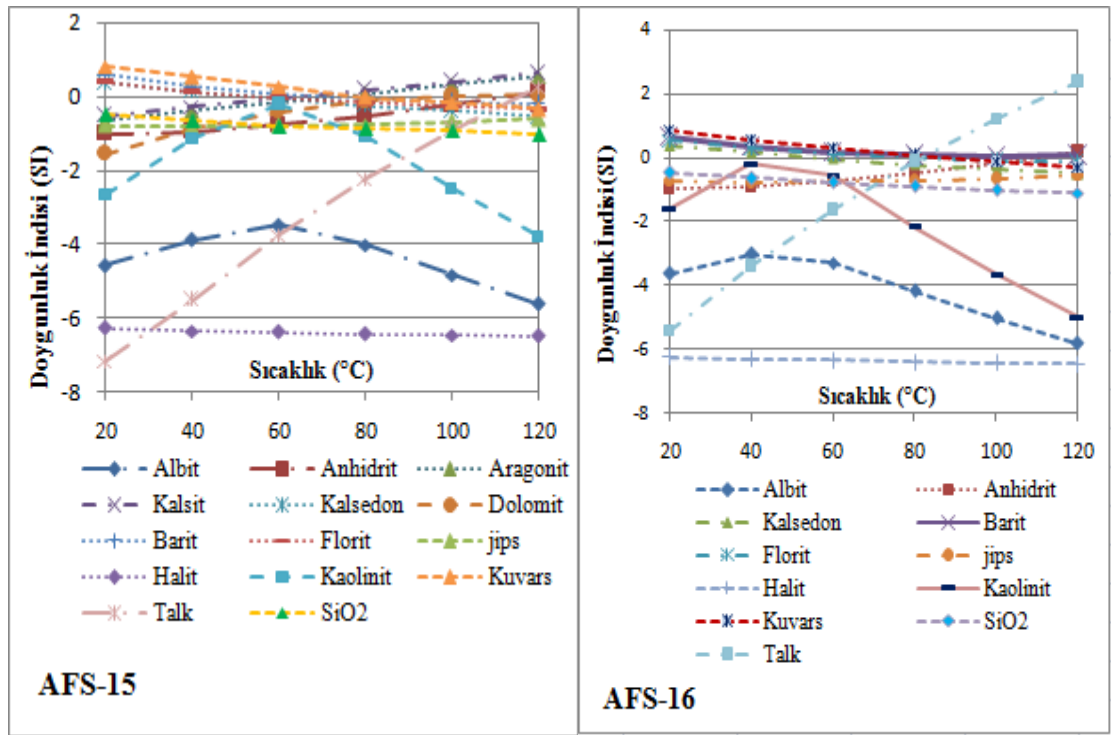
Örnek Adı	Ölçülen kaynak/ kuyu sıcaklığı, T (°C)	Jeotermometreler		
		Kalsedon	Kuvars	Kuvars buhar kaybı
S-6*	23.3	24	56	63
S-6**	23.16	24	56	62
S-11*	67.4	73	103	103
S-11**	68.6	70	100	101
AFS-11*	54	66	96	98
AFS-11**	66.18	74	104	104
AFS-12*	73	87	116	115
AFS-12**	73.40	75	105	105
AFS-13**	75.65	77	107	107
AFS-15*	65.36	90	119	117
AFS-16*	82.4	94	122	120

HJA'daki jeotermal suların Giggenbach (1988, 1991) üçgen diyagramında olgun olmayan bölümde yer alması, bu suların hidrojeokimyasal gelişimlerini tamamlamadıklarını göstermektedir. Bu nedenle, suların hazne kaya sıcaklıklarının hesaplanmasında Na'ya bağlı jeotermometrelerin kullanılması abartılı sonuçlar elde edilmesine neden olacaktır (Şimşek vd. 1997). Bu tür sularda silis jeotermometrelerinin kullanımı daha doğru sonuçlar verecektir. İncelenen tüm suların doygunluk indisleri Phreeqc (Parkhurst ve Appelo, 1999) bilgisayar programında hesaplanmıştır.

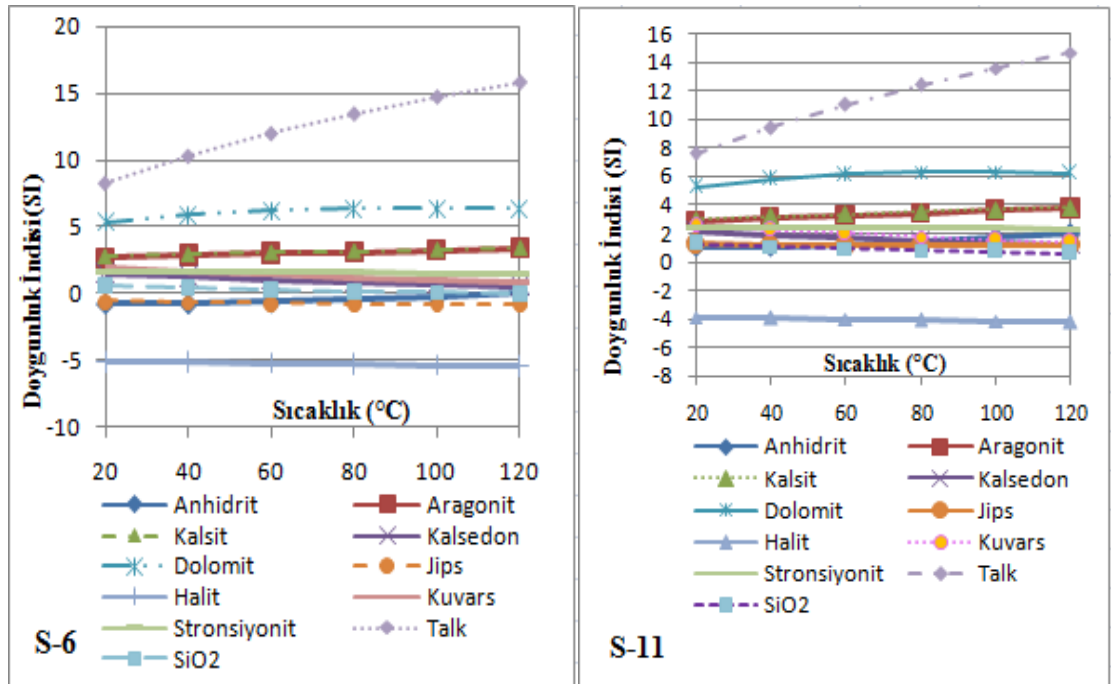
İnceleme alanındaki suların hazne kaya sıcaklıkları 24-122°C arasındadır. Mineral denge- sıcaklık diyagramları (Reed ve Spycher, 1984)'na göre 0'ın altında sulardaki keşismeler, farklı sıcaklıktaki suların karışımına, 0'ın üzerindeki keşismeler sudan buhar ayrılmasına işaret etmektedir (Tarcan, 2002).



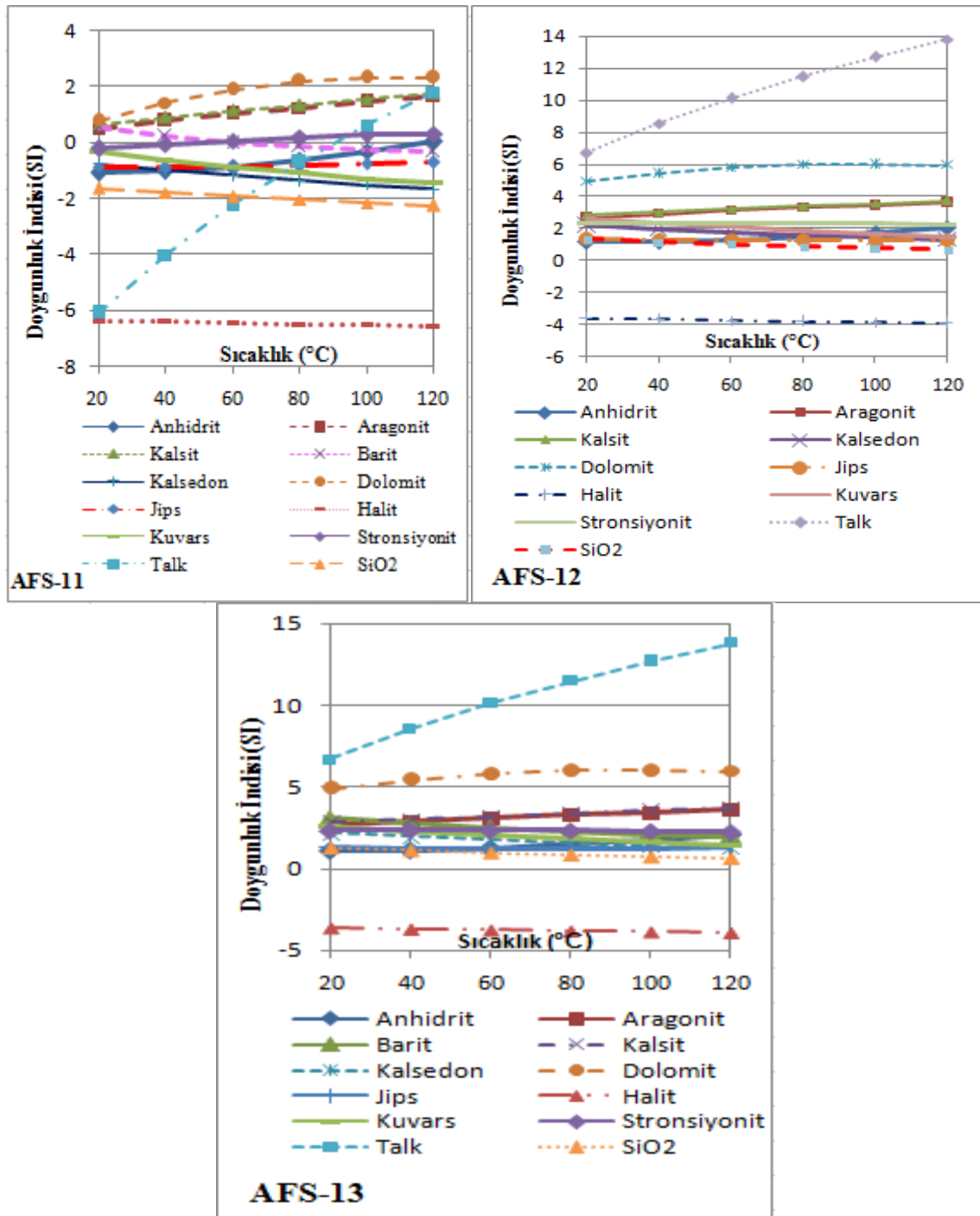
Şekil 6.1. İnceleme alanındaki sıcak sularda bazı minerallere ait doygunluk indisi grafiği (Ekim, 2010)



Şekil 6.2. İnceleme alanındaki sıcak sularda bazı minerallere ait doygunluk indisi grafiği (Ekim, 2010)



Şekil 6.3. İnceleme alanındaki sıcak sularda bazı minerallere ait doygunluk indisi grafiği (Mayıs, 2011)



Şekil 6.4. İnceleme alanındaki sıcak sularda bazı minerallere ait doymuluk indisi grafiği (Mayıs, 2011)

6.1.1. Karışım modelleri

Birçok alandaki sıcak sular yüzeye çıkarken belli oranlarda soğuk sularla karışarak yeraltındaki sıcaklıklarından daha düşük değerler verir. Karışım sonucu sıcak suyun kimyasal özelliklerindeki ve sıcaklığında meydana gelen değişiklikler kullanılarak jeotermal sistemin hazne kaya sıcaklığının ve karışım oranlarının saptandığı çeşitli karışım modelleri geliştirilmiştir (1). Sıcaklık (°C) ve Cl (meq/l) değerleri yardımıyla Sıcak sulara karışan soğuk su oranlarını yüzde olarak hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılmıştır (Kurttaş, 2002).

$$C_{\text{örnek}} = C_{\text{uç1}} \cdot x + C_{\text{uç2}} (1-x) \quad (1)$$

Burada,

$C_{\text{örnek}}$: Örneğin sıcaklığı veya Cl değeri.

$C_{\text{uç1}}$: Birinci uç bileşenin sıcaklığı veya Cl değeri

$C_{\text{uç2}}$: İkinci uç bileşenin sıcaklığı veya Cl değeri

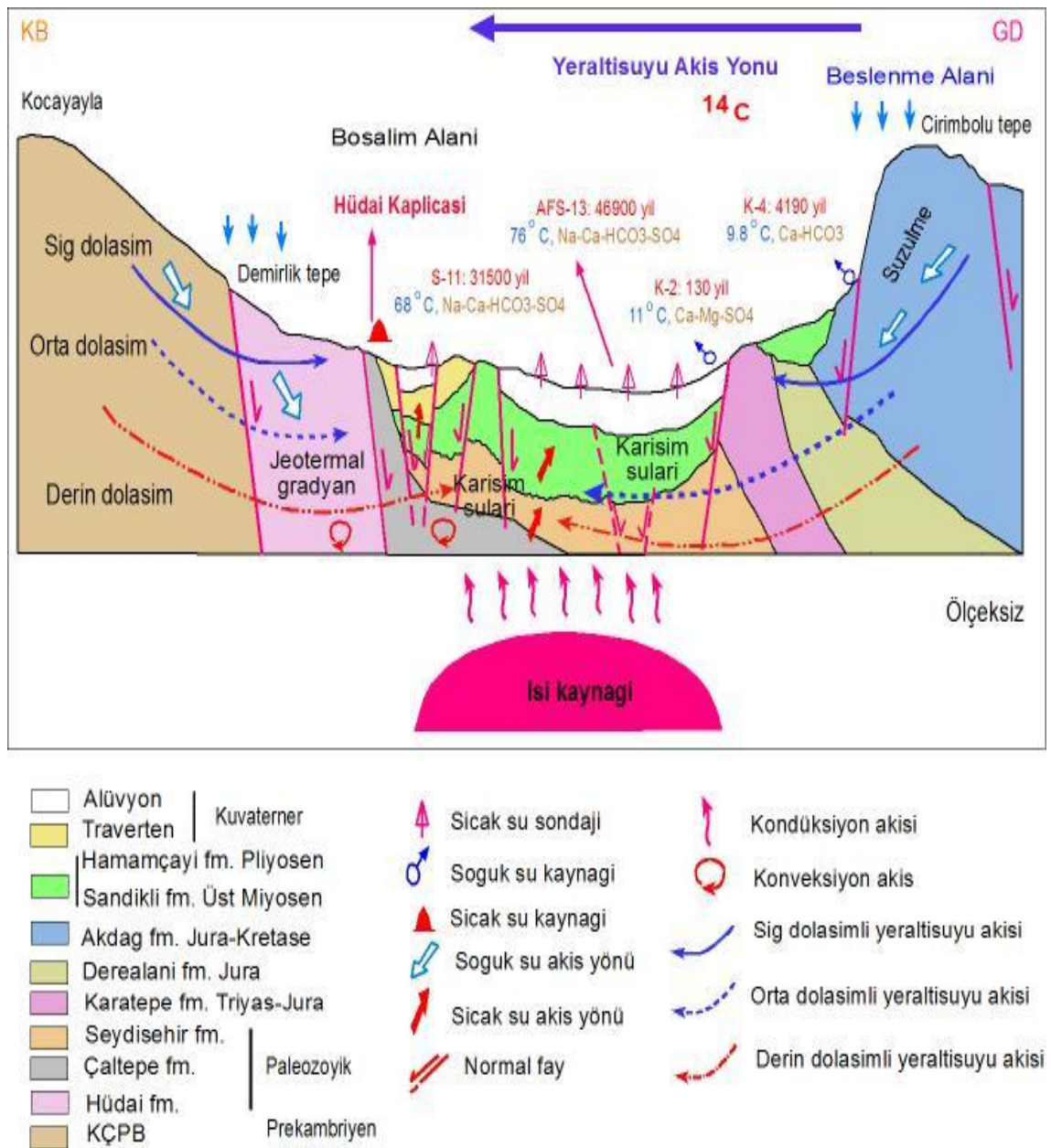
Sıcaklık değerleriyle hesaplanan sonuçlara göre; jeotermal sulara soğuk suların karışım oranları Ekim, 2010 döneminde %15-83, Mayıs, 2011 döneminde %3.4-79.7 arasındadır. Cl (meq/l) değerleriyle hesaplanan karışım oranları ise Ekim, 2010 döneminde %7-90, Mayıs, 2011 döneminde %3-88 arasındadır. Buna göre; orta dolaşımli olarak düşünülen S-6 sıcak suyunda soğuk suyun karışım miktarı diğer yüksek sıcaklıklı sulara göre fazladır.

Çizelge 6.2. İncelenen sıcak sularla soğuk suların karışım oranları

Örnek Adı	T (°C)	Cl (meq/l)	T (°C)	Cl (meq/l)	Karışım Yüzdesi (%) (T'ye göre)		Karışım Yüzdesi (%) (Cl'e göre)	
	Ekim 2010		Mayıs 2011		Ekim 2010	Mayıs 2011	Ekim 2010	Mayıs 2011
S-6	23.3	0.342	23.16	0.36	83	79.7	90	88
S-11	67.4	2.156	68.6	2.01	21	10.7	19	23
AFS-11	54	2.403	66.18	2.07	40	14	9	20
AFS-12	-	-	73.4	2.53	-	3.4	-	3
AFS-15	64.8	2.365	-	-	25	-	11	-
AFS-16	71.45	2.467	-	-	15	-	7	-

6.1.2. HJA'nın kavramsal modeli

İnceleme alanına ait bazı veriler kullanılıp Afşin (1991) baz alınarak HJA'nın kavramsal alan modeli çizilmiştir (Şekil 6.5). Modele göre, yeraltısuyu akış yönü boyunca beslenme alanından boşalım alanına doğru su kimyası fasiyeslerinde Ca'dan Na'ya, HCO_3 'den SO_4 'e değişim belirlenmiş; suların sıcaklıkları, dolaşım süreleri (^{14}C görünür yaşları) giderek artmıştır. Bu bağlamda, söz konusu alanda, jeotermal sular derin dolaşimli ve karışım özellikli olup; suların ısınmasında jeotermal gradyanın yanı sıra derinlerde yer alan henüz tam anlamıyla soğumamış bir ısı kaynağının (granitik sokulumun) varlığına işaret etmektedir.



Şekil 6.5. HJA'nın kavramsal alan modeli (Afşin, 1991)'den yararlanılarak çizilmiştir

6.2. HJA’da Koruma Alanlarının Belirlenmesi

Jeotermal alanlarda koruma alanı çalışmalarının yapılması jeotermal akışkanı bünyesinde bulunduran rezervuarın çevresel etkenlerle kirlenmesinin önlenmesi, rezervuardaki basınç ve sıcaklık koşulları altında meydana gelebilecek olumsuz değişimlere yönelik tedbirler alınması bakımından önem taşımaktadır. Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği (2004)’ne göre koruma alanı; jeotermal ve mineralli suların kirlenmesine neden olacak kirleticiler ile dış etkenlerden korumak amacıyla bir takım unsurlara bağlı olarak sahanın içerisinde yapılmasına izin verilen faaliyetlerin kontrol ve denetime tabi olduğu alanlardır. Sahadaki jeolojik ve hidrojeolojik yapı, iklim koşulları, zemin cinsi, tipleri, drenaj sahası sınırı, kaynak ve kuyu çevresindeki yerleşim birimleri, endüstri tesisleri, topoğrafik yapı göz önünde bulundurularak gerekli önlemler alınmaktadır.

Jeotermal sistemlerde koruma alanı kavramı; rezervuarın kirleticilerden korunması ve rezervuardaki basınç/sıcaklık koşullarının değişmemesi olarak tanımlanmaktadır. Jeotermal sistemin uzun yıllar boyunca kullanımının sağlanabilmesi için, jeotermal alanının hidrojeolojisi, rezervuarın boyutu, sınırları ve yayılımı, sıcaklık, basınç, debi, permeabilite değerleri, yeraltı suyu akım yönü seviye değişimleri, izotopik veriler incelenmelidir (Akan ve Dağıstan, 2008).

Kaynak koruma alanları üç ayrı zon halinde belirlenmektedir. Bu zonların sınırları, jeotermal sistemin bulunduğu alanın jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri göz önüne alınarak tespit edilir (U.S.EPA, 1991).

HJA’da üç farklı koruma alanı belirlenmiştir (EK-2).

6.2.1. I. Koruma alanı

I. koruma alanı, kaynak alanı dikkate alınarak belirlenmiştir. Kaynak alanında yer alan birimlerin litolojik ve hidrojeolojik özellikleri, akışkan taşıyan aktif kırıkların konumu, jeotermal sistemin açık veya kapalı sistem olup olmadığı, örtü kayacının varlığı ve kalınlığı, doğal çıkış ve kuyular ile yeni kuyu açılacak alanlar dikkate alınır.

HJA çevresindeki travertenler kirlenmeye açık, bol kırıklı ve çatlaklı yapısı nedeniyle suyun yeraltına sızmasına açıktır. Bu sebeple, travertenler ve yakın çevresi I. derece koruma alanı içerisindedir. Yüzeydeki kirleticilerden etkilenebileceği düşüncesiyle sıcak su sondaj noktaları da bu alan içerisine dahil edilmiştir.

Bu alanın korunması için; travertenlerin içerisine çöp ve evsel atık gibi kirletici unsurlar atılmamalı, herhangi bir yapılaşmaya izin verilmemelidir. Hamamçayı dere yatağını kirletici unsurlara karşı inşa edilen mevcut istinat duvarı korunmalı, gerekirse sağlamlaştırılmalıdır. Alan içerisinde kirliliğe sebep olacak türde tarımsal faaliyetlere izin verilmemelidir.

6.2.2. II. Koruma alanı

II. koruma alanı, yağış alanı dikkate alınarak belirlenmiştir. (Afşin, 1991; Akan ve Dağıstan, 2008). I. Koruma alanının çevresinde yer alan bu bölgede, faylar ve kırıklı yapılar ile çevresel kirleticilerin Hamamçayı'na ve jeotermal kaynaklara olası olumsuz etkileri dikkate alınmıştır.

Bu alanda kirliliğe neden olabilecek çöp, gübre ve moloz yığını gibi atık maddelerin bulunmasına ve depolanmasına izin verilmemelidir. Alandaki su birikintileri ve kirli sular iyi tecrit edilmiş kapalı borularla alan dışına sevk edilmelidir.

6.2.3. III. Koruma alanı

III. koruma alanı, jeotermal suların beslenme alanları ve muhtemel sıcak su akiferleri göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Alan içerisinde dinamit kullanmamak kaydıyla taş ocağı işletilebilir. Atıkları çevreyi kirletmeyecek sanayi ve iş yeri kurulabilir.

6.3. Reenjeksiyon

Reenjeksiyon (tekrar-basma), atık suyun rezervuara basılması, basılan suyun rezervuarda ilerlerken ısınması ve ısınan suyun tekrar üretilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır.

Suyun etken olduğu jeotermal rezervuarlardan çok yüksek miktarlarda sıcak su üretimi yapılır. Üretilen sıcak suyun bir kısmı doğrudan kullanılırken geri kalan önemli bir kısmı ise merkezi jeotermal ısıtma sistemlerinde ısısı alındıktan sonra atık su olarak kalır. Atık suyun saha yakınındaki deniz, göl ve akarsu gibi yerlere verilebilme durumu olsa da, her jeotermal sahanın yakınında bu tür olanaklar bulunmayabilir. Böyle bir çözüm çevre sorunlarına yol açması sebebiyle doğru değildir. Dolayısıyla doğru olan, suyu geldiği yere veya uygun yeraltı formasyonlarına basmaktır. Suyun geldiği yere yani jeotermal rezervuara basılması durumunda önemli yararlar sağlanabilir. Bilindiği

gibi üretimden dolayı boşaltılan rezervuar hacminin bir kısmı doğal beslenme yoluyla doldurulur. Ancak doğal beslenme ile rezervuara giren su miktarı, üretim yoluyla rezervuardan ayrılan su miktarını karşılamayabilir ve rezervuar basıncı veya kuyu içi seviyesi düşer. Özellikle suyun etken olduğu jeotermal sistemlerde bu sorunla karşılaşılır. Bu sorunun çözümü atık suyun geldiği yere basılmasıdır. Böylece rezervuar basıncı korunmaktadır (Satman, 2003).

6.3.1. HJA’da Reenjeksiyon Çalışmaları

İnceleme alanı Cinsigüzel, İnpınarı mevkiinde Sanjet A.Ş. adına Birlik Sondaj tarafından reenjeksiyon amaçlı 780 m’lik kuyu açılmıştır. Üretilen atık su, hazne kaya özelliğindeki karbonatlı kireçtaşlarına verilmektedir. Dönüş suyu 45°C civarında ölçülmüş, çevre kuyularda yaklaşık 2°C sıcaklık düşüşünün ve 30 m’lik bir yükselimin olduğu tespit edilmiştir. Atık suyun debisi 100 l/s’dir (Bahadır Seyman ile kişisel görüşme) HJA’nın enerji potansiyeli dikkate alındığında yeteri kadar reenjeksiyon kuyusunun olmadığı düşünülmektedir. Sıcak su kuyularının fazla sayıda açılması, aralarındaki mesafenin uygun olmaması ve bilinçsizce yapılan su çekimi bu kuyulara soğuk suların karışmasına neden olmaktadır. Kontrolsüz şekilde birbirine yakın açılan kuyular, bu kuyuların sıcaklık, basınç, debi vb. şartlarını olumsuz yönde etkilemektedir.

HJA’da daha detaylı yapılacak reenjeksiyon çalışmalarıyla; sıcak suyun çevreyi kirletmesi, rezervuarın su ve basınç dengesinin bozulması engellenebilir. Ayrıca doğal beslenme için gereksinim azalarak, ek enerji üretimi sağlanabilir.

Bu bağlamda, HJA’da suyun basıldığı bölgedeki hidrolojik koşullar iyi belirlenmelidir. Özellikle çevredeki içilebilir veya kullanılabilir su kaynaklarına zarar verilmemesi gerekmektedir. Bu açıdan bölgedeki Hamamçayı ve içme suyu kuyularının zarar görmemesi için izleyici testi yapılmalıdır. Basılan su ile orijinal rezervuar suyu arasındaki kimyasal bileşim farkının gözlenmesi amacıyla su kuyuları ve kaynakları sistematik olarak analiz edilmelidir. Kozaklı Jeotermal Alanı’nda yaşanan yüzey donanımlarında, enjeksiyon kuyusunda ve suyun basıldığı formasyonda oluşabilecek çökme (Ok, 2007) gibi sorunların olmaması ve su içinde askıda katı maddelerin formasyonu kirletme sorununun en aza indirgenmesi için uygun biçimde düzenlenmelidir (Satman vd., 1999). Basılan suyun ve üretilen suyun sıcaklıkları periyodik olarak ölçülmeli ve kaydedilmelidir. İnceleme alanında enjeksiyon kuyusunun yeri seçilirken alanın koruma- kullanım dengesi, basılan akışkanın sahanın üretim

performansına etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle basılan soğuk suyun üretilen sıcak rezervuar suyunu hemen etkilememesi gerekmektedir. Basılan suyun yüksek geçirgenlikli akış kanalları içinde akışı ve üretim kuyularına erken varışı önlenmelidir. Sıcaklığı düşük akışkanın yeteri kadar ısınmadan ve sıcaklığı istenilen düzeye çıkmadan üretim kuyusuna varması önlenmelidir (Satman, 2003).

6.4. Termal Turizm

Mineral ve eriyik madde açısından zengin, belli bir sıcaklığa sahip jeotermak suların sağlık ve dinlenme amaçlı kullanımı olarak tanımlanan termal turizm, Hüdai Kaplıcaları'nın da dahil olduğu Türkiye'nin pek çok bölgesinde yapılmaktadır. Bu turizm çeşidi, suların; ısı, mineral ve radyoaktiflik gibi özelliklerinden yararlanılarak sağlık etkinliklerinde kullanılması ve bu etkinliklerin bilimsel esaslarla ele alınması temeline dayanmaktadır (Sevindi ve Özdemir, 2001).

6.4.1. Türkiye'deki Termal Turizm Çalışmaları

Türkiye'de kaplıca turizmi uzun bir tarihe sahiptir. Anadolu'da şifalı sulardan Hititler döneminden itibaren faydalandığı bilinmektedir. 1938 yılında İstanbul Tıp Fakültesi'nde kurulan Hidro-Klimatoloji Kürsüsü ile kaplıca hekimliğinin Türkiye'deki temeli oluşturulmuştur (Doğaner, 2001). 1960'lı yıllarda Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü hidrojeolojik etütlerle Türkiye'de 615 kaynak sahası tespit etmiş ve önemli olanların kaynak etütleri yapılmıştır. Bu etütler Turizm ve Tanıtım Bakanlığı'nın termal turizm planlamalarında temel olarak alınmıştır. 1973 yılında Turizm ve Tanıtım Bakanlığı'nın Gönen kaplıcası için hazırlattığı planlama çalışmaları çağdaş kaplıca anlayışının Türkiye'deki ilk uygulaması olmuştur (Doğaner, 2001). 1982 yılında çıkan Turizm Teşvik Kanunu'ndan sonra ilan edilen turizm merkezleri arasına kaplıcalarda alınmış, bu tarihten sonra yatırım faaliyetlerine hız verilmiş, modern termal tesisler yapımına başlanmıştır (Ünal, 2003).

6.4.2. Hüdai Kaplıcası ve Termal Turizm

İnceleme alanındaki Hüdai Kaplıcası, eski tarihlerden beri bilinen ve kullanılan bir kaplıcadır. Bu şifa kaynağı dolayısıyla Hieropolis “Mukaddes Şehir” olarak tanınmış, diğer kaplıcalarla beraber Afyonkarahisar’a Frigya Salutari (Şifalı Frigya) adı verilmiştir (Özdemir, 2001). Hüdai Kaplıcası, Turizm Merkezi olarak 09.04.1987 yılında 19426 sayılı Resmi Gazete ilanı ile kabul edilmiştir. 1993’te kaplıca alanı genişletilmiş, 2005’te ise sınır değişikliğine gidilmiştir.

Hüdai Kaplıcası’ndaki termal sular; peloidoterapi (çamur tedavisi), içmece, termal havuz, Türk hamamı hizmetlerinin olduğu kaplıcada, 1400 kişilik konaklama kapasitesi mevcuttur (URL-1). Kaplıcaya daha çok yerli turistler ilgi göstermekle birlikte en çok yabancı turist çeken kaplıcadır (Özdemir, 2001).

Kaplıcanın iyi geldiği hastalıklar; romatizma, nevrit (sinir ucu iltihapları), siyatik, kadın hastalıkları, mialji (kas ağrıları), spondilit (omurganın kireçlenmesi), hemipleji (vücudun her tarafının felci), bağırsak hastalıkları, böbreklerdeki taş ve kumların düşürülmesi, cilt ve deri hastalıkları, Artroz (eklem kireçlenmeleri), ruhsal yorgunluklardır (URL-1).

Türkiye’nin en önemli jeotermal merkezlerinden biri olan Hüdai Kaplıcası’nda yeteri kadar alt yapı çalışmaları, nitelikli konaklama işletmeleri ve dinlenme alanlar bulunmamaktadır.

Bu bağlamda turistlerin ilgisini çekecek tanıtımlar yapılarak, yeni işletmeler ilave edilmeli, bu işletmeler tam donanımlı hale getirilerek yerli ve yabancı turiste kaliteli bir hizmet sunulmalıdır.

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Hüdaı Jeotermal Alanı ve çevresinin 1/25000 ölçekli jeoloji ve koruma alanı haritası (Afşin, 1991)'den revize edilerek hazırlanmıştır.

İnceleme alanının temelini Prekambriyen yaşlı meta-dasit ve meta-riyolit birimleri oluşturur. Mesozoyik, çakıltası, kumtası, silttaş, kıltaşı, kızıl alacalı, marnlı şist, killi ve karstik kireçtaşlarıyla temsil edilir. Senozoyik, tuf, lav domları, andezit, bazalt gibi volkanik birimler ile gevşek çimentolu çakıltaşlarıyla, kil, sil, yer yer bordo renkli çakıllardan, alüvyon ve travertenden meydana gelmektedir.

Alanda genel olarak alüvyon, traverten, çakıltası-kumtası seviyeleri ve kireçtaşları inceleme alanında geçirimli birimleri; killi, marnlı seviyelerle, kuvarsit ve dolomitler yarı geçirimli birimleri; şist, şeyl, silttaş ve bazı marn seviyeleri ise geçirimsiz birimleri oluşturur.

İnceleme alanındaki suların sıcaklık (T), pH, özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri kurak dönemde sıcak sularda sırasıyla; 23.3-82.4°C; 6.23-7.67; 433-1930 µS/cm, soğuk sularda 11.48-21°C; 4.98-8.1; 215-1635 µS/cm arasındadır. Yağışlı dönemde ise sıcak sularda sırasıyla 23.16-75.65°C; 7.11-7.85; 127-1801 µS/cm; soğuk sularda 9.8-20.6°C; 6.07-7.88; 127-1890 µS/cm arasındadır.

Alanda kurak dönemde, soğuk sulardaki iyon bolluk dizilimi katyonlarda $Ca^{+2} > Na^{+} + K^{+} > Mg^{+2}$ ve $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^{+} + K^{+}$, anyonlarda genelde $HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-}$ 'dir. Sıcak sularda katyonlar, $Na^{+} + K^{+} > Ca^{+2} > Mg^{+2}$, anyonlar ise $SO_4^{-2} > HCO_3^{-} > Cl^{-}$ şeklindedir. Yağışlı dönemde, soğuk sularda K-1 dışında değişme gözlenmezken, sıcak suların katyon dizilimi aynı kalmış, anyon dizilimi $HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-}$ şeklinde değişmiştir.

İnceleme alanındaki sular genel itibariyle 3 farklı fasiyeste toplanmıştır. Bunlardan ilki olan Ca-Mg-HCO₃ fasiyesindeki sular, en genç olup, kısa dolaşım süresine sahiptir. İkinci fasiyes türü olan Ca-Mg-HCO₃-SO₄'e sahip sular, göreceli olarak orta dolaşım, Ca-Mg-HCO₃'lü sulara göre ise daha yaşlıdır. Son fasiyes türü olan Na-Ca-SO₄-HCO₃ ise uzun dolaşım ve yaşlı olan jeotermal sulara aittir.

İncelenen tüm sular kurak ve yağışlı dönemde genel olarak kalsit, barit, kaolinit, kuvars, aragonit, dolomit, kuvars ve stronsiyonite doymuş; halit, jips ve anhidrite doymuş değildir.

$\delta^{18}\text{O}$ değerleri (‰) sıcak sularda -10.81 ile -10.30, soğuk sularda ise -10.32 ile -7.45 arasında değişmektedir. $\delta^2\text{H}$ değerleri (‰) sıcak sularda -75.22 ile -70.29, soğuk sularda -66.02 ile -54 arasındadır. İncelenen tüm suların meteorik kökenli olduğu tespit edilmiştir.

$\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB) değerleri sıcak sularda -5.8 -0.2, soğuk sularda -22.1- 15.4 arasında değişmektedir. K-2, S-2 ve S-8 dışındaki tüm soğuk suların $\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB) değerleri sıcak sulardan daha düşüktür. ^{14}C görünür yaşları (x1000 yıl) sıcak sulardan soğuk sulara doğru azalmaktadır. Sıcak sularda ^{14}C görünür yaşların yüksek olması, modern biyogenik karbonun katkısına işaret etmektedir.

$\delta^{34}\text{S}$ değerlerine göre, SO_4 'ün kökeni sıcak sularda, volkanik sülfür, Devoniyen-Permiyen CaSO_4 , Senozoyik CaSO_4 , kireçtaşı ve az miktarda kömür, soğuk sularda ise biyogenik pirit şeyl, volkanik sülfür, petrol, kömür, magmatik kayalar ve kireçtaşlarıdır.

Sıcak ve mineralli suların hazne kaya sıcaklıkları 24-122°C arasındadır.

İnceleme alanında üç koruma alanı önerilmiştir.

HJA'da sadece bir reenjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. Sıcak su kuyularının fazla sayıda açılması, aralarındaki mesafenin uygun olmaması ve bilinçsizce yapılan su çekimi bu kuyulara soğuk suların karışmasına neden olmaktadır. Kontrolsüz şekilde birbirine yakın açılan kuyular, bu kuyuların sıcaklık, basınç, debi vb. şartlarını olumsuz yönde etkilemektedir.

HJA'da daha detaylı yapılacak reenjeksiyon çalışmalarıyla; sıcak suyun çevreyi kirletmesi, rezervuarın su ve basınç dengesinin bozulması engellenebilir. Ayrıca doğal beslenme için gereksinim azalarak, ek enerji üretimi sağlanabilir.

Hüdaî Kaplıcaları, Türkiye'de termal turizmin yapıldığı önemli kaplıcalardan biridir. Peloidoterapi (çamur tedavisi), içmece, termal havuz, Türk hamamı hizmetlerinin verildiği kaplıcayı pek çok yerli ve yabancı turist ziyaret etmektedir.

Yeterli tanıtım, alt yapı çalışmaları, konaklama tesisleri ve dinlenme alanlarının yapılmasıyla kaplıcaya olan ilgiyi arttıracaktır.

KAYNAKLAR

- Afşin, M., 1991. Afyon Sandıklı Kuruçay ovası ve Hüdai kaplıcasının hidrojeoloji incelemesi, Ankara Üniversitesi, Doktora Tezi, Ankara, (yayımlanmamış).
- Afşin, M., Ünsal, N., Çelik, M. ve Syed, M. A., 1993. Sandıklı Kuruçay (Afyon) ovasının yeraltı suyu bilançosu. S.Ü. Müh.- Mim. Fak. Dergisi, 2, 10-18, Konya.
- Afşin, M. ve Canik, B., 1996. Hüdai (Sandıklı/Afyon) sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeoloji ve hidrokimyasal incelemesi ve kökensel yorumu. Yerbilimleri/Geosound, 28, 69-86, Adana.
- Afşin, M., 1997. Hydrochemical evolution and water quality along the groundwater flow path in the Sandıklı plain, Afyon, Turkey. Environmental Geology, 31(3/4), 221-230.
- Afşin, M., Gürel, A., Onak, A., Erdoğan, N., Gürdal, H., Kavurmacı, M., Oruç, Ö., Duru, G., 2007. Orta Anadolu'daki sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesi ve suların tıbbî ve biyoiklimsel değerlendirilmesi. TÜBİTAK-ÇAYDAG-104Y197 Kodlu Proje, 119 s, yayımlanmamış.
- Akan, B. ve Dağıstan H., 2008. Jeotermal alanlarda koruma alanlarının belirlenmesi. Termal ve Maden Suları Konferansı, Bildiriler Kitabı, 24-25 Nisan, s. 343-351.
- Akan, B., Tamgaç, Ö. F. ve Ünal, H., 2008. Afyon (Sandıklı) Jeotermal Sahası koruma alanlarının belirlenmesi, Termal ve Maden Suları Konferansı, Bildiriler Kitabı, 24-25 Nisan, s. 401-414.
- Akerblom, G. ve Lindgren, J., 1997. Mapping of groundwater radon potential. European Geologist 5, 13-22.
- Aksever, F., 2011. Afyon Sandıklı havzası hidrojeolojisi. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 226 s.
- Bahati, G., Pang Z., Armannsson, H., Isabirye, E.M., Kato, E., 2005. Hydrology and reservoir characteristics of three geothermal systems in Western Uganda, Geothermics, 34, 568-591.
- Bayarı, C.S. ve Özyurt, N.N., 2005. Yeraltısuyu Yaş Tayini ve Kirlilik Araştırmalarında Tritium ve Karbon-14 İzotopunun Kullanımı, DTP İleri Araştırma Projesi, 75 s.
- Becker-Platen, J., D., Benda, L. ve Stefens, P., 1977. Litho und biostratigraphische Deutung radiometrischer Altersbestimmungen au dem Jungtertiar der Türkei (Kanozoim und Braunkohien edr Türkei, 18) Geol. Jb. B. 25, 139-167, Hannover. Blumenthal, M., 1947. Geologie der taurusketten in hinterland Von Seydişehir und Beyşehir: Maden Tetkik ve Arama Enst., Ankara, Ser. D., no:2, s. 108, (yayımlanmamış).
- Choubey, V. M., Bartarya, S.K. ve Ramola, R.C. 2003. Radon in groundwater of eastern Doon Valley, Outer Himalaya. Radiat Meas; 36: 401-5.

- Choubey, V. M., Prasad Y., Prasad, G. ve Ramola R.C. 2009. Geohydrological control on radon availability in groundwater, *Radiation Measurements*, 44: 122-126.
- Clark, I. D. and Fritz, P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis publishers, pp 328.
- Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters, *Science*, 133:1702-1703, La Jolla
- Çakmakoglu, A., 1986. Çivril-Banaz-Sandıklı-Dinar arasındaki bölgenin jeolojisi (K-23-c1, c2, c3, c4, d3; K-24-d3, d4; L-23-a2, a3, b1, b2, b3, b4; L-24-a1, a2, a3, a4, MTA Rap. Derleme no: 8062. Ankara
- Çirkin, T. ve Kaymakçioğlu F., 2005. Jeotermal Enerjinin Değerlendirilmesi ve Elektrik Üretimi, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Sözlü Bildiri, 19-21 Ekim, Mersin.
- Dean, W. T. and Monod, O., 1971. The lower paleozoic stratigraphy and faunas of the Taurus Mountains near Beyşehir, Turkey. I. *Stratigraphy Bull. Brit. Mus. Geol.* 19, 411-426.
- Dean, W.T., Özgül, N., 1994. Cambrian rocks and faunas, Hudai area, Taurus Mountains, southwestern Turkey. *Bulletin de l’Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Science de la Terre* 64, 5-20.
- Doğaner, S., 2001. Türkiye Turizm Coğrafyası, Çantay Kitabevi, 1.Baskı, İstanbul.
- Ercan, T., 1986. Orta Anadolu’daki Senozoyik volkanizması. *MTA Dergisi*, s.107. 119-141. Ankara.
- Erdoğan, B., Uchman, A., Güngör, T. ve Özgül, N., 2004. Lithostratigraphy of the lower Cambrian metaclastics and their age based on trace fossils in the Sandıklı region, southwestern, Turkey, *Geobios*, 38, 346-360.
- Falkenbach, A., Kovacs, J., Franke, A., Jörgens, K. ve Ammer, K., 2005. Radon therapy for the treatment of rheumatic diseases-reviewand meta-analysis of controlled clinical trials, *Rheumatol Int.*, 25: 205-210.
- Ford, D. and Wlliams, P., 2007. *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley and Sons. England, 562 p.
- Gedik, İ., 1989. Batı Toroslar Kambriyen’inde Hadimopanellid biyostatigrafisi. Kambriyen’de yeni bir biyostratigrafik zonlama. *TJK Bülteni*, C.32, s. 67-68, Ankara.
- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal solute equilibria, derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et CosmochimicaActa*, 52, 2747-2765.

- 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, Pp. 199-144, Rome
- Goldschmidt, W.M., 1958. Geochemistry Oxford, Clarendon Press.
- Göncüoğlu, M. C., Gürsu, S. ve Bozkaya, Ö., 2006. Textural and mineralogical evidence for a Cadomian tectonothermal event in the eastern Mediterranean (Sandıklı-Afyon area, western Taurides, Turkey), Gondwana Research, 10, 301-315.
- Gutnic, M., 1977. Geologie du Taurus Pisidien su Nord d'Isparta (Turquie). Trav. Lab. Geol.Hist. Univ. Paris XI, 130 p, Orsay.
- Güngör, T., Akay, E. ve Arslan E., 2004. Deformation of the Sandıklı porphyroids, TÜBİTAK YDABAG Proje No: 102Y064, 2004: 1-39, Ankara.
- Gürsu, S. ve Göncüoğlu, M.C., 2005. Batı Torosların (Sandıklı GB'si, Afyon) Geç Neoproterozoyik ve Erken Paleozoyik yaşlı birimlerinin jeolojisi ve petrografisi, MTA Dergisi, 130, s. 29-55, Ankara.
- Gürsu, S., 2002. İç Batı Anadolu (Afyon GB'sı) bölgesinde yüzeylenen Paleozoyik öncesi magmatik kayaların jeolojisi ve petrojenezi, Doktora Tezi, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s. 203 (yayınlanmamış).
- Kaasalainen, H. ve Stefansson, A. 2011. Chemical analysis of sulfur species in geothermal waters, Talanta 85, 1897– 1903.
- Karamandere, İ. H., 2008. Afyonkarahisar Jeotermal Sahalarının Jeolojik ve Minerolojik Evrimi, Termal ve Maden Suları Konferansı, 24-25 Nisan, 2008, Afyon.
- Koçak, A. 2000. Türkiye'de Jeotermal Enerji Aramaları ve Potansiyeli. Türkiye 8.Enerji Kongresi. Ankara, 109-124.
- Koçyiğit, A., Cihan, M. ve Özacar A., 2001. Dombayova ve Sandıklı (Afyon) grabenlerinin depremselliği ve kenar faylarının kinematik analizi, TÜBİTAK YDABÇAG Proje No. 199Y007, 2001: 1-57, Ankara.
- Kozlu, H. ve Göncüoğlu, M.C., 1995. Infracambrian Hudai area in Sandıklı. IGCP Project 351-Early Paleozoic Evolution in NW Gondwana Excursion Guide Book, 15-16.
- Kozlu, H. ve Göncüoğlu, M.C., 1997. Stratigraphy of the Infracambrian rock-units in the Eastern Taurides and their correlation with similar units in Southern Turkey. Göncüoğlu, M.C. ve Derman, A.S. (ed). Early Paleozoic in NW Gondwana, Turkish Association Petroleum Geologists Special Publication, 3, 50-61.

- Krouse, H.R., 1980. Sulfur isotopes in our environment. In: Fritz, P., Fontes, J.C. (Eds.), Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. The Terrestrial Environment. Elsevier, Amsterdam, pp. 435–471.
- Kurttaş, T., 2002. Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, düzeltilmiş baskı, 21-25 Ekim (2002), Adana, 301-316.
- Mazor, E., 2004. Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology, Markel Dekker Inc, Third Edition, New York, 453 p.
- N.G.F.M. Van der Aal, 2003. Classification of mineral water types and comparison with drinking water standards, Environmental Geology, 44:554–563.
- Nicholson, K., 1993. Geothermal Fluids, Springer-Verlag Heidelberg New York – ISBN, 3-540-56017-3.
- Öngür, T., 1973. Sandıklı (Afyon) jeotermal araştırma bölgesine ilişkin jeolojik durum ve jeotermal enerji olanakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor no: 5520, Ankara, (yayımlanmamış).
- 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, Niğde Üni. Fen Bilimleri Enst., 90 s.
- Özdemir T., 2001. Afyon İli Termal Turizm Potansiyeli. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon., 52-58.
- Özgül, N. ve Gedik, L., 1973. Orta Toroslar'da alt Paleozoyik yaşta Çaltepe kireçtaşı ve Seydişehir formasyonunun stratigrafisi ve konodont faunası hakkında yeni bilgiler: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 16, 39-52.
- Öztaş, Y., 1989. Homa-Akdağ yöresi, Sandıklı-Şuhut kuzeylerinin jeolojisi ve petrol olanakları, TPAO arşivi, Rapor no: 2584, Ankara.
- Öztürk, A., 1981. Homa-Akdağ (Denizli) yöresinin stratigrafisi, TJK, Bülteni, C24, S1, 75-84.
- Özpınar, Y., Bozkurt, R., Çobanoğlu, İ. ve Küçük, B., 1999. Uşak ve Sandıklı civarındaki “Küfe taşlarının” (aglomera ve tüf) petrografik ve petrokimyasal incelenmesi, bunların yapıtaşı ve agrega olarak değerlendirilmesi, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu’99, İstanbul, ISBN B.16.0.KGM.0.63.00.03/606.
- Özpınar. Y., Çobanoğlu İ. ve Bozkurt, R., 2002. Sandıklı zeolitik tüflerin petrografik petrokimyasal ve teknolojik özelliklerin incelenmesi, TÜBİTAK YDABÇAG Proje No. 198Y102, 2002: 1-268, Ankara.
- Parejas, E., 1942. Sandıklı, Dinar, Burdur, Isparta ve Eğirdir bölgesinde yapılan jeolojik löveler hak. Rapor, MTA Rapor no: 1390, Ankara (yayımlanmamış).

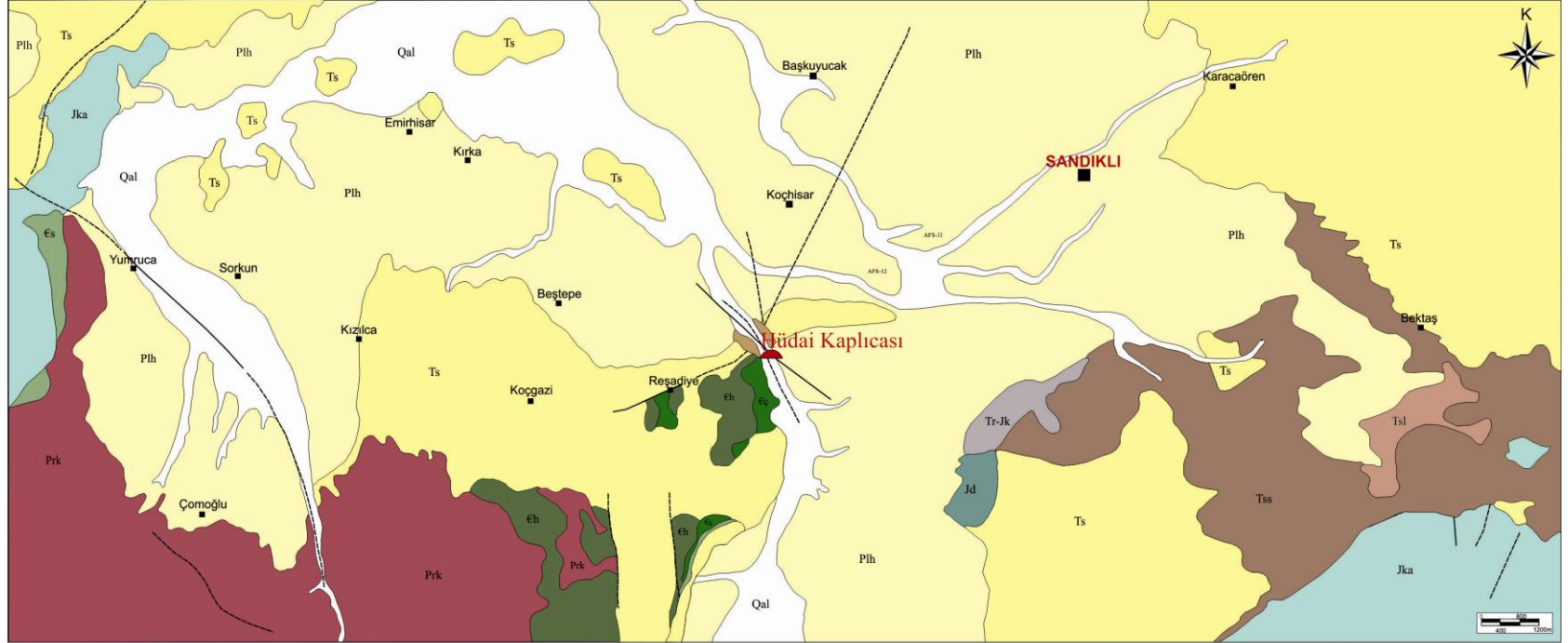
- Parkhurst, D.L. ve Appelo, C.A.J., 1999. User's Guide to PHREEQC (Version 2-A) Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations.
- Pearson, Jr., F.J. ve Rightmire, C.T., 1980. Sulfur and oxygen isotopes in aqueous sulfur compounds. In: Fritz, P., Fontes, J.Ch. (Eds.), Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, pp. 227–258.
- Peterson, R.N., Burnett, W.C., Santos, I.R. ve Hicks, R.W., 2010. Use of automated radon measurements for rapid assessment of groundwater flow into Florida streams, Journal of Hydrology, 380: 298-304.
- Przylibski, T.A., Mamont-Ciesla, K., Kusyk, M., Dorda, J. ve Kozłowska, B., 2004. Radon concentrations in groundwaters of the Polish part of the Sudety Mountains (SW Poland), Journal of Environmental Radioactivity 75: 193-209.
- Reed, M. ve Spycher, N., 1984. Calculation of pH and mineral equilibria in waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution. Geochim. Cosmochim. Acta 48, 1479-1492.
- Ronner, F., 1962. Sandıklı ovası çöküntüsü- Genç tektonik ve volkanik durumlar, MTA Dergisi, Sayı: 59, 69-89, Ankara.
- Salih, M.I., Bäckström, M., Karlsson, S., Lund, E. ve Pettersson, H.B.L., 2004. Impact of fluoride and other aquatic parameters on radon concentration in natural waters, Appl Radiat Isotopes; 60: 99–104.
- Sanjet A.Ş., 2010. Afyon (Sandıklı) Jeotermal sahası jeofizik öz direnç etüd raporu, Eylül, Ankara.
- Sarmiento, G. N., Göncüoğlu, M.C., Fernandez-Remolar, D. ve Garcia-Lopez, S., 1997. Small shelly fossils from the Çaltepe Formation (Late -Lower Cambrian – Early -Middle Cambrian) in its type locality, western Taurides (Turkey). Grndal D'anglades, A., Guiterrez-Marco, J. C. ve Santos Didalgo, L. (ed). Paleozoico Inferior del Noroeste de Gondwana, Soc. Espanola Paleont, Çoruna, 113- 115.
- Satman, A., Serpen, U., Uğur, Z. ve Türkmen, N., 1997. Kızıldere Jeotermal Rezervuarı Üretim Performansının ve Tekrar-Basma Testinin Analizi”, Türk Petrol ve Doğal Gaz Dergisi, Şubat, Vol. 3, No.2, 56-64.
- Satman, A., 2003. Tekrar-Basma (Reenjeksiyon), VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, Jeotermal Enerji Semineri, İzmir, 8-11 Ekim, s. 207-229.
- Sevindi, C., ve Özdemir, M., 2001. “Sarmaşık Kaplıcası”, Atatürk Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, Sayı:27, s. 159-173.
- Sweeting, M.M., 1973. Karst landforms. Columbia Univ. Pres, 362 p.

- Skeppström, K. ve Olofsson, B., 2006. A prediction method of radon in groundwater using GIS and multivariate statistics, *Science of Total Environment* 367: 666-680.
- Şamilgil, E., 1964. Hüdaihamamı (Sandıklı) hakkında jeoloji ve hidrojeolojik rapor. Rapor no: 3598, Ankara, (yayımlanmamış).
- Şengör, A.M.C. Satır, M. ve Akkök, R., 1984. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey: implication for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, 3, 693-707.
- Şimşek, Ş., Doğdu, M.F. ve Akan, B., 1997. Hidrojeotermometreler. HÜ Müh. Fakültesi Ders Notları, 53 s, Ankara
- Tanner, A.B., 1986. Geological factors that influence radon availability. In *Proceedings of air pollution control Association International specialty conference*, Philadelphia, Pittsburgh SP-54, p. 1-12.
- Tarcan, G., 2002. Jeotermal Su Kimyası, Jenarum Yaz Okulu, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, 11-21 Haziran, s.198-246.
- T.C. Resmi Gazete, Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği, 2007. yayın tarihi: (2566509) 12.2004.
- Tuzcu, G., 1974. Küçük Sincanlı Ovası hidrojeolojik etüt raporu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on the effect of Atomic Radiation, Source and Effects of Ionizing Radiation, United Nations, New York.
- U. S. EPA, 1991. Delineation of Wellhead Protection Areas in Fractured Rocks Written by Ken Bradbury, Maureen Muldoon and Alex. This report discusses two case studies from Wisconsin and discusses the options for WHP delineation in fractured rocks. , EPA 570/9-91-009, 144 p.
- URL-1, <http://www.sandikli.gov.tr/Contents.aspx?CatID=118>. 26 Aralık 2011
- Ünal, Ç., 2003. Pasinler Kaplıcalarının Coğrafi Etüdü, *Doğu Coğrafya Dergisi*, sayı:10, s.115-132.
- Wilson, J. L., 1975. Carbonate facies in geologic history. Springer - Verlag, 471 p.
- Yener, G., Erees, F.S., Salk, M. ve Özbal, Ö., 2005. Measurements of radon content in soil gas and in the thermal waters in western Turkey, *Radiction Measurements*, 41: 354-361.

EKLER

EK-1

HJA VE ÇEVRESİNİN JEOLojİ HARİTASI

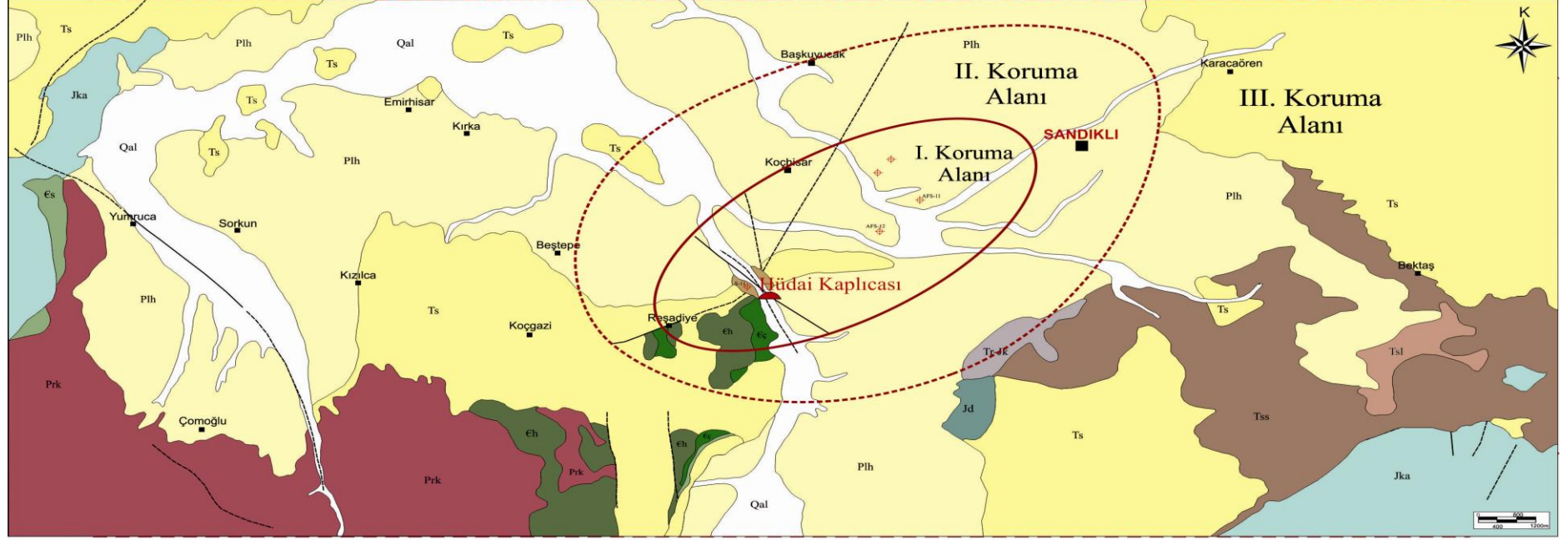


Kuvaterner	Qal	Qt	Alüvyon Traverten
Pliyosen	Plh		Kum, çakıl, silt (<i>Hamamçay Formasyonu</i>)
Üst Miyosen	Ts	Ts	Çakıltaş, marn, tuf, andezit, bazalt (<i>Sandıklı Formasyonu</i>)
Alt Kretase Üst Jura	Jka		Karstik kireçtaşı (<i>Akdağ Formasyonu</i>)
Alt Jura	Jd		Şeyl (<i>Derealanı Formasyonu</i>)
Alt Jura Üst Triyas	Tr-Jk		Çakıltaş, silttaş (<i>Karatepe Formasyonu</i>)
Alt Ordovisiyen Üst Kambriyen	Es		Silttaş, marn, kireçtaşı (<i>Seydişehir Formasyonu</i>)
Orta Kambriyen	Eç		Dolomitik kireçtaşı (<i>Çaltepe Formasyonu</i>)
Alt Kambriyen	Eh		Kuvarsit (<i>Hüdai Formasyonu</i>)
Proterozoyik	Prk		Porfiroiyidler, fillitler (<i>Kestelçayı Porfiroiyid Birliği</i>)

	Fay
	Olası Fay
	Yerleşim Yeri
	Kaplıca

EK-2

HJA VE ÇEVRESİNİN KORUMA ALANI HARİTASI



Kuvaterner	Qal	Q1	Alüvyon Traverten
Pliyosen	Plh		Kum, çakıl, silt (<i>Hamamçay Formasyonu</i>)
Üst Miyosen	Ts	Ts1	Çakıltaş, marn, tüf, andezit, bazalt (<i>Sandıklı Formasyonu</i>)
Alt Kretase Üst Jura	Jka		Karstik kireçtaşı (<i>Akdağ Formasyonu</i>)
Alt Jura	Jd		Şeyl (<i>Derealanı Formasyonu</i>)
Alt Jura Üst Triyas	Tr-Jk		Çakıltaş, silttaş (<i>Karatepe Formasyonu</i>)
Alt Ordovisiyen Üst Kambriyen	Es		Silttaş, marn, kireçtaşı (<i>Seydişehir Formasyonu</i>)
Orta Kambriyen	Eç		Dolomitik kireçtaşı (<i>Çaltepe Formasyonu</i>)
Alt Kambriyen	Eh		Kuvarsit (<i>Hüdai Formasyonu</i>)
Proterozoyik	Prk		Porfiroyidler, filitler (<i>Kestelçayı Porfiroyid Birliği</i>)

	Fay
	Olası Fay
	Çomoğlu Yerleşim Yeri
	Hüdai Kaplıcası Kaplıca
	Sıcak su kuyusu

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuğba DAĞ

Doğum Yılı : 1985

Eğitim Durumu (Kurum ve yıl)

Lisans : Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü; 2007

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği ABD.

Haberleşme Bilgileri

**Adres Bilgileri : Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100
Merkez Kampüs /Aksaray**

Telefon : 0 382 288 2324

E-posta : Tuubadag@gmail.com