

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HIDIRLAR (ÇANAKKALE-YENİCE) JEOTERMAL
SAHASI'NIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ
ve TEKTONİZMAYLA İLİŞKİSİ

Özkan ATEŞ

Prof. Dr. Salih Zeki TUTKUN

Mayıs, 2007
ÇANAKKALE

**HIDIRLAR (ÇANAKKALE-YENİCE)
JEOTERMAL SAHASI'NIN
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ ve
TEKTONİZMAYLA İLİŞKİSİ**

**Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Özkan ATEŞ

Prof. Dr. Salih Zeki TUTKUN

Mayıs, 2007

ÇANAKKALE

Bu tez çalışması TÜBİTAK 104Y082 no'lu "Biga Yarımadası'ndaki Jeotermal Kaynakların Potansiyeli, Kullanım Alanlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi" projesi kapsamında yapılmıştır.

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Özkan ATEŞ tarafından **Prof. Dr. Salih Zeki, TUTKUN** yönetiminde hazırlanan **“Hıdırlar (Çanakkale-Yenice) Jeotermal Sahası’nın Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Tektonizmaya İlişkisi”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Salih Zeki TUTKUN

Yönetici

Doç Dr. Alper BABA

Jüri Üyesi

Yar. Doç. Dr. Emin ULUGERLERLİ

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mehmet Emin ÖZEL

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bir yüksek lisans tezi olan bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Prof. Dr. Salih Zeki TUTKUN denetiminde hazırlanmıştır. Çalışma konumun seçiminde ve çalışmalarımın tüm aşamalarında sonsuz desteklerinden dolayı ve engin tecrübelerinden yararlanma fırsatını yakaladığım danışman hocam sayın Prof. Dr. Salih Zeki TUTKUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu çalışma "Biga Yarımadası'ndaki Jeotermal Kaynakların Potansiyeli, Kullanım Alanlarının Belirlenmesi ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi" TÜBİTAK-104Y082 projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarında destek sağladığı için TÜBİTAK'a, arazi ve laboratuvar çalışmalarının sonuçlarının değerlendirilmesinde eleştiri ve maddi katkılarından dolayı proje yürütücüsü Doç Dr. Alper BABA'ya teşekkür ederim.

Tez yazım aşamasında bıkmadan usanmadan her türlü sorunuma çözüm bulabildiği için Doç. Dr. Süha ÖZDEN'e çok teşekkür ederim.

Çalışmam esnasında her türlü sorunumu paylaştığım, benden bilgilerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan tüm Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri, araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Arazi çalışmalarım sırasında bana eşlik eden ve yardımcı olan Jeoloji Mühendisi Erdem GÜNDOĞDU ve Sedat GÜNGÖR'e, Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden Dinçer TUNÇER'e, konaklama ve her türlü yardımlarından dolayı Hamdibey Belediye Başkanı Sayın Metin SEVER'e, Hamdibey Belediyesi çalışanlarına, Mehmet Ali Bey'e, Ramazan SEVER'e, Hüseyin Bey'e ve Zafer Bey'e ve Hamdibey Tütün İşletmeleri Müdürü'ne sonsuz teşekkürler ederim.

Hıdırlar Kaplıcası civarındaki arazi çalışmalarım sırasında konaklama ve her türlü yardımlarından dolayı Agonya Şifa Merkezi Hıdırlar Kaplıcası işletmecisi Muzaffer GÜVEN'e, saygıdeğer eşine ve kaplıca çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez yazım aşamasındaki yardımlarından dolayı Jeoloji Yüksek Mühendisi Özkan GÜLEN'E, Jeoloji Mühendisi Mustafa AVCIOĞLU'na ve Jeoloji Mühendisi Deniz ŞANLIYÜKSEL'e teşekkür ederim.

Hayatımın ve tezimin hazırlanmasının her aşamasında her zaman beni seven, destekleyen, sabırla benim kararlarımı saygı duyan ve hep benim yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Özkan ATEŞ

HIDIRLAR (ÇANAKKALE-YENİCE) JEOTERMAL SAHASI'NIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE TEKTONİZMAYLA İLİŞKİSİ

ÖZET

Hıdırlar (Yenice-Çanakkale) Jeotermal Alanı, Biga Yarımadası'nın (KB Türkiye) güneydoğusunda yer alır. Bu alan, fay denetimli bir tektonosedimanter havza görüntüsü sunan bir çöküntü alanının kuzeybatısında yer almaktadır.

Çalışma alanında, yapılan 1/25 000 ölçeğindeki jeolojik haritasına göre alanda beş farklı kaya birimi ayırtlanmıştır. Çalışma alanının temelini Alt-Orta Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi'ne ait Nilüfer Birimi oluşturmaktadır. Temel kayaların üzerinde uyumsuzlukla Üst Oligosen yaşlı Çakıroba granodiyoriti ve Üst Oligosen yaşlı Çan Volkanitleri yer almaktadır. Neojen yaşlı Örencik Formasyonu ile Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyon çalışma alanındaki tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir.

Alandaki ana tektonik hatlar genel olarak DKD-BGB gidişli ve bunları kesen KB-GD gidişli kırık hatlarıdır ve sıcak su çıkışları bu tektonik hatlar üzerinde yer almaktadır.

Çalışma alanında üçü sıcak su ve ikisi soğuk su olmak üzere toplam beş su örnek lokasyonu seçilmiştir. Sıcak su kaynakları Kaynak, Sondaj ve Uyuz olarak, soğuk su kaynakları ise Soğuk 1 ve Soğuk 2 olarak isimlendirilmiştir. Sıcak su kaynakların çıkış sıcaklıkları Kaynak için 77,5 °C, Sondaj için 57,7 °C ve Uyuz için 53,6 °C olarak belirlenmiştir.

Yapılan hidrojeokimyasal çalışmalar sonucu sıcak sular Na-SO₄ ve Na-SO₄-HCO₃, soğuk sular ise Ca-Mg-HCO₃ lı su tipini yansıtmaktadırlar. Rezervuar sıcaklığının belirlenmesi için yapılan jeotermometre hesaplamalarında, Kaynak

için 90 °C-163 °C, Sondaj için 81 °C-149 °C ve Uyuz için 83 °C-161 °C sıcaklıkları hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre, bölgede yüksek sıcaklığa sahip akiferlerin bulunması beklenmektedir. Ancak, bu akiferlerin derinliği ve verimi hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilebilmesi için jeofizik çalışmalar yapılmalı ve tüm verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda araştırma kuyuları açılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Hıdırlar, jeotermal, tektonik, hidrojeokimya, jeotermometre

HYDROGEOCHEMICAL FEATURES of HİDIRLAR (ÇANAKKALE-YENİCE) GEOTHERMAL FIELD and its TECTONIC RELATION

ABSTRACT

Hıdırlar (Yenice-Çanakkale) Geothermal Field is located at the southeast of the Biga Peninsula (northwest Turkey). This field is at northwest of an east-west trending depression area which may indicate a fault controlled tectonosedimentary basin.

According to 1/25000 scale geological map, five different lithological unit determined in the study area. Lower-Middle Triassic aged Nilüfer Unit of Karakaya Complex constituted the basement of area. Late Oligocene aged Çakıroba granodiorite and Çan volcanic rocks overlie the basement metamorphic rocks with an unconformity. Neogene aged Örencik Formation and Quaternary aged slope washes and alluvium overlie the entire older unit with an unconformity.

At working area, major tectonic lines have ENE-WSW strike and they are cut by NW-SE strike tectonics lines. All thermal water spring are located on these tectonic lines.

Five water sampling location is selected in the Hıdırlar Geothermal Field. Three of them are thermal water which is named as Kaynak, Sondaj and Uyuz, two of them are cold water which is named as Soğuk 1 and Soğuk 2. The surface temperatures of thermal springs are determined as Kaynak=77,5 °C, Sondaj=57,7 °C and Uyuz=53,6 °C.

According to the result of hydrogeochemical results thermal waters are generally Na-SO₄ and Na-SO₄-HCO₃ water types. Cold waters in the area are Ca-Mg-HCO₃ water types. Assessments of chemical geothermometers applied to the

thermal waters, suggest that reservoir temperatures are 90 °C-163 °C for Kaynak, 81 °C-149 °C for Sondaj and 83 °C-161 °C for Uyuz.

In the scope of this study's results, in the field it is expected that aquifers has high temperatures. But to understand detail information of the aquifers' depth and output, it has to be done geophysical studies and investigation wells.

Keywords: Hıdırlar, geothermal, tectonic, hydrogeochemistry, geothermometer

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ SINAVI SONUÇ BELGESİ.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	v

BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....1

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı.....	2
1.2.1. Çalışma Alanının Yeri ve Ulaşım.....	2
1.2.2. Çalışma Alanının Morfolojik Özellikleri.....	3
1.2.3. Çalışma Alanının İklim ve Bitki Örtüsü Özellikleri.....	4
1.3. Önceki Çalışmalar.....	6
1.4. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri.....	8
1.4.1. Arazi Çalışmaları.....	8
1.4.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	9
1.4.3. Büro Çalışmaları.....	9

BÖLÜM İKİ-JEOTERMAL ENERJİ.....11

2.1. Giriş.....	11
2.2. Jeotermal Enerjinin Tanımı.....	11
2.2.1. Jeotermal Sistemlerin Oluşumu.....	13
2.2.2. Jeotermal Sistemlerin Sınıflandırılması.....	14
2.3. Jeotermal Sistemlerin Çeşitleri.....	16
2.4. Jeotermal Akışkanın Kimyası.....	20
2.5. Jeotermal Enerjinin Türkiye'deki Durumu.....	20

BÖLÜM ÜÇ-JEOLOJİ ve TEKTONİK.....22

3.1. Bölgesel Jeoloji.....	22
3.2. Çalışma Alanının Jeolojisi.....	26

3.2.1. Karakaya Kompleksi.....	29
3.2.1.1. Litoloji ve Tanım.....	30
3.2.1.2. Dokanak İlişkisi.....	32
3.2.1.3. Yaş.....	32
3.2.2. Çakıroba Granodiyoriti.....	32
3.2.2.1. Litoloji ve Tanım.....	32
3.2.2.2. Dokanak İlişkisi.....	34
3.2.2.3. Yaş.....	34
3.2.3. Çan Volkanitleri.....	34
3.2.3.1. Litoloji ve Tanım.....	34
3.2.3.2. Dokanak İlişkisi.....	36
3.2.3.3. Yaş.....	36
3.2.4. Örencik Formasyonu.....	36
3.2.4.1. Tanım ve Litoloji.....	36
3.2.4.2. Dokanak İlişkisi.....	38
3.2.4.3. Yaş.....	38
3.2.5 Yamaç Molozu ve Alüvyon.....	38
3.3. Bölgesel Tektonik.....	39
3.4. Biga Yarımadası'nın ve Çalışma Alanının Tektoniği.....	40
3.4.1. Biga Yarımadası'nın Tektoniği.....	40
3.4.1. Hıdırlar Jeotermal Sahası'nın Tektoniği.....	41
3.5. Jeotermal Sistemin Tektonizmaya İlişkisi.....	49
BÖLÜM DÖRT-HİDROJEOKİMYA.....	54
4.1. Analiz Yöntemleri.....	54
4.2. Örnek Noktalarının Seçimi ve Özellikleri.....	55
4.3. Yüzey ve Yeraltı Suyu Örnek Lokasyonları.....	55
4.3.1. Sıcak Sular.....	56
4.3.2 Soğuk Sular.....	60
4.4. Su Kimyası.....	62
4.4.1. Hıdırlar Jeotermal Sahası'ndaki Sıcak Suların Genel ve Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	62

4.4.2. Hıdırlar Jeotermal Sahası'ndaki Soğuk Suların Genel ve Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	96
4.4.2. Hıdırlar Jeotermal Sahası'ndaki Sıcak ve Soğuk Suların Su Kimyası Grafiklerinde Karşılaştırılması.....	103
BÖLÜM BEŞ-SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	106
KAYNAKÇA.....	109

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 1.1. Hıdırlar Jeotermal Sahası'nın yer bulduru haritası (Oktu ve diğ., 1997 den değiştirilerek).....	2
Şekil 1.2. Çalışma sahasının 1/25000 lik topografik haritasından elde edilmiş sayısal yükseklik modeli.....	3
Şekil 1.3. Hıdırlar Jeotermal Sahası drenaj haritası.....	4
Şekil 1.4. Çanakkale ili, Yenice ilçesi aylık yağış verileri (DMİ, 2006).....	5
Şekil 1.5. Çanakkale ili, Yenice ilçesi aylık sıcaklık verileri (DMİ, 2006).....	5
Şekil 2.1. İdeal bir jeotermal sistemin şematik kesiti (Toka, 2006).....	12
Şekil 2.2. Genç magmatik sokulumlar tarafından etkilenen hidrotermal Taşınım sisteminin şematik gösterimi (Lund ve diğ., 1980 den değiştirilerek).....	17
Şekil 2.3. Fay kontrollü, meteorik su sirkülasyonuna bağlı hidrotermal taşınım Sistemi (Lund ve diğ., 1980 den değiştirilerek).....	18
Şekil 2.4. Derin bölgesel akifer içindeki jeotermal rezervuarın şematik modeli (Lund ve diğ., 1980 den değiştirilerek).....	19
Şekil 2.5. Türkiye'deki sıcak ve mineralli su kaynaklarının dağılımı (Şimşek, 2000).....	21
Şekil 3.1. Biga Yarımadası'nın genelleştirilmiş jeoloji haritası (Okay ve Satır, 2000 den değiştirilerek).....	23
Şekil 3.2. Çalışma sahasının jeolojik haritası.....	27
Şekil 3.3. Çalışma sahasının sayısal yükseklik modeli üzerine serilmiş jeoloji haritası.....	28
Şekil 3.4. Çalışma sahasının genelleştirilmiş dikme kesiti.....	29
Şekil 3.5. Hıdırlar Kaplıcası 500 m GD sunda yer alan yol yarması üzerindeki Karakaya Kompleksi içerisindeki Nilüfer Birimi'ne ait fillatların görünümü.....	30
Şekil 3.6. Tütünlük Tepe GD sunda yer alan İşlik patika yolu üzerinde mostra veren Karakaya Kompleksi, Nilüfer Birimi içerisindeki metabaziklerin görünümü.....	31

Şekil 3.7. Tütünlük Tepe GD sında yer alan İşlik patika yolu üzerinde mostra veren Karakaya Kompleksi, Nilüfer Birimi içerisindeki metabaziklerin görünümü.....	31
Şekil 3.8. Ilıcabaşı Tepe 400 m KB sında granodiyoritlerde gözlenen çatlak sistemleri.....	33
Şekil 3.9. Hıdırlar Kaplıcası 100 m kuzeyinde granodiyoritlerde gözlenen aplit daykları ve alterasyonların görünümü.....	33
Şekil 3.10. Örencik Köyü kuzeyi Köktarla Tepe 500 m batısındaki volkaniklerden genel bir görünüm.....	35
Şekil 3.11. Örencik Köyü kuzeyi Köktarla Tepe 500 m batısındaki volkaniklerde gözlenen hidrotermal alterasyonların görünümü.....	35
Şekil 3.12. Korkut Tepe 100 m batısında yer alan Örencik Formasyonu'nun tabanındaki konglomeratik seviyelerin genel görünümü.....	37
Şekil 3.13. Korkut Tepe 200 m kuzeybatısında yer alan Örencik Formasyonu içerisindeki kalışli seviyelerin görünümü.....	37
Şekil 3.14. Korkut Tepe 200 m kuzeybatısında yer alan Örencik Formasyonu'nun kumtaşları ve kilaşları ardalanmasının genel görünümü.....	38
Şekil 3.15. Doğu Akdeniz Bölgesi'nin aktif tektonik haritası (Barka ve Reilinger, 1997).....	39
Şekil 3.16. Biga Yarımadası'nın tektonik haritası (Siyako ve diğ., 1989 dan değiştirilerek).....	42
Şekil 3.17. Çalışma alanının yer aldığı çöküntü alanı (earth.google.com).....	43
Şekil 3.18. Çalışma alanının ana tektonik hatları (earth.google.com).....	43
Şekil 3.19. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli üzerine serilmiş jeoloji haritası ve ana tektonik hatları.....	44
Şekil 3.20. Hıdırlar Kaplıcası 100 m kuzeyinde granodiyoritlerde gözlenen Bir fay düzleminin yakından görünümü.....	45
Şekil 3.21. Hıdırlar Kaplıcası 100 m kuzeyinde granodiyoritlerde gözlenen bir fay düzleminin yakından görünümü.....	46
Şekil 3.22. Çakıroba Granodiyoriti'nde ölçülen çatlak düzlemlerine göre hazırlanmış Gül Diyagramı.....	48

Şekil 3.23. Çakıroba Granodiyoriti’nde ölçülen çatlak düzlemlerine göre hazırlanmış kontur diyagramı.....	49
Şekil 3.24. Çalışma Sahası’nın Bouger Anomali Haritası (Arslan, 1987).....	51
Şekil 3.25. Hamdibey beldesi KD sunda gözlenen mesozkopik fay düzlemleri...52	
Şekil 3.26. Hamdibey beldesi KD sunda gözlenen mesozkopik fay düzlemlerinin Wulf ağı alt yarımküresi üzerindeki ters çözümleri ve histogramdaki dağılımları.....	52
Şekil 3.27. Hıdırlar Jeotermal Sahası’nın Şematik Modeli.....	53
Şekil 4.1. Hıdırlar Köyü KB sındaki ılıca ve hamam kalıntısı.....	57
Şekil 4.2. Hıdırlar Ilıcası ana kaynak yerinin görünümü.....	58
Şekil 4.3. MTA sondajından gelen sıcak suyun çıktığı noktanın görünümü.....	59
Şekil 4.4. Hıdırlar Kaplıcası KB sında Bıçkıdere vadisindeki Uyuz Ilıcası kaynak yerinin görünümü.....	60
Şekil 4.5. Bıçkı Alanı mevkiindeki soğuk su kaynağı (Soğuk 1).....	61
Şekil 4.6. Soyabendi Dere KB sındaki soğuk su kaynağı (Soğuk 2).....	61
Şekil 4.7. Sıcak sulardaki majör iyon dağılımını gösterir dairesel diagramlar (derişimler meq/l dir).....	68
Şekil 4.8. Çalışma sahasındaki sıcak sulardan alınan verilere göre hazırlanmış Piper diyagramı.....	69
Şekil 4.9. Çalışma sahasındaki sıcak suların bu çalışma sonrası elde edilen Piper diyagramları.....	70
Şekil 4.10. Çalışma sahasındaki sıcak suların Durov diyagramında Değerlendirilmesi.....	71
Şekil 4.11. Çalışma sahasındaki sıcak sulardan elde edilen Schoeller diyagramı.....	72
Şekil 4.12. Çalışma sahasındaki sıcak suların bu çalışma sonrası elde edilen Schoeller diyagramları.....	72
Şekil 4.13. Çalışma sahasındaki sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg üçgeninde denge durumları (Giggenbach, 1988).....	81
Şekil 4.14. Kaynak için hazırlanan “Sıcaklık-Mineral Denge” diyagramları.....	88
Şekil 4.15. Sondaj için hazırlanan “Sıcaklık-Mineral Denge” diyagramları.....	89
Şekil 4.16. Uyuz için hazırlanan “Sıcaklık-Mineral Denge” diyagramları.....	90

Şekil 4.17. Farklı Su Kaynaklarının İzotop Bileşimini ve Fiziko-Kimyasal Süreçlerin Su Bileşimi Üzerine Etkilerini Gösterir $\delta D - \delta^{18}O$ Diyagramı (veri kaynakarı: magmatik sular-Taylor, 1974; Sheppard, 1977; metamorfik sular-Taylor, 1974; Sheppard, 1981; fosil sular-Taylor, 1974; magmatik biyotit ve hornblend-Taylor, 1974).....	95
Şekil 4.18. Çalışma sahasındaki sıcak su kaynaklarının $^{18}O-^2H$ ilişkisi.....	96
Şekil 4.19. Soğuk sulardaki majör iyon dağılımını gösterir dairesel diyagramlar.....	100
Şekil 4.20. Çalışma sahasındaki soğuk su kaynaklarına ait Piper diyagramı.....	101
Şekil 4.21. Çalışma sahasındaki soğuk sulara ait Durov diyagramı.....	102
Şekil 4.22. Çalışma sahasındaki soğuk sulardan elde edilen Schoeller diyagramı.....	103
Şekil 4.23. Çalışma sahasındaki sıcak ve soğuk su kaynakları için Hazırlanmış Piper Diyagramı.....	104
Şekil 4.24. Çalışma sahasındaki sıcak ve soğuk su kaynakları için Hazırlanmış Durov Diyagramı.....	104
Şekil 4.25. Çalışma sahasındaki sıcak ve soğuk su kaynakları için Hazırlanmış Schoeller Diyagramı.....	105

TABLolar LİSTESİ

Tablo No	Sayfa
Tablo 3.1. Granodioritlerde Ölçülen Çatlak Düzlemleri.....	47
Tablo 4.1. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su lokasyonlarının koordinatları..	56
Tablo 4.2. Çalışma alanındaki sıcak suların fiziksel özellikleri.....	63
Tablo 4.3. Çalışma alanındaki sıcak suların majör element derişimleri.....	64
Tablo 4.4. Çalışma alanındaki sıcak suların minör element derişimleri.....	64
Tablo 4.5. Çalışma alanındaki sıcak suların anyon ve katyon eşitliğı.....	66
Tablo 4.6. Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarının iyon sıralaması.....	67
Tablo 4.7. Silis jeotermometre eşitlikleri (S=ppm olarak SiO ₂ derişimidir).....	76
Tablo 4.8. Silis jeotermometreleri ile hazırlanan rezervuar sıcaklıkları.....	77
Tablo 4.9. Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler ppm cinsindedir).....	78
Tablo 4.10. Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C).....	79
Tablo 4.11. Kaynak için hesaplanan “Sıcaklık-Mineral Denge” değerleri.....	85
Tablo 4.12. Sondaj için hesaplanan “Sıcaklık-Mineral Denge” değerleri.....	86
Tablo 4.13. Kaynak için hesaplanan “Sıcaklık-Mineral Denge” değerleri.....	87
Tablo 4.14. Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerine ait δ ¹⁸ O, δ D, Cl (ppm), T (³ H), EC (µS/cm) ve T (°C) analiz sonuçları.....	91
Tablo 4.15. Jeotermal çalışmalarında yaygın olarak kullanılan izotopların doğadaki (göreceli) derişim düzeyleri.....	92
Tablo 4.16. Çalışma alanındaki soğuk suların fiziksel özellikleri.....	97
Tablo 4.17. Çalışma alanındaki soğuk suların majör element derişimleri.....	97
Tablo 4.18. Çalışma alanındaki soğuk suların minör element derişimleri.....	98
Tablo 4.19. Çalışma alanındaki soğuk suların anyon ve katyon eşitliğı.....	99
Tablo 4.20. Çalışma alanındaki soğuk su kaynaklarının iyon sıralaması.....	99

BÖLÜM I

GİRİŞ

Bu bölümde çalışmanın amacı, kapsamı, çalışma sahasının yeri, coğrafik özellikleri, sahada yapılmış önceki çalışmalar ile çalışmada izlenen ve uygulanan yöntemlerle ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır.

1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Alternatif enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji; tükenebilen enerji kaynakları ile yarışacak düzeyde potansiyeli olmamakla birlikte yenilenebilir, uygun teknolojilerin kullanılması halinde kirletici etkisi olmayan, sürdürülebilir, yerli ve çevre dostu özellikleri ile öne çıkan bir enerji türüdür.

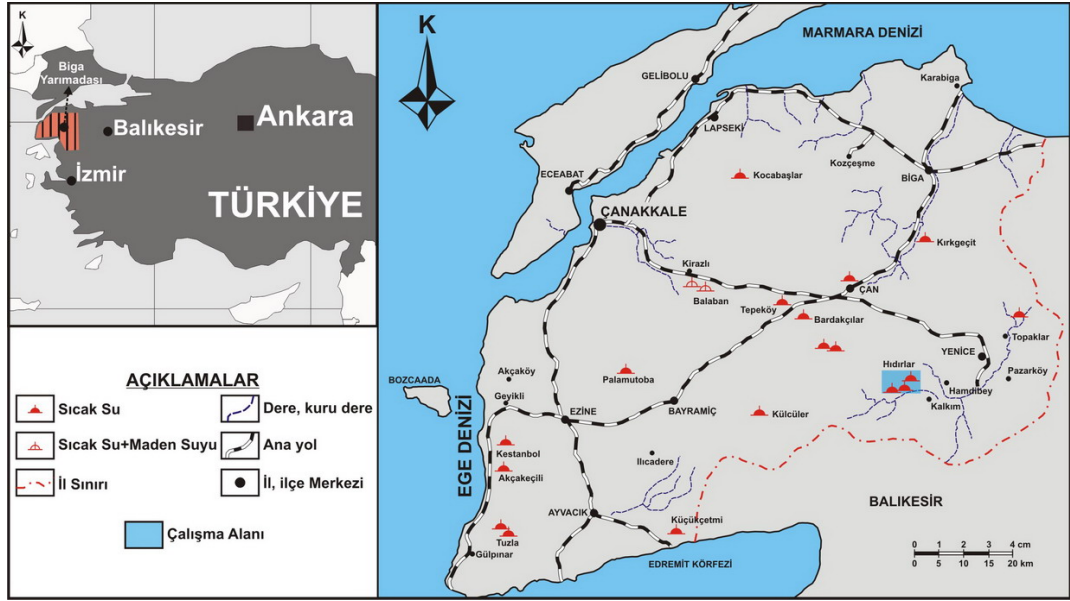
Çanakkale iline bağlı Yenice ilçesi, Hıdırlar Jeotermal Sahası'nda yapılmış daha önceki jeotermal amaçlı çalışmalar, 87 °C ye varan sıcak suların yüzeye ulaşmasının, belirli bir çatlak sistemine bağlı olduğunu vurgulanarak jeotermal açıdan sahanın olumluluğuna işaret etmiştir (Özbayrak, 1984).

Bu çalışmanın amacı, Hıdırlar (Yenice-Çanakkale) Jeotermal Sahası'ndaki sıcak ve soğuk suların hidrojeokimyasal özellikleri ve bu jeotermal sistemin tektonizmaya ilişkinin ortaya konulmasıdır. Jeotermal sistemler için önemli olan tektonik hatlarla sıcak su ilişkileri ve bu alanların jeotermal potansiyellerinin belirlenmesi, jeotermal enerji potansiyeli açısından dünya altıncısı olan ülkemiz için hem ekonomik hem de bilimsel açıdan önemli katkı sağlayacaktır.

1.2. Çalışma Sahasının Tanıtımı

1.2.1. Çalışma Sahasının Yeri ve Ulaşım

Hıdırlar Jeotermal Sahası Kuzeybatı Anadolu’da, Biga Yarımadası’nın güneydoğusunda, Çanakkale ili, Yenice ilçesi, Hamdibey beldesinin yaklaşık 8 km batısında yer alır (Şekil 1.1). Çalışma sahası 1/25 000 ölçekli Balıkesir İ18 a3 topografik haritasının kuzeybatı kısmında yer alan yaklaşık 25 km² lik bir alandır.



Şekil 1.1. Hıdırlar Jeotermal Sahası'nın yer bulduru haritası (Okçu ve diğ., 1997 den değiştirilerek).

Hıdırlar Jeotermal Sahası, Çanakkale ilinin yaklaşık 96 km güneydoğusunda, Yenice ilçesi ile Balıkesir ilinin yaklaşık 86 km güneybatısında yer alan Edremit ilçeleri arasında bulunmaktadır. Çalışma sahasındaki önemli yerleşim birimi Çanakkale ili, Yenice ilçesi, Hamdibey beldesine bağlı Hıdırlar köyüdür.

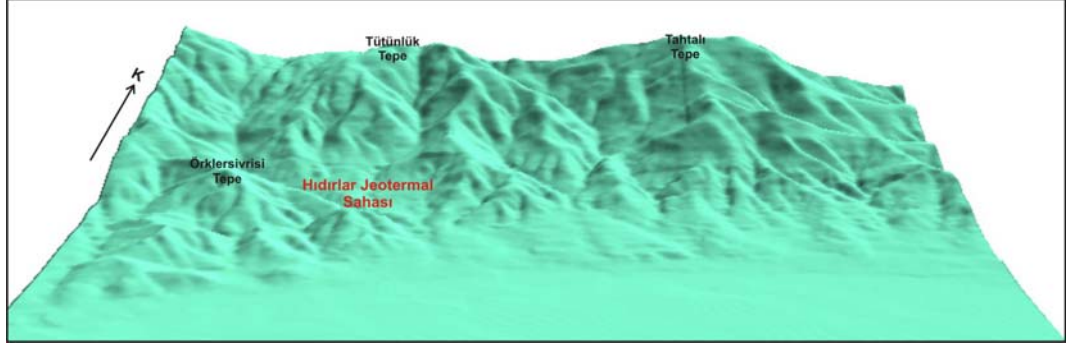
Sahaya ulaşım kuzeybatıdan Çanakkale-Çan-Yenice-Hamdibey karayolu, güneybatıdan ise Edremit-Kalkım karayolu, doğudan ise Balıkesir-Balya-

Hamdibey karayolu ile mümkündür. Yüksek alanlara ulaşım ise orman yolları, stabilize yollar ve patikalarla mümkündür.

1.2.2. Çalışma Sahasının Morfolojik Özellikleri

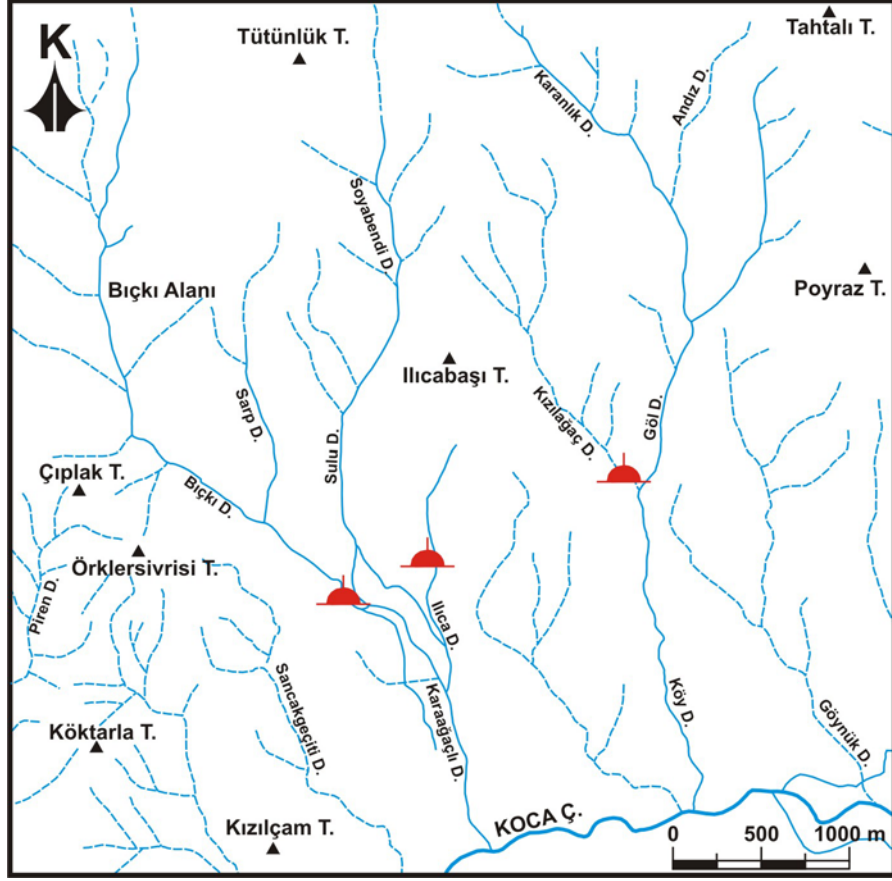
Hıdırlar Jeotermal Sahası, Çanakkale ili, Yenice ilçesinin güneyinde yer alan doğudan batıya doğru Kalkım, Hamdibey ve Pazarköy beldelerinin de içinde yer aldığı yaklaşık kuzeydoğu-güneybatı gidişli bir çöküntü havzasının kuzeybatı kısmında bulunmaktadır.

Çalışma sahası ve dolaylı, morfolojik açıdan genelde sarp, yer yer de düzlük alanlardan oluşmaktadır (Şekil 1.2). Yükseklikler 200 m ile 900 m arasında değişmektedir. Arazinin en yüksek topografyasını 915 m kotundaki Tahtalı Tepe ile 825 m kotundaki Tütünlük Tepe oluşturmaktadır. Çalışma sahasındaki en düşük kotu ise yaklaşık 200 m civarındadır.



Şekil 1.2. Çalışma sahasının 1/25 000 lik topografik haritasından elde edilmiş sayısal yükseklik modeli.

Güneyde sahayı doğu-batı yönünde kateden Koca Çay çalışma sahasının en önemli akarsuyudur. Koca Çay batıda Kazdağı'nın doğu uzantılarından olan Sakardağı'ndan doğar, çalışma sahasının da içerisinde yer aldığı Kalkım-Hamdibey-Pazarköy çöküntüsünü doğu-batı yönünde katederek kuzeye bükülür ve Yenice doğusunda, Yenice Çayı ile birleşir. Koca Çay dışında bu çayla birleşen birçok irili ufaklı dereler bulunmaktadır (Şekil 1.3)



Şekil 1.3. Hıdırlar Jeotermal Sahası'nın drenaj haritası

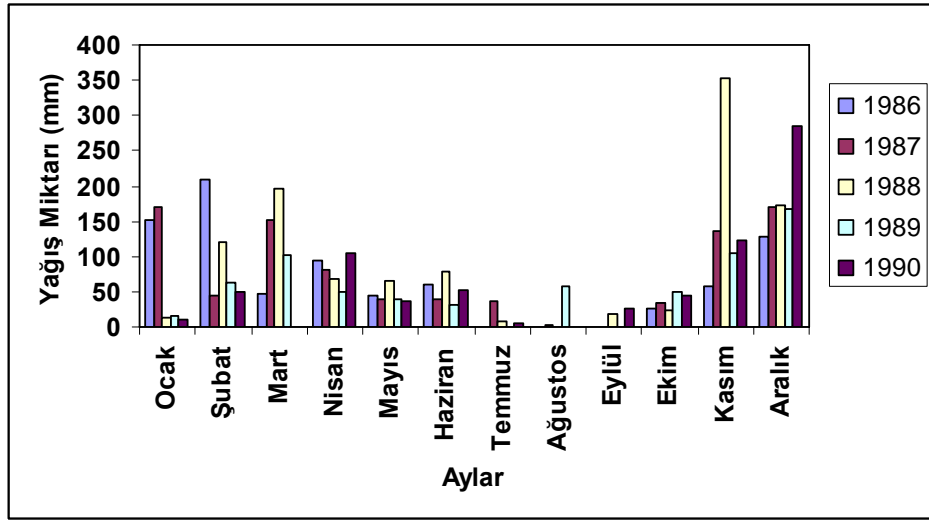
Çalışma sahasının morfolojisi, jeolojik yapı ve litolojinin etkisi ile şekillenmiştir. Düzlük bölgeleri sınırlandıran yüksek alanlar metamorfik ve magmatik kayalardan yapılabilmektedir, daha alçak kesimlerde sedimanter kayalar ve alüvyon gözlenmektedir.

1.2.3. Çalışma Sahasının İklim ve Bitki Örtüsü Özellikleri

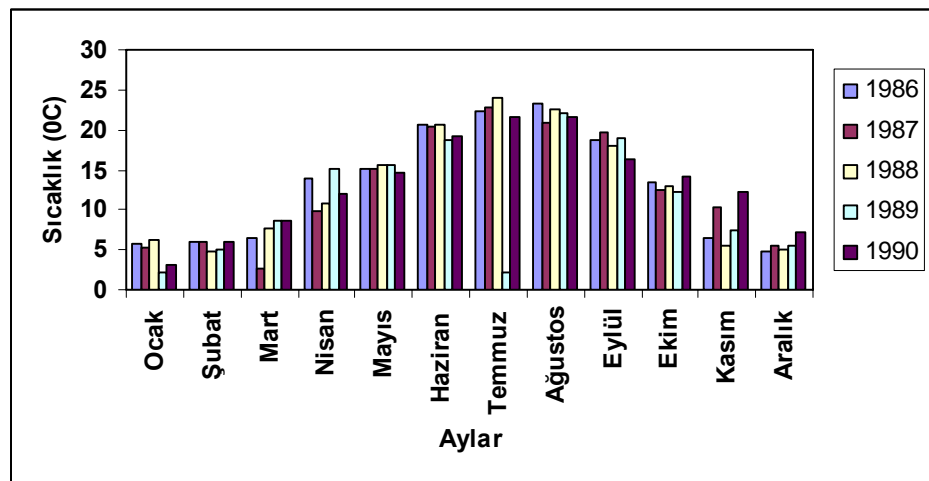
Çalışma sahasında, Akdeniz, Karadeniz ve karasal iklimin karışımı olan Marmara iklimi gözlenmektedir. İnceleme sahasında, belirtilen iklim türlerine özgü bitki türleri görülmektedir.

Hıdırlar Jeotermal Sahası ve dolaylarında Akdeniz iklimi özellikleri kendini belli eder. Ancak Akdeniz iklimi enleminin etkisi karasallık nedeniyle bazı özelliklerini yitirmiştir. Bu kesimlerde, yazlar sıcak ve kurak, kışlar yağışlı ve

soğuk geçer. Meteorolojiden alınan 1986-1990 yılları arası yağış verilerine bakıldığında çalışma sahasının yıllık yağış miktarı 676,2 mm ile 1117 mm arasında değişmektedir (DMİ, 2006). Yıllık ortalama yağışa bakıldığında, beş yıllık ortalama yağış miktarı 850,98 mm dir (Şekil 1.4). Bölgede en soğuk aylar Ocak ve Şubat, en sıcak aylar ise Temmuz ve Ağustos'tur (Şekil 1.5). Yörede rüzgarlar daha çok kuzeydoğu ve güneybatı yönlerinden esmekle beraber, zaman zaman şiddetli lodos görülür.



Şekil 1.4. Çanakkale ili, Yenice ilçesi aylık yağış verileri (DMİ, 2006)



Şekil 1.5. Çanakkale ili, Yenice ilçesi aylık sıcaklık verileri (DMİ, 2006)

Çalışma sahasındaki toprakların büyük bir kısmı tarıma elverişlidir. Yöre halkının en büyük geçim kaynağı olan tütüncülük ve kırmızı biber yetiştiriciliği, çalışma sahasındaki tarıma elverişli arazilerin % 95 ini kapsamaktadır. Bu alanlar daha alçak ve düzlük alanlardır. Yüksek kesimlerde ise ormanlar geniş alanlar kaplar. Ormancılık da yörede bir geçim kaynağı olarak yapılmaktadır. Çoğunlukla yapraklı türlerle, iğneli türlerin oluşturduğu karışık ormanlar yaygındır. Bölge ormanlarında görülen belli başlı ağaç türleri; kızılçam, karaçam, meşe, kestane, köknar, gürgen, kayın, çınardır.

1.3. Önceki Çalışmalar

Bu bölümde, Hıdırlar Jeotermal Sahası'nda ve çevresinde daha önce yapılmış jeolojik, tektonik ve hidrojeolojik çalışmalar belirtilecektir.

Lebküchner (1956), Örencik Linyit Zuhuru Hakkında Ön Rapor (Çanakkale Vilayeti, Yenice Kazası, Kalkım Nahiyesi) isimli çalışmasında; Hıdırlar Jeotermal Sahası'nın hemen batısında bulunan Örencik köyündeki linyit zuhurları ile ilgili jeolojik ve petrografik özellikleri belirtmiştir. Linyit zuhurlarının da içerisinde bulunduğu bölgedeki Neojen çökellerinin stratigrafisini sunmuştur.

Özbayrak (1980), Çanakkale-Yenice Hıdırlar Sahası'nın Jeotermal Enerji Olanakları isimli çalışmasında, alanın jeolojik özelliklerini inceleyerek bölgenin jeotermal enerji olanaklarını araştırmıştır. Hazne kaya, örtü kaya ve ısı kaynağı ile ilgili bilgiler vermiştir. Ayrıca araştırmacı alanın jeotermal potansiyelinin artırılması ile ilgili yapılması gereken çalışmalara değinmiş ve önerilerde bulunmuştur

Gözler ve diğ. (1984), Çanakkale Boğazı doğusu-Marmara Denizi güneyi-Bandırma-Balıkesir-Edremit ve Ege Denizi arasındaki alanın jeolojik özelliklerini incelemişlerdir.

Özbayrak (1984), Çanakkale iline bağlı Yenice ilçesi, Hıdırlar sahasında jeotermal amaçlı bir çalışma yapmış, hazne kaya, örtü kaya ve ısıtıcı kayalar konusuna açıklık getirmiştir. Araştırmacı; 87 °C ye varan sıcak suların yüzeye ulaşmasının, belirli bir çatlak sistemine bağlı olduğunu vurgulamış, sondajlar aşamasında bazı değerlerin göz önünde bulundurulmasına dikkat çekerek jeotermal açıdan sahanın olumluluğuna işaret etmiştir.

Okay (1989), Edremit-Balya-Manyas Arasının Jeolojisi ve Tektoniği konulu çalışmalarında; bölgenin tektonik yapısını çözmeye yönelik arazi ve jeolojik harita alımı çalışmaları yapmıştır. Araştırmacıya göre, Miyosen'de yaygın kalkalkalen volkanizmanın ve Kuzey Anadolu Fayı'nın faaliyete başlaması ile bölge, çok sayıda düşey ve muhtemelen yanal atımlı faylarla kesilmiştir. Andezitik lavların bir kısmı da muhtemelen bu faylardan çıkan yarık erüpsiyonlarıdır. Genellikle KKD-GGB gidişli bu faylar faaliyetlerini günümüze kadar sürdürmüşlerdir.

Siyako ve diğ. (1989), Biga ve Gelibolu Yarımadaı ile Edremit Körfezi ve civarının jeolojik haritalamasını yapmışlardır. Bu haritalarda da sismik risk taşıyan fayın Edremit Körfezi kuzeyini sınırlayan fay olduğunu vurgulamıştır. Bu haritalarda da aktif fayın kuzeyinde, çok sayıda küçük aktif olmayan eski faylarında rahatlıkla görülebileceğini ifade etmiştir.

Efe (1994), Biga Yarımadaı'nda neotektoniğin jeomorfolojik izlerini araştırmıştır. Araştırmacıya göre, genç tektonik hareketler, Biga Yarımadaı'nda belirgin jeomorfolojik şekiller oluşturmuştur. Genç tektonik olaylar sonucunda Miyosen öncesi yüzeyler; Kazdağ, Armutçuk dağları gibi alanlarda yükselmiş, Kazdağ kuzeyindeki alanlarda olduğu gibi çarpılmış ya da Ezine, Kalkım, Etili, Ayvacık, Gönen, Biga gibi alanlarda olduğu gibi çökerek ovaları meydana getirmiştir.

Ercan ve diğ. (1995), Biga Yarımadaı, Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan adalarındaki Tersiyer volkanizmasının özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında,

Eosen-Geç Miyosen aralığında oluşmuş volkanik kayaçları, saha ve laboratuvar çalışmalarına dayanarak altı grupta toplamıştır. Araştırmacılar, volkanik kayaların bölgedeki tektonik rejim ile de ilişkili olduğunu belirtmişler ve kalkalkalen volkanitlerin sıkışma rejimi etkisinde, alkalin volkanitlerin ise açılma rejimi etkisinde oluştuklarını öne sürmüşlerdir.

Barka (1997), Marmara Denizi bölgesinde yaptığı çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Adapazarı doğusundan itibaren kollara ayrıldığını belirtmiş, Biga Yarımadası'nın neotektonik çatısını ise Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güney kollarına ait aşmalı geometrili segmentlerin oluşturduğunu belirtmiştir. Araştırmacıya göre bu faylardan en önemlileri, Biga-Çan Fay Zonu, Sarıköy-İnova Fayı, Yenice-Gönen Fayı ve Havran-Edremit Fayları'dır. Bu fayların sıçrama yaptığı kesimlerde ise irili ufaklı pull-apart havzalar gelişmiştir. Bayramiç, Yenice, Aşağı İnova ve Ezine havzaları bu tür havzalardır. Araştırmacı, bu çalışmasında, Pazarköy, Edremit ve Yenişehir civarlarını sismik boşluk olarak değerlendirmiştir.

Yılmaz ve Karacık (1999), Edremit Körfezi ve dolayısıyla Biga Yarımadası güney kesimlerinin genç tektonik özelliklerini ve bunun Ege graben sisteminin gelişimine ait ipuçlarını ortaya koymuşlardır.

1.4. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

Bu çalışma kapsamında arazi, laboratuvar çalışmaları ve tez yazımını da içeren büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

1.4.1. Arazi Çalışmaları

2005 ve 2006 yazlarını kapsayan arazi çalışmalarında jeolojik haritalama çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Jeolojik harita alımı çalışmalarında çalışma sahasının 1/25 000 ölçekli temel topografya haritası kullanılmış, başlıca kaya-stratigrafi birimi ayrımı, tektonik hatların ortaya çıkarılmasına dayandırılmıştır.

Arazi çalışmaları sırasında sahada belirlenen 3 ayrı sıcak su kaynağı ve iki soğuk su kaynağından yerinde ölçümler ve su örnekleme çalışmaları da farklı dönemlerde yapılmıştır. Sıcak ve soğuk su örnekleme amaçlı arazi çalışmalarında, sıcak ve soğuk su kaynakları başında WTW Multi 340i cihazı ile suların sıcaklık ($T^{\circ}\text{C}$), pH, iletkenlik ($\text{EC}-\mu\text{S}/\text{cm}$) ve redoks (Eh) gibi fiziksel özellikleri ölçülmüştür. Bu ölçüm ve örnekleme çalışmaları sıcak su kaynakları için Eylül ve Ekim 2005, Şubat ve Ağustos 2006 ve Mart 2007 olmak üzere beş dönemde, soğuk sular için ise Ağustos 2006 ve Mart 2007 dönemlerinde yapılmıştır.

1.4.2. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarında, kimyasal analiz için alınan suların majör ve minör element analizleri ÇOMÜ Bilim ve Teknoloji Uygulama Merkezi (ÇOBİLTEM)-Merkez Laboratuvarı ve ACME (Kanada) Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Ayrıca alınan su örneklerinden Oksijen-18 (^{18}O) ve Döteryum (D) izotopları analizi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi İzotop Laboratuvarları'nda, Tritiyum (^3H) analizi ise Hacettepe Üniversitesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarları'nda yapılmıştır.

1.4.3. Büro Çalışmaları

Bu aşamada arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler, önceki çalışmalarla da karşılaştırılarak, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak yazılmıştır. Rapor yazım aşamasında da çalışmanın niteliğine uygun olarak, arazi gözlemlerine ve suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine ağırlık verilmiş ve bunlardan elde edilen sonuçlar mümkün olduğunca sade bir şekilde sunulmaya çalışılmıştır. Büro ve rapor yazım çalışmaları sırasında şu yöntemler takip edilmiştir; önceki çalışmaların toparlanması ve değerlendirilmesi, arazi çalışmaları sonuçlarının belirlenmesi, bunların laboratuvar çalışmaları sonuçlarıyla birleştirilmesi ve tezin hazırlanarak yazılması çalışmaları.

Arazi alışmaları ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Microsoft Excel ve AquaChem, Phreeqc gibi bilgisayar programları ile beraber Güleç ve Mutlu (2002) ve Tarcan (2002) gibi yazarların seminer notlarından faydalanılmıştır. Ayrıca alışma sahasının 1/25 000 ölçekli topografya haritası kullanılarak, ArcView GIS version 3.1 programı ile alanın sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir.

BÖLÜM II

JEOTERMAL ENERJİ

Bu bölümde, jeotermal enerjinin tanıtımı, jeotermal sistemlerin ve alanların sınıflandırılması ve özellikleri ile ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Jeotermal sistemlerin sınıflandırılmasında Koçak (2002) temel alınmış ve Türkiye'deki jeotermal sistemler ile ilgili bazı temel bilgilerde Giesse (1997) ve Akkuş (2002) den yararlanılmıştır.

2.1. Giriş

Enerji, günümüzde tüm dünya ülkelerinin en başta gelen sorunları arasındadır. Bunun en önemli nedenleri nüfus artışı, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesi olarak gösterilmektedir.

Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük bir kısmı, bir süre daha fosil yakıtlar ve hidrolik enerji ile karşılanabilecektir. Fosil yakıtların kısa bir dönemde tükenmesi ve bir süre sonra bunların yerini yeni enerji kaynaklarının alması beklenmektedir. Son yıllarda bütün ülkeler yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesine özen göstermektedir. Dünyadaki enerji kaynakları fosil kaynaklar (kömür, petrol, doğalgaz, turba, petrollü, kaynaklar, vb.) yenilenebilir kaynaklar (hidrolik, biyomas, jeotermal, jeotermal gradyan, rüzgar, gelgit, dalga, vb.) olmak üzere iki bölüme ayrılabilir. Bunlardan yenilenebilir kaynaklar grubuna giren Jeotermal Enerji, önemli bir yer tutmaktadır.

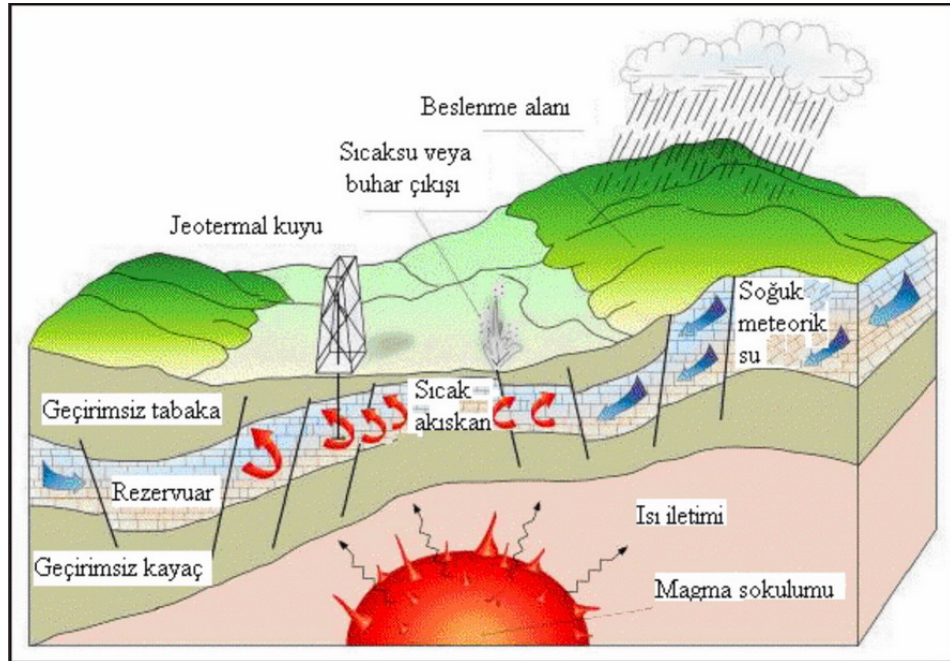
2.2. Jeotermal Enerjinin Tanımı

Jeotermal Enerji; yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir (Koçak, 2002).

Yerkabuğunun derinliklerinde var olan bu ısı kaynağı, henüz soğumasını tamamlamamış bir magma kütleli veya genç bir volkanizma ile ilgilidir. Yerkabuğunun kırık ve çatlaklarından derinlere süzülen meteorik sular bu ısı kaynağıyla ısıtıldıktan ve mineralce zenginleştikten sonra yoğunluk farkı ve basınç nedeni ile yükselirler (Şekil 2.1). Bu sıcak akışkan yerkabuğunun sığ derinliklerinde (100-4000 m), üzerinde geçirimsiz örtü kayalar bulunan, gözenekli ve geçirimli hazne kayalarda toplanır.

Ayrıca, bazı alanlarda bulunan “sıcak kuru kayalar” da akışkan içermemesine rağmen, jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilirler.

Jeotermal akışkanı oluşturan sular, meteorik ve juvenil kökenli veya her ikisinin çeşitli oranlarda karışım ile oluştuğundan, yerkabuğundaki haznelere sürekli olarak beslenmekte ve kaynak yenilenebilmektedir. Beslenmedeki mevsimsel ve yıllık değişimlerin genellikle etkisi olmakla birlikte, beslenmenin üzerinde bir tüketim olmadıkça jeotermal kaynakların tükenmesi söz konusu değildir.



Şekil 2.1. İdeal bir jeotermal sistemin şematik kesiti (Toka, 2006).

2.2.1. Jeotermal Sistemlerin Oluşumu

Jeotermal sistemleri oluşturan ana parametreler;

- a. Isı kaynağı,
- b. Isıyı taşıyan akışkan (çalışan akışkan, meteorik su),
- c. Rezervuar zon (poroziteli, permeabiliteli),
- d. Örtü kayadır.

Bu parametreleri aşağıda kısaca açıklanmıştır;

Kabuk üzerinde yüzeye yakın tektonik kırıkların ulaşabildiği ısı anomali zonları, jeotermal sistemler için ısı kaynağını oluşturmaktadır.

Meteorik kökenli yağmur suları da, yeryüzüne düştükten sonra çatlaklı zonlardan süzülerek derinlerdeki ısı anomalisi etkisi ile ısınmış kayalardaki ısıyı süpürerek yüzeye, ekonomik anlamda sığ derinliklere taşıyarak sistemin çalışan akışkanını oluşturur.

Çok nadir anlamda ise, derin okyanus çökellerinde bazı kapanlanmış sular ve metamorfizma sonucu kayadaki mineral bileşiminde bulunan suyun atılması ile ortaya çıkan sularda, derinlerdeki ısıyı taşıyıcı olabilmektedir, ancak bunlar meteorik sularla karşılaştırıldığında önemsiz derecede azdır (Koçak, 2002).

Yerkürenin en dıştaki küresi olan kabuk, levha hareketleri nedeniyle milyonlarca yıldır hareket halinde olup, katı yapısı nedeniyle bu hareketlere kıvrımlanma ve kırılmalarla karşılık vermektedir. Bu kıvrımlanma ve kırılmaların oluşturduğu kırık, çatlak ve boşluklu bölgeler litolojik birimler içerisinde rezervuar zonları oluştururlar.

Örtü kaya ise, üretim yapılan alanlar üzerinde, derindeki rezervuar zonda bulunan akışkan ve ısının yeryüzüne ve dolayısı ile atmosfere boşalmasını önleyen, geçirimsiz litolojik birimler topluluğudur (Koçak, 2002).

2.2.2. Jeotermal Sistemlerin Sınıflandırılması

Burada, jeotermal sistemlerden önce jeotermal sahalar için, yalın ve ülkemizde de yaygın olarak kullandığımız sadece sıcaklık değerlerine bağlı olarak yapılmış bir sınıflamadan öncelikle söz etmek gerekmektedir (Koçak, 2002).

Bu sınıflamada sınır değerler için ülkedeki kullanım kriterleri göz önüne alınmıştır; bu sınırlar, kaynağın başlangıç sıcaklık değeri ve genel anlamda ısıtmada ekonomik olabilen değer ile ülkemizde elektrik üretiminde kullanılan konvansiyonel yöntemle elektrik üretebilen değerdir. Bu sınır değerler birçok ülkede de aynı şekilde kullanılmaktadır. Ancak jeotermal kaynak yönünden ülkemize göre daha yüksek entalpili sahaları olan bazı ülkelerde bu değerler yüksek tutulmaktadır.

Ülkelere ve kökenlerine göre değişik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerji, yaygın olarak kullanılan sıcaklık içeriğine göre başlıca üç gruba ayrılır.

1. Düşük Sıcaklıklı Sahalar (20-70 °C sıcaklık)
2. Orta Sıcaklıklı Sahalar (70-150 °C sıcaklık)
3. Yüksek Sıcaklıklı Sahalar (150 °C den yüksek)

Daha karmaşık olan jeotermal sistemlerde, ısı transferinin erimiş kayalarla olduğu volkanik sistemlerin değil, ısı transferinin sadece sıcak su, buhar ve diğer gazların hareketi ile olduğu jeotermal sistemlerin sınıflandırılmasında aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

- a. Rezervuarın esas bölümünde baskın (hacimsel anlamda) olan akışkanın durumu; sıcak su, buhar gibi.
- b. Baskın durumdaki akışkanın kimyasal içeriklerinin konsantrasyonu; sıcak suya karşılık, tuzlu su, özel durumlarda ise rezervuar akışkanı olarak seyretilmiş deniz suyu gibi.

- c. Baskın akışkanın terkihi (kısmi basınç olarak); örnek gaz etkili veya az gazlı.
- d. Akışkanın sıcaklığı
- e. Yüzeysel ısı boşalım miktarı (dQ/dt)
- f. Rezervuar kayaçların permeabilitesi ve doğal durumu
- g. Isı kaynağının doğal durumu

1a) Ilık Kaynaklar: Düşük sıcaklıklı, düşük kimyasal konsantrasyonlu ılık sulardır. Isı kaynağı normal veya oldukça yüksek anomali oluşturan ısı akısıdır. Bunlara jeotermal sistemler olarak şüpheli gözle bakılır. Örnek; Viyana havzası, Beijing Rezervuarı (Koçak, 2002).

Ancak yapısal ve jeolojik olarak jeotermal sistem oluşabilecek bölgelerdeki ılık kaynakların kökenleri önemli olabilir ve araştırılmalıdır.

1) Yer Basıncıyla Oluşan Jeotermal Sistemler: Düşük-orta sıcaklıklı, yüksek kimyasal konsantrasyonlu, normal veya oldukça anomali oluşturan ısı akılı ve hızla kalınlaşan sedimanter havzalarla ilgili olup, jeotermal sistemler olarak şüphelidir ve yüksek kuyu için basınçlıdırlar (Koçak, 2002).

2) Sıcak Kaynaklar: Orta derecede kimyasal konsantrasyonlu, orta derecede sıcaklığı olan kaynaklardır. Isı kaynağı; kabuk içinde anomali oluşturan ısı akısıdır. Kıtasal yarıklar üzerindeki sistemler olup, granit kontakları ile ilgilidir. Örnek; kuzey Tayland, W.Yunnan (Koçak, 2002).

3) Sıcak Su Sistemleri: Yüksek sıcaklıklı, orta derecede kimyasal konsantrasyon içerikli olup genel olarak yaygın yüzey boşalımı olan ve çoğunlukla permeabiliteli genç volkanik kayaçların rezervuarı oluşturduğu sistemlerdir. Isı kaynağı, üst kabukta sıcak veya eriyik haldeki kayaçlardır. Bu sistem, yüksek oranda yüzeysel ısı boşalımı ile bütün sistemlerin çoğunluğunu oluşturur. Taupo Volkanik Zon (Yeni Zelanda), El Tatio (Şili), Tongonan (Filipinler), Ahuachapan (El Salvador), Otake (Japonya) (Koçak, 2002).

4) Tuzlu (Konsantre) Sistemler: Sıcak su sistemlerine benzerler, yalnız yüksek kimyasal kontrasyona sahiptirler. Güvenilir bir (dQ/dt) ısı boşalım değeri yoktur, fakat daha düşük yükselme kuvveti (tuzluktan dolayı) nedeniyle önemli ölçüde sıcak su sistemlerinden daha düşüktür ve nadiren oluşurlar. Örnek; Salton Sea (USA), Cesano (İtalya) (Koçak, 2002).

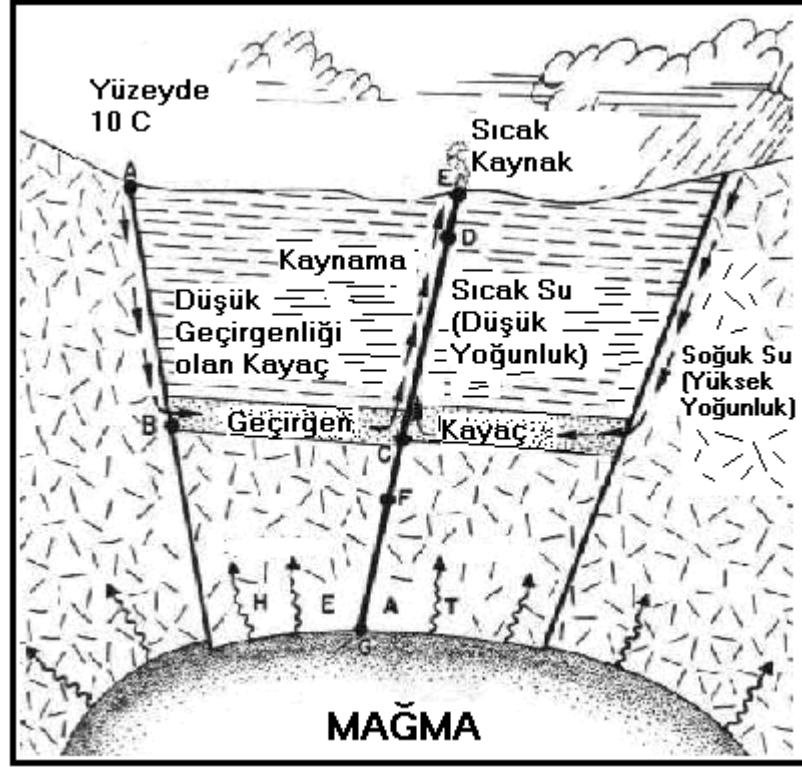
5) Buhar Sistemleri: Çok yüksek sıcaklığı olan ve düşük-orta kimyasal kontrasyonu ile yoğunlaşan, yüksek ısı boşalım (dQ/dt) değerine sahip ve rezervuar kayacı düşük permeabiliteli genç volkanik ve sedimanter kayaçlardan oluşan sistemdir. Isı kaynağı; Üst kabuktaki sıcak veya eriyik haldeki kayaçlardır. Örnek: Gayser (USA), Larderello (İtalya), Matsukava (Japonya), Kamojang (İndonezya) Tongariro Sistem (Yeni Zelanda) (Koçak, 2002).

6) Karışık Sistemler: Çok yüksek sıcaklıklı, sıcak volkanik gazlar ve genellikle yüksek kimyasal konsantrasyon içeriği ile yoğunlaşır. Isı boşalımı, $dQ/dt = 5 \times 10^7 - 2 \times 10^8$ J/S, rezervuar kayacı düşük permeabiliteli genç volkanik kayaç, ısı kaynağı ise kabuğun üst seviyelerindeki erimiş kayalardır. Jeotermal sistemler ile volkanik sistemler arasında geçiş oluştururlar. Örnek: Vanua Lava (Yeni Hebridler), Tatun (Taiwan) (Koçak, 2002).

2.3. Jeotermal Sistemlerin Çeşitleri

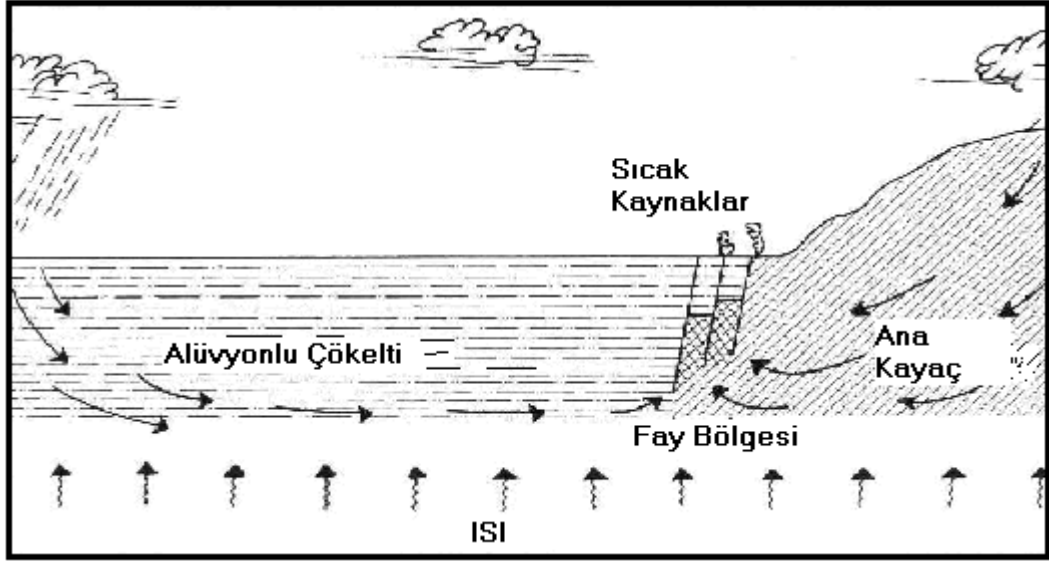
1. Genç Volkanik Sokulumlarla Bağlantılı Hidrotermal Konveksiyon Sistemler; Yerküre ısısının var olduğuna dair en belirgin kanıtlar volkanik patlamalardır. Bu patlamalardan etrafa yayılan lavlar dünya yüzeyinde hemen soğur fakat yer kabuğu içerisinde uzun zaman boyunca ergimiş olarak kalır. Günümüzde bu magma hücrelerine doğrudan sondaj yapılması pratik değildir. Bununla birlikte magma akıntısı etrafındaki kırıklar ve çatlaklar hidrotermal sirkülasyon sistemlerinin oluşumuna elverişli olabilir: yeraltı suyu, soğumakta olan magma akıntısının aşağılarında veya çevresinde çevrime girebilir. Bu çevrimde bir miktar ısı alan su tekrar yeryüzüne yakın alanlara döner. Sıcak ve

soğuk suyun yoğunlukları arasındaki fark ısınan suyun üste çıkmasını sağlar Lund ve diğ., 1980) (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Genç magmatik sokulumlar tarafından etkilenen hidrotermal taşınım sisteminin şematik gösterimi (Lund ve diğ., 1980 den değiştirilerek)

2. Fay Kontrollü Sistemler; Hidrotermal taşınım sistemlerinin çoğu genç volkanik sızıntıların olduğu yerlerde bulunmaz. Bunun yerine bu jeotermal sistemler ısılarını, geçirgen alanlar boyunca suyun derinlere doğru sirkülasyonuna izin veren geniş hacimli kayalardan alırlar. Bu alanlar, stratigrafik tabakalar veya çatlaklar ve birbirine bağlantılı kırık sistemleri olabilir (Şekil 2.3). Su sıcaklığı birinci olarak bölgesel ısı akımının büyüklüğüne ve su çevriminin derinliğine bağlıdır. Hidrotermal taşınım sistemlerinin kollarına beslenme dağlık alanlarda ve bitişik vadilerde meydana gelir (Lund ve diğ., 1980). Kırık ve çatlaklar Şekil 2.3 de gösterilenden farklı olabilirler, önemli olan kırıkların yükselen sıcak su için yeterli derecede geçirgen olmalarıdır.



Şekil 2.3. Fay kontrollü, meteorik su sirkülasyonuna bağlı hidrotermal taşınım Sistemi (Lund ve diğ., 1980 den değiştirilerek)

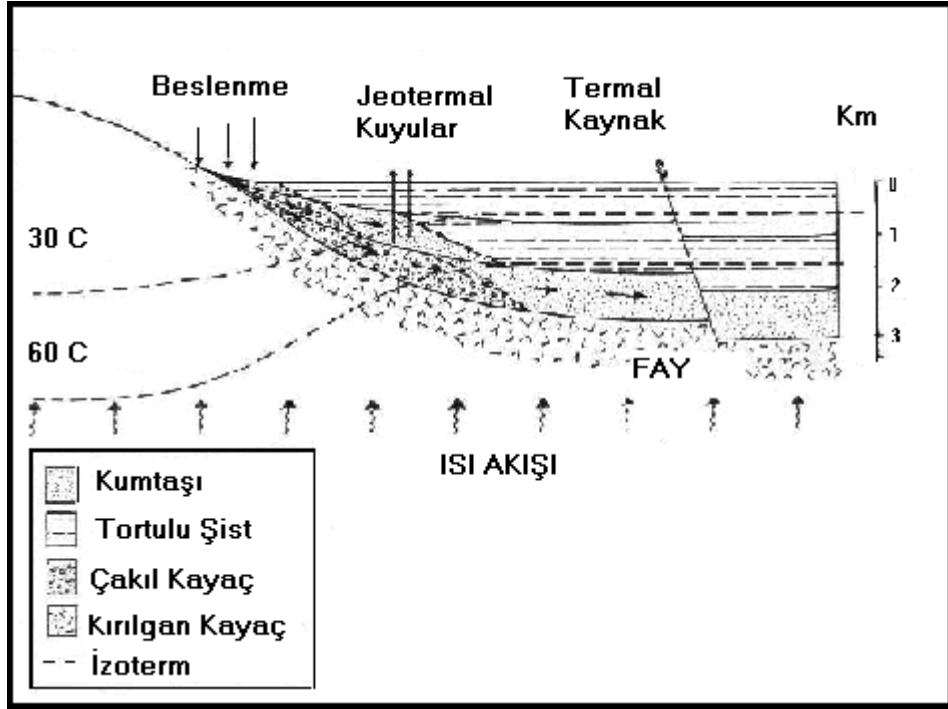
3. İletkenliği Düşük Tabakalar Arasındaki Radyojenik Isı Kaynakları;

Granitik plütonik kayalar göreceli olarak yüksek miktarlarda uranyum ve toryum içerirler. Bu elementlerin radyoaktif parçalanması ısı enerjisi açığa çıkarır. Radyojenik plüton içindeki ısı akımı, komşu kayadaki (içine sokulunan kayaç) ısı akımından fazladır. Eğer granitik kayalar düşük ısı iletkenliği olan katmanlar tarafından çevrelenmişse bu katmanların tabanında yüksek sıcaklıklar oluşabilir. Jeotermal anomalinin şekli radyojenik kaynağın şekline, kalınlığına ve üstteki tabakaların termal iletkenliğine bağlıdır (Lund ve diğ., 1980).

4. Yer Basıncılı Jeotermal Rezervuarlar; Yer basınçlı jeotermal rezervuarlar, üzerlerindeki kayalar tarafından su sütununun basıncını aşan basınç altında bırakılan akiferlerdir. Yer basınçlı jeotermal alanda bulunan ve daha az gözenekli olan katmanlar suyun yukarıya doğru sızmasını ve ısı transferini önler (Şekil 2.4). Yer basınçlı katmanlardaki su çok yüksek miktarda ısı içerir, ayrıca bu su çözülmüş metan açısından da zengindir (Lund ve diğ., 1980).

Yer basınçlı jeotermal rezervuarlardan jeotermal enerji ve çözülmüş metan üretimi halen gelişmekte olan bir teknolojidir. Temel olarak derin petrol kuyusu

sondajında kullanılan yöntemlerin benzerleri kullanılır. Sondaj masrafları ancak çok güçlü finansal yapıları olan kurumlar tarafından karşılanabilir. Günümüzde sadece sıcak su kullanımı için böyle kuyuların açılması ekonomik değildir. Eğer metan üretimi ile birleştirilirse yer basınçlı jeotermal rezervuarlar ekonomik olabilirler (Lund ve diğ., 1980).



Şekil 2.4. Derin bölgesel akifer içindeki jeotermal rezervuarın şematik modeli
(Lund ve diğ., 1980 den değiştirilerek)

5. Derin Bölgesel Akiferler; Kabuktaki aşağı doğru eğimli eklem sistemleri, yeraltı sularını dağlık alanlardaki beslenme alanlarından toplar. Bu su daha sonra tortul kayalardan geçerek aşağı doğru iner ve jeogradyanın dolayısıyla buralarda ısınır (Şekil 2.4). Bu tür havzalarda eğer hidrolik iletkenlik yüksekse veya çatlaklar suyun artezyenik basınç sayesinde yukarı doğru yükselmesine izin veriyorsa, jeotermal su deliklerden yeryüzüne ulaşabilir. Artezyenik basınç termal suyun yüzeye ulaşması için yeterli olabilir. Düşük termal iletkenliğe sahip tortullarda eş sıcaklık eğrileri (izoterm) yüzeye doğru eğilebilirler ve jeotermal suyu yüzeyin çok yakınına getirebilirler.

2.4. Jeotermal Akışkanın Kimyası

En genel anlatım ile jeotermal suların içeriğinde anyon olarak; Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , F^- , Br^- ve I^- ; kation olarak, Na^+ , K^+ , Li^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Rb^+ , Cs^+ , Mn^{+2} ve Fe^{+2} ve nötr olarak SiO_2 , NH_3 , As, B ve soy gazlar bulunmaktadır. Su baskın jeotermal sistemlerde derinlerde bulunan en genel akışkan tipi (birincil tip); temel gaz içeriği CO_2 olan, nötr pH a yakın ve sodyum klorürlü tuzlu sudur (1000-10000 mg/kg klorür). Genellikle, metorik suların yüksek derinliklere ulaştığı ve magmatik uçucuları (HCl , CO_2 , SO_2 , H_2S) absorbe ettiği kabul edilir (Barbier, 2002).

2.5. Jeotermal Enerjinin Türkiye'deki Durumu

Türkiye'de jeotermal enerji aramaları 1962 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından sıcak su kaynaklarının envanter çalışmalarıyla başlatılmıştır. Günümüze kadar sürdürülen sistematik araştırmalar sonucunda dünya standartlarına uygun olarak; Düşük Sıcaklıklı Sahalar (20-70 °C), Orta Sıcaklıklı Sahalar (70-150 °C) ve Yüksek Sıcaklıklı Sahalar (>150 °C) olduğu belirlenmiştir (Akkuş, 2002).

Jeotermal sistemlerin geliştiği ülkeler, bilinen bazı tektonik ve/veya aktif volkanik kuşaklar üzerinde bulunmaktadır. Alp Himalaya Tektonik Kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde de genç tektonizma ve volkanizma yaygın olarak gelişmiştir. Buna bağlı olarak gelişen sistemler oldukça zengin jeotermal enerji potansiyeli yaratmıştır. Aktif faylarla sınırlı grabenler ve yaygın genç volkanizmaya bağlı olarak gelişen doğal buharların, hidrotermal alterasyonların ve sıcaklığı yer yer 102 °C ye ulaşan 600 ün üzerindeki sıcak su kaynağının varlığı, ülkemizin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 2.5). Batı Anadolu'da bulunan ve derinlere kadar etkili kırık zonlarının bulunduğu graben sistemlerinde ülkemizin yüksek sıcaklığa sahip alanları gelişmiştir. Buna karşılık havza rejiminde sedimantasyonun devam etmesinden dolayı kabuk kalınlaşmasından kaynaklanan düşük ısı akısı nedeniyle Orta Anadolu'da, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda ve bir kısım volkanik faaliyetler ile sıkışma rejimine uğrayan ve kabuk kalınlaşması gösteren Doğu Anadolu'da da düşük sıcaklıklı alanlar gelişmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi jeotermal

enerji yönünden önemli potansiyel oluşturan alanlar Batı Anadolu'da yoğunluk kazanmıştır (Akkuş, 2002). Bu bölgedeki enerji elektriğe dönüştürülebilecek niteliktedir. Diğer bölgelerde ise doğrudan kullanıma yönelik sahaların varlığı keşfedilmiştir.

Türkiye'de toplam 600 dolayında sıcak su kaynağının yer aldığı 170 adet jeotermal alanın % 95 i düşük ve orta sıcaklıklı, % 5 i yüksek sıcaklıklı olup elektrik üretimine uygun niteliktedir. Yüzey sıcaklığı 35 °C nin üzerinde olan sahalarından 161 tanesi merkezi ısıtmaya, sera ısıtmasına, endüstriyel işlevli ısı kullanımına ve kaplıca kullanımına uygundur. Diğer 9 jeotermal sahanın ise teknik olarak elektrik üretimine uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu sahalarda elektrik üretimine entegre olarak merkezi ısıtma vb. jeotermal uygulamalarda gerçekleştirilebilir (Akkuş, 2002).



Şekil 2.5. Türkiye'deki sıcak ve mineralli su kaynaklarının dağılımı (Şimşek, 2002).

BÖLÜM III

JEOLOJİ ve TEKTONİK

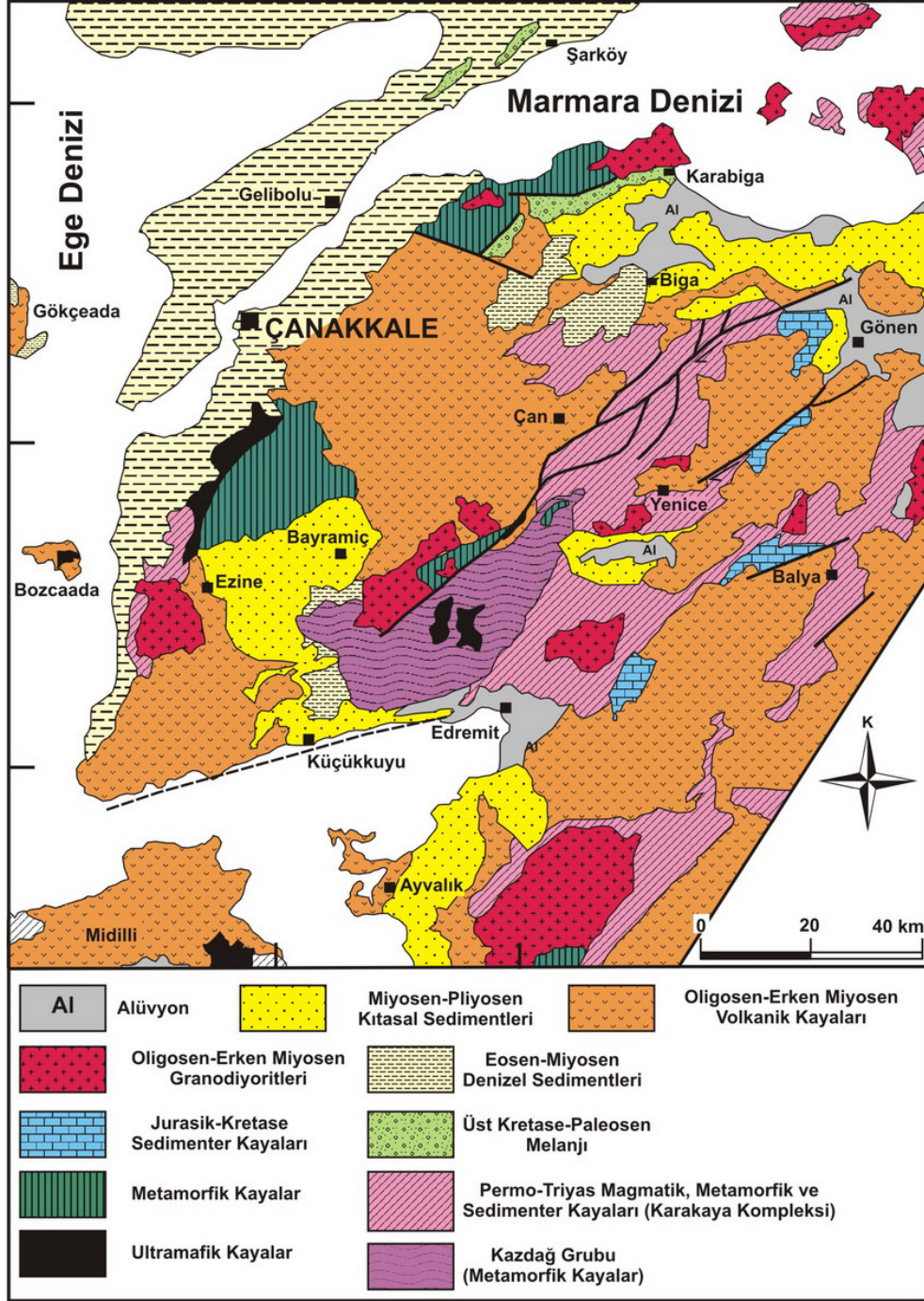
Bu bölümde çalışma sahası ile bu alanın da içinde bulunduğu Biga Yarımadası'nın jeolojik ve tektonik özellikleri ile ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır.

3.1. Bölgesel Jeoloji

Kuzeybatı Anadolu'da yer alan Biga Yarımadası'nın temelini Sakarya Kıtası'na ait, Sakarya Zonu kayaçları olarak isimlendirilen birimler (Şengör ve Yılmaz, 1981), başlıca Kazdağ Grubu metamorfikleri ve Karakaya Kompleksi'nden oluşur (Okay, 1987) (Şekil 3.1).

Kazdağ Grubu, çeşitli şist ve gnayslar, diyabaz, metatüf, metaserpantin, metagabro, amfibolit şist ve mermerlerden oluşmaktadır. Bu metamorfik oluşum Bingöl (1968) tarafından Kazdağ Masifi olarak adlanmıştır.

Kazdağ Grubu metamorfik kayaç topluluğu üzerinde tektonik bir dokanakla, aktif kıta kenarı çökelleri ile temsil edilen değişik tektonostratigrafik birimlerden oluşan Alt-Orta Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi bulunmaktadır. Jura öncesi bu orojenik karmaşık, ilk defa Biga Yarımadası'nda Bingöl ve diğ. (1973) tarafından tanımlanmıştır. Bingöl ve diğ. (1973) Karakaya Kompleksi'ni ekzotik Permo-Karbonifer kireçtaşı blokları kapsayan spilitik bazalt, çamurtaşı, radyolarit, feldspatik kumtaşı, kuvarsit, konglomera ve silttaşından oluştuğunu, çok az metamorfik olduğunu ve uyumsuzlukla Kazdağ Grubu gnaysları üzerinde yer aldığını belirtmiştir. Kapsadığı Üst Permiyen kireçtaşı blokları ve üzerine uyumsuzlukla geldiği öne sürülen Orta Triyas kireçtaşları yüzünden Karakaya Kompleksi'ne Erken Triyas yaşlı öngörülmüştür. Jura'da daha çok durgunlaşan ortamda tabanda kumtaşları ile başlayıp kumlu, sileks yumrulu ve oolitli kireçtaşları ile devam eden ve son bulan bir istif çökelimini gerçekleştirmiştir.



Şekil 3.1. Biga Yarımadası'nın geliştirilmiş jeoloji haritası

(Okay ve Satır, 2000 den değiştirilerek).

Üst Kretase'de; bölgede geniş yayılım gösteren, başlıca spilit, grovak, pelajik şeyl, serpantin ve radyolaritlerden oluşan, karmaşık ve düzensiz bir iç yapıda olan Çetmi Ofiyolitik Melanjı yerleşmiştir (Okay, 1990).

Biga Yarımadası'nda çeşitli evrelerde etkin olan asidik magmatizmanın ürünleri çoğunlukla granit, granodiyorit ve diyorit bileşimlidir. Önceki yıllarda bölgede çalışan araştırmacılar (Öngen, 1978a ve b; Dayal, 1984; Birkle ve Satır, 1995; Genç ve Yılmaz, 1995; Genç, 1998; Bozkurt, 2000) Kestanbol, Evciler, Karaköy ve Etili plütonlarını Tersiyer magmatizmasının ürünü ve Biga Yarımadası'nda Alt Miyosen volkanizmasına bağlı olarak oluşan sığ sokulumlar olarak tanımlamışlardır. Plütonlar KD-GB uzun eksenli eliptik magmatik kütlelerdir ve bunlar ince taneli, benzer bileşimli volkanik kayalarla çevrelenmiştir (Karacık, 1995; Yılmaz, 1998).

Biga Yarımadası'nın Tersiyer evrimi; Orta Eosen neritik kireçtaşı ve bu kireçtaşı üzerine uyumlu olarak çökelmiş olan, andezit ve andezitik tuf ara katkılı Üst Eosen türbiditleriyle başlar. Orta Eosen'de başlayan önemli bir transgresyon bütün Batı Anadolu'da etkin olmuş ve geniş bir bölgede Orta-Üst Eosen yaşta Soğucak Kireçtaşı çökelmiştir. Aşınma etkisinden korunmuş 20-30 m kalınlıkta ufak bantlar şeklinde izlenir. Lagüner fasiyeste çökelmiştir. Soğucak Kireçtaşı'nın çökelişinden sonra havzanın güney şelfi giderek derinleşmiş ve genellikle türbiditlerden oluşan Ceylan Formasyonu çökelmiştir. Biga'nın batısında 500 m kadar kalınlıkta olup, türbidit karakterli kumtaşları ile şeyl ve marnlardan oluşur.

Oligosen sonunda Biga Yarımadası'nda önemli bir yükselme ve aşınma evresi yaşanmıştır ki; bu evre sonucunda yarımada'nın güneyinde Orta Eosen-Oligosen istifini tümüyle aşmıştır. Bu nedenle Miyosen istifini çok farklı litolojiler üzerinde yer alır. İç kesimlerde Erken-Orta Miyosen'deki volkanizma ile eş zamanlı olarak karasal birimler çökelmiştir. Çan çevresinde bu karasal birimler bitümlü şeyl, silttaşı, kumtaşı, tuf ve kömürden oluşur. Çan Formasyonu adı

verilen bu birim 250 m kalınlığındadır ve Miyosen'in andezitik volkanitleri üzerinde uyumsuzlukla yer alır.

Oligosen-Miyosen döneminde kalkalkalen magmatizma Biga Yarımadası'nı etkilemiştir. Bunların dışında andezit, dasit, riyolit, ve asidik tüfler Biga Yarımadası'nda geniş alanları kaplamıştır. Bu volkanik kayalar arasında yerel olarak linyit içeren gölssel çökeller bulunur. Üst Miyosen'de volkanizma sona ermektedir.

Biga Yarımadası'nda Pliyo-Kuvaterner döneminde çakıltaşı, kumtaşı ve şeylden oluşan flüviyal sedimanlar ile gölssel karbonatlar çökelmiştir. Bayramiç Formasyonu olarak adlandırılan (Siyako ve diğ., 1989) flüviyal birimin en iyi görüldüğü yerlerden biri Karamenderes Çayı'nın kuzeyleridir. Gönen ve Manyas kuzeyinde de geniş yüzlekler veren Bayramiç Formasyonu, genellikle daha yaşlı birimler üzerinde uyumsuzdur; yalnızca Çanakkale güneyinde Alçıtepe Formasyonu ile geçişli görülmektedir (Siyako ve diğ., 1989). Alçıtepe Formasyonu; Gazhanedere ve Kirazlı Formasyonları ile yanal ve düşey geçişli, sığ denizel bir birim olup, kumtaşı, çakıltaşı, şeyl, marn ve bu birim için karakteristik olan oolitik kireçtaşlarından oluşur ve kalınlığı 200 metre kadardır.

Kara alanlarındaki kalınlığı 200 metre olan Bayramiç Formasyonu'nun Edremit körfezindeki kalınlığı, Edremit-1 kuyusundan ve sismik kesitlerden elde edilen bilgilere göre 1500 metreye kadar çıkmaktadır. Edremit Körfezi'nde izlenen bu kalın Pliyo-Kuvaterner istif, Kazdağ silsilesinin Pliyo-Kuvaterner'de yükseldiğinin iyi bir kanıtıdır. Kazdağ silsilesinin Miyosen sonrası oluştuğunun bir başka kanıtı da, Miyosen yaşlı Küçükkuyu Formasyonu'na ait mostraların Kazdağı'nın kuzey ve güney eteklerinde görülmeleri ve bugün Edremit Körfezi'nin kuzeyinde yaklaşık 1776 metre yüksekliğe çıkan Kazdağ metamorfitlerinden gelmesi beklenen kaba klastik malzemenin Küçükkuyu Formasyonu içerisinde yer almamasıdır. Bu gözlem Küçükkuyu Formasyonu'nun çökeldiği havzanın ilksel olarak bugünkü Kazdağı silsilesinin üzerinde yer

aldığını ve Kazdağı'nın yükselişinin Küçükkuyu Formasyonu çökeliminden sonra olduğunu göstermektedir (Siyako ve diğ., 1989).

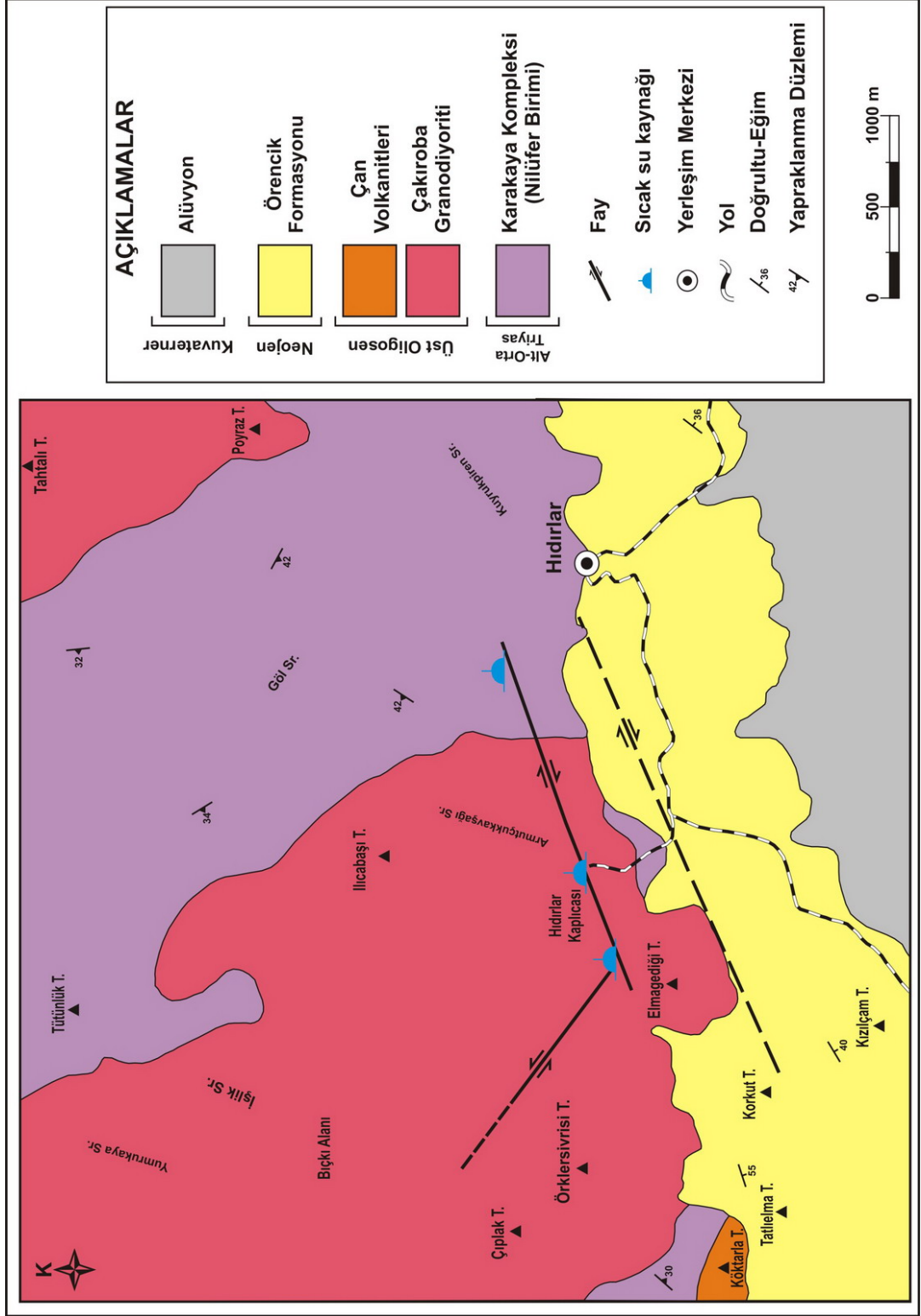
Siyako ve diğ., (1989) ne göre Bayramiç Formasyonu ile yanal geçişli ve 40-50 m kalınlıkta olan gölsel karbonatlar, Biga Yarımadası'nın en batı kesimlerinde Gülpınar çevresinde ve Karamenderes Çayı'nın güney kesimlerinde yüzeyler.

Biga Yarımadası'nda genç fay zonları boyunca yükselmiş ve Taştepe bazaltı olarak adlanmış olan Pliyo-Kuvaterner yaşlı genç lavlar da bulunmaktadır.

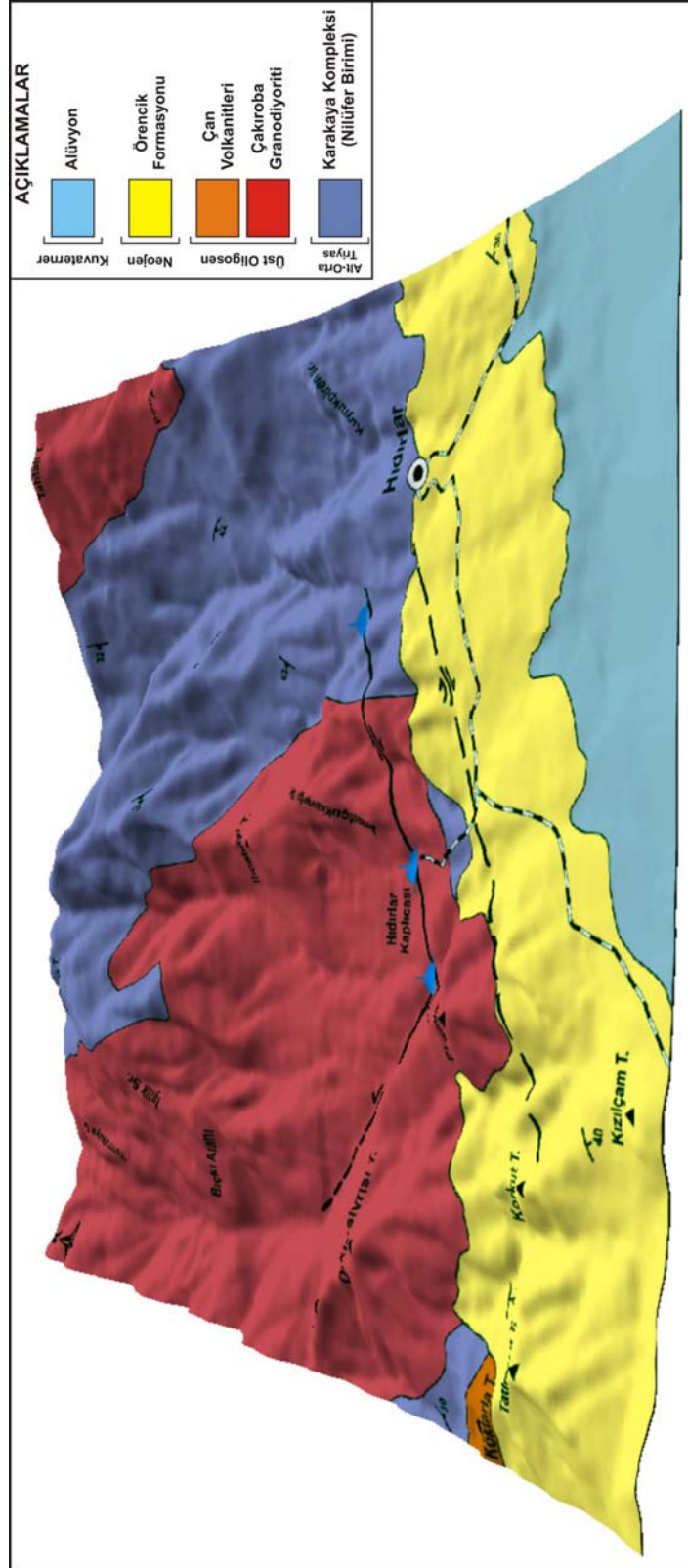
Çanakkale Boğazı ve çevresinde görülen Miyosen istifinin çok karakteristik bir özelliği volkanik seviyeler içermemesidir. Bu nedenle bu istifin Biga Yarımadası'nda çok etkin olmuş Alt-Orta Miyosen volkanizmasından sonra çökelmiş olduğu düşünülmektedir.

3.2. Çalışma Sahasının Jeolojisi

Çalışma sahasında yüzlek veren kayalar saha nitelikleri ve önceki araştırmaların bulguları da dikkate alınarak beş farklı kaya birimine ayırtlanmıştır (Şekil 3.2, 3.3). Bunlar: (i) Alt-Orta Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi, (ii) Üst Oligosen yaşlı Çakıroba Granodiyoriti, (iii) Üst Oligosen yaşlı Çan Volkanitleri, (iv) Neojen yaşlı Örencik Formasyonu ve (v) çalışma sahasındaki tüm birimleri uyumsuz olarak üzerleyen Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyondur (Şekil 3.4).



Şekil 3.2. Çalışma sahasının jeolojik haritası.



Şekil 3.3. Çalışma sahasının sayısal yükseklik modeli üzerine serilmiş jeoloji haritası

YAŞ	FORMASYON	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
Kuvaterner	Alüvyon		Yamaç molozu, tutturulmamış malzeme
Neojen	ÖRENCİK FORMASYONU		Konglomera, kumtaşı kilitaşı
Alt-Orta Triyas	Üst Oligosen		
	Alt-Orta Triyas		
	Çankırıoba Granodiyoriti		Afanitik dokuda, orta-iyi dayanımlı, andezit
	Çan Volkanitleri		Faneritik dokuda, orta-kötü dayanımlı, apilit daykları içeren granodiyorit
	Karakaya Kompleksi		Karakaya Kompleksi, Nilüfer Birimi, fillatlar ve metabazikler

ÖLÇEKSİZDİR

Şekil 3.4. Çalışma sahasının genelleştirilmiş dikme kesiti.

3.2.1. Karakaya Kompleksi

Çalışma sahasının temelini oluşturan ve aktif kıta kenarı çökelleri ile temsil edilen değişik tektonostratigrafik birimlerden oluşan Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi, ilk defa Biga Yarımadası'nda Bingöl ve diğ. (1973) tarafından tanımlanmıştır. Karakaya Kompleksi'ni oluşturan çeşitli, muhtemel eş yaşlı formasyonların birbirleri ile olan ilişkileri açık değildir. Karakaya Kompleksi içerisinde birbirleriyle olan ilişkileri çok net olmamakla birlikte, benzer yaşta fakat değişik havza koşulları ve tektonik ortamları yansıtan dört farklı birim adlanmıştır. Bu birimler alttan üste doğru; Nilüfer Birimi, Hodul Birimi, Orhanlar Grovaki ve Çal Birimi'dir (Okay ve diğ., 1990).

Bu çalışmada, litolojik benzerliklerden dolayı çalışma sahasının temelini oluşturan birim, Karakaya Kompleksi'nin en alt tektonik birimi olan Nilüfer Birimi olarak adlandırılmıştır. Seyrek mermer ve fillit aralanmalı, kalın

metabazik bir istifdir. Litolojisi bakımından okyanus kabuğuna veya geçişli kabuk üzerinde gelişmiş yay-ıçi ve/veya yay-önü havza çökellerine benzemektedir (Okay ve diğ., 1990).

3.2.1.1. Litoloji ve Tanım

Çalışma sahasının batısında çok küçük, kuzeydoğusunda geniş yüzlekler veren birim metabazikler ve fillatlardan oluşmaktadır (Şekil 3.2, 3.3).

Fillatlar, Hıdırlar Kaplıcası'nın hemen güneydoğusunda ve çalışma sahasının kuzeydoğusunda yer alan Hıdırlar Köyü civarında, nispeten daha düşük kotlarda gözlenmiştir. Fillatlar altere yüzeyleri sarımsı kahverengi renkte, taze yüzeyi grimsi renkte, ince taneli, orta-kötü dayanımlı, bol çatlaklı, belirgin yapraklanmalı olarak gözlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Hıdırlar Kaplıcası 500 m GD sunda yer alan yol yarması üzerindeki Karakaya Kompleksi içerisindeki Nilüfer Birimi'ne ait fillatların görünümü.

Metabazikler, çalışma sahasının kuzey ve kuzeydoğusunda Tütünlük Tepe, Göl Sırtı mevki gibi bölgelerde yüzlek vermektedirler. Altere yüzeyi grimsi

siyah, taze yüzeyi yeşilimsi mavi renkli, ince taneli, yer yer masif, bazı bölgelerde bol ve düzensiz çatlaklı olarak gözlenmiştir (Şekil 3.6, 3.7).



Şekil 3.6. Tütünlük Tepe GD sunda yer alan İşlik patika yolu üzerinde mostra veren Karakaya Kompleksi, Nilüfer Birimi içerisindeki metabaziklerin görünümü.



Şekil 3.7. Tütünlük Tepe GD sunda yer alan İşlik patika yolu üzerinde mostra veren Karakaya Kompleksi, Nilüfer Birimi içerisindeki metabaziklerin görünümü.

3.2.1.2. Dokanak İlişkisi

Çalışma sahasında Karakaya Kompleksi ve bu kompleksin tabanını oluşturan Nilüfer Birimi'nin alt dokanağı gözlenmemiştir. Birimin diğer dokanağı ise Nevruz-Çakıroba Granodiyoriti ile sınırlıdır.

3.2.1.3. Yaş

Bu çalışmada bu birimle ilgili herhangi bir yaş verisi bulunamadığından birimin yaşı önceki çalışmalardan alınan Alt-Orta Triyas yaşı kabul edilmiştir (Bingöl ve diğ., 1973).

3.2.2. Çakıroba Granodiyoriti

Anatolid-Torid ve Sakarya kıtaları arasındaki çarpışma sonrası Oligo-Miyosen periyodunda, Batı Anadolu'da geniş yayılım gösteren bir magmatik aktivite gelişmiştir. Bunun ürünleri de hem intrüzif hem de volkanik kayalardır.

Yenice ilçesi güneyinde de gözlenen granodiyoritik kütle, Yenice Ovası'nın kuzeyindeki Çakıroba Granodiyoriti'nin, Yenice-Gönen Fayı tarafından kesilmesi ile güneybatıya doğru ötelenmiş olarak görülür (Kürçer, 2006).

Bu çalışmada sahasında gözlenen plütonik birim, benzer litolojik ve dokusal özelliklerinden dolayı Anıl ve diğ. (1989) tarafından isimlendirilen Çakıroba Granodiyorit'i olarak kabul edilmiştir.

3.2.2.1. Litoloji ve Tanım

Çalışma sahasının kuzeybatısında geniş yüzlekler veren granodiyoritler, altere yüzeyi grimsi beyaz renkli, taze yüzeyi açık grimsi renkte, faneritik dokuda, birimi oluşturan mineraller rahatlıkla gözle ayırt edilebilmektedir. Kayacı oluşturan mineraller kuvars, feldispat, plajiyoklas, biyotit ve hornblend'dir. Kaplıca civarında oldukça altere (arenitleşme) gözlenen birim, yüksek kotlarda nispeten daha dayanımlı olup, bol düzensiz çatlaklar gözlenmiştir (Şekil 3.8). Birim yer yer KD-GB gidişli, boyutları santimetre ile metre arasında değişen kalınlıklara sahip aplit dayakları tarafından kesilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Ilıcabaşı Tepe 400 m KB sında granodiyoritlerde gözlenen çatlak sistemleri.



Şekil 3.9. Hıdırlar Kaplıcası 100 m kuzeyinde granodiyoritlerde gözlenen aplit daykları ve alterasyonların görünümü.

3.2.2.2. Dokanak İlişkisi

Çakıroba Granodiyoriti'nin Karakaya Kompleksi ile dokanağı sokulum şeklindedir. Benzer yaşlı Çan Volkanitleri ile olan dokanağı da sokulum şeklindedir.

3.2.2.3. Yaş

Bu çalışmada birim ile ilgili herhangi bir yaş verisi çalışması yapılmadığı için, önceki araştırmacıların K/Ar yaş tayini sonucu bulunduğu 24 milyon yıla karşılık gelen Üst Oligosen yaşı granodiyorit için kabul edilmiştir (Anıl ve diğ., 1989).

3.2.3. Çan Volkanitleri

Biga Yarımadası, Alt Oligosen'den itibaren tamamen kara haline geçerek yükselmiş ve özellikle Çan-Etili çevresinde, Edremit dolaylarında, Çanakkale doğusunda ve Gökçeada'da yaygın alanlar kaplayan andezit, dasit, riyodasit türde lav, tuf ve aglomeralardan meydana gelen karasal bir volkanik evre etkin olmuştur (Ercan ve diğ., 1995).

Ercan ve diğ. (1995) nin yaptıkları çalışmada ise Oligosen volkanizması, tipik olarak Çan çevresinde görüldüğünden Çan Volkanitleri olarak adlandırılmıştır. Çan Volkanitlerinin yaşı, Dayal (1984) ın Yenice dolaylarındaki andezitik lavlarda yapmış olduğu radyometrik yaş ölçümü (K/Ar) sonucunda bulunan $28,2 \pm 1,4$ ve $28,0 \pm 0,97$ milyon yıla karşılık gelen Üst Oligosen'dir.

Bu çalışmada da arazide gözlenen andezitlerden oluşan volkanik kayalar litolojik, dokusal ve yersel olarak değerlendirilerek Çan Volkanitleri olarak isimlendirilmiştir.

3.2.3.1. Litoloji ve Tanım

Andezitlerden oluşan volkanik kayalar çalışma sahasının batı kısmında Köktarla Tepe batısında çok küçük bir alanda yüzlek vermektedir (Şekil 3.10). Altere yüzeyi koyu grimsi yeşil renkli, taze yüzeyi grimsi renkte, afanitik dokudadır. İçerisindeki plajjoklas, kuvars, feldispat, amfibol ve mika mineralleri

belirgin olarak gözle görülebilmektedir. Birim orta-iyi dayanımlı, az çatlaklı ve yer yer hidrotermal alterasyona bağlı opalleşmeler ve killeşmeler gözlenmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.10. Örencik Köyü kuzeyi Köktarla Tepe 500 m batısındaki volkaniklerden genel bir görünüm



Şekil 3.11. Örencik Köyü kuzeyi Köktarla Tepe 500 m batısındaki volkaniklerde gözlenen hidrotermal alterasyonların görünümü.

3.2.3.2. Dokanak İlişkisi

Volkanik birimler, alttaki metamorfik kayaları ve intrüzif kayaçları keserek yerleşmiş ve bu kayaçları uyumsuz olarak örtmüşlerdir. Birimin üst dokanağı ise kırıntılı kayalardan oluşan Örencik Formasyonu ile uyumsuz bir ilişki sunmaktadır.

3.2.3.3. Yaş

Bu çalışmada volkanik kayaçlar için herhangi bir yaş verisi bulunamamıştır. Çan Volkanitleri'nin yaşı, Dayal (1984) ın Yenice dolaylarındaki andezitik lavlarda yapmış olduğu radyometrik yaş tayini (K/Ar) ile elde ettiği $28,2 \pm 1,4$ ve $28,0 \pm 0,9$ milyon yıl yaşlara göre Üst Oligosen'dir.

3.2.4. Örencik Formasyonu

Birim tabanda konglomeratik bir seviye ile başlar, onun üzerinde kalınlığı az sarımsı bejimsi kum, siyahımsı yeşil kiltası, kömür damarı, organik kiltası, kumtaşı ara katkıları içeren yeşilimsi kiltası-siltası araldanması ve kil arakatıkları içeren marnlardan oluşan bir istif sunmaktadır (Lebküchner, 1956 ve M. Bozcu, sözlü görüşme).

3.2.4.1. Tanım ve Litoloji

Çalışma sahasının güney-güneybatısındaki alanları kaplayan birim konglomeratik bir seviye ile başlar ve bunun üzerinde killi, kumlu ve kalişli bir seviye yer almaktadır. Korkut Tepe'nin batısında gözlenen konglomeratik seviye orta-kötü dayanım, kötü boylanma ve kötü yuvarlaklaşma sunmaktadır (Şekil 3.12). Bu seviye içerisinde çört, kumtaşı, granit, volkanik kayaç, kuvarsit ve gnays gibi daha yaşlı kayaç parçaları yer almaktadır. Konglomeratik seviye üzerinde ise altere yüzeyi koyu sarımsı-koyu kahverengimsi renkli, taze yüzeyi sarımsı-kahverengimsi renkli, kötü dayanımlı, tabakalanma sunmayan kaliş yumru ve seviyeleri içeren kiltası ve kumtaşı araldanması gözlenmiştir (Şekil 3.13, 3.14).



Şekil 3.12. Korkut Tepe 100 m batısında yer alan Örencik Formasyonu'nun tabanındaki konglomeratik seviyelerin genel görünümü



Şekil 3.13. Korkut Tepe 200 m kuzeybatısında yer alan Örencik Formasyonu içerisindeki kalıŖli seviyelerin görünümü.



Şekil 3.14. Korkut Tepe 200 m kuzeybatısında yer alan Örencik Formasyonu'nun kumtaşları ve kıltaşları ar dalanmasının genel görünümü.

3.2.4.2. Dokanak İlişkisi

Birim, temeli oluşturan metamorfik kayalar ile bunları kesen granodiyorit ve volkanik kayaları uyumsuz olarak örtmektedir. Üzerinde ise yine uyumsuzlukla alüvyon yer almaktadır.

3.2.4.3. Yaş

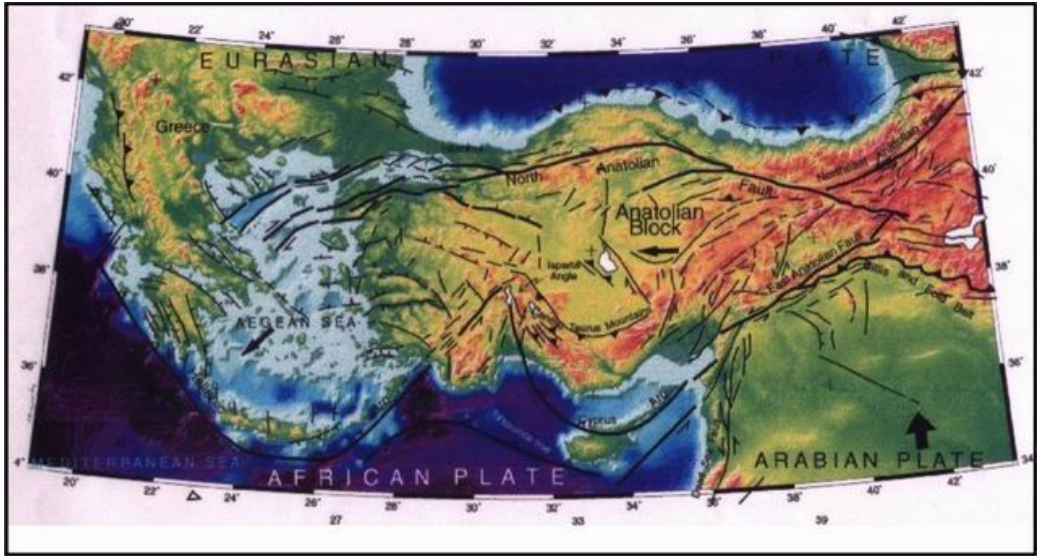
Bu çalışmada bu birim için herhangi bir yaş verisine rastlanmadığı için, birime önceki çalışmalara dayanılarak Neojen yaşı verilmiştir (Lebküchner, 1956).

3.2.5 Yamaç Molozu ve Alüvyon

Çalışma sahasının güney-güneydoğusunda gözlenen birim kötü çimentolu, tutturulmamış taneli, bölgedeki temel kaya parçalarını içeren, düzlük alanlarda birikmiş çökeller olarak tanımlanmıştır. Alandaki tüm birimleri uyumsuz olarak örter ve Kuvaterner yaşlıdır.

3.3. Bölgesel Tektonik

Anadolu'nun içinde yer aldığı Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağı, Afrika/Arabistan ve Hindistan Levhaları'nın kuzeye doğru hareket etmeleri ve Avrasya Levhası ile çarpışmaları sonucunda oluşmaktadır. Bu kıtasal çarpışma geniş bir deformasyon zonu oluşturmaktadır. Bu kompleks jeolojik sürecin Doğu Akdeniz bölümünde Anadolu-Ege Bloğu saatin tersine rotasyonel bir hareketle Girit merkezli Helenik yayına doğru kaçmaktadır (Şekil 3.15). Bu yanal kaçış hareketinin kuzey sınırını Kuzey Anadolu Fay Zonu belirlemektedir. Güney sınırını ise doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu, güney Anadolu'da ise Kıbrıs ve Helenik yayları oluşturmaktadır. Kıbrıs ve Helenik yayları boyunca Afrika kıtasının kuzey kenarındaki okyanusal litosfer Anadolu ve Ege'nin altına dalarak yutulmaktadır. Isparta Dirseği bu iki yayın birleştiği alanıdır ve son derece kompleks bir yapıya sahiptir (Blumenthal, 1962; Brunn ve diğ., 1971; Poisson, 1984, 1990, Poisson ve diğ., 1984, Macoux, 1987; Kissel ve diğ., 1993; Frizon ve diğ., 1995).



Şekil 3.15. Doğu Akdeniz Bölgesi'nin aktif tektonik haritası
(Barka ve Reilinger, 1997)

3.4. Biga Yarımadası'nın ve Çalışma Sahasının Tektoniği

3.4.1. Biga Yarımadası'nın Tektoniği

Biga Yarımadası, Neotektonik dönem başlangıcından itibaren, Anadolu Bloğu'nun batı-güneybatı yönündeki rotasyonel kaçış hareketinin Helen yayı tarafından karşılanması ile Batı Anadolu'da etkinleşen K-G yönlü gerilime bağlı olarak; hem Batı Anadolu Gerilme Rejimi'nin hem de Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batı uzantılarının etkisiyle deforme olmaktadır. Bölge neotektonik dönemde yoğun tektonizma ve volkanizma etkisinde kalmıştır.

Anadolu Bloğu'nun batıya hareketinin, Ege ve Batı Anadolu'da K-G yönlü bir gerilme ile karşılandığı görüşü, günümüzde yaygınca kabul görmektedir. Ege bölgesinin K-G yönlü bir gerilme içinde biçim değiştirmesinin en açık verisi, D-B doğrultulu grabenlerdir. Grabenleri sınırlayan kenar fayları boyunca bölge sismik olarak aktiftir. Ege bölgesinde K-G yönlü gerilmenin sürmekte olduğu, sismik kayıtlarla belgelenmektedir. Bölgede sismik aktivite, yaklaşık D-B gidişli kuşaklar boyunca yoğunlaşmıştır. Bunlar grabenleri sınırlayan fay zonlarına karşılık gelmektedir.

Batı Anadolu ve Ege Bölgesi'nde, Gökova Grabeni'nden Edremit Grabeni'ne kadarki tüm yörede en yaygın yapı unsurları, K-G gerilme rejimi altında gelişmiş olanlarıdır. Bu yapılar bölgenin her yaştaki Neojen kaya grubunu etkilemiştir. Ege gerilme rejimi, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun etkisi altındaki Biga Yarımadası ve kuzeyindeki alanlarda, Ege grabenlerinden daha karmaşık bir yapı sistemi oluşturmaktadır. Bu yörelerde Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun sağ yanal atımlı hareketi ile Batı Anadolu gerilme sisteminin düşey atım egemen hareketlerinin bileşkesi içinde karmaşık yapı unsurları gelişmiştir.

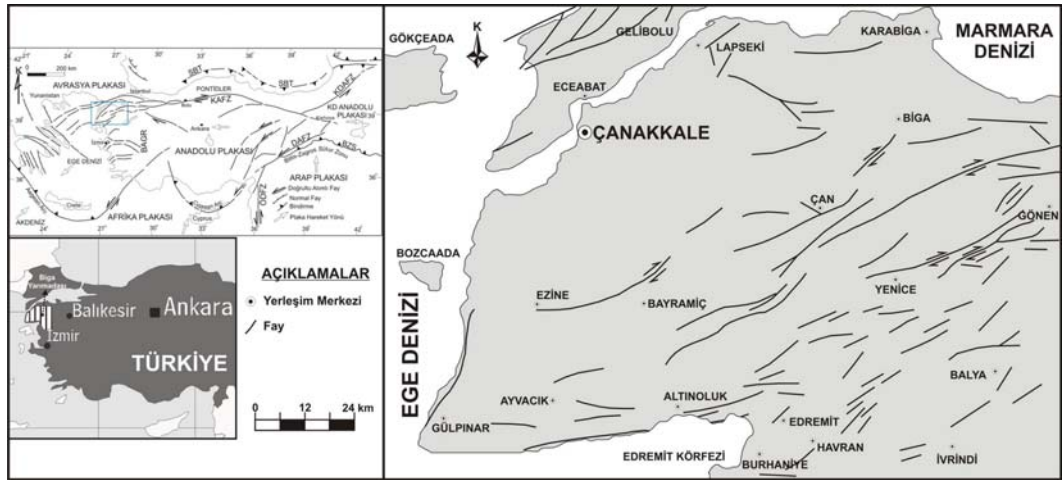
Ege'nin batı kesiminde faylanmalar, gerilme karakterinde olup, normal faylar KB ve BKB doğrultusunda uzanmaktadır. Kayma vektörleri ise KKB ve KKD yönlüdür. Orta ve doğu Ege'nin kuzey kesimlerinde, sağ yanal bileşenleri olan verev atımlı faylar egemendir (Taymaz ve diğ., 1991). Bu faylar, KD ve

DKD uzanımlı olup, kayma vektörleri KD uzanımlıdır. Batı Anadolu'nun, Kuzey Anadolu Fayı etkisindeki kuzey kesiminde, az çok birbirine paralel bir çok yanal atımlı fay vardır (Barka ve Kadinske-Cade, 1988). Aynı bölgede, deniz jeolojisi, sismik ve batimetrik verilerle belirlenen bir çok aktif normal fay da vardır (Lalechos ve Savoya, 1979; Brooks ve Ferentinos, 1980; Lyberis, 1984). Yunan ana karasının kuzeybatısı ile Arnavutluk, bu sağ yönlü makaslama dönerak karşılayamadığı için, bu makaslama D-B bir kısalmaya neden olmaktadır. Arnavutluk-Kuzeybatı Yunanistan ile Apulya-Adriyatik platformunun çarpışmasının batıda neden olduğu kabuksal kısalma ve kalınlaşma, bu bölgenin rotasyonuna direnerek mani olmaktadır. Bu nedenle bölge D-B kısalmaya uğramaktadır. Bu kısalma sunucunda Ege Bölgesi, güney yönünde, Ege Denizi'nin üzerine doğru kolaylıkla kayabildiği için, Ege'de K-G gerilmeye neden olmaktadır (Dewey ve Şengör, 1979; Taymaz ve diğ., 1991).

Kuzey Anadolu Fay Zonu; Van Gölü'nden başlayarak yaklaşık 1200 km lik çizgisel bir zon şeklinde; Varto, Karlıova, Erzincan, Refahiye, Reşadiye, Niksar, Erbaa, Ladik, Tosya, Kurşunlu, Çerkeş, Gerede, Bolu ve Adapazarı'na gelerek, Marmara Denizi çevresinde üç kola ayrılmakta ve Anadolu Bloğu ile Avrupa arasında geniş bir sınır oluşturmaktadır (Dewey ve Şengör 1979; Şengör ve diğ. 1985; Barka ve Kadinsky-Cade 1988; Barka, 1992).

Kuzeydeki kol; Sapanca Gölü doğusundan başlayıp, İzmit Körfezi güneyinden geçerek Marmara Denizi ortasından Saros Körfezi'ne doğru uzanır. Orta kol, güney kol ile birlikte Sapanca Gölü güneydoğusundan başlayıp, Geyve, Pamukova, İznik Gölü güneyinden Gemlik Körfezi'ne kadar gelir. Buradan itibaren güney koldan ayrılarak Kapıdağ Yarımadası'nı keser ve Edincik fayı üzerinden, Çan-Biga Fay Zonu'na bağlanır. Güney Kol ise, Gemlik Körfezi'nden itibaren güneybatıya dönerek Ulubat, Manyas, Gönen, Yenice üzerinden Edremit Körfezi'ne doğru devam etmekte buradan da Ege Denizi'ne ulaşmaktadır.

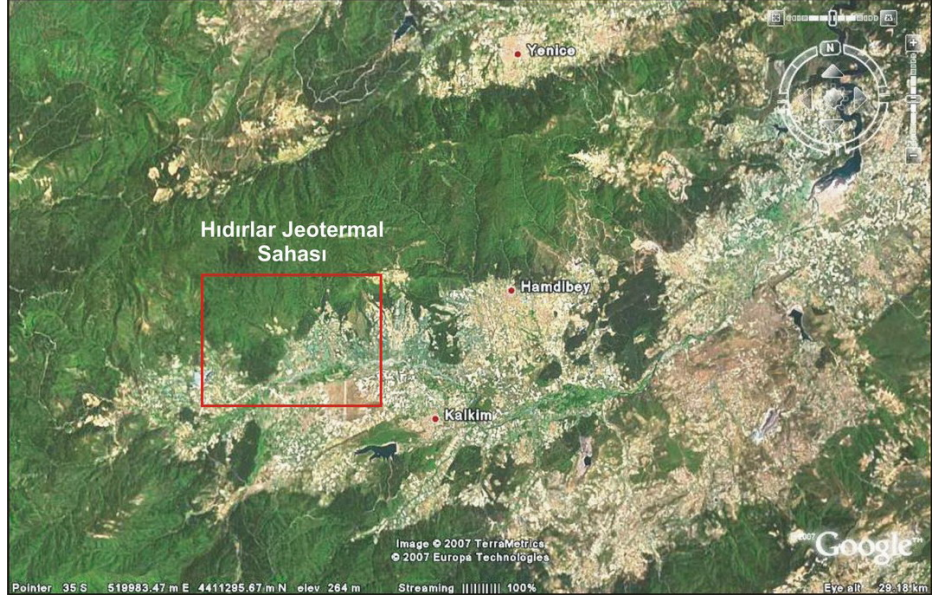
Biga Yarımadası KD-GB gidişli birbirine paralel, aşmalı geometri sunan, doğrultu atımlı faylar ve bunlarla ilişkili çek-kopar havzaları ve/veya sıkıştırıcı büküm alanları ile karakterize edilebilir. Bu faylardan en önemlileri; kuzeyden güneye doğru sırasıyla; Biga-Çan-Etili-Bayramiç hattını takip eden fay, Sarıköy-İnova Fayı, 1953 Yenice depreminin de üzerinde meydana geldiği Gönen-Yenice Fayı ve en güneydeki Havran-Edremit faylarıdır (Şekil 3.16).



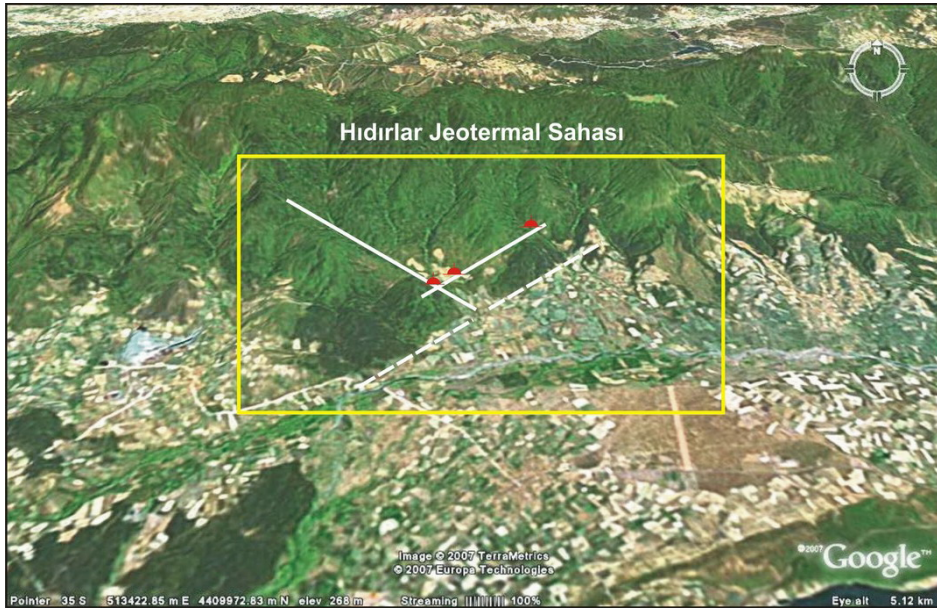
Şekil 3.16. Biga Yarımadası'nın tektonik haritası (Siyako ve diğ., 1989 dan değiştirilerek)

3.4.2. Hıdırlar Jeotermal Sahası'nın Tektoniği

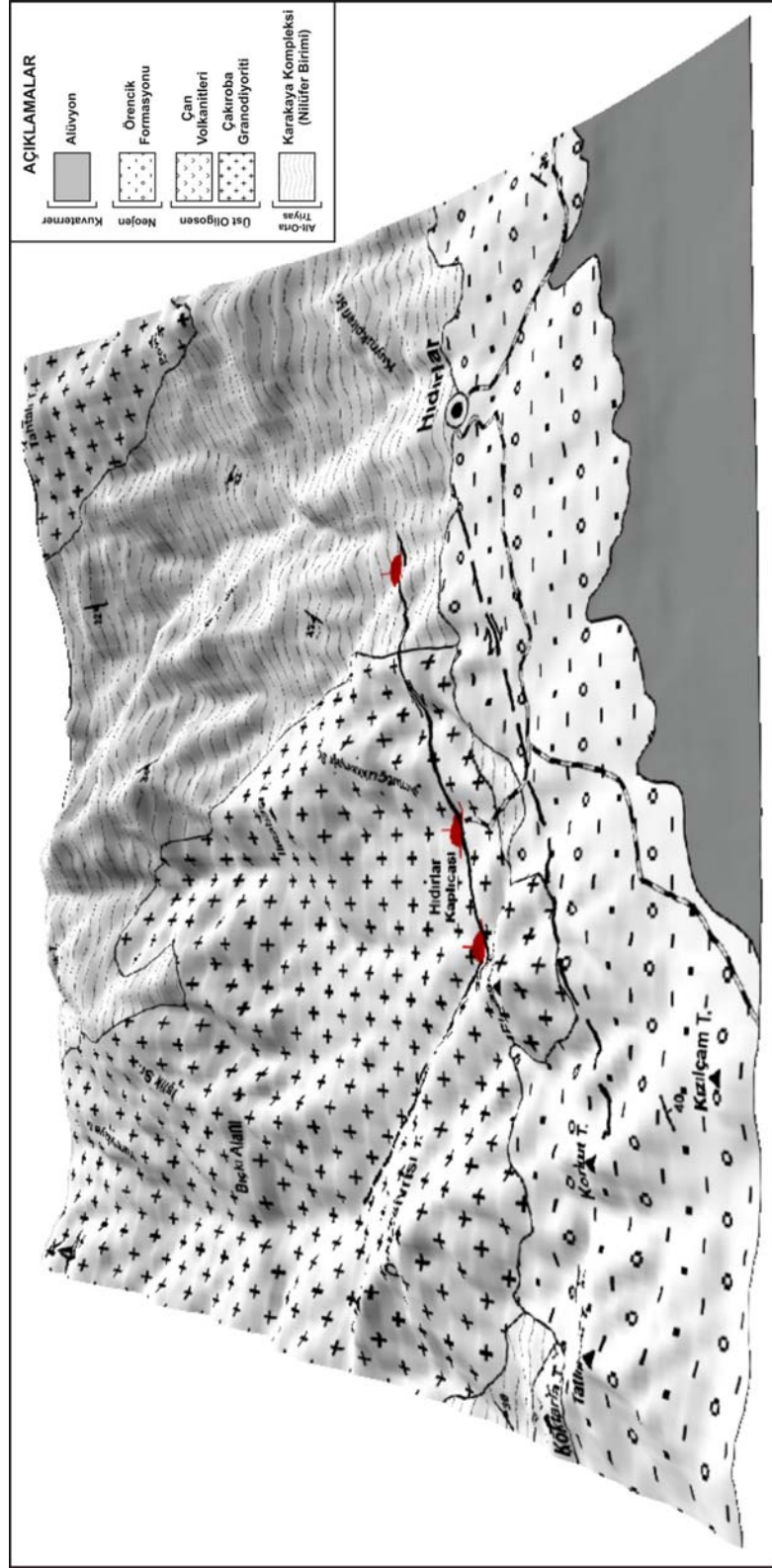
Çalışma sahası yaklaşık doğu-batı gidişli, fay denetimli bir tektonosedimanter çöküntü alanının kuzeybatı kesiminde yer alır (Şekil 3.17). Hıdırlar Jeotermal Sahası ve çevresindeki yapılan arazi çalışmalarında sıcak su kaynaklarının da üzerinde yer aldığı ana kırık hatları genel olarak DKD-BGB gidişli ve bunları kesen KB-GD gidişli kırık hatları gözlenmiştir (Şekil 3.18, 3.19).



Şekil 3.17. Çalışma sahasının yer aldığı çöküntü alanı (earth.google.com)



Şekil 3.18. Çalışma sahasının ana tektonik hatları (earth.google.com)

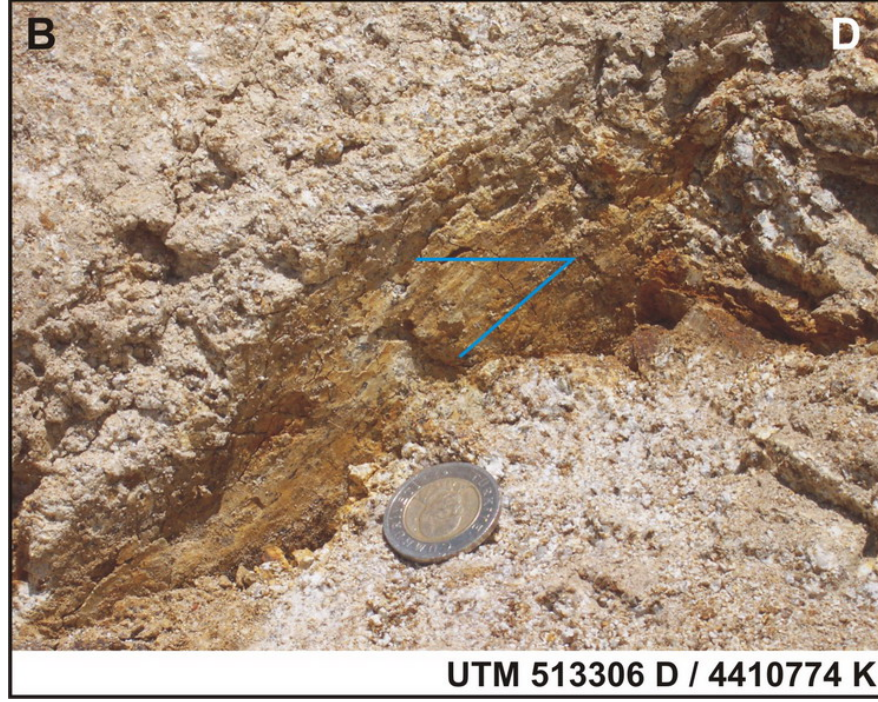


Şekil 3.19. Çalışma sahasının sayısal yükseklik modeli üzerine serilmiş jeoloji haritası ve ana tektonik hatları

Hıdırlar Kaplıcası ve Hıdırlar Köyü KB sındaki sıcak su kaynaklarının da üzerinde yer alan tektonik hatların doğrultuları DKD-BGB doğrultulu, GD ya eğimli bir faydır (Şekil 3.20, 3.21). Bıçkıdere vadisini sınırlayan bir diğer tektonik hat ise KB-GD doğrultulu, KD ya eğimlidir (K54B/50KD). Çalışma sahasının güneyinde Neojen çökelleri içerisinde kesik çizgiyle gösterilen KD-GB doğrultulu, GD ya eğimli fay ise arazide gözlenemediği için morfolojiye ve önceki çalışmalara bağlı kalarak konulmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.20. Hıdırlar Kaplıcası 100 m kuzeyinde granodiyoritlerde gözlenen bir fay düzleminin yakından görünümü.



Şekil 3.21. Hıdırlar Kaplıcası 100 m kuzeyinde granodiyoritlerde gözlenen bir fay düzleminin yakından görünümü.

Çalışma sahasındaki üç farklı kayaç türü de gözlenebilmektedir. Temelde metamorfikler, onların üzerinde magmatikler ve en üstte sedimanter kayaçlar. Kaya birimlerinin dokanak ilişkilerine bakıldığında temeli oluşturan Karakaya Kompleksi'ne ait Nilüfer Birimi ile Çakıroba Granodiyoriti'nin kontağı sokulum şeklinde ve uyumsuzdur. Aynı şekilde volkanikler de temel birimi keserek yüzeyleşmişlerdir. Çalışma sahasında Çan Volkanitleri ile Çakıroba Granodiyoriti'nin dokanağı gözlenememiştir. Alanın en genç birimlerinden Örencik Formasyonu alttaki tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. Çalışma sahasındaki tüm birimlerin tane ve çakıllarını içeren Kuvaterner çökelleri ise bu birimlerin üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır.

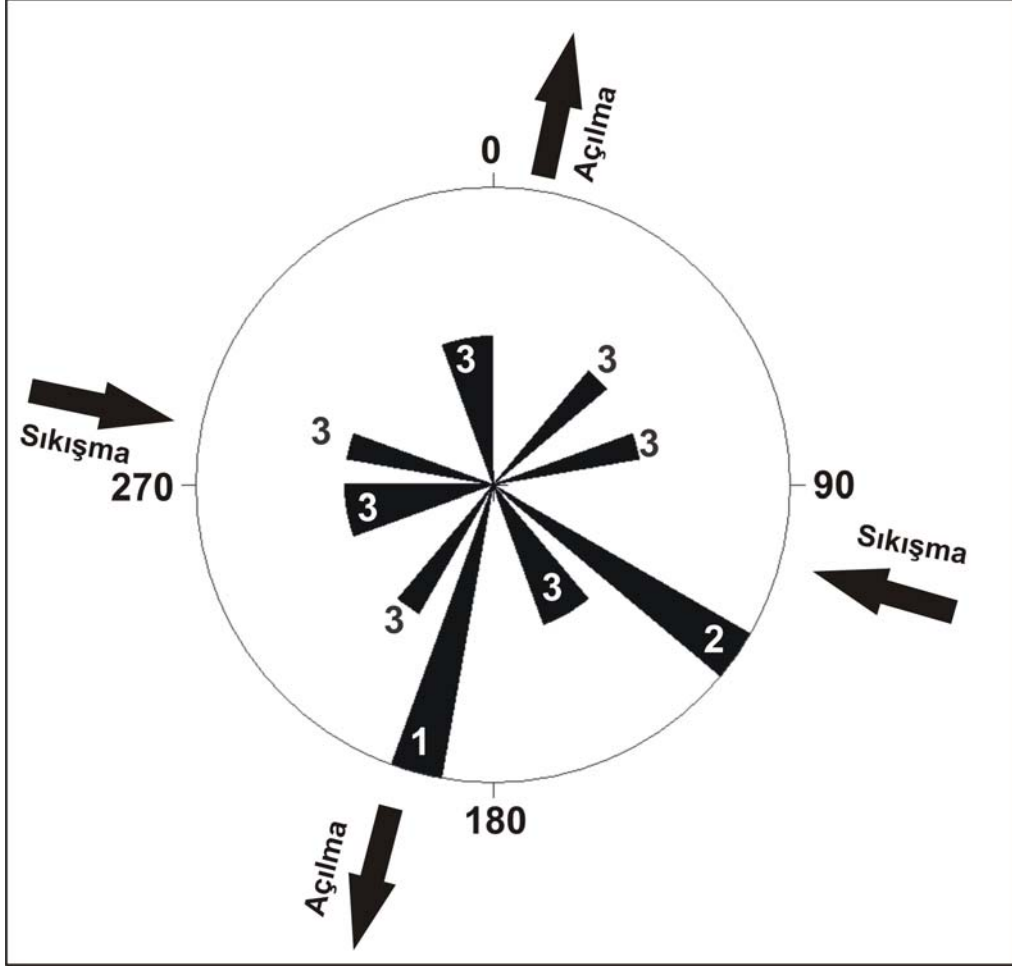
Çalışma sahasında geniş yüzlekler veren granodiyoritte yoğun alterasyon ve düzensiz çatlak sistemleri gözlenmiştir. Ayrıca birim yer yer, KD-GB gidişli, santimetre ile metre arasında değişen kalınlıklara sahip aplit daykları tarafından kesilmiştir. Bu birimin tektonizmadan etkilenmiş düzeyleri oldukça kırıklı ve

çatlaktır. Çalışma sahasında bu birimde konumları ölçülen çatlak düzlemleri Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1. Granodiyoritlerde Ölçülen Çatlak Düzlemleri

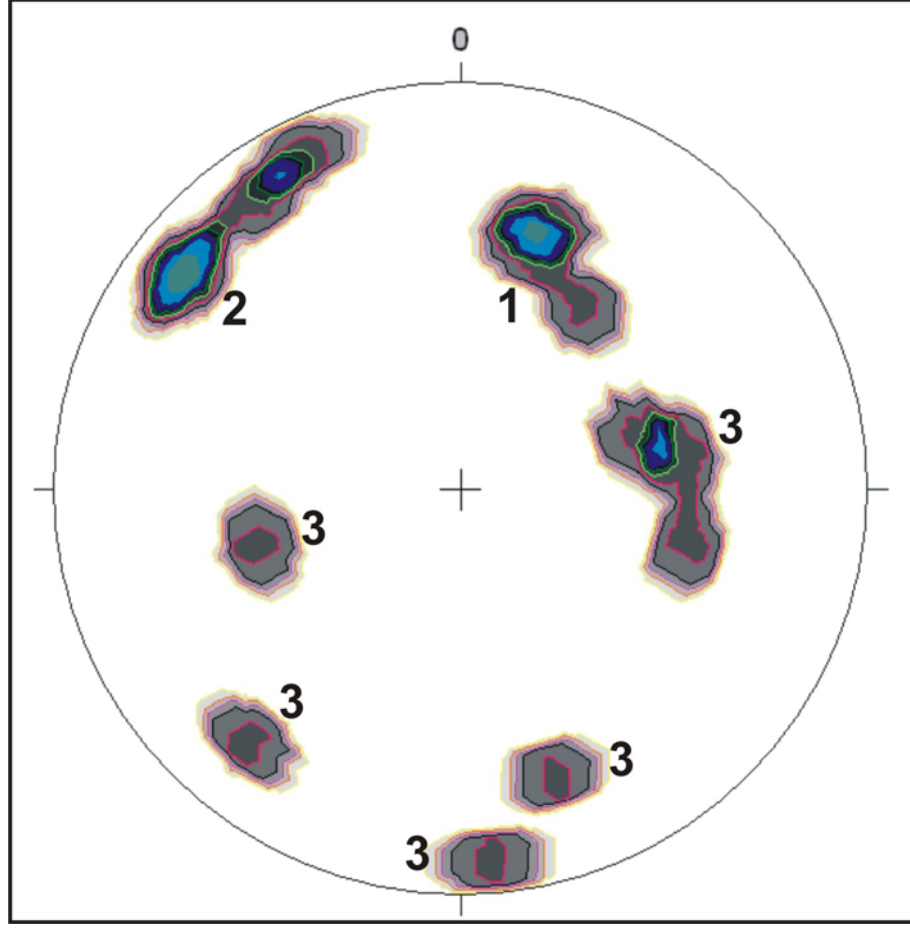
Ölçüm No	Çatlak Düzlemlerinin Konumu	Eğim Yönü/Eğim Miktarı
1	K8B/46GB	262/46
2	K14D/48KB	284/48
3	K55D/76GD	154/76
4	K17B/37GB	253/37
5	K65D/80GD	155/80
6	K72B/58GB	198/58
7	K38D/73GD	128/73
8	K55B/44GB	215/44
9	K38D/77GD	128/77
10	K50B/70KD	40/70
11	K15B/43KD	75/43
12	K72D/63KB	342/63
13	K75B/52GB	195/52
14	K85D/81KB	355/81

Bölgede geniş yüzlek veren granodiyoritlerde gözlenen eklemelerin Wulf ağı alt yarımküresi üzerindeki izdüşümlerinin kontur ve gül diyagramlarında değerlendirilmesi sonucunda egemen üç eklem takımının varlığı saptanmıştır. Birinci eklem takımı K20-30B doğrultusunda, ikinci eklem takımı K30-40B doğrultusunda ve üçüncü eklem takımı değişik doğrultularda uzanmaktadır. Bu eklem takımları bölgesel sıkışma yönü olan BKB-DGD ile bölgesel açılma yönü olan KKD-GGB doğrultuları (Özden ve diğ., 2006) ile denştirildiğinde birinci eklem takımının bölgesel sıkışma yönüne dik doğrultuda olması nedeniyle boyuna, ikinci eklem takımının bölgesel sıkışma yönüne paralel olması nedeniyle enine (tansiyon) ve üçüncü eklem takımının bölgesel sıkışma yönü ile 450 den daha dar açılar oluşturacak şekilde konumlanması nedeniyle makaslama eklemelerinden oluşmaktadır. Çalışma sahasında bu üç egemen eklem takımı arasında makaslama çatlaklarının Hıdırlar Kaplıcası civarındaki sıcak suların yüzeye çıkışlarını kontrol ettiği söylenebilir (Şekil 3.22, 3.23).



Şekil 3.22. Çakıroba Granodiyoriti'nde ölçülen çatlak düzlemlerine göre hazırlanmış Gül Diyagramı

Çalışma sahasında çok belirgin tabakalanma sunmamasına rağmen tabanını oluşturan konglomeratik seviyelerden yapılan ölçümlerde Neojen yaşlı Örencik Formasyonu'nu oluşturan birimler KD-GB doğrultulu ve güneye eğimlidirler. Bu da birimin BKB-DGD yönlü sıkışma kuvvetlerinin etkisinde kalarak eğim kazanmasıdır.



Şekil 3.23. Çakıroba Granodiyoriti'nde ölçülen çatlak düzlemlerine göre hazırlanmış kontur diyagramı

Çalışma sahasının temelini oluşturan metmorfik birimlerde ölçülen şistozite düzlemleri ise belirli bir düzen göstermemektedir. Doğrultular KD-GB ve KB-GD olarak değişirken eğimler genelde güneydir.

3.5. Jeotermal Sistemin Tektonizmaya İlişkisi

Türkiye'deki Geç Miyosen'de Arap Levhası ile Anadolu Levhası arasında yer alan Neo-Tetis Okyanusu'nun güney kolunun Bitlis-Zagros kuşağının kapanmasıyla başlayan neotektonik dönemde Arap Yarımadası, Anadolu Levhası ile çarpışmasından sonra kuzeye doğru hareket ettirerek bölgenin yükselmesine neden olmuştur. Bu yükselme ile Doğu Anadolu'daki kıta kabuğu kalınlaşmıştır. Bölgede sıkışmanın etkisiyle yükselme bir süre devam etmiş, ancak Anadolu

Bloğu Pliyosen'den başlayarak Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca batı yönünde harekete geçmiştir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1987). Yunanistan güneyinden Ege Denizi güneyine ulaşan Hellenik Yayı'nın da etkisiyle bu levha genişlemiş ve Batı Anadolu'daki horst-graben yapıları oluşmuştur. Doğu Anadolu'daki sıkışmanın etkisiyle oluşan yükselim nedeniyle bölgede jeotermal alanlar oluşturamamış, ancak Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu'nun kesişim noktası olan Bingöl civarında ortaya çıkabilmişlerdir. Oysa Batı Anadolu'nun genişlemesi nedeniyle kabuk incelmış ve pek çok sıcaklıkta jeotermal alanlar oluşmuştur. Özellikle Batı Anadolu'da grabenler boyunca yüksek ısılı jeotermal sistemler oluşmuştur. Batı Anadolu'nun kuzeyinde bulunan Biga Yarımadası da bu tektonik hareketlerden etkilenmiş, Batı Anadolu grabenlerinin kuzey kesiminde olmaları nedeniyle hem bu sistemden, hem de Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güney kolunun hareketinden etkilenmiştir. Bölgede Yenice-Gönen, Şarköy ve Çan-Biga Fay Zonlarının etkisiyle yüksek sıcaklıklı jeotermal alanlar gözlenmektedir.

MTA tarafından Çanakkale-Kalkım bölgesinde jeotermal olanakları sağlayabilecek yapıların araştırılması bakımından yaklaşık 175 km² lik bir alanın gravite etüdü 1985 yılında yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda sahanın Bouger Anomali Haritası yapılmıştır. Hıdırlar Jeotermal Sahası'nın da içinde yer aldığı grabenin sınırları ve grabeni oluşturan fay sistemleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Jeoloji haritalarında işlenen D-B yönlü muhtemel faylar Bouger Anomali Haritası'nda da görülmektedir (Şekil 3.24). Akçakoyun köyünden itibaren kuzeye doğru artan Bouger Anomali değerleri, graben tabanının kuzeyden itibaren güneye doğru kademeli olarak çöktüğünü işaret etmektedir (Arslan, 1987). Bu da ancak basamak faylarla mümkündür. Hıdırların güneyindeki kontur sıklığı da grabenin kuzey kanadını ayıran D-B yönlü fayların olduğunu yansıtmaktadır. Yine Bouger Anomali Haritası'nda, kaplıcanın tam batısında konturlar KD ya doğru bir yönelim göstermekte ve görelî olarak açılmaktadır. Bu da ikincil olarak oluşan ve

KB-GD yönlü fayları göstermektedir. Sıcak su çıkışları da bu bölgelerde gözlenmektedir (Arslan, 1987).

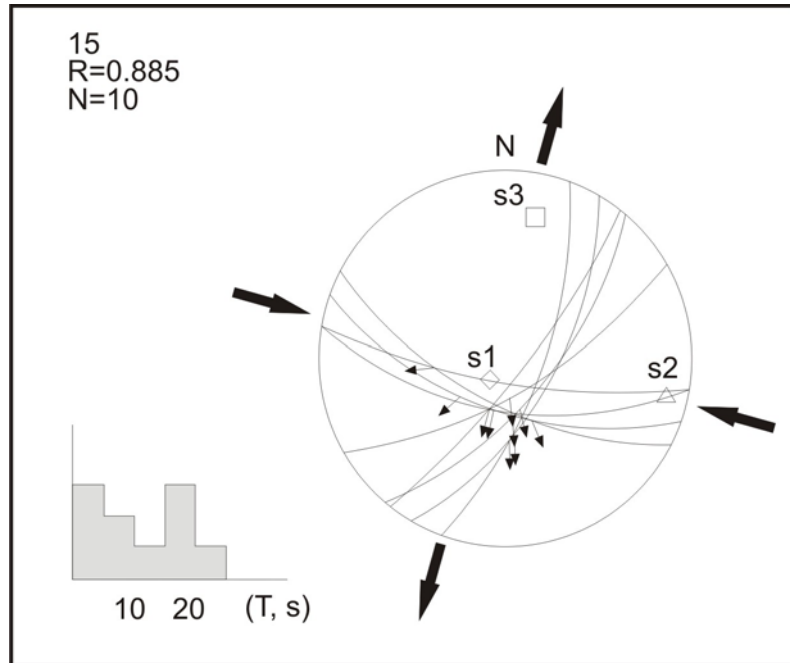


Şekil 3.24. Çalışma Sahası'nın Bouger Anomali Haritası (Arslan, 1987)

Çalışma sahasının yaklaşık 10 km doğusunda Hamdibey beldesi KD sunda gözlenen fay düzlemlerinde (Şekil 3.25) yapılan kinematik analizde de bölgede etkin olan tektonik kuvvetlerin yönleri, granodiyoritlerdeki eklem sistemlerinden hazırlanan diyagramların sonuçları ile uyumluluk göstermiştir (Şekil 3.26).

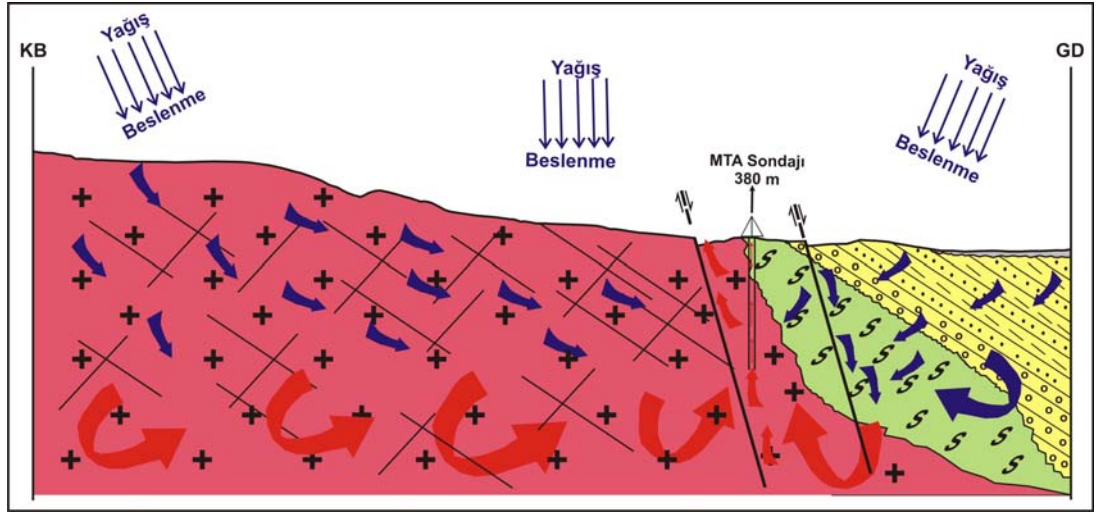


Şekil 3.25. Hamdibey beldesi KD sunda gözlenen mesozkopik fay düzlemleri



Şekil 3.26. Hamdibey beldesi KD sunda gözlenen mesozkopik fay düzlemlerinin Wulf ağı alt yarımküresi üzerindeki ters çözümleri ve histogramdaki dağılımları

Hem kinematik çalışmalardan hem de granodiyoritlerdeki eklem takımlarından yapılan ölçümlerin gül ve kontur diyagramlarına aktarılması sonucu bölgesel sıkışma yönü BKB-DGD ile bölgesel açılma yönü KKD-GGB doğrultuları olarak belirlenmiştir. Bu kuvvetler altında oluşan eklem sistemleri ve jeofizik çalışmalarla belirtilen fay sistemleri, yüzey sularının derinlere kadar inmesine ve jeotermal gradyana bağlı olarak derinlerde ısınan suların yine bu sistemler ile yüzeye ulaşmasına olanak sağlamaktadır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Hıdırlar Jeotermal Sahası'nın Şematik Modeli

BÖLÜM IV

HİDROJEOKİMYA

Hidrojeokimya yeraltı sularının kimyasal özelliklerinin ve kalitelerinin belirlenmesi, kökenlerinin araştırılması, yüzey ve yağış suları ile olası ilişkilerinin incelenmesi, yeraltı sularının kirlenmesi ve iyileştirilmesi gibi problemlerin çözülmesi ve benzeri araştırmalarda kullanılan hidrojeolojik çalışmaların vazgeçilmez bir parçasını oluşturur. Her jeotermal araştırma programının önemli bir kısmını da hidrojeokimyasal teknikler oluşturur. Özellikle derin sondaj öncesinde yeraltındaki akışkan ve derinlerdeki koşulların saptanmasında, yeni jeotermometre tekniklerin geliştirilmesiyle, ucuzluğu ve hızlı yorumlanabilmesi gibi bir çok avantajı da beraberinde taşımaktadır. Kavram olarak hidrojeokimyasal teknikler bir çok eser iyon ve izotop jeokimyasını, kaya kimyasını ve gazların jeokimyasını da kapsamaktadır (Tarcan, 2002).

Bu bölümde çalışma sahasında belirlenen sıcak ve soğuk su kaynaklarında yapılan arazi ölçümlerin ve alınan su numunelerinden laboratuvarlarda yapılan kimyasal analizlerin sonuçları tartışılmıştır. Arazi ölçümleri ve kimyasal analizler sonuçları ile sıcak ve soğuk suların hidrojeokimyasal özellikleri sunulmuştur.

4.1. Analiz Yöntemleri

Çalışma kapsamında sıcak ve soğuk suların arazide, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama Merkezi (ÇOBİLTEM)-Merkez Laboratuvarı ve ACME (Kanada) Laboratuvarı'nda yapılan analizlerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışma sahasındaki sıcak su kaynaklarının kökenini (akışkan içerisindeki bileşenlerin kaynakları tespit edip, akışkan bileşimini etkileyen; kayaç-su etkileşimleri, yoğunlaşma, kaynama, buharlaşma gibi süreçler) belirlemek amacıyla alınan su numunelerinden Oksijen-18 (^{18}O) ve Döteryum (D) izotopları analizi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi İzotop Laboratuvarları'nda, Tritiyum (^3H)

analizi ise Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarları'nda yapılmıştır.

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde Microsoft Excel ve AquaChem, Phreeqc (Parkhurst ve Appelo, 1999) gibi bilgisayar programları ile beraber Güleç ve Mutlu (2002) ve Tarcan (2002) gibi yazarların seminer notlarından faydalanılmıştır.

Su örnekleme amaçlı arazi çalışmalarında sıcak ve soğuk su kaynakları başında WTW Multi 340i cihazı ile suların sıcaklık ($T^{\circ}\text{C}$), pH, iletkenlik (EC $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve redoks (Eh) gibi fiziksel özellikleri ölçülmüştür.

4.2. Örnek Noktalarının Seçimi ve Özellikleri

Araştırılması planlanan jeotermal sahada daha önceden yapılan jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalarda belirlenmiş ve haritalanmıştır. Sıcak ve soğuk su noktalarından örnekler alınarak kimyasal analizleri yaptırılmıştır. Örneklenecek su kaynakları alanı en iyi karakterize edecek şekilde jeolojik ve hidrojeolojik verilere bağlı olarak seçilmiştir.

Örnek alınacak su kaynakları seçilirken, suların fiziksel ve kimyasal tüm özelliklerini yansıtabilecek örnek noktaları tercih edilmiştir. Bu yüzden örnekleme yapılacak kaynaklarda herhangi bir karışım olmamasına dikkat edilmiştir.

4.3. Yüzey ve Yeraltı Suyu Örnek Lokasyonları

Örnek noktalarının seçimi ve özellikleri kapsamında, bu çalışmada üçü sıcak su ve ikisi soğuk su olmak üzere toplam beş su örnek lokasyonu seçilmiştir (Tablo 4.1). Çalışma sahasında, arazide ölçülebilecek ve örnek alınabilecek yeraltı suyu örnek lokasyonları bulunamadığından sadece yüzey sularında ölçüm ve örnekleme yapılmıştır.

Tablo 4.1. Çalışma sahasındaki sıcak ve soğuk su lokasyonlarının koordinatları

Örnek No	Lokasyon	Boylam (D) (m)	Enlem (K) (m)
Kaynak	Hıdırlar Kaplıcası	513370	4410665
Sondaj	Hıdırlar Kaplıcası	513375	4410623
Uyuz	Bıçkıdere Mevkii	512917	4410574
Soğuk 1	Bıçkıalanı Mevkii	511668	4412271
Soğuk 2	Soyabendi Dere	512801	4413065

4.3.1. Sıcak Sular

Hıdırlar Jeotermal Sahası'ndaki sıcak suların yeryüzüne çıkışları Hıdırlar Köyü'nün KB sındaki ılıca, Hıdırlar Kaplıcası ve Uyuz ılıcası olmak üzere üç bölgede gözlenmiştir.

Hıdırlar Köyü'nün KB sındaki Ilıca

Ilıca, Hıdırlar Köyü'nün yaklaşık 500 m KB sındaki Kızılağaç Dere içerisinde yer almaktadır. Sıcak su kaynakları metamorfik birimler içerisinde, küçük doğal bir havuzun dibinden çıkmaktadır (Şekil 4.1). Ayrıca alanda Romalılar döneminden kalma bir hamam yıkıntısı da yer almaktadır. Kaynağın sıcaklığı yaklaşık 52 °C dir ve köylüler tarafından kullanılmaktadır. Bu bölgede ana kaynağa rastlanmadığından ve de havuzdaki suya birden fazla sıcak ve soğuk su kaynağından karışım olduğundan, bu ılıcada ölçüm ve örnekleme yapılmamıştır.



Şekil 4.1. Hıdırlar Köyü KB sındaki ılıca ve hamam kalıntısı.

Hıdırlar Kaplıcası

Hıdırlar Köyü'nün yaklaşık 2 km batısında yer alan kaplıcada çok sayıda sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Ancak kaplıcadaki tesisin yetersizliği ve gereken düzenin sağlanamaması sonucu çoğu sıcak su kaynağı birbirleriyle ve soğuk sularla karışmaktadır. Belirlenen en yüksek sıcaklığa ait bir sıcak su kaynağından (Şekil 4.2) ve MTA'nın 1989 yılında yaptığı 385 m'lik bir sondajdan ölçüm ve örnekleme yapılmıştır. Üstü betonla kaplı olan bu sondaj, artezyen niteliğindedir ve sondajdan gelen su bir boru vasıtasıyla yüzeye ulaşmaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Hıdırlar Ilıcası ana kaynak yerinin görünümü.



Şekil 4.3. MTA sondajından gelen sıcak suyun çıktığı noktanın görünümü.

Uyuz Ilıcası

Hdırlar kaplıcasının yaklaşık 500 m KB sında Bıçkıdere vadisinde yer almaktadır (Şekil 4.4). Bölgede herhangi bir tesis bulunmamaktadır. Sadece köylülerin kendi imkanlarıyla yaptığı ve kullandığı iki küçük doğal havuz bulunmaktadır.



Şekil 4.4. Hıdırlar Kaplıcası KB sında Bıçkıdere vadisindeki Uyuz Ilıcası kaynak yerinin görünümü

Bu çalışma kapsamında bu üç sıcak su kaynağından Eylül-Ekim 2005, Şubat-Ağustos 2006 ve Mart 2007 tarihlerinde olmak üzere toplam beş dönemde arazi ölçümü ve su örnekleme yapılmıştır.

4.3.2. Soğuk Sular

Çalışma kapsamında Ağustos 2006 ve Mart 2007 tarihlerinde olmak üzere iki dönemde soğuk su ölçümü ve örnekleme yapılmıştır. Soğuk su lokasyonları seçilirken, olası sıcak sulara karışımları da düşünülerek, sıcak su kaynaklarının yer aldığı vadilerin başlangıç kısımlarındaki kaynaklar araştırılmıştır ve toplam iki tane soğuk su kaynağından ölçüm ve örnekleme yapılmıştır (Şekil 4.5, 4.6).



Şekil 4.5. Bıçkı Alanı mevkiindeki soğuk su kaynağı (Soğuk 1)



Şekil 4.6. Soyabendi Dere KB sındaki soğuk su kaynağı (Soğuk 2)

4.4. Su Kimyası

Bu çalışma kapsamında Hıdırlar Jeotermal Sahası'ndaki su kaynaklarında yapılan arazi ölçüm sonuçları ve alınan su numunelerinin laboratuvarlarda yapılan kimyasal analizler sonucu elde edilen majör ve minör iyon derişimleri, ağır metallerin derişimleri ve izotop analizi sonuçları çeşitli su kimyası diyagramları, doygunluk indeksi grafikleri, jeotermometre sonuçları, izotop jeokimyası grafikleri ile değerlendirilmiştir.

4.4.1. Hıdırlar Jeotermal Sahası'ndaki Sıcak Suların Genel ve Hidrojeokimyasal Özellikleri

Çalışma sahasındaki sıcak su kaynakları Hıdırlar Kaplıcası "Kaynak", Hıdırlar Kaplıcası "Sondaj" ve Hıdırlar Kaplıcası'nın KB sında Bıçkıdere vadisi içerisindeki "Uyuz" Ilıcası olmak üzere üç lokasyona ayrılmıştır. Bu sıcak su kaynaklarından beş farklı dönemde (Eylül ve Ekim 2005, Şubat ve Ağustos 2006 ve Mart 2007) arazi ölçümleri ve su örnekleme çalışması yapılmıştır. Arazide su kaynakları başında yapılan analiz sonuçları ve suların fiziksel özellikleri (sıcaklık, elektrik iletkenliği, pH, redoks ve debi) Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2. Çalışma sahasındaki sıcak suların fiziksel özellikleri

Tarih	Lokasyon	Sıcaklık T (°C)	İletkenlik EC (µS/cm)	pH	Redoks (mV)	Debi (l/sn)
19.09.2005	Kaynak	83.3	1016	7.36	-119	0.40
	Sondaj	60.8	970	4.99	-130	0.08
	Uyuz	55.8	960	8.18	274	0.20
16.10.2005	Kaynak	76.7	948	7.8	-79	0.61
	Sondaj	54.9	965	7.87	-52	0.15
	Uyuz	46.8	959	7.85	-83	0.33
15.02.2006	Kaynak	75.5	968	7.87	-80	0.58
	Sondaj	51	970	7.4	-47	0.14
	Uyuz	38.8	1005	7.75	-75	0.28
01.08.2006	Kaynak	77.5	1087	8.32	-80	0.63
	Sondaj	57.7	1106	8.05	-65	0.19
	Uyuz	53.6	1121	8.47	-88	0.13
29.03.2007	Kaynak	79	940	7.82	-145.7	0.50
	Sondaj	58	952	7.83	-167.9	0.16
	Uyuz	54	948	7.93	4.3	0.18

Bu lokasyonlardan alınan su örneklerinin laboratuarlarda yapılan kimyasal analizler sonucu suların majör ve minör iyon derişimleri saptanmıştır.

Doğal suların toplam iyonik içeriğinin % 90 dan daha yüksek oranı oluşturan Na, Ca, Mg, K, Cl, HCO₃ ve SO₄ iyonları majör iyonlar olarak adlandırılmaktadır. İnceleme alanındaki su kaynaklarının dönemsel kimyasal analiz sonuçlarına göre majör iyon derişimleri Tablo 4.3, minör iyon derişimleri Tablo 4.4 te sunulmuştur.

Tablo 4.3. Çalışma sahasındaki sıcak suların majör iyon derişimleri

Tarih	Lokasyon	Sıcaklık T °C	İletkenlik EC µS/cm	pH	Na mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	HCO ₃ mg/l
19.09.2005	Kaynak	83.3	1016	7.36	193	19	7	0.13	16	385	87.6
	Sondaj	60.8	970	4.99	190	22	5.3	0.23	16	385	96.1
	Uyuz	55.8	960	8.18	183	26	6.5	1.1	16	380	84.2
15.10.2005	Kaynak	76.7	948	7.8	195.57	19.19	6.01	0.1	13	280	146.4
	Sondaj	54.9	965	7.87	198.62	22.19	4.89	0.22	14	388	92.8
	Uyuz	46.8	959	7.85	191.71	26.4	5.62	0.97	13	345	80
15.02.2006	Kaynak	75.5	968	7.87	200.13	18.89	7.33	0.13	15	277.65	162
	Sondaj	51	970	7.4	199.47	21.13	5.67	0.43	15	392	94
	Uyuz	38.8	1005	7.75	187.88	26.85	6.62	1.39	15	351	94
01.08.2006	Kaynak	77.5	1087	8.32	199.78	18.28	5.47	0.12	13	352.19	92
	Sondaj	57.7	1106	8.05	201.37	20.37	4.31	0.32	13	340.06	100
	Uyuz	53.6	1121	8.47	193.88	24.69	5.47	1.01	13	357.12	82
29.03.2007	Kaynak	79	940	7.82	193.79	17.65	6.74	0.11	14	345.29	99.92
	Sondaj	58	952	7.83	193.05	20.12	5.38	0.32	14	352.81	96.20
	Uyuz	54	948	7.93	187.68	25.69	6.31	1.18	13	351.46	108.16

Tablo 4.4. Çalışma sahasındaki sıcak suların minör iyon derişimleri

Tarih	16.10.2005			15.02.2006			01.08.2006			29.03.2007			
	Lokasyon	Sondaj	Kaynak	Uyuz	Sondaj	Kaynak	Uyuz	Sondaj	Kaynak	Uyuz	Sondaj	Kaynak	Uyuz
Element													
Ag	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Al	ppb	19	28	3	22	39	8	20	35	7	13	31	7
As	ppb	2.3	2	1.8	2.3	2.3	1.8	< 0.5	< 0.5	< 0.5	2.2	2.1	1.9
Au	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
B	ppb	221	219	211	250	252	246	171	196	175	193	212	190
Ba	ppb	27.48	19.75	29.15	24.07	21.31	30.48	21.22	20.29	27.69	25.93	22.1	31.03
Be	ppb	0.11	0.11	0.13	0.17	0.18	0.15	0.14	0.09	0.09	0.11	0.07	< 0.5
Bi	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.5	< 0.5	0.09
Br	ppb	49	49	50	54	55	52	37	39	46	43	42	45
Cd	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Ce	ppb	0.02	0.01	0.02	0.06	0.09	0.11	0.1	0.02	0.03	0.01	0.01	0.05
Co	ppb	0.03	0.02	0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cr	ppb	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	0.8	0.7	0.9
Cs	ppb	8.12	8.55	10.72	7.48	8.27	10.22	6.93	8.05	10.17	7.73	8.7	9.92
Cu	ppb	1.5	0.7	0.6	1.7	2.2	2.2	0.8	0.9	0.6	1.4	1.7	1.4
Dy	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	< 0.1	< 0.1	0.01
Er	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Eu	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.1	< 0.1	< 0.1

Fe	ppb	42	20	13	15	11	< 10	18	28	11	11	<10	<10
Ga	ppb	1.49	2.98	0.67	1.31	2.96	0.62	1.31	2.71	0.58	1.27	2.84	0.6
Gd	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	0.01
Ge	ppb	6.64	7.72	7.26	6.74	7.62	6.9	6.41	7.21	6.76	7.55	8.41	7.63
Hf	ppb	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	<.02	<.02	<.02
Hg	ppb	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1	<.1	<.1
Ho	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	<.01
In	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	<.01
Ir	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05	<.05
La	ppb	0.01	0.01	0.04	0.03	0.05	0.06	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
Li	ppb	81.3	86.3	80.1	81.3	86.1	75.8	68.7	76	77	78.8	84.1	78
Lu	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	<.01
Mn	ppb	15.09	8.08	18.04	18.91	8.23	22.6	14.4	7.16	16.9	16.91	8.39	23.72
Mo	ppb	10.2	9.6	10.2	9.6	9.2	9.6	9.2	8.9	10	9.9	9.6	10.1
Nb	ppb	0.01	< 0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	< 0.01	<.01	<.01	<.01
Nd	ppb	< 0.01	< 0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	<.01	<.01	0.02
Ni	ppb	0.8	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.2	< 0.2	0.8	0.4	<.2	<.2	<.2
Os	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05	<.05
P	ppb	20	21	20	29	26	26	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Pb	ppb	0.2	0.1	< 0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1
Pd	ppb	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	<.2	<.2	<.2
Pr	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	0.01	0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	0.01
Pt	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	<.01
Rb	ppb	24.99	33.26	33.05	26	35.05	34.51	23.4	32.82	32.32	23.94	33.47	33.05
Re	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.01	0.01	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	<.01
Rh	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	<.01
Ru	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05	<.05
S	ppb	145000	140000	140000	150000	153000	153000	122000	124000	118000	139	140	129
Sb	ppb	0.32	0.3	0.31	0.26	0.3	0.31	0.22	0.23	0.29	0.27	0.28	0.31
Sc	ppb	< 1	< 1	< 1	10	12	11	6	7	6	7	8	7
Se	ppb	0.5	< 0.5	0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	<.5	<.5	<.5
Si	ppb	42382	48409	44770	38503	46930	43013	31619	38387	35988	38255	46547	42328
Sm	ppb	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	<.02	<.02	<.02
Sn	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.06	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05	<.05
Sr	ppb	652.17	499.27	540.8	654.52	505.02	548.8	623.6	487.49	548.64	680.25	540.1	557.12
Ta	ppb	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	<.02	<.02	<.02
Tb	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	<.01
Te	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05	<.05
Th	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.08	0.12	< 0.05	<.05	<.05	<.05
Ti	ppb	< 10	10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Tl	ppb	0.07	0.1	0.08	0.06	0.09	0.05	0.07	0.1	0.07	0.07	0.1	0.07
Tm	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	<.01
U	ppb	0.08	< 0.02	0.19	< 0.02	< 0.02	0.35	< 0.02	< 0.02	0.19	<.02	<.02	0.33
V	ppb	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	0.2	< 0.2	<.2	<.2	<.2
W	ppb	23.05	22.62	24.12	23	21.66	23.49	22.54	22.75	25.15	26.91	27.01	26.69
Y	ppb	0.04	0.01	0.05	0.04	0.02	0.08	0.03	0.02	0.04	0.03	0.01	0.06
Yb	ppb	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	0.01
Zn	ppb	3.3	0.8	0.6	9.9	3.5	2.6	1.2	4.8	4.5	1.2	2.1	1.4
Zr	ppb	0.05	0.04	< 0.02	0.02	0.02	0.03	< 0.02	0.02	< 0.02	<.02	0.06	0.02

Sıcak Suların Hidrojeokimyasal Açıdan Değerlendirilmesi

Yeryüzünde bulunan sular hiçbir zaman saf halde bulunmazlar. Az ya da çok miktarda erimiş veya asılı madde içerirler. Bu maddelerin türü ve miktarları suların kalitesi ve bileşimi hakkında bize bilgi verir. Suların içinde bulunan erimiş maddeler ve kimyasal bileşikler, suların dolaştıkları yerler, etkileşimde buldukları litolojik birimler, bölgenin jeolojik ve kimyasal nitelikleri hakkında bilgi verir.

Yapılan kimyasal analizler sonucunda sıcak suların kimyasal bileşimlerinde gözlenen zamana bağlı değişimler, tüm major iyon derişimleri göz önüne alındığında en fazla % 5.7 lik bir oranda hata payı vermektedir. Bu değişim oranı ise pratik açıdan kabul edilebilir sınırdadır. Aradaki bu farkların ise analiz hatalarından kaynaklanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Çalışma sahasındaki sıcak suların anyon ve katyon eşitliği

Lokasyon	Tarih	Toplam Anyon (meq/l)	Toplam Katyon (meq/l)	% Hata (meq/l)
Kaynak	19.09.2005	10	10	1.9
	16.10.2005	9	10	5.7
	15.02.2006	9	10	5.3
	01.08.2006	9	10	2.9
	29.03.2007	9	9	1.4
Sondaj	19.09.2005	10	10	2.7
	16.10.2005	10	10	0.5
	15.02.2006	10	10	1.1
	01.08.2006	9	10	4.4
	29.03.2007	9	10	1.3
Uyuz	19.09.2005	10	10	1.2
	16.10.2005	9	10	5.4
	15.02.2006	9	10	2.8
	01.08.2006	9	10	3.9
	29.03.2007	9	10	1.3

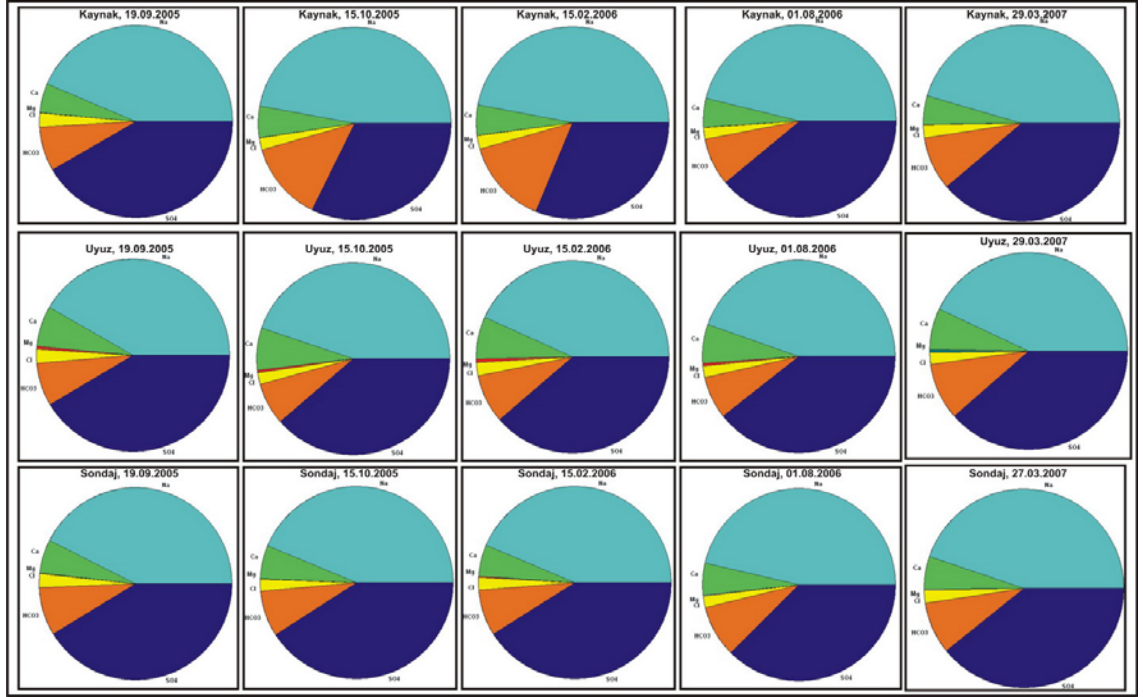
Suların Hidrokimyasal Fasiyes Tipleri ve Dairesel Diagramlar

Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki izdüşüm yerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere litrede eşdeğer gram cinsinden toplam çözünmüşlerin % 50 sinden fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. İyonların hiçbirisi miktar olarak % 50 yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) Sıcak ve Mineralli Sular Komisyonu Çalışma Raporu'nda belirtilen sınıflamada ise; suda çözülmüş başlıca iyonlar, anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere yine litrede eşdeğer gram olarak % 20 sinden fazla çözülmüş bulunan iyonlara göre (önce katyonlar sonra anyonlar sırasıyla yazılarak) su tipi belirlenmektedir (Başkan ve Canik, 1983). Bu çalışmada belirtilen hidrokimyasal fasiyes kavramı, IAH sınıflamasına göre yapılmıştır.

Sıcak sulardaki majör iyonların meq/l derişimlerine göre belirlenen hakim iyon sıralaması ve sıcak suların hidrokimyasal fasiyes tipleri Tablo 4.6 de verilerek, hazırlanan dairesel diagramlar Şekil 4.7 de belirtilmiştir.

Tablo 4.6. Çalışma sahasındaki sıcak su kaynaklarının iyon sıralaması

Lokasyon	Tarih	Katyon Sıralaması	Anyon Sıralaması	Su Tipi
Kaynak	19.09.2005	Na>Ca>K>Mg	SO ₄ >HCO ₃ >Cl	Na-SO ₄
	16.10.2005			Na-SO ₄ -HCO ₃
	15.02.2005			Na-SO ₄ -HCO ₃
	01.08.2006			Na-SO ₄
Sondaj	19.09.2005	Na>Ca>K>Mg	SO ₄ >HCO ₃ >Cl	Na-SO ₄
	16.10.2005			Na-SO ₄
	15.02.2005			Na-SO ₄
	01.08.2006			Na-SO ₄
Uyuz	19.09.2005	Na>Ca>K>Mg	SO ₄ >HCO ₃ >Cl	Na-SO ₄
	16.10.2005			Na-SO ₄
	15.02.2005			Na-SO ₄
	01.08.2006			Na-SO ₄



Şekil 4.7. Sıcak sulardaki majör iyon dağılımını gösterir dairesel diagramlar
(derişimler meq/l dir)

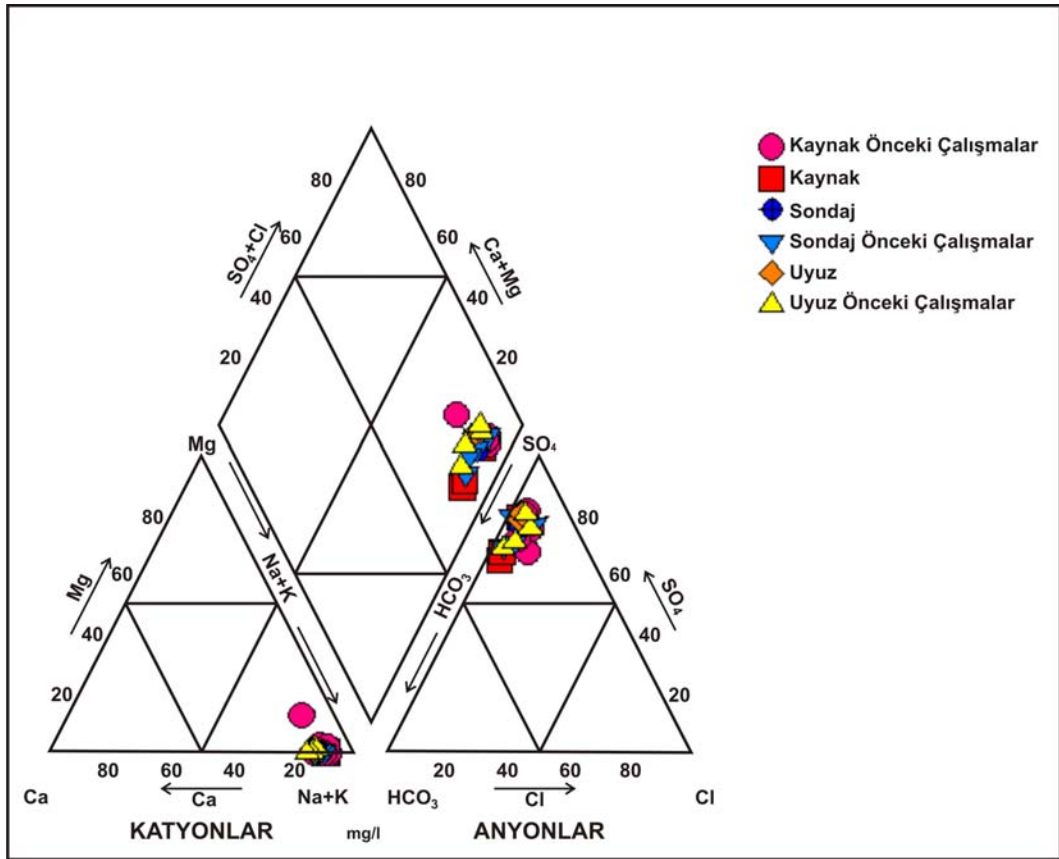
Hıdırlar Jeotermal Sahası'nda incelenen tüm sıcak sularda ana katyon Na olup derişim sıralamasına göre bunu Ca, K ve Mg takip etmektedir. Ana anyon ise SO_4 olup, bunu HCO_3 ve Cl takip etmektedir.

Sahadaki termal su tiplerine bakıldığında, “Kaynak” olarak isimlendirilen sıcak su kaynağında kurak dönemden yağışlı döneme Na- SO_4 tipinden Na- SO_4 - HCO_3 tipine bir geçiş göze çarpmaktadır. Bu durum, alanında mevsimsel yağışların etkisiyle yüzeysel kökenli suların jeotermal sulara girişimi ile sıcak suların HCO_3 ca zenginleştiğini ve suların sığ yeraltı suları ile karışımının yağışlı dönemde arttığını göstermektedir.

Piper Diyagramı

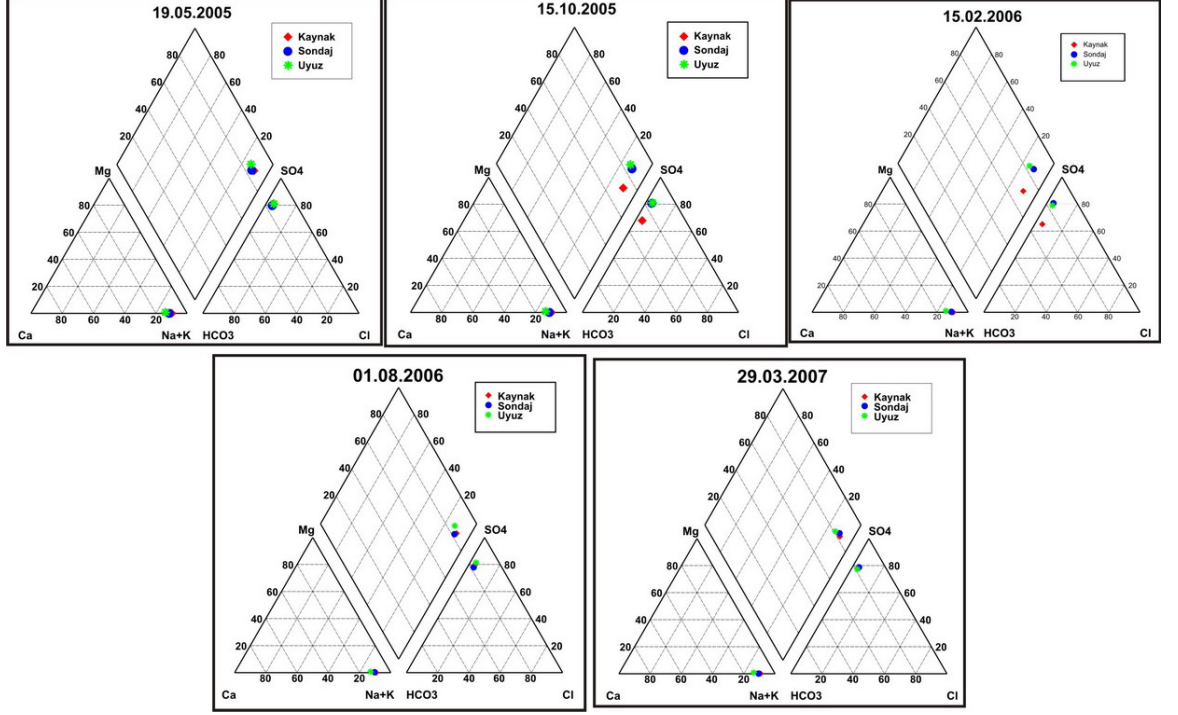
Sıcak su kaynaklarının litoloji ile ilişkileri ve dolaşım sistemleri boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal evrim süreçleri Piper diyagramları kullanılarak da açıklanmaya çalışılmıştır. Piper diyagramı anyon ve katyonların (% eşdeğer gram cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokiyusal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

Çalışma sahasında daha önce yapılan çalışmalardan alınan analiz sonuçları da dahil edilerek hazırlanan Piper diyagramında (Şekil 4.8) da görüleceği üzere, çalışma sahasındaki sıcak sular Na-SO₄ lı su tipini yansıtmaktadırlar.



Şekil 4.8. Çalışma sahasındaki sıcak sulardan alınan verilere göre hazırlanmış Piper diyagramı

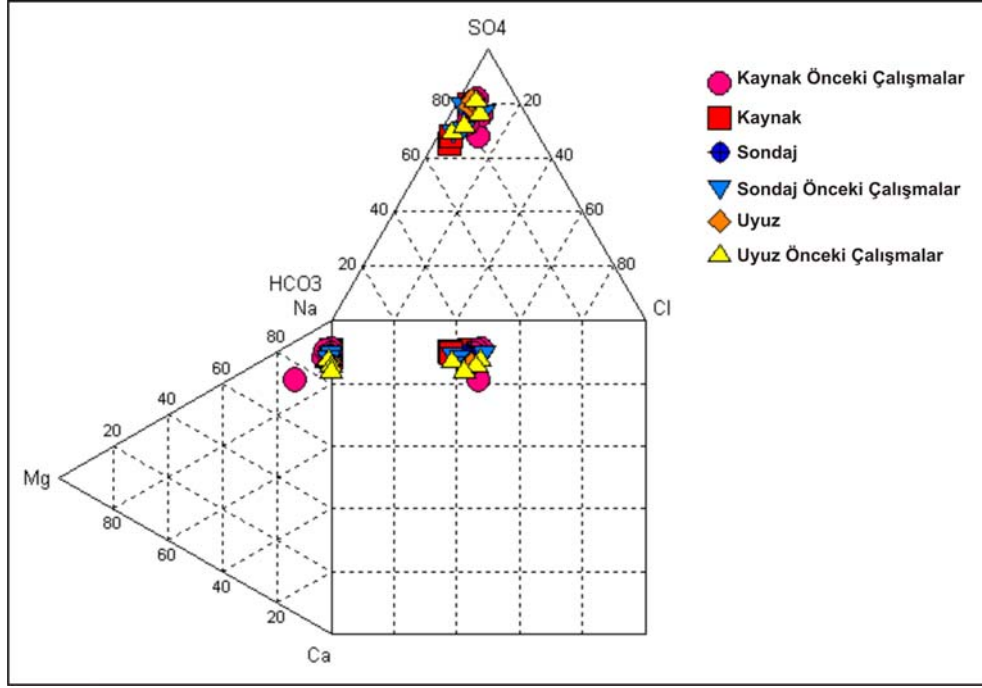
Bu çalışma sonrası elde edilen Piper diyagramlarında da görüleceği üzere Kaynak olarak isimlendirilen sıcak su kaynağı, kurak iklimden yağışlı iklime geçişte su fasiyesi tipinde Na-SO₄ tipi sulardan Na-SO₄-HCO₃ tipi sulara geçişi göstermektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Çalışma sahasındaki sıcak suların bu çalışma sonrası elde edilen Piper diyagramları

Durov Diyagramı

Durov diyagramı da Piper diyagramı gibi anyonların ve katyon % meq/l değerlerinin kullanılarak ayrı ayrı iki üçgende gösterildiği ve bu üçgenlerin birbirine dik olarak birleştirildiği kare şekilli bir dörtgenden oluşur. Su noktaları öncelikle üçgenlere yerleştirilerek, daha sonra kare diyagrama izdüşürülür. Bu şekilde suların karşılaştırılması ve bir arada görülmesi sağlanır, yorumlamasında Piper diyagramdakine benzer yorumlar yapılabilir (Şekil 4.10).



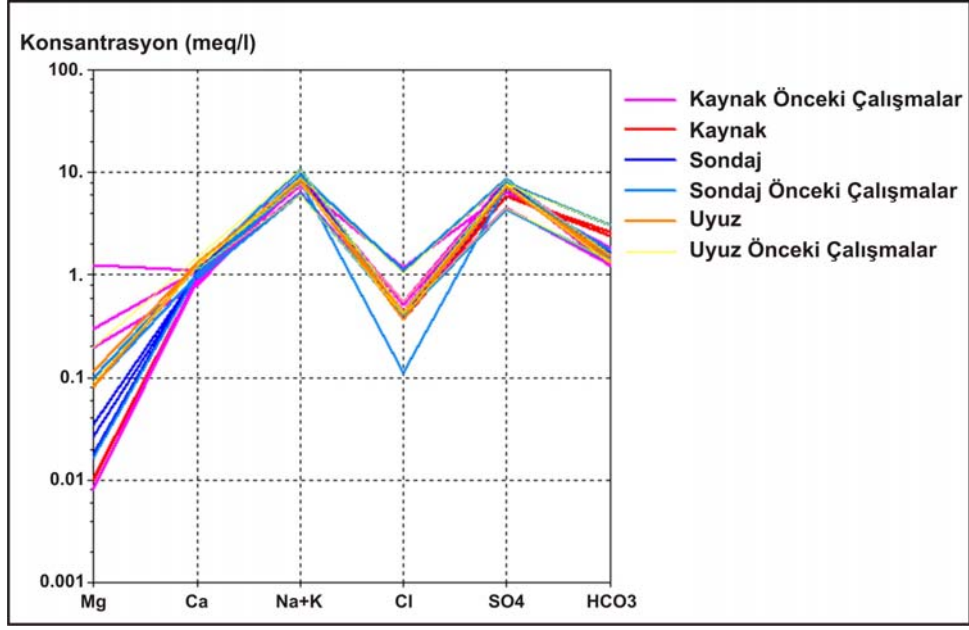
Şekil 4.10. Çalışma sahasındaki sıcak suların Durov diyagramında değerlendirilmesi

Şekil 4.10 dan da anlaşılacağı üzere çalışma sahasındaki sıcak sular benzer kökenli Na-SO₄-HCO₃ tipindeki suları yansıtmaktadırlar.

Schoeller Diyagramı

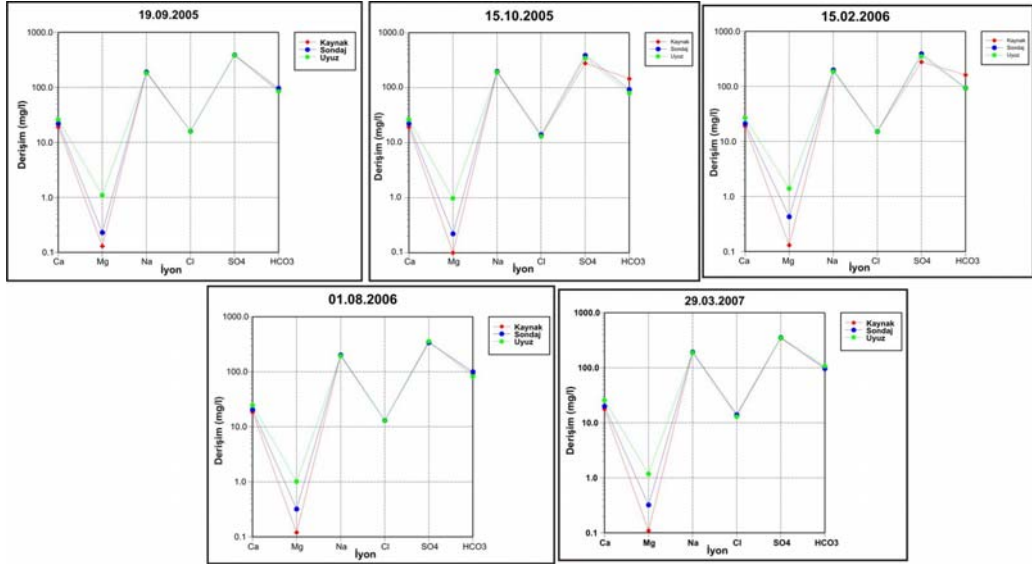
Schoeller yarı logaritmik diyagramlar gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardır. Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına ait sular benzer pik verirler.

Çalışma sahasında daha önceki yapılmış çalışmalardan alınan analiz sonuçları da dahil edilerek hazırlanan Schoeller diyagramından (Şekil 4.11) da görüleceği üzere, çalışma sahasındaki sıcak sular Na-SO₄ lı su tipini yansıtmaktadır ve kendi aralarında gösterdikleri paralellikten dolayı bu üç ayrı sıcak su kaynağı için benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına ait sular olarak yorum yapılabilir.



Şekil 4.11. Çalışma sahasındaki sıcak sulardan elde edilen Schoeller diyagramı

Bu çalışma sonrası elde edilen dönemlik Schoeller diyagramlarından da görüleceği üzere alandaki sıcak sular Na-SO₄ lı su tipini yansıtmakta ve dönemsel olarak bu tipte belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Çalışma sahasındaki sıcak suların bu çalışma sonrası elde edilen Schoeller diyagramları

Jeotermometreler

Jeotermometrelerin genel amacı yeraltındaki akışkan sıcaklığının (yani suların akifer sıcaklığının, yada hazne sıcaklığının) tahmin edilmesidir. Bilindiği üzere sıcak suların yüzeye çıkış sıcaklıklarına göre çok değişik kullanım alanları vardır. Derinlerde haznede bulunan sıcak sular yüzeye erişinceye değin önemli ölçüde soğuyarak ve soğuk yeraltı sularıyla değişik oranlarda karışarak yüzeylerler. Derinlerde bulunan akışkanın sıcaklığının yüzeydeki sıcaklıklarına göre çok daha fazla olacağı açıktır. Derinlere yapılacak olan sondajlar da oldukça yüksek maliyete ve zamana gereksinim göstermektedir. Bu nedenle suların kullanım alanlarının saptanabilmesi için yapılacak derin sondajlardan önce uygulanacak çeşitli jeotermometre yöntemleri ile haznedeki sıcaklıklarının tahmin edilmesi yapılan jeotermal araştırmaların önemli bir parçasını oluşturur (Tarcan, 2002).

Suların yeraltında katettikleri yol, ne denli kısa ve debisi yüksekse sıcaklıkları o oranda hazne kaya sıcaklığına yakındır. Suların yeraltında aldığı yolun kısa olmadığı ve ağır bir hidrolojik çevrimde olduğu izotopik incelemelerle anlaşılabilir. Sıcak suların akifer sıcaklıkları, verimleri ve kimyasal özellikleri ekonomik yönden çok önem taşır. Hazne sıcaklığının saptanmasında çok değişik yöntemler önerilmiştir. Bunlardan bazıları çevresel izotoplarla kalitatif değerlendirme, sığ ve derin kuyularda ölçülen sıcaklıklardan yararlanarak hazne kaya sıcaklığının tahmini, jeotermal alanlarda izlenen hidrotermal alterasyon sonucu oluşan kil minerallerinin incelenmesi ve kimyasal jeotermometreler gibi yöntemlerdir. Hazne kayadaki suların gerçek sıcaklığı, verimleri ve diğer gerçek bilgiler, hazne kayaya değin inen kuyuların incelenmesinden elde edilir. Ancak, sondajların çok pahalı ve bazı durumlarda ekonomik olmaması, her zaman hazne kayaya inilememesi, uzun zaman alması gibi nedenlerle diğer bilimsel incelemelerin olumlu sonuç verdiği yerlerde açılmalıdır (Tarcan, 2002).

Kimyasal Jeotermometreler

Diğer jeotermometre yöntemlerine göre, kimyasal analizlerin ucuz ve kısa sürede yapılabilmesi nedeniyle, jeotermal araştırmalarda akifer (hazne)

sıcaklığının tahmininde kimyasal jeotermometrelerden çok yararlanır. Kimyasal jeotermometre değerlendirmeleri niteliksel (kalitatif) ve sayısal (kantitatif) olmak üzere iki bölümde incelenebilir (Şahinci, 1991b).

Niteliksel (Kalitatif) Kimyasal Jeotermometre Değerlendirmeleri

Kalitatif jeotermometrelerin çoğu uçucu maddelerin sıcak akışkanlarda ve zeminde görelî miktarlarına, dağılımlarına veya zemin gazlarındaki oranlarına dayanır. Termal akışkanlarda bulunan bazı iyon, bileşik ve oranların sıcaklık hakkında verdikleri görelî bilgiler aşağıda belirtilmiştir;

- **SiO₂:** Akifer sıcaklığı hakkında en iyi bilgi veren silistir ve kuvarsın dengelenmesi yüksek sıcaklıkta gerçekleşir. Yüksek sıcaklıktaki suda, yaklaşık 180 °C de başlayan silis çökmesi, sıcaklığın düşmesi ile hızla artar. Klorürce fakir, asit sular 100 °C civarında kayalardaki silikatları bozundurarak amorf silisçe çok zenginleşebilir. 140 °C nin üzerinde, örtü kaya tıkkama malzemesi olarak genellikle kuvars ve kalsedon izlenir. Opal, kristobalit örtü kaya oluşturmuşsa düşük sıcaklığı belirler. Doğal gayzerlerde, yüzeyde amorf silis veya kristalleşmiş silis çökelleri, hazne kaya sıcaklığının 180 °C veya daha fazla olabileceğini gösterir.
- **Klorür:** Akifer sıcaklığı 150 °C nin üzerindeki sularda, genellikle 150 ppm den fazla klorür (kökeni deniz suyu olanlar dışında), ender olarak yüksek sıcaklıklı su sistemlerde (200 °C nin üzerinde) ise 40 ppm in altındadır. Klorür, sıcak su sistemi ile buhar sistemini ayıran en önemli kriterdir. Bir çok klorür tuzları sıcak sularda çözünür ve sıcak sistemlerde bol bulunur. 400 °C de bile klorür tuzlarının uçuculuğu önemsizdir. Bu nedenle, düşük basınçlı buhar sistemlerinde klorür azdır, 50 ppm in üzerinde klorür izlenirse sıcak su sistemini belirler (Şahinci, 1991b).
- **B, NH₄, H₂S, Hg, Cl, Na, K, Li, Rb, Cs, As:** Bu gibi iyon ve bileşiklerin bir veya bir kısmının suda fazla bulunması, akifer sıcaklığının yüksek olabileceğini gösterir.
- **Na/K oranı:** Bu oranın yüksekliği, genellikle akifer sıcaklığının fazla olabileceğini işaret eder. Özellikle bu oran, 20/1-8/1 arasında anlamlıdır.

Bu oran ile hesaplanan akifer sıcaklığı, suyun geldiği başlangıç derinlik veya yatay uzaklığın sıcaklığını tanımlar. Yüzeydeki sıcak suyun kimyasal tahlillerine göre silis jeotermometresi ile hesaplanan akifer sıcaklık değeri, Na/K ile bulunandan küçük ise, akışkanın hazne kayadan yüzeye gelişi sırasında soğuk sular ile karışmış olabileceği vurgulanır.

- **Traverten Çökelmeleri:** Akifer sıcaklığının düşük olduğunu (100 °C civarında) gösterir. Ancak ender olarak, bikarbonatlı sular yeraltında soğuduktan sonra kireçtaşlarından geçmiş ise, hazne kaya sıcaklığı yüksek olabilir.
- **Cl/(HCO₃+CO₃):** Bu oran yüksek ise akifer sıcaklığı fazla olabilir.
- **Mg ve Mg/Ca Oranı:** Mg miktarı ve Mg/Ca oranı küçük ise akifer sıcaklığı yüksek olabilir.
- **Cl/SO₄ Oranı:** Bu oran yüksek ise akifer sıcaklığı yüksektir.
- **Cl/F Oranı:** Bu değer fazla ise akifer sıcaklığı da yüksek olabilir.
- **H₂/Diğer Gazlar (Buhar Dışında) Oranı:** Oran yüksek ise akifer sıcaklığı fazladır. Sıcaklığın düşmesi ile hidrojen, diğer gazlara oranla azalır.

Sayısal (Kantitatif) Kimyasal Jeotermometreler Değerlendirmeleri

Kantitatif kimyasal jeotermometrelerin kullanılmasında bazı varsayımlar göz önünde bulundurulur. Bunlardan bazıları şunlardır;

- Sıcak sulardaki kimyasal maddelerin oluşması için gerekli kimyasal tepkimeler, akifer-su arasında gerçekleşmektedir.
- Sıcaklık saptanmasında gerekli maddelerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi hazne kayada boldur.
- Akifer sıcaklığında kaya-su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.
- Akiferden yüzeye erişen sıcak suyun, soğuma sonucunda kimyasal yapısı değişmez veya yeni bir kimyasal denge gerçekleşmez.
- Akiferden gelen sıcak suların, soğuk yeraltı ve yüzey suları ile bir karışımı söz konusu değildir.

Bu varsayımların ilk üçü SiO₂ ve Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılır. Son iki varsayım tam olarak gerçeği yansıtmaz. Çünkü akiferden yüzeye doğru gelen sıcak suyun soğuması veya soğuk suların karışımı ile kimyasal yapısı değişebilir. Kantitatif kimyasal jeotermometreleri silis jeotermometresi (çözünürlüğe), katyon jeotermometreleri (iyon değişimine ve iyon etkinliğine bağlı) olmak üzere ikiye ayırabiliriz.

Silis Jeotermometreleri

Kuars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, akifer (hazne) sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler 150-225 °C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler (Tarcan, 2002). Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225 °C nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmaz (Tarcan, 2002). Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır. Silisin bu özelliğinden yola çıkılarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Silis jeotermometre eşitlikleri (S=ppm olarak SiO₂ derişimidir)

No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği	Sıcaklık Aralığı	Referans
1	Kuars	$t^{\circ}\text{C} = -42.2 + 0.28832S - 3.6686 \times 10^{-4} S^2 + 3.1665 \times 10^{-7} S^3 + 77.034 \log S$	25-900	Fournier ve Potter, 1982
2	Kuars (buhar kaybı yok)	$t^{\circ}\text{C} = (1309 / (5.19 - \log S)) - 273.15$	25-250	Fournier, 1977
3	Kuars (100°C de Maks.buhar kaybı)	$t^{\circ}\text{C} = (1522 / (5.75 - \log S)) - 273.15$	25-250	Fournier, 1977
4	Kuars	$t^{\circ}\text{C} = -55.3 + 0.36559S - 5.3954 \times 10^{-4} S^2 + 5.5132 \times 10^{-7} S^3 + 74.360 \log S$	0-350	D'Amore ve Arnórsson, 2000
5	Kalsedon (buhar kaybı yok)	$t^{\circ}\text{C} = (1032 / (4.69 - \log S)) - 273.15$	0-250	Fournier, 1977
6	Kalsedon (buhar kaybı yok)	$t^{\circ}\text{C} = (1112 / (4.91 - \log S)) - 273.15$	25-180	Arnórsson ve diğ., 1983
7	α -kristobalit	$t^{\circ}\text{C} = (1000 / (4.78 - \log S)) - 273.15$		Fournier, 1977
8	β -kristobalit	$t^{\circ}\text{C} = (781 / (4.51 - \log S)) - 273.15$	25-250	Fournier, 1977
9	Amorf silis	$t^{\circ}\text{C} = (731 / (4.52 - \log S)) - 273.15$	25-250	Fournier, 1977
10	Amorf silis	$t^{\circ}\text{C} = -121.6 + 0.2694S - 1.8101 \times 10^{-4} S^2 + 7.5221 \times 10^{-8} S^3 + 55.114 \log S$	0-350	D'Amore ve Arnórsson, 2000

Bu çalışma kapsamında Ağustos 2006 ve Mart 2007 döneminde yapılan kimyasal analiz sonuçlarında SiO₂ derişimleri elde edilmiştir. Bu derişimlere göre hesaplanan silis jeotermometresi değerleri Tablo 4.8 da verilmiştir.

Tablo 4.8. Silis jeotermometreleri ile hazırlanan rezervuar sıcaklıkları

Tarih	Lokasyon	Jeotermometre Eşitliği (°C)										
		SiO ₂ ppm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01.08.2006	Kaynak	27.63	*	*	80	*	*	*	*	*	*	*
	Sondaj	27.65	77	76	80	*	*	*	*	*	*	*
	Uyuz	27.62	77	76	80	*	*	*	*	*	*	*
29.03.2007	Kaynak	55.2	107	106	107	93	*	*	*	*	*	*
	Sondaj	52.74	105	104	105	91	75	76	*	*	*	*
	Uyuz	55.26	107	107	107	93	77	78	*	*	*	*

* kaynak çıkış sıcaklığından daha düşük yada eşit

Silis jeotermometresi ile yapılan rezervuar sıcaklık değerleri sıcak su kaynaklarının yeryüzüne çıkış sıcaklıklarına çok yakın değerler olduğu için güvenilir bir sonuç vermemiştir.

Kasyon Jeotermometreleri

Kasyon jeotermometreleri, suda fazla miktarda Ca⁺⁺ iyonu bulunuyorsa, akifer (hazne) sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, log($\sqrt{Ca / Na}$) değerinin 0,5 ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350 °C sıcaklıktaki bir akiferden gelen sularda daha iyi sonuçlar vermektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen bir çok kimyasal jeotermometre bağıntıları Tablo 4.9 de verilmiştir.

Tablo 4.9. Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler ppm cinsindedir)

No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği (t= °C)	Sıcaklık Aralığı (°C)	Referans
1	Na-K	$t^{\circ}\text{C} = (856 / (0.857 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	100-275	Truesdell, 1976
2	Na-K	$t^{\circ}\text{C} = (833 / (0.780 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$		Tonani, 1980
3	Na-K	$t^{\circ}\text{C} = (933 / (0.993 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	25 -250	Arnorrsson ve diğ., 1983
4	Na-K	$t^{\circ}\text{C} = (1319 / (1.699 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	250-350	Arnorrsson ve diğ., 1983
5	Na-K	$t^{\circ}\text{C} = (1217 / (1.483 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$		Fournier, 1979
6	Na-K	$t^{\circ}\text{C} = (1178 / (1.470 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$		Nieva ve Nieva, 1987
7	Na-K	$t^{\circ}\text{C} = (1390 / (1.750 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$		Giggenbach, 1988
8	Na-K	$t^{\circ}\text{C} = 733.6 - 770.551Y + 378.189Y^2 - 95.753Y^3 + 9.544Y^4$	0-350	D'Amore ve Arnorrsson, 2000
9	K-Mg ^b	$t^{\circ}\text{C} = (2330 / (7.35 - \log(\text{K}^2/\text{Mg}))) - 273.15$		Fournier, 1991
10	K-Mg ^c	$t^{\circ}\text{C} = (1077 / (4.033 + \log(\text{K}^2/\text{Mg}))) - 273.15$		Fournier, 1991
11	K-Mg	$t^{\circ}\text{C} = (4410 / (14 - \log(\text{K}^2/\text{Mg}))) - 273.15$		Giggenbach, 1988
12	Li-Mg	$t^{\circ}\text{C} = (2200 / (5.47 - \log(\text{Li}/\text{Mg}^{0.5}))) - 273.15$		Kharaka ve Mariner, 1989
13	Na-K-Ca ^d	$t^{\circ}\text{C} = (1647 / (\log(\text{Na}/\text{K}) + \beta[\log(\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}}) + 2.06] + 2.47)) - 273.15$		Fournier ve Truesdell, 1973
14	K-Ca	$t^{\circ}\text{C} = (1930 / (3.861 - \log(\text{K}/\sqrt{\text{Ca}}))) - 273.15$		Tonani, 1980
15	Na-Li	$t^{\circ}\text{C} = (1590 / (0.779 + \log(\text{Na}/\text{Li}))) - 273.15$		Kharaka ve diğ., 1982

^aY= log([Na]/[K]) ; ^b log(K²/Mg)>1.25 ; ^c log(K²/Mg)<1.25;

^d t°C>100 °C ise β=1/3, t°C<100 °C ise β=4/3, t°C<100 °C ve [log (√Ca/Na)+2.06] < 0 ise β=1/3

Bu eşitliklere göre hesaplanan katyon jeotermometre değerleri Tablo 4.10 de verilmiştir.

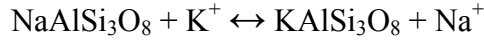
Tablo 4.10. Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C)

Tarih	Eşitlik	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14	15
	Lokasyon													$\beta=1/3$	$\beta=4/3$		
16.10.2005	Kaynak	*	*	*	138	133	122	153	121	213	*	112	*	-	90	245	108
15.02.2006		100	103	111	148	144	132	163	130	219	*	114	*	-	*	258	107
01.08.2006		*	*	92	131	126	115	146	115	197	*	107	*	-	*	241	102
16.10.2005	Sondaj	*	*	85	126	120	109	141	109	165	*	95	82	-	81	229	113
15.02.2006		83	85	94	133	129	117	149	116	152	*	91	*	-	86	239	112
01.08.2006		*	*	*	118	113	102	133	102	144	*	87	*	-	*	224	112
16.10.2005	Uyuz	85	87	96	135	130	119	150	118	126	*	80	*	-	81	232	109
15.02.2006		97	100	108	145	142	130	161	128	125	*	80	*	-	86	241	110
01.08.2006		83	84	94	133	128	117	148	116	123	*	*	*	-	81	232	103

* Kaynak çıkış sıcaklığına çok yakın yada daha düşük

Na-K Jeotermometreleri

Yaygın olarak kullanılan Na-K katyon jeotermometrelerinin temeli, tepkime denge sabitine bağlı olan iyon değişimidir. Alkali feldispatlarda Na^+ ve K^+ iyonlarının değişimi buna tipik bir örnektir.



Alkali feldispatlar ile sulu çözelti arasındaki bu iyon değişimi 300 °C den daha düşük sıcaklıklarda oldukça yavaştır. Bu nedenle bu jeotermometrelerin uzun süreli geçiş zamanına ait yeraltı suları ile beslenen jeotermal akiferlerde kullanımı daha uygundur. Sıcak su kaynaklarında ve baz değişiminin feldispatlar yerine kil mineralleri ile kontrol edildiği sedimanter havzalarda güvenilir sonuçlar türetmemektedir.

Bu dengeye dayalı olarak geliştirilen Na-K jeotermometreleri (Tablo 4.9, 1-8 nolu eşitlikler) Kaynak için 100-163 °C aralığında rezervuar sıcaklığı vermişlerdir. Aynı jeotermometreler Sondaj için 83-149 °C, Uyuz kaynağı için 83-161 °C aralığında bir rezervuar sıcaklığı vermektedirler (Tablo 4.10).

Na-K-Ca jeotermometresi

Fournier and Truesdell (1973) tarafından geliştirilen bu jeotermometre eşitliği feldispatlar, kalsit veya Ca-içeren mineraller ile jeotermal akışkanlar arasındaki dengeye dayalıdır. Kuvars ve Na-K jeotermometrelerine göre en önemli özelliği düşük sıcaklıklarda veya dengeye ulaşmamış sularda yüksek veya hatalı sonuçlar vermemesidir.

Jeotermometre eşitliğinde: $\log(\text{Ca}^{0.5}/\text{Na})+2.06 < 0$ ise $\beta=1/3$; $\log(\text{Ca}^{0.5}/\text{Na})+2.06 > 0$ ise $\beta=4/3$ alınarak hesaplanır (Tablo 4.9; 13 nolu eşitlik).

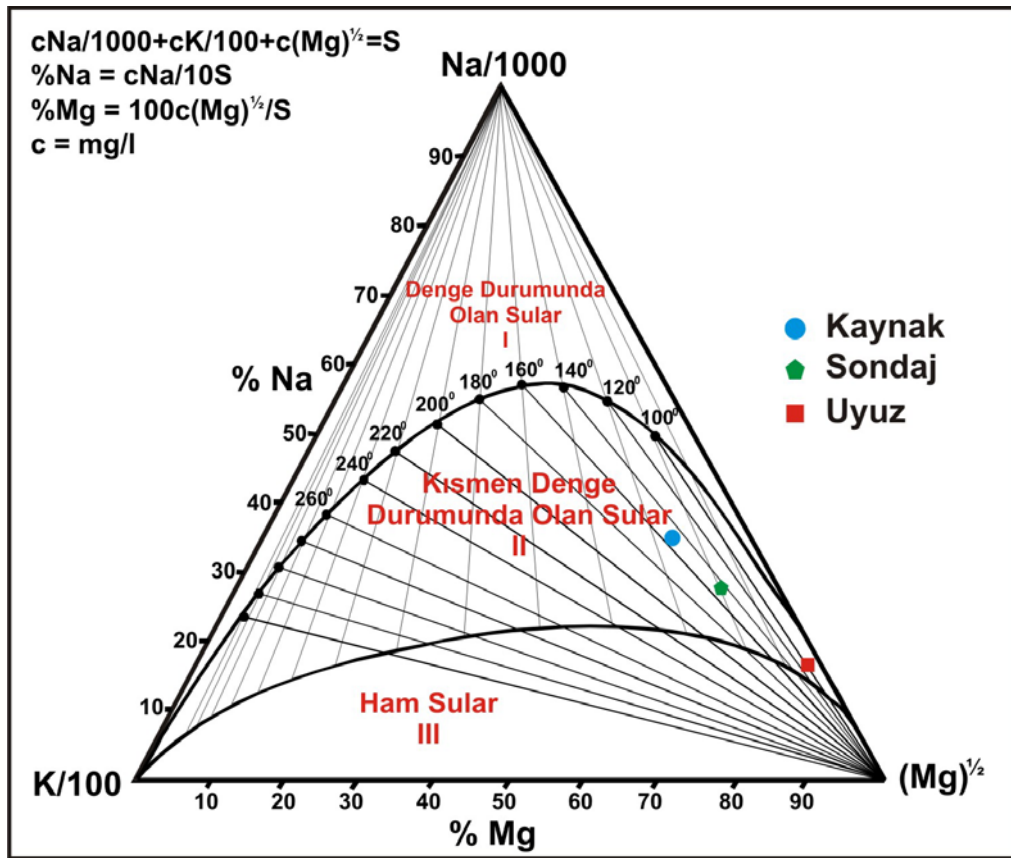
Bu eşitliğe göre tüm sıcak su kaynakları için $\beta=4/3$ alınarak hesaplanan rezervuar sıcaklıklarında Kaynak için $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, Sondaj için $81-86\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve Uyuz için $81-86\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında değerler hesaplanmıştır (Tablo 4.10).

Na-K-Mg Jeotermometresi

Na-K-Mg Jeotermometre eşitlikleri (Tablo 4.9, 7 ve 11 nolu eşitlikler) jeotermal suların akifer sıcaklıklarının yanı sıra suların ilişkide olduğu kayaçlar mineraller ile denge durumlarının belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir (Giggenbach, 1988). Na-K-Mg jeotermometresi ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya uygulanıp/uygulanamayacağını veya güvenilir sonuçlar verip/vermeyeceği kontrol edilebilmektedir. Giggenbach (1988) a göre “ham (denge durumunda olmayan) sular” seyreltilmiş jeotermal sularda K-Na arasındaki denge sıcaklığının kullanılarak değerlendirme yapılmasının uygun olmadığını, “denge durumunda olan sular” hattında ve üzerinde yer alan jeotermal suların katyon jeotermometrelerinin daha doğru sonuç vereceğini belirtmiştir.

Kaynak için Na-K jeotermometresi (Tablo 4.9, 7 nolu eşitlik) ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı $146-163\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında K-Mg jeotermometresi (Tablo 4.9, 11 nolu eşitlik) ile $107-114\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında hesaplanmıştır. Sondaj için Na-K jeotermometresi (Tablo 4.9, 7 nolu eşitlik) ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı $133-$

149 °C aralığında K-Mg jeotermometresi (Tablo 4.9, 11 no lu eşitlik) ile 87-95 °C aralığında hesaplanmıştır. Uyuz için Na-K jeotermometresi (Tablo 4.9, 7 nolu eşitlik) ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı 148-161 °C aralığında K-Mg jeotermometresi (Tablo 4.9, 11 nolu eşitlik) ile 79-80 °C aralığında hesaplanmıştır. Giggenbach üçgeninde (Şekil 4.13) Kaynak, Sondaj ve Uyuz sıcak su kaynaklarının “kısmen denge durumunda olan sular” bölümünde yer alması nedeniyle bu kaynaklar için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıklarının tümü güvenilir olarak kabul edilmemektedirler.



Şekil 4.13. Çalışma sahasındaki sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg üçgeninde denge durumları (Giggenbach, 1988)

Diğer Katyon Jeotermometreler

Na-K ve Na-K-Ca jeotermometreleri dışında K-Mg, Na-Ca, Na-Li ve Li-Mg katyon jeotermometreleri farklı araştırmacılar tarafından önerilmiştir.

Tonani (1980) tarafından önerilen $Na/Ca^{0.5}$ ve $K/Ca^{0.5}$ jeotermometreleri CO_2 kısmı basıncından etkilenmesi nedeniyle jeotermal araştırmalarda yaygın olarak kullanılmamaktadırlar. Sıcak suyun yükselmesi sırasında basıncın düşmesi, kalsiyum karbonatların çökmesine neden olmakta, dolayısıyla, bu jeotermometrelerin oldukça yüksek, gerçek dışı rezervuar sıcaklıkları üretmelerine neden olmaktadır. $K/Ca^{0.5}$ jeotermometresi (Tablo 4.9, 14 nolu eşitlik) ile Kaynak için 241-258 °C, Sondaj için 224-239 °C ve Uyuz için 232-241 °C aralığında rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır. $Na/Ca^{0.5}$ jeotermometresi de daha yüksek sonuçlar verdiği için bu iki jeotermometre de değerlendirme dışında tutulmuştur.

Foulliac ve Michard (1981) kil ve zeolit mineralleri arasında katyon değişimine dayalı Na/Li jeotermometreleri önermişlerdir. Daha sonra Kharaka ve diğ. (1982) benzer bir jeotermometre eşitliğini geliştirmişlerdir. Ancak bu jeotermometreler su içerisindeki toplam çözünmüş madde miktarına ve kayaç türüne bağımlıdır. Fournier (1991) in önerdiği K-Mg jeotermometresine (Tablo 4.9, 9-10 nolu eşitlikler) göre Kaynak için 197-219 °C, Sondaj için ise 144-165 °C ve Uyuz için 123-126 °C arasında rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır.

Kharaka and Mariner (1989), Li/Mg oranına dayalı bir jeotermometre eşitliği önermişlerdir (Tablo 4.9, 12 nolu eşitlik). Bu eşitlik ile Kaynağı için 84-89 °C, Sondaj için 74-82 °C ve Uyuz için 58-62 °C arasında rezervuar sıcaklığı hesaplanmıştır. Ancak bu jeotermometre eşitliği ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı genel olarak sıcak su kaynaklarının yüzey sıcaklıklarına çok yakın değerler vermektedir.

Sıcak Suların Mineral Doymuluk Özelliklerinin İncelenmesi

Jeotermal sistemlerde rezervuar sıcaklıklarının tahmin edilmesinde Reed and Spycher (1984) tarafından sıcaklıkla mineral doymuluklarının değişmesi esasına dayalı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem kimyasal analiz sonuçlarından hareketle, belirli bir mineral grubu için farklı sıcaklık değerleri için tepkime katsayılarının (Q) hesaplanması ve su-mineraller arasındaki denge sıcaklığının belirlenmesine dayalıdır.

Yöntemde, su-mineral grubu arasında sıcaklık-mineral denge diyagramı oluşturulur. Seçilecek mineral grubu jeotermal sistemde akiferi oluşturabilecek litolojik birimlerin hidrotermal minerallerine bağlıdır. Bu minerallere ek olarak kuvars veya kalsedon, alkali feldispatlar (albit ve mikroklin), kalsit ve bazı durumlarda anhidrit, florit ve/veya zeolitler, simektit, klorit, vairakit, pirenhit, epidot ve mika eklenebilir (D'Amore and Arnorsson, 2000).

Bu yöntemle aynı zamanda inceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarının su kayaç etkileşimi sonucunda ortaya çıkan mineraller ile akifer litolojileri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Mineral doymuluk kuramı ve mineral denge yaklaşımı yöntemi aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Yeraltı suları etkileşimde buldukları kayaç minerallerini su-mineral dengesi oluşana kadar çözmeye devam etmektedir. Su-mineral dengesi kurulduğunda yeraltı suyu o minerale doymun hale gelmektedir. Su-mineral dengesi sağlandıktan sonra yeraltı suyunda o minerali meydana getiren iyon veya bileşik derişimlerinin artması, yeraltı suyunun o minerale aşırı doymun hale gelmesine neden olmakta ve mineral çökelmektedir. Su-mineral denge durumu kısaca doymunluk indisi (DI) her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doymunluk indisi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır.

- $D\acute{I}=0$ ise su ile ilgili mineral dengededir
- $D\acute{I}>0$ ise su ile ilgili minerallerle aşırı doygundur (mineral çökeltici özelliğindedir)
- $D\acute{I}<0$ ise su ile ilgili minerallerle doygun değildir (mineral çözücü özelliğindedir)

Mineral denge yaklaşımı yöntemi suyun kimyasal analizi sonucunda yukarıda belirtildiği gibi her bir sıcaklık değeri ve çeşitli mineraller için $D\acute{I}$ hesaplanması ve mineral denge diyagramlarının çizilerek yorumlanması ilişkisine dayanmaktadır. Bu sıcaklık denge diyagramında mineral grubu denge doğrusunu ($D\acute{I}=0$ doğrusunu) belirli bir sıcaklık değeri civarında kesiyorsa, bu doğruların kesişim yerine karşılık gelen sıcaklık değeri en güvenilir akifer (hazne) sıcaklığını vermektedir. Mineral grubunun sıcaklığa bağlı doygunluk indisi eğrileri soğuk yeraltı suyu ile seyrelme veya CO_2 kaybı nedeniyle denge doğrusundan farklı bir bölümde de kesişebilmektedir.

Minerallerin doygunluk indisi hesaplamaları için PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sahasındaki sıcak su kaynakları için üç örnekleme dönemi için hazırlanan “Sıcaklık-Mineral Denge” tabloları Tablo 4.11, 4.12 ve 4.13 de ve bu tablolardan oluşturulan diyagramlar; Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16 te verilmiştir. Bu diyagramlar için inceleme alanındaki jeotermal akiferlerde çökel ürünü olarak en çok rastlanabilecek mineraller seçilmiş her bir mineral için çeşitli sıcaklıklarda ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Doygunluk indisi hesaplamalarında örnekleme-analiz sürecinde meydana gelebilecek CO_2 kaybı düşünülerek arazide ölçülen pH değerleri esas alınmıştır. Sıcaklığa bağlı pH değişimi ise her sıcaklık değeri için PhreeqC yazılımı tarafından hesaplanmıştır.

Tablo 4.11. Kaynak için hesaplanan “Sıcaklık-Mineral Denge” değerleri

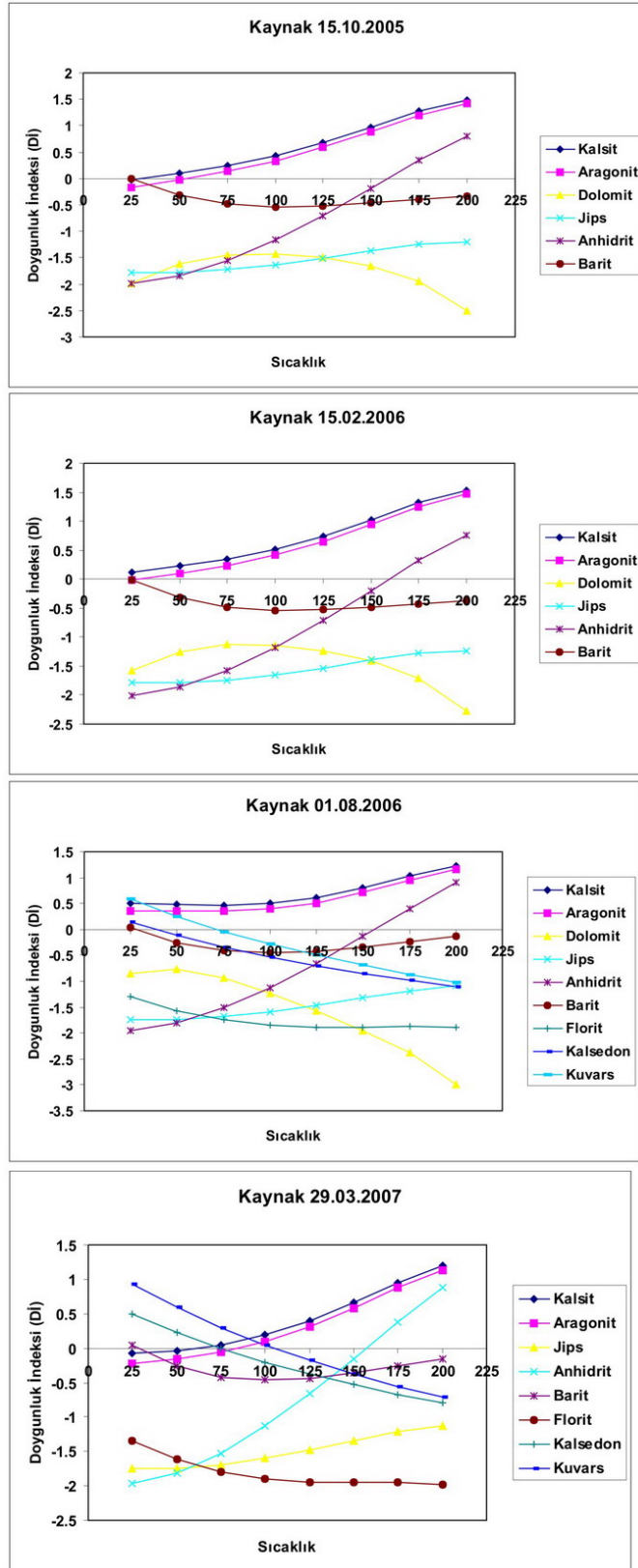
		SICAKLIK							
Tarih	Mineral	25	50	75	100	125	150	175	200
15.10.2005	Kalsit	-0.0233	0.1005	0.2496	0.4358	0.6757	0.9657	1.2689	1.4843
	Aragonit	-0.1671	-0.0266	0.1366	0.3351	0.5859	0.8853	1.1969	1.4199
	Dolomit	-1.9909	-1.6184	-1.4457	-1.4205	-1.4901	-1.6475	-1.9434	-2.5083
	Jips	-1.7777	-1.7766	-1.7239	-1.6343	-1.5152	-1.3775	-1.2486	-1.2079
	Anhidrit	-1.9976	-1.8445	-1.5536	-1.1641	-0.7008	-0.1874	0.3393	0.7932
	Barit	-0.0078	-0.3195	-0.4792	-0.5322	-0.5156	-0.4642	-0.4041	-0.3399
15.02.2006	Kalsit	0.1237	0.2214	0.3447	0.5123	0.7415	1.026	1.3254	1.5327
	Aragonit	-0.02	0.0943	0.2317	0.4117	0.6516	0.9457	1.2534	1.4683
	Dolomit	-1.5749	-1.2533	-1.1306	-1.1415	-1.2327	-1.4022	-1.707	-2.2831
	Jips	-1.7926	-1.7922	-1.7405	-1.6517	-1.5329	-1.3953	-1.2687	-1.2385
	Anhidrit	-2.0125	-1.8602	-1.5702	-1.1814	-0.7184	-0.2052	0.3192	0.7626
	Barit	-0.0129	-0.3252	-0.486	-0.5412	-0.5282	-0.4826	-0.4301	-0.3747
01.08.2006	Kalsit	0.5003	0.478	0.4636	0.4942	0.603	0.7911	1.028	1.2341
	Aragonit	0.3565	0.3509	0.3506	0.3936	0.5131	0.7108	0.9561	1.1697
	Dolomit	-0.8423	-0.7688	-0.9324	-1.2317	-1.5776	-1.9475	-2.3823	-2.9958
	Jips	-1.7381	-1.7392	-1.6866	-1.5928	-1.4674	-1.3232	-1.1801	-1.0873
	Anhidrit	-1.958	-1.8072	-1.5163	-1.1226	-0.653	-0.1331	0.4078	0.9138
	Barit	0.0448	-0.2633	-0.4164	-0.4584	-0.4231	-0.3417	-0.24	-0.1294
	Florit	-1.2985	-1.5655	-1.7388	-1.8391	-1.882	-1.8848	-1.8709	-1.8921
	Kalsedon	0.1529	-0.1142	-0.3362	-0.5267	-0.6951	-0.846	-0.9818	-1.1038
	Kuvars	0.5819	0.243	-0.0406	-0.2844	-0.4994	-0.6914	-0.8637	-1.0184
29.03.2007	Kalsit	-0.0739	-0.2176	-1.7463	-1.9662	0.0438	-1.3534	0.5022	0.9313
	Aragonit	-0.0335	-0.1606	-1.7458	-1.8137	-0.2649	-1.6187	0.2323	0.5895
	Jips	0.0516	-0.0614	-1.6927	-1.5224	-0.4199	-1.7916	0.0011	0.2968
	Anhidrit	0.1936	0.0929	-1.6015	-1.1312	-0.4647	-1.8945	-0.1995	0.0428
	Barit	0.4006	0.3107	-1.4808	-0.6664	-0.4334	-1.9423	-0.3759	-0.1802
	Florit	0.6642	0.5838	-1.3415	-0.1514	-0.358	-1.9501	-0.5324	-0.3778
	Kalsedon	0.954	0.8821	-1.2035	0.3844	-0.2647	-1.9415	-0.6721	-0.554
	Kuvars	1.1904	1.126	-1.1222	0.8789	-0.1642	-1.9741	-0.797	-0.7115

Tablo 4.12. Sondaj için hesaplanan “Sıcaklık-Mineral Denge” değerleri

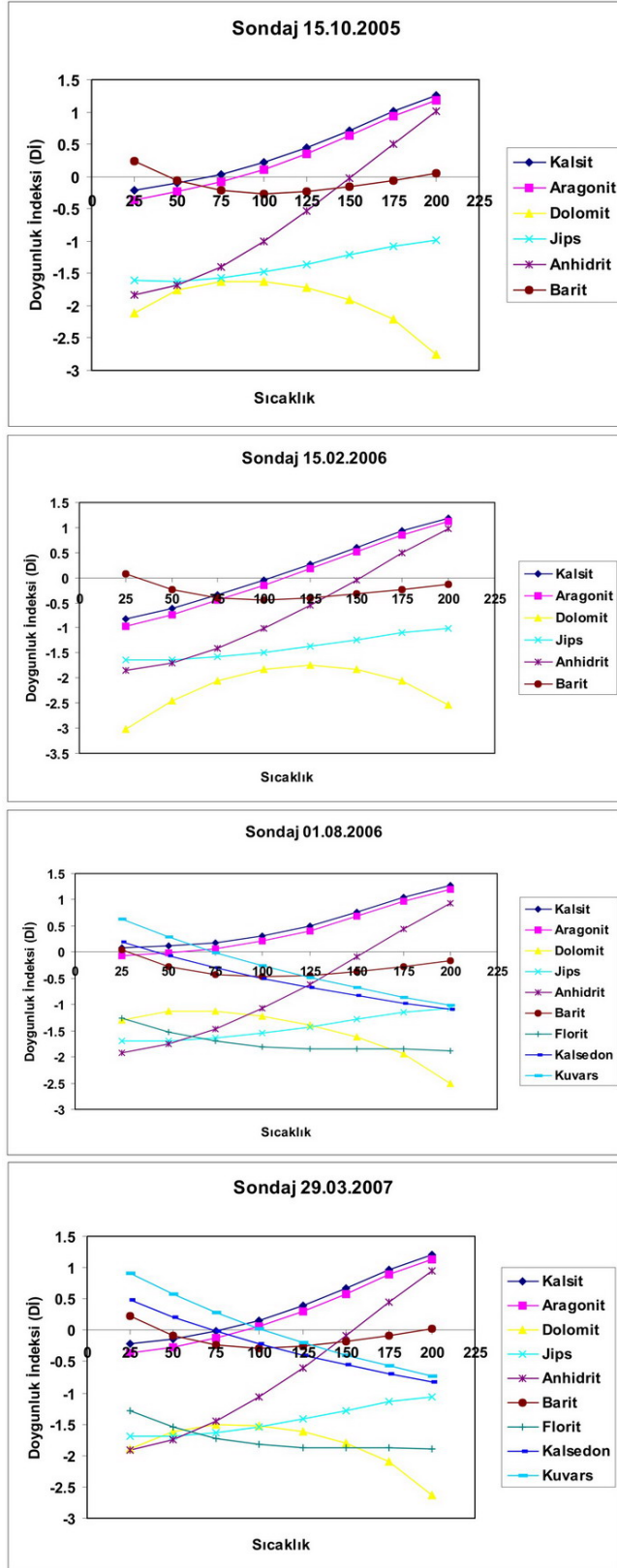
		SICAKLIK							
Tarih	Mineral	25	50	75	100	125	150	175	200
15.10.2005	Kalsit	-0.2206	-0.1036	0.0367	0.2131	0.4411	0.7168	1.0124	1.2492
	Aragonit	-0.3644	-0.2307	-0.0763	0.1125	0.3512	0.6364	0.9404	1.1848
	Dolomit	-2.1105	-1.763	-1.6201	-1.6251	-1.7249	-1.9093	-2.2156	-2.7547
	Jips	-1.6161	-1.617	-1.565	-1.4749	-1.3553	-1.2167	-1.0778	-0.9894
	Anhidrit	-1.836	-1.6849	-1.3946	-1.0046	-0.5409	-0.0266	0.5101	1.0117
	Barit	0.2417	-0.0668	-0.2213	-0.265	-0.2317	-0.1528	-0.0542	0.0544
15.02.2006	Kalsit	-0.8261	-0.607	-0.3368	-0.042	0.2711	0.6024	0.9335	1.1923
	Aragonit	-0.9699	-0.7342	-0.4497	-0.1427	0.1812	0.522	0.8616	1.1279
	Dolomit	-3.0101	-2.4596	-2.0576	-1.8255	-1.7521	-1.8206	-2.0496	-2.537
	Jips	-1.6328	-1.6329	-1.5801	-1.49	-1.3717	-1.2349	-1.0982	-1.0137
	Anhidrit	-1.8527	-1.7009	-1.4098	-1.0198	-0.5572	-0.0449	0.4898	0.9874
	Barit	0.068	-0.2405	-0.3952	-0.4395	-0.4073	-0.3301	-0.2341	-0.1291
01.08.2006	Kalsit	0.082	0.1139	0.1809	0.3061	0.5022	0.759	1.043	1.2708
	Aragonit	-0.0618	-0.0133	0.0679	0.2054	0.4123	0.6786	0.9711	1.2064
	Dolomit	-1.3038	-1.1223	-1.1218	-1.2265	-1.3893	-1.6127	-1.9446	-2.5022
	Jips	-1.6932	-1.6929	-1.6398	-1.5485	-1.4275	-1.2877	-1.1494	-1.0672
	Anhidrit	-1.9131	-1.7608	-1.4695	-1.0783	-0.6131	-0.0976	0.4385	0.9339
	Barit	0.0375	-0.2716	-0.4268	-0.4719	-0.4411	-0.3662	-0.2734	-0.1718
	Florit	-1.2585	-1.5239	-1.6968	-1.7997	-1.8473	-1.8549	-1.8463	-1.8786
	Kalsedon	0.1983	-0.0717	-0.3024	-0.5025	-0.6785	-0.8348	-0.9743	-1.0989
	Kuvars	0.6274	0.2855	-0.0068	-0.2602	-0.4828	-0.6802	-0.8562	-1.0134
29.03.2007	Kalsit	-0.2167	-0.1368	-0.0128	0.1605	0.3893	0.6668	0.9647	1.2042
	Aragonit	-0.3605	-0.264	-0.1257	0.0599	0.2994	0.5865	0.8927	1.1397
	Dolomit	-1.8974	-1.622	-1.509	-1.5182	-1.6144	-1.7935	-2.0932	-2.6239
	Jips	-1.6832	-1.6828	-1.6296	-1.5387	-1.4185	-1.2797	-1.1415	-1.0563
	Anhidrit	-1.9031	-1.7507	-1.4593	-1.0684	-0.6041	-0.0896	0.4464	0.9448
	Barit	0.2237	-0.0851	-0.24	-0.2845	-0.2525	-0.1756	-0.0797	0.0255
	Florit	-1.2812	-1.5465	-1.7193	-1.8225	-1.871	-1.8796	-1.871	-1.9003
	Kalsedon	0.4874	0.2172	-0.0147	-0.2161	-0.393	-0.55	-0.6899	-0.8149
	Kuvars	0.9165	0.5744	0.281	0.0263	-0.1973	-0.3953	-0.5718	-0.7294

Tablo 4.13. Uyuz için hesaplanan “Sıcaklık-Mineral Denge” değerleri

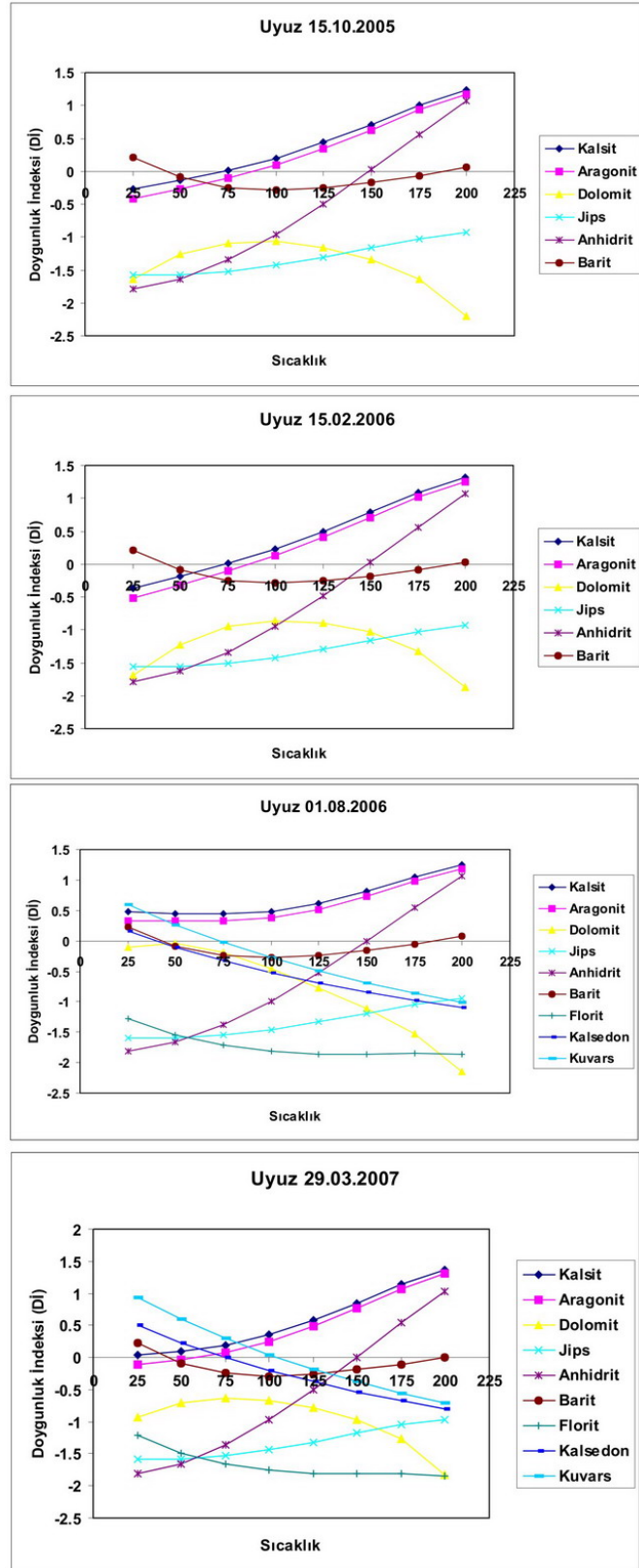
		SICAKLIK							
Tarih	Mineral	25	50	75	100	125	150	175	200
15.10.2005	Kalsit	-0.2727	-0.14	0.0146	0.2013	0.4352	0.7126	1.005	1.2336
	Aragonit	-0.4165	-0.2672	-0.0983	0.1007	0.3453	0.6322	0.9331	1.1692
	Dolomit	-1.645	-1.2628	-1.088	-1.0698	-1.1556	-1.3353	-1.6482	-2.2106
	Jips	-1.5735	-1.5727	-1.5191	-1.4275	-1.3066	-1.1667	-1.025	-0.9255
	Anhidrit	-1.7934	-1.6407	-1.3488	-0.9572	-0.4922	0.0233	0.5629	1.0756
	Barit	0.2167	-0.0921	-0.2466	-0.2898	-0.2547	-0.1721	-0.0664	0.0552
15.02.2006	Kalsit	-0.3664	-0.1924	0.0085	0.2322	0.4918	0.7872	1.0908	1.3202
	Aragonit	-0.5102	-0.3195	-0.1045	0.1315	0.4019	0.7068	1.0188	1.2558
	Dolomit	-1.6837	-1.2191	-0.9517	-0.859	-0.8924	-1.0353	-1.3245	-1.8772
	Jips	-1.563	-1.5626	-1.5096	-1.419	-1.2992	-1.1607	-1.022	-0.9338
	Anhidrit	-1.7829	-1.6306	-1.3393	-0.9487	-0.4848	0.0294	0.5659	1.0673
	Barit	0.219	-0.0904	-0.2459	-0.291	-0.2596	-0.1833	-0.0871	0.0231
01.08.2006	Kalsit	0.4718	0.4496	0.4402	0.4822	0.6059	0.8067	1.0499	1.2537
	Aragonit	0.328	0.3225	0.3272	0.3816	0.516	0.7263	0.9779	1.1893
	Dolomit	-0.1068	-0.0342	-0.1886	-0.4638	-0.7768	-1.1168	-1.5349	-2.1538
	Jips	-1.6019	-1.6024	-1.5493	-1.4561	-1.3323	-1.1896	-1.0456	-0.9429
	Anhidrit	-1.8218	-1.6704	-1.379	-0.9858	-0.5179	0.0005	0.5423	1.0582
	Barit	0.2223	-0.0859	-0.2392	-0.2808	-0.244	-0.159	-0.0503	0.0734
	Florit	-1.2716	-1.5377	-1.7104	-1.8113	-1.8561	-1.861	-1.8471	-1.8595
	Kalsedon	0.1679	-0.0994	-0.3236	-0.517	-0.6879	-0.8405	-0.9771	-1.0992
	Kuvars	0.5969	0.2578	-0.028	-0.2747	-0.4922	-0.6859	-0.859	-1.0138
29.03.2007	Kalsit	0.0336	0.0918	0.195	0.3534	0.5746	0.8488	1.1416	1.3651
	Aragonit	-0.1102	-0.0354	0.082	0.2528	0.4847	0.7684	1.0697	1.3007
	Dolomit	-0.9355	-0.7022	-0.6297	-0.6676	-0.7789	-0.9652	-1.2758	-1.8354
	Jips	-1.5847	-1.5849	-1.5323	-1.4419	-1.322	-1.1835	-1.0467	-0.9669
	Anhidrit	-1.8046	-1.6528	-1.362	-0.9716	-0.5076	0.0066	0.5413	1.0342
	Barit	0.2186	-0.091	-0.247	-0.2932	-0.2643	-0.1923	-0.1027	-0.0012
	Florit	-1.2174	-1.483	-1.6563	-1.76	-1.809	-1.8182	-1.8118	-1.8475
	Kalsedon	0.5054	0.2353	0.0037	-0.1974	-0.3743	-0.5313	-0.6713	-0.7961
	Kuvars	0.9344	0.5925	0.2994	0.0449	-0.1786	-0.3767	-0.5532	-0.7107



Şekil 4.14. Kaynak için hazırlanan “Sıcaklık-Mineral Denge” diyagramları



Şekil 4.15. Sondaj için hazırlanan “Sıcaklık-Mineral Denge” diyagramları



Şekil 4.16. Uyuz için hazırlanan “Sıcaklık-Mineral Denge” diyagramları

İzotoplar

İzotoplar, bir iyonin atom numarası aynı-atomik kütlesi farklı olan atomlarıdır. Atomlar, (+) yüklü protonları ve yüksüz nötronları içeren bir çekirdek ile onu çevreleyen ve (-) yüklü elektronları içeren yörüngelerden oluşmaktadır. Çekirdekdeki protonların sayısı Atom Numarası (Z) olarak bilinmekte ve bu sayı, nötr bir atomda, yörüngelerdeki elektron sayısına eşit olmaktadır. Proton sayısı (Z) ile nötron sayısının (N) toplamı, Atomik Kütle (A) olarak bilinmektedir ($A=Z+N$). İzotoplar, Radyoaktif İzotoplar ve Duraylı (Kararlı) İzotoplar olarak kabaca iki gruba ayrılmaktadır (Güleç ve Mutlu, 2002).

Jeotermal arama, geliştirme ve izleme çalışmalarında en çok duraylı izotoplar kullanılır. Akışkan kökenlerine ilişkin olarak hidrojeolojik koşulları ve akışkan özelliğine etkiyen fiziko-kimyasal süreçleri irdelemede en çok kullanılan hidrojen (Döteryum- ^2H) ve oksijen (Oksijen- ^{18}O) iyonlerinin duraylı izotoplardır. Beslenme alanlarının ve akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığının belirlenmesinde kullanılırken trityum (^3H) ve karbon-14 (^{14}C) gibi radyoaktif izotoplar ise jeotermal akışkanın yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmada Ekim 2005 ve Şubat 2006 dönemlerinde alınan su numulerinden Döteryum (^2H), Oksijen-18 (^{18}O) ve Trityum (^3H) analizleri yapılmıştır (Tablo 4.14).

Tablo 4.14. Çalışma sahasındaki sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerine ait $\delta^{18}\text{O}$, δD , Cl (ppm), T (^3H), EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ve T (^0C) analiz sonuçları

Tarih		16.10.2005			15.02.2006		
Lokasyon		Kaynak	Sondaj	Uyuz	Kaynak	Sondaj	Uyuz
δD	(‰ SMOW)	-46.06	-48.58	-48.22	-52.28	-50.06	-51.02
^{18}O	(‰ SMOW)	-8.59	-8.49	-8.49	-8.33	-8.45	-8.33
T (TU)	(‰ SMOW)	0.32	-0.07	0.95	-0.19	-0.02	0.19
Cl	(ppm)	13	14	13	15	15	15
EC	($\mu\text{S}/\text{cm}$)	948	965	959	968	970	1005
T	(^0C)	76.7	54.9	46.8	75.5	51	38.8

Duraylı İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi

Jeotermal arama, geliştirme ve izleme çalışmalarında, akışkan kökenlerine ilişkin olarak, hidrolojik koşulları ve akışkan özelliğine etkiyen fiziko-kimyasal süreçleri irdelemede en çok kullanılan izotoplar, hidrojen ve oksijen iyonlarının duraylı izotoplarıdır.

Hidrojen iyonunun doğada 2 adet duraylı (^1H =Hidrojen ve ^2H =D=Döteryum) ve 1 adet radyoaktif (^3H =Trityum) izotopu mevcuttur. Bu izotoplardan, trityum radyoaktif izotopunun yarı-ömrü 12.43 yıldır. Oksijen iyonunun doğal olarak bulunan duraylı izotopları ise ^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O izotoplarıdır. Söz konusu izotopların doğadaki derişim düzeyleri, toplam iyon derişiminin yüzdesi olarak Tablo 4.15 de gösterilmektedir.

Tablo 4.15. Jeotermal çalışmalarında yaygın olarak kullanılan izotopların doğadaki (göreceli) derişim düzeyleri (Faure, 1986; Gerardo-Abaya ve diğ., 2000)

İzotop	Derişim (% toplam iyon derişimi)
^1H	99.9852
$^2\text{H} = \text{D}$	0.0148
^3H	10^{-15} - 10^{-12}
^{16}O	99.76
^{17}O	0.04
^{18}O	0.20

Yeraltı suyu, jeotermal akışkan, kayaç veya mineral gibi jeolojik malzemelerde yürütülen hidrojen ve oksijen izotop analizleri, D/H ve diğ er oksijen izotoplarına oranla ^{17}O izotopunun doğadaki derişiminin çok küçük olması nedeniyle $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ oranlarının ölçümünü hedef almaktadır.

Jeokimyasal uygulamalarda, jeotermal akışkan örneklerinin duraylı oksijen- ve hidrojen-izotop bileşimleri, referans standart bileşimlerinden olan sapmalar

şeklinde, delta parametresi ile ifade edilmektedir. Referans olarak kullanılan standart ise Standart Ortalama Okyanus Suyu (Standart Mean Ocean Water, SMOW) bileşimidir (Tablo 4.10).

$$\delta D (\text{‰}) = \frac{(D/H)_{\text{örnek}} - (D/H)_{\text{SMOW}}}{(D/H)_{\text{SMOW}}} \times 10^3$$

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{örnek}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} \times 10^3$$

Söz konusu SMOW bileşimi ilk defa Craig (1961) tarafından, *A.B.D. Standartlar Ofisinde* kullanılmakta olan *NBS-1* standardına göre tanımlanmıştır:

$$D/H_{(\text{SMOW})} = 1.050 D/H_{(\text{NBS-1})}$$

$$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{(\text{SMOW})} = 1.008 ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{(\text{NBS-1})}$$

Ayrıca, Craig tarafından, Viyana'daki *Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı* için, bileşimi SMOW bileşimi ile hemen hemen aynı olan bir standart hazırlanmıştır. Bu yeni standart Viyana-SMOW (ya da kısaca V-SMOW) olarak adlanmaktadır. SMOW, okyanus sularının ortalama izotop bileşimini yansıtmakta ve $\delta D = 0 \text{ ‰}$ and $\delta^{18}\text{O} = 0 \text{ ‰}$ değerleriyle tanımlanmaktadır; V-SMOW bileşimine göre ise SMOW, $\delta D = +0.20 \text{ ‰}$ ve $\delta^{18}\text{O} = +0.04 \text{ ‰}$, değerlerindedir (Attendorn ve Bowen, 1997; Gerardo-Abaya vd., 2000). *Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı* tarafından, O- ve H-izotop bileşimlerini tanımlamada kullanılan bir diğer standart SLAP (Standard Light Antarctic Precipitation) olarak bilinen, Antarktika'daki yağışlara ait ortalama izotop bileşimleridir ki bu bileşimler, SMOW'a oranla $\delta D = -428 \text{ ‰}$ ve $\delta^{18}\text{O} = -2.2 \text{ ‰}$ değerlerindedir (Attendorn ve Bowen, 1997).

Oksijenin 3, hidrojenin ise 2 adet duraylı izotopunun var olması nedeniyle, su molekülleri çeşitli izotopik konfigürasyonlarda olabilmektedirler ($H_2^{16}O$, $H_2^{17}O$, $H_2^{18}O$, $HD^{16}O$, $HD^{17}O$, $HD^{18}O$, $D_2^{16}O$, $D_2^{17}O$, $D_2^{18}O$ gibi). Suyun farklı izotopik moleküllerinin buhar basıncı, izotopların kütleleri ile ters orantılıdır. Örneğin, $H_2^{16}O$ molekülünün, $D_2^{18}O$ molekülüne oranla daha yüksek buhar basıncı vardır. Bu nedenle, suyun buharlaşması sürecinde buhar fazı hafif izotoplarca (H ve ^{16}O) zenginleşirken, ağır izotoplar (D, ^{18}O) geriye kalan artık sıvı fazında derişmektedir. Suyun buharlaşma sürecinde izotop ayırma faktörleri,

$$\alpha_{18} = (^{18}O/^{16}O)_{sıvı} / (^{18}O/^{16}O)_{buhar}$$

$$\alpha_D = (D/H)_{sıvı} / (D/H)_{buhar}$$

olarak ifade edilmektedir.

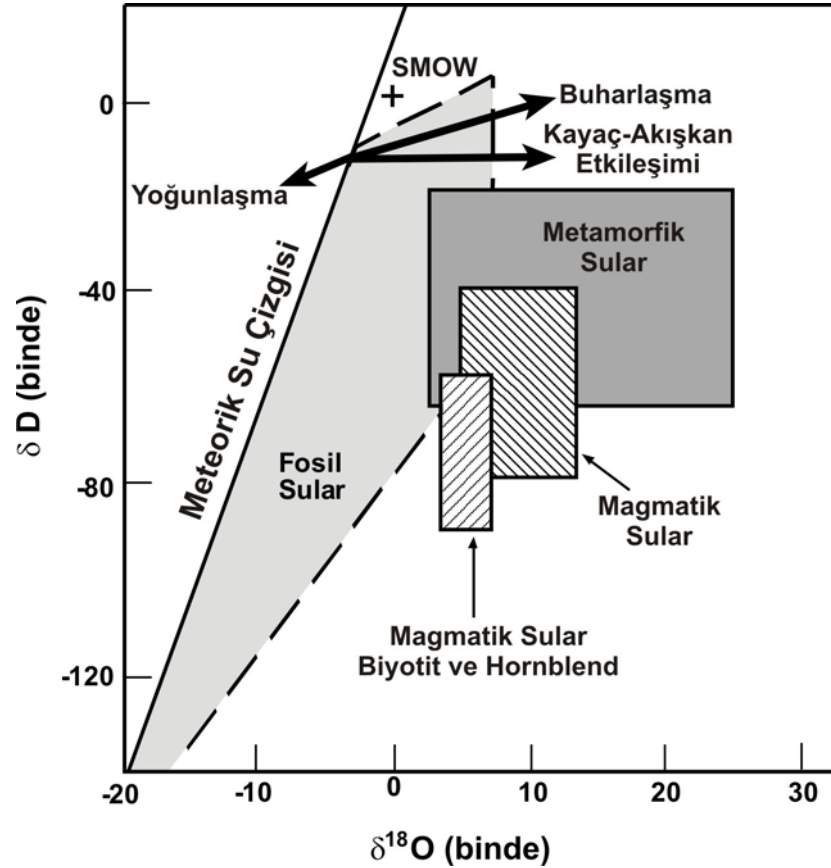
Su buharının yoğunlaşması ile oluşan ilk yağmur damacıkları, D ve ^{18}O gibi ağır izotoplarca zengin olmaktadır. Yağış devam ettikçe, buhardan D ve ^{18}O ayrışması da devam etmekte ve sonuçta geri kalan buhar fazı hafif izotoplar olan H ve ^{16}O izotoplarınca derişmektedir. Dolayısıyla havadaki buhar fazı, yağmur, kar veya dolu yağışları devam ettikçe, daha negatif δD ve $\delta^{18}O$ değerlerinde olmaktadır. Buhar fazı bu negatif değerlerde oldukça, yağışlarda da zaman içinde negatif δD ve $\delta^{18}O$ değerleri gelişmektedir.

Dünya üzerindeki farklı lokasyonlardan alınan çok sayıdaki yağış (yağmur, kar) sularında gerçekleştirilmiş olan izotop analizleri, meteorik suların $\delta^{18}O$ ve δD değerlerinin

$$\delta D = 8 (\delta^{18}O) + 10$$

denklemleri ile tanımlanan (Craig, 1961) çizgisel bir ilişkiye ait olduğunu göstermiştir (Şekil 4.17). Meteorik suların $\delta^{18}O$ değerleri 0 ile -60 ‰, δD değerleri ise +10 ile -400 ‰ arasında değişmektedir. Meteorik suların $\delta^{18}O$ ve δD

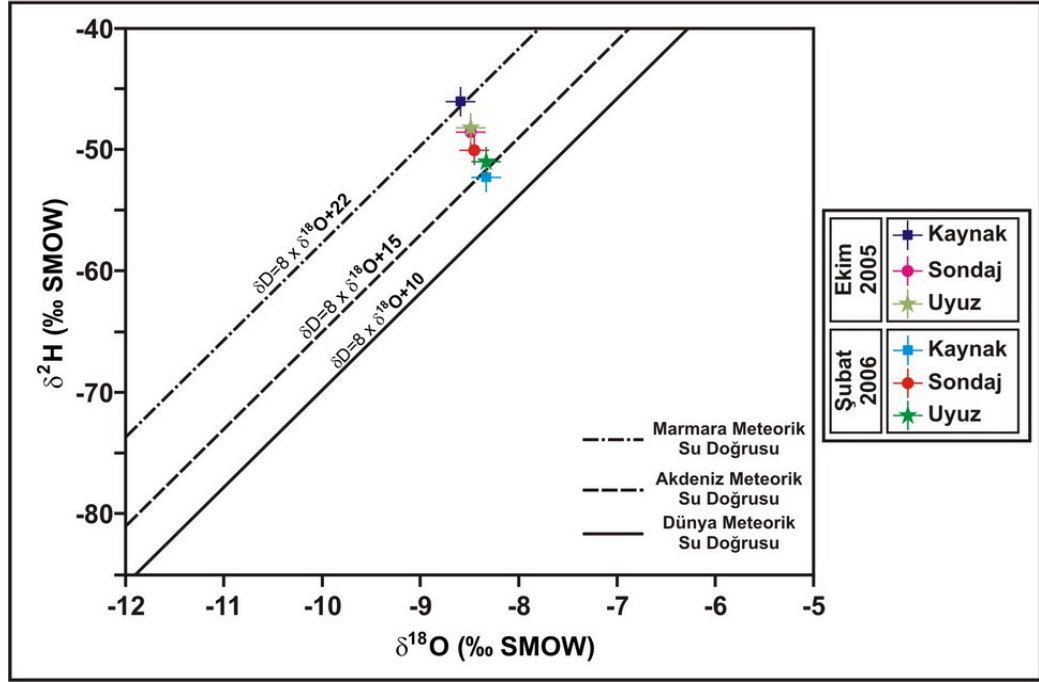
değerleri yıllık ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir; sıcaklık düştükçe izotop ayırılma faktörü, dolayısıyla suların ağır izotop/hafif izotop oranları artmaktadır (Dansgaard, 1964) Ayrıca bu değerler, bulunulan bölgenin enlemine ve deniz seviyesinden olan yükseltisine bağlı olarak da değişmektedir; enlem ve yükseklik arttıkça, $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri düşmektedir.



Şekil 4.17. Farklı Su Kaynaklarının İzotop Bileşimini ve Fiziko-Kimyasal Süreçlerin Su Bileşimi Üzerine Etkilerini Gösterir $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$ Diyagramı (veri kaynakları: magmatik sular-Taylor, 1974; Sheppard, 1977; metamorfik sular-Taylor, 1974; Sheppard, 1981; fossil sular-Taylor, 1974; magmatik biyotit ve hornblend-Taylor, 1974).

Sıcak su kaynakları için oluşturulan $^{18}\text{O}-^2\text{H}$ diyagramında (Şekil 4.18) çalışma sahasındaki tüm sıcak su kaynaklarının yerel meteorik su doğrusu yakınında yer almaları bölgedeki jeotermal akiferlerin meteorik kökenli

yağışlardan beslendiğini göstermektedir. Sıcak su kaynaklarının Ekim 2005 ve Şubat 2006 dönemlerinde diyagram üzerinde farklı noktalarda yer almalarının bu kaynakların sığ veya derin dolaşım sistemine ait yeraltı suları ile karışımlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.18. Çalışma sahasındaki sıcak su kaynaklarının ^{18}O - ^2H ilişkisi

4.4.2. Hıdırlar Jeotermal Sahası'ndaki Soğuk Suların Genel ve Hidrojeokimyasal Özellikleri

Çalışma sahasındaki soğuk su kaynakları Soğuk 1 ve Soğuk 2 olmak üzere iki lokasyona ayrılmıştır. Bu soğuk su kaynaklarından iki dönemde (Ağustos 2006 ve Mart 2007) arazi ölçümleri ve su örnekleme çalışması yapılmıştır. Arazide su kaynakları başında yapılan analiz sonuçları ve suların fiziksel özellikleri (sıcaklık, elektrik iletkenliği, pH, redoks ve debi) Tablo 4.16 de verilmiştir.

Tablo 4.16. Çalışma sahasındaki soğuk suların fiziksel özellikleri

TARİH		01.08.2006		29.03.2007	
LOKASYON		SOĞUK 1	SOĞUK 2	SOĞUK 1	SOĞUK 2
Sıcaklık	°C	17.6	12.7	10	10
İletkenlik	µS/cm	576	522	477	480
pH		6.68	7.12	7.48	7.36
Redoks	mV	8	-11	89.3	142.4
Debi	l/sn	0.125	0.214	0.013	0.067
Na	mg/l	15.8	11.35	13.853	10.301
Ca	mg/l	72.91	76.04	69.351	70.966
K	mg/l	0.54	0.82	0.623	0.902
Mg	mg/l	17.77	14.16	16.37	14.431
Cl	mg/l	17	12	13	10
SO ₄	mg/l	6.79	6.95	6.07	7.98
HCO ₃	mg/l	280	285	300.99	303.73

Bu lokasyonlardan alınan su örneklerinin laboratuarlarda yapılan kimyasal analizler sonucu suların majör ve minör iyon derişimleri saptanmıştır. Çalışma sahasındaki soğuk su kaynaklarının Ağustos 2006 ve Mart 2007 dönemlerindeki kimyasal analiz sonuçlarına göre majör iyon derişimleri Tablo 4.17, minör iyon derişimleri Tablo 4.18 da verilmiştir.

Tablo 4.17. Çalışma sahasındaki soğuk suların majör iyon derişimleri

TARİH		01.08.2006		29.03.2007	
LOKASYON		SOĞUK 1	SOĞUK 2	SOĞUK 1	SOĞUK 2
Sıcaklık	°C	17.6	12.7	10	10
İletkenlik	µS/cm	576	522	477	480
Na	mg/l	15.8	11.35	13.853	10.301
Ca	mg/l	72.91	76.04	69.351	70.966
K	mg/l	0.54	0.82	0.623	0.902
Mg	mg/l	17.77	14.16	16.37	14.431
Cl	mg/l	17	12	13	10
SO ₄	mg/l	6.79	6.95	6.07	7.98
HCO ₃	mg/l	280	285	300.99	303.73

Tablo 4.18. Çalışma sahasındaki soğuk suların minör iyon derişimleri

Tarih		01.08.2006		29.03.2007		Tarih		01.08.2006		29.03.2007	
Lokasyon		Soğuk 1	Soğuk 2	Soğuk 1	Soğuk 2	Lokasyon		Soğuk 1	Soğuk 2	Soğuk 1	Soğuk 2
Element						Element					
Ag	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	Ni	ppb	< 0.2	< 0.2	0.3	<.2
Al	ppb	176	4	15	2	Os	ppb	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05
As	ppb	< 0.5	< 0.5	<.5	<.5	P	ppb	< 20	< 20	<20	<20
Au	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	Pb	ppb	0.3	< 0.1	0.1	0.1
B	ppb	5	9	< 5	< 5	Pd	ppb	< 0.2	< 0.2	<.2	<.2
Ba	ppb	290.49	322.46	282.74	286.34	Pr	ppb	0.09	0.01	0.01	0.01
Be	ppb	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05	Pt	ppb	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01
Bi	ppb	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05	Rb	ppb	0.7	1.18	0.5	1.08
Br	ppb	41	24	30	21	Re	ppb	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01
Cd	ppb	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	Rh	ppb	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01
Ce	ppb	1.04	0.04	0.09	0.01	Ru	ppb	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05
Co	ppb	0.34	< 0.02	<.02	<.02	S	ppb	3000	5000	4	4
Cr	ppb	< 0.5	< 0.5	3.1	3.2	Sb	ppb	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05
Cs	ppb	0.04	0.02	0.01	0.04	Sc	ppb	2	2	2	2
Cu	ppb	0.6	0.2	0.6	0.4	Se	ppb	< 0.5	< 0.5	<.5	<.5
Dy	ppb	0.05	0.01	0.01	0.01	Si	ppb	11497	8464	10589	7734
Er	ppb	0.03	0.01	0.01	0.01	Sm	ppb	0.07	< 0.02	<.02	<.02
Eu	ppb	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	Sn	ppb	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05
Fe	ppb	492	10	48	17	Sr	ppb	505.35	398.9	477.9	376.25
Ga	ppb	0.07	< 0.05	<.05	<.05	Ta	ppb	< 0.02	< 0.02	<.02	<.02
Gd	ppb	0.07	0.01	0.01	0.01	Tb	ppb	0.01	< 0.01	<.01	<.01
Ge	ppb	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05	Te	ppb	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05
Hf	ppb	< 0.02	< 0.02	<.02	<.02	Th	ppb	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05
Hg	ppb	< 0.1	< 0.1	<.1	<.1	Ti	ppb	< 10	< 10	<10	<10
Ho	ppb	0.01	< 0.01	<.01	<.01	Tl	ppb	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01
In	ppb	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	Tm	ppb	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01
Ir	ppb	< 0.05	< 0.05	<.05	<.05	U	ppb	15.73	14.84	17.05	17.85
La	ppb	0.49	0.05	0.06	0.05	V	ppb	1.7	0.2	0.8	0.4
Li	ppb	2	4.2	1.6	3.6	W	ppb	< 0.02	< 0.02	<.02	<.02
Lu	ppb	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	Y	ppb	0.34	0.1	0.06	0.13
Mn	ppb	95.58	0.31	6.68	0.32	Yb	ppb	0.02	< 0.01	<.01	<.01
Mo	ppb	0.2	0.5	0.2	0.6	Zn	ppb	1.2	< 0.5	0.7	0.6
Nb	ppb	< 0.01	< 0.01	<.01	<.01	Zr	ppb	< 0.02	< 0.02	<.02	<.02
Nd	ppb	0.38	0.03	0.04	0.02						

Soğuk Suların Hidrojeokimyasal Açından Değerlendirilmesi

Yapılan kimyasal analizler sonucunda soğuk suların kimyasal bileşimlerinde gözlenen zamana bağlı değişimler, tüm major iyon derişimleri göz önüne alındığında en fazla % 5.4 lik bir oranda hata payı vermektedir. Bu değişim oranı

ise pratik açıdan kabul edilebilir sınırdadır. Aradaki bu farkların ise analiz hatalarından kaynaklanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Tablo 4.19).

Tablo 4.19. Çalışma sahasındaki soğuk suların anyon ve katyon eşitliği

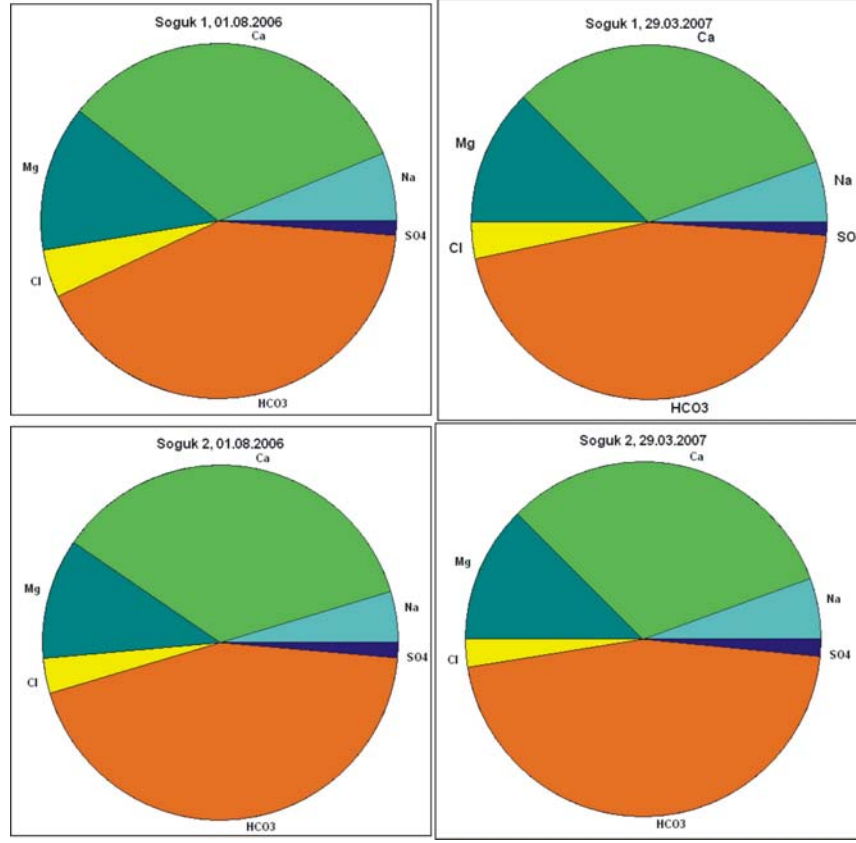
Lokasyon	Tarih	Toplam Anyon	Toplam Katyon	% Hata
		(meq/l)	(meq/l)	(meq/l)
Soğuk 1	01.08.2006	5	6	5.4
	29.03.2007	5	5	0
Soğuk 2	01.08.2006	5	5	3
	29.03.2007	5	5	2.1

Suların Hidrokimyasal Fasiyes Tipleri ve Dairesel Diagramlar

Soğuk sulardaki majör iyonların meq/l derişimlerine göre belirlenen hakim iyon sıralaması ve soğuk suların hidrokimyasal fasiyes tipleri Tablo 4.20 de verilerek, hazırlanan daireselel diagramlar Şekil 4.19 de belirtilmiştir.

Tablo 4.20. Çalışma sahasındaki soğuk su kaynaklarının iyon sıralaması

Lokasyon	Tarih	Katyon Sıralaması	Anyon Sıralaması	Su Tipi
Soğuk 1	01.08.2006	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃
	29.03.2007	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃
Soğuk 2	01.08.2006	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃
	29.03.2007	Ca>Mg>Na+K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃



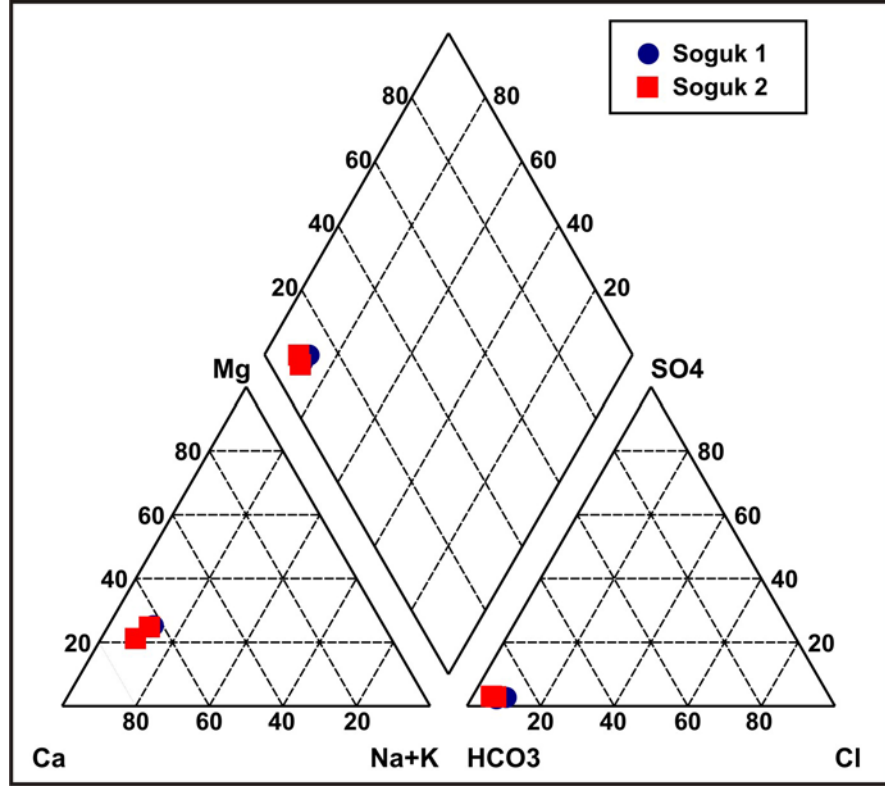
Şekil 4.19. Soğuk sulardaki majör iyon dağılımını gösterir dairesel diagramlar

Hıdırlar Jeotermal Sahası'nda incelenen soğuk sulara ana katyon Ca olup derişim sıralamasına göre bunu Mg, Na ve K takip etmektedir. Ana anyon ise HCO₃ olup, bunu Cl ve SO₄ takip etmektedir.

Sahadaki soğuk su tiplerine bakıldığında, her iki soğuk su kaynağı da Ca-Mg-HCO₃ tipinde suları temsil etmektedir.

Piper Diyagramı

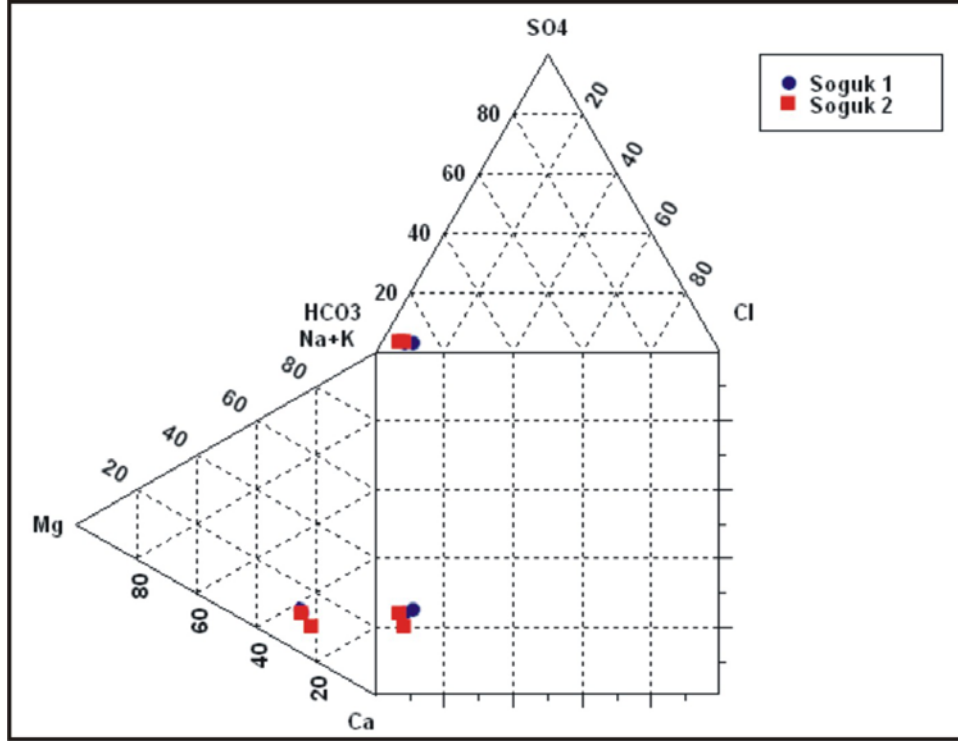
Soğuk su kaynaklarının litoloji ile ilişkileri ve dolaşım sistemleri boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal evrim süreçleri Piper diyagramları kullanılarak da açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışma sahasından alınan soğuk suların analiz sonuçları ile hazırlanan Piper diyagramında (Şekil 4.20) da görüleceği üzere, çalışma sahasındaki soğuk sular Ca-Mg-HCO₃ lı su tipini yansıtmaktadırlar.



Şekil 4.20. Çalışma sahasındaki soğuk su kaynaklarına ait Piper diyagramı

Durov Diyagramı

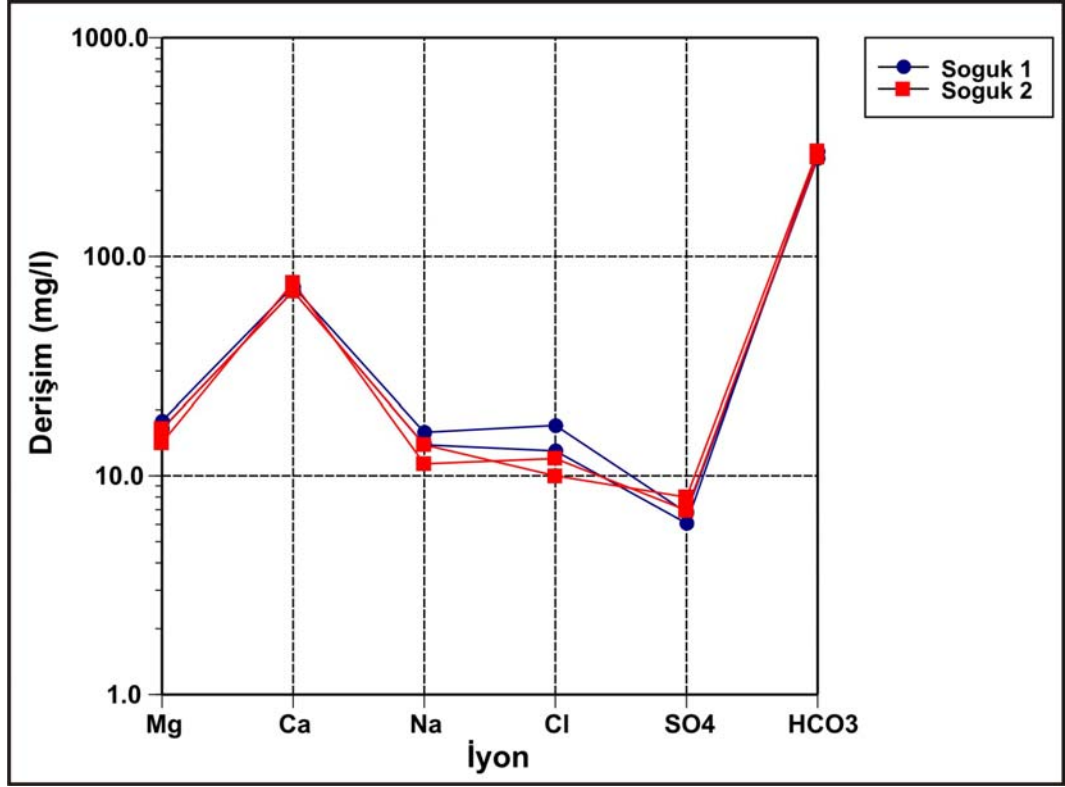
Durov diyagramı da Piper diyagramı gibi anyonların ve katyon % meq/l değerlerinin kullanılarak ayrı ayrı iki üçgende gösterildiği ve bu üçgenlerin birbirine dik olarak birleştirildiği kare şekilli bir dörtgenden oluşur. Şekil 4.21 den de anlaşılacağı gibi çalışma sahasındaki soğuk sular benzer kökenli sular Ca-Mg-HCO₃ lı su tipini yansıtmaktadırlar.



Şekil 4.21. Çalışma sahasındaki soğuk sulara ait Durov diyagramı

Schoeller Diyagramı

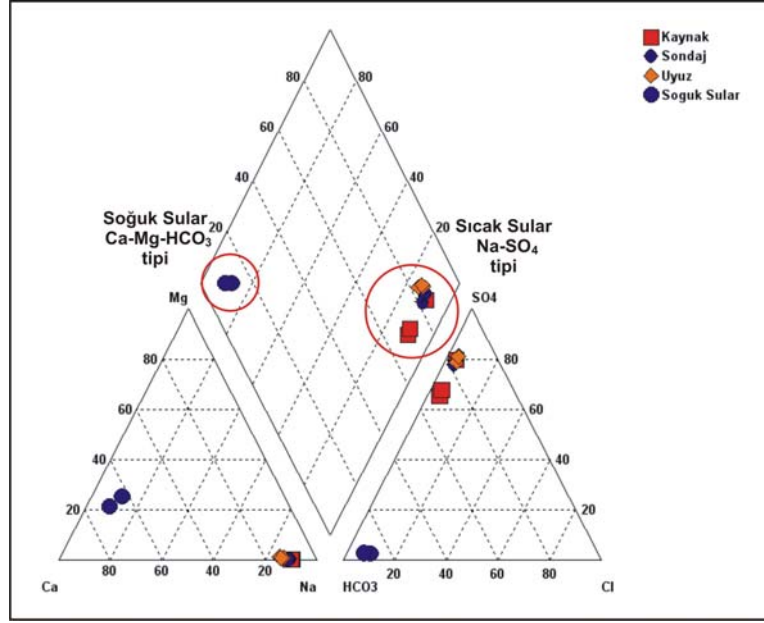
Schoeller yarı logaritmik diyagramlar gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardır. Çalışma sahasındaki soğuk su kaynakları için hazırlanan Schoeller diyagramından (Şekil 4.22) da görüleceği üzere, çalışma sahasındaki soğuk sular Ca-Mg-HCO₃ lı su tipini yansıtmaktadır ve kendi aralarında gösterdikleri paralellikten dolayı bu iki ayrı soğuk su kaynağı için benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına ait sular olarak yorum yapılabilir.



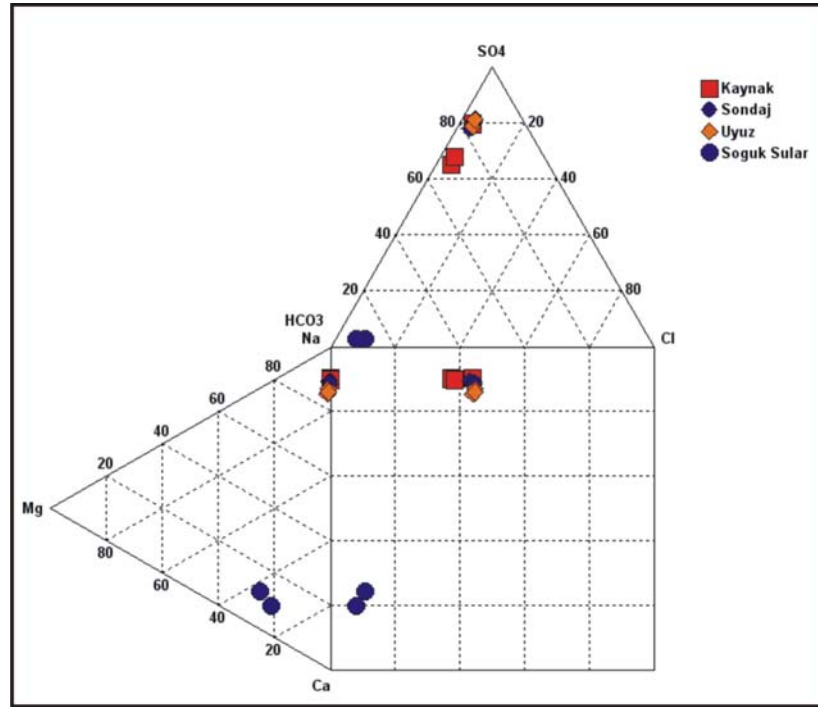
Şekil 4.22. Çalışma sahasındaki soğuk sulardan elde edilen Schoeller diyagramı

4.4.2. Hıdırlar Jeotermal Sahası'ndaki Sıcak ve Soğuk Suların Su Kimyası Grafiklerinde Karşılaştırılması

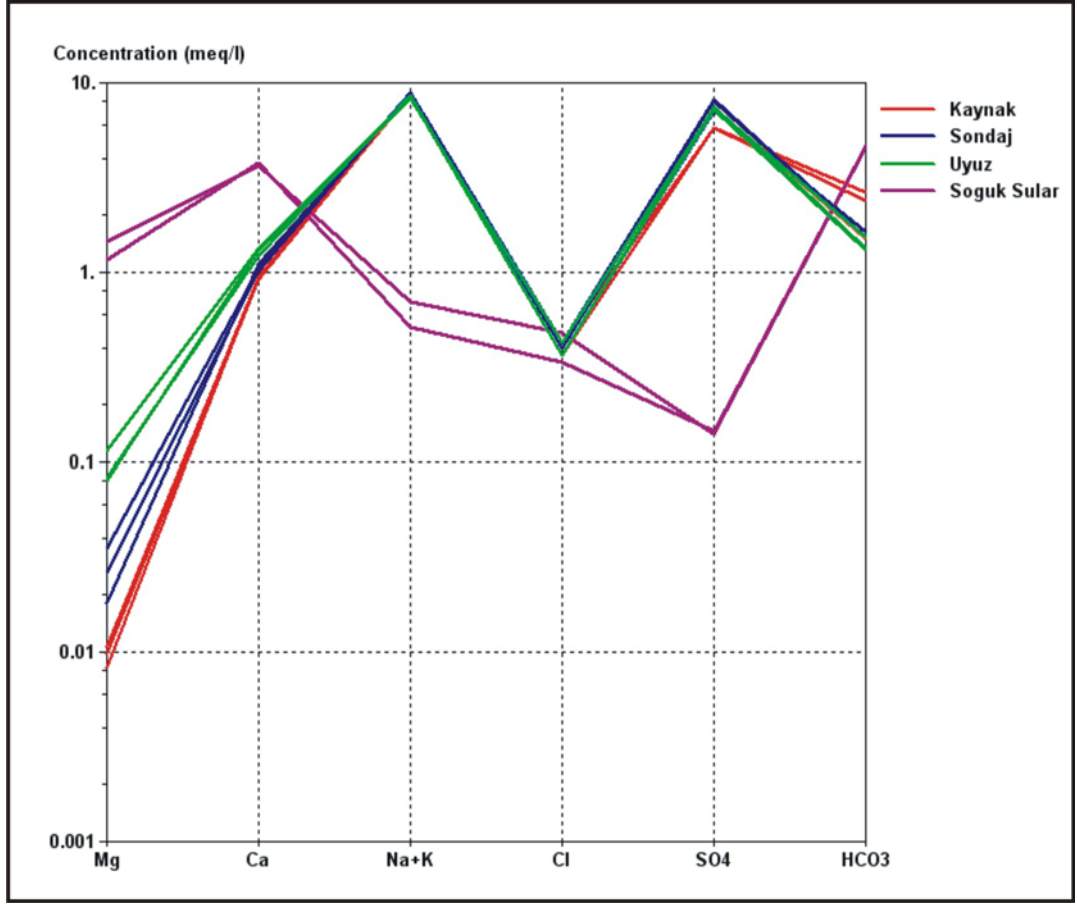
Çalışma sahasındaki sıcak sular ile soğuk sular karşılaştırıldığında sıcak sulardaki baskın katyonun Ca ve baskın anyonun SO_4 olduğu görülmektedir. Soğuk sulara bakıldığında ise baskın katyonun yine Ca ama baskın anyonun HCO_3 olduğu görülmektedir. Karşılaştırmalı su kimyası grafiklerine bakıldığında sıcak suların Na- SO_4 tipi sular olduğu sadece yağışlı dönemde Kaynak lokasyonunda Na- SO_4 - HCO_3 tipi sulara geçiş gözlenmektedir. Çalışma sahasındaki soğuk sular Ca-Mg- HCO_3 lı su tipini yansıtmaktadırlar (Şekil 4.23, 4.24, 4.25)



Şekil 4.23. Çalışma sahasındaki sıcak ve soğuk su kaynakları için hazırlanmış Piper Diyagramı



Şekil 4.24. Çalışma sahasındaki sıcak ve soğuk su kaynakları için hazırlanmış Durov Diyagramı



Şekil 4.25. Çalışma sahasındaki sıcak ve soğuk su kaynakları için hazırlanmış Schoeller Diyagramı

BÖLÜM V

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Hıdırlar (Yenice-Çanakkale) Jeotermal Sahası'nın ve yakın çevresinin 1/25 000 ölçeğinde jeoloji haritası yapılmıştır. Çalışma sahasında yüzlek veren kayalar saha nitelikleri ve önceki araştırmaların bulguları da dikkate alınarak beş farklı kaya birimine ayırtlanmıştır. Çalışma sahasının temelini Alt-Orta Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi'ne ait Nilüfer Birimi oluşturmaktadır. Temel kayaların üzerinde uyumsuzlukla Üst Oligosen yaşlı Çakıroba Granodiyorit ve Üst Oligosen yaşlı Çan Volkanitleri yer almaktadır. Neojen yaşlı Örencik Formasyonu ile Kuvaterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyon çalışma alanındaki tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir.

Çalışma sahası yaklaşık doğu-batı gidişli, fay kontrollü bir tektonosedimanter çöküntü alanının kuzeybatı kesiminde yer alır. Hıdırlar Jeotermal Sahası ve yakın çevresindeki yapılan arazi çalışmalarında sıcak su kaynaklarının da üzerinde yer aldığı ana kırık hatları genel olarak DKD-BGB gidişli ve bunları kesen KB-GD gidişli kırık hatları gözlenmiştir. Hıdırlar Kaplıcası ve Hıdırlar Köyü KB sındaki sıcak su kaynaklarının da üzerinde yer alan tektonik hat DKD-BGB doğrultulu, GD ya eğimli bir faydır. Bıçkıdere vadisini sınırlayan bir diğer tektonik hat ise KB-GD doğrultulu, KD ya eğimlidir (K54B/50KD).

Hem kinematik çalışmalardan hem de granodiyoritlerdeki eklem takımlarından yapılan ölçümlerin gül ve kontur diyagramlarına aktarılması sonucu bölgesel sıkışma yönü BKB-DGD ile bölgesel açılma yönü KKD-GGB doğrultuları olarak belirlenmiştir. Bu kuvvetler altında oluşan eklem sistemleri ve jeofizik çalışmalarla belirtilen fay sistemleri, yüzey sularının derinlere kadar inmesine ve jeotermal gradyana bağlı olarak derinlerde ısınan suların yine bu sistemler ile yüzeye ulaşmasına olanak sağlamaktadır.

Çeşitli şü kimyası grafikleri kullanılarak belirlenen suların hidrojeokimyasal fasiyes tiplerine bakıldığında sıcak su kaynaklarından Kaynak'ın Na-SO₄-HCO₃, Sondaj ve Uyuz'un Na-SO₄ tipinde sulara karşılık geldikleri bulunmuştur. Çalışma alanındaki soğuk sular ise benzer kökenli sular Ca-Mg-HCO₃ lı su tipini yansıtmaktadırlar.

Rezervuar sıcaklığının belirlenmesi için uygulanan jeotermometre hesaplamalarında çalışma alanındaki 3 sıcak su kaynağının Giggenbach diyagramına göre "kısmen denge durumunda sular" sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Silis jeotermometresi ile yapılan rezervuar sıcaklık değerleri sıcak su kaynaklarının yeryüzüne çıkış sıcaklıklarına çok yakın değerler olduğu için güvenilir bir sonuç vermemiştir. Katyon jeotermometreleri ile yapılan rezervuar sıcaklık değerleri Kaynak için 90 °C-163 °C, Sondaj için 81 °C-149 °C ve Uyuz için 83 °C-161 °C olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, mineral doygunluk indeksi grafikleri de ele alınarak değerlendirildiğinde tüm sıcak su kaynakları için 125 °C-140 °C rezervuar sıcaklıkları belirlenmiştir.

Bölgenin meteorik su doğrusunun denklemi soğuk su kaynaklarının duraylı izotopik içeriklerine göre $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 15$ olarak belirlenmiştir. çalışma alanındaki tüm sıcak su kaynaklarının yerel meteorik su doğrusu yakınında yer almaları bölgedeki jeotermal akiferlerin meteorik kökenli yağışlardan beslendiğini göstermektedir. Sıcak su kaynaklarının Ekim 2005 ve Şubat 2006 dönemlerinde diyagram üzerinde farklı noktalarda yer almalarının bu kaynakların sığ veya derin dolaşım sistemine sahip yeraltı suları ile karışımlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma sahasındaki jeotermal sistemin oluşumuna bakıldığında; temeldeki metamorfik birimler sıcak su çıkış çevrelerinde ve geniş bir alanda yüzlek verdiklerinden kapalı bir sistem oluşturamamıştır. Dolayısıyla iyi bir hazne kaya niteliğine sahip değildir. Sıcak akışkanın içerisinde dolaşması, hatta akışkanın ısınmasını sağlaması nedeniyle granodiyoritler önemli bir hazne kaya olarak nitelendirilebilir. Yüzey suları gerek metamorfikler, gerekse granodiyoritlerin

çatlak sistemleri yardımıyla derinlere kadar inmekte, jeotermal gradyana bağlı olarak derinlerde ısınan sular yine bu birimlerin çatlak sistemleri ile yüzeye ulaşmaktadır. Bu jeotermal sistemin beslenmesi ise tamamen meteorik sulardan olmaktadır. Isıtıcı sistem olarak da jeotermal gradyanla beraber granodiyoritleri söyleyebiliriz. Örtü kaya olarak da Neojen yaşlı Örencik Formasyonu önerilebilir.

İnceleme alanında bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre, bölgede yüksek sıcaklığa sahip akiferlerin bulunması beklenmektedir. Ancak, bu akiferlerin derinliği ve verimi hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilebilmesi için jeofizik çalışmalar yapılmalı ve tüm verilerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda araştırma kuyuları açılmalıdır.

KAYNAKÇA

Anıl, M., Saupe, F., Zimermann, J.L. and Öngen, S., 1989. K/Ar age determination of the Oligo-Miocene Nevruz-Çakıroba (Yenice-Çanakkale) quartz-monzonite stocks, *43rd Geological Congress of Turkey, Abstracts*, p: 25-26.

Arnnórsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H., 1983, The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 567-577.

Arslan, S., 1987. Çanakkale-Hıdırlar Gravite Etüdü, *MTA Rapor No: 8100*, Ankara.

Attendorf, H. G. ve Bowen, R. N. C., 1997. *Radioactive and Stable Isotope Geology*. Chapman & Hall, London.

Back, W., 1966. Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of atlantic coastal plain. *U.S. Geol.Survey Professional paper*, 498-A, 42 p.

Barbier, E., 2002. Geothermal energy technology and current status: an overview, renewable and sustainable energy reviews, *Pergamon*, p 3–65.

Barka, A.A., 1992. The North Anatolian Fault, *Anneles Tectonicae*, VI, p 164-195.

Barka, A.A., 1997. Neotectonics of the Marmara Sea Region, active tectonics of the Northwestern Anatolia, *The Marmara Poly Project*, Zürich, p. 55-87

Barka, A.A. and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its inşuence on earthquake activity, *Tectonics*, v. 7, no. 3, 663-684.

Barka, A. and Reilinger, R., 1997. Active tectonics of the Mediterranean region; deduced from GPS, neotectonics and seismicity data, *Annali Geop.*, 11 (3), p 587-610.

Başkan, E. ve Canik, B., 1983. Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası Ege Bölgesi : *M.T.A. Enst. Yayınları*, No : 189.

Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B., 1973. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri, *Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri Kitabı*, Ankara, 70-76.

Bingöl, E., 1968. Contribution à l'étude géologique de la partie centrale et Sud-Est du massif de Kazdağ, *Thèse, Fac. Se. Nancy*, 190 p.

Birkle, P. and Satır, M., 1995. Dating, geochemistry and geodynamic significance of the Tertiary magmatism of the Biga Peninsula, NW Turkey. *Geology of the Black Sea Region*, Min. Res. Expl. Inst. Turkey. pp.171-180.

Blumenthal, M., 1962. Das Taurishce Hochgebirge des Aladağ, neure Forschungen zu zainer Geographie, Stratigraphie ond Tektonik, *MTA Enstitüsü yayını*, Seri D, 6, 1-136.

Bozkurt, E., 2000. Timing of extension on the Büyükmenderes graben, western Turkey and its tectonic implication. Tectonics and Magmatism and surrounding area. *Geol. Soic. Special Publ.*, 173, pp. 385-403.

Brooks, M., and Ferentinos, G., 1980. Structure and Evolution of the Sporadhes Basin of the North Aegean trough, Northern Aegean Sea. *Tectonophysics*, v. 68, p. 15-30.

Brunn, J.H., Dumont, J.F., De Graciansky, P.C., Gutnic, M., Juteau, T., Marcoux, J., Poisson, A., 1971. Outline of the geology of the Western Taurides. *In geology and history of Turkey (ed A.S. Campwell)*, Petroleum Exploration Society of Libya, Tripoli, p 225-257.

Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.

D'Amore F. and Arnórsson, S., 2000, Geothermometry. Isotopic and chemical techiques in geothermal exploration, development and use. *Arnórsson, S. (ed.), IAEA*, Vienna. pp.152-199.

Dansgaard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16/4, 436-468.

Dayal, A., 1984. Yenice (Çanakkale) granitinin petrografisi ve buna bağlı cevherleşmeler, *Doktora tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi. Fen Bilimleri Ens. İzmir.

Dewey, J. F. and Şengör. A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions: complex multi-plate and continuum tectonics in a convergent zone, *Geol. Soc. America Bull.*, Part 1. 90. 84-92 p.

DMİ, 2006. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Yağış ve Sıcaklık Verileri.

Efe, R., 1994. Biga Yarımadası'nın neotektoniğinin jeomorfolojik izleri, *Türkiye Coğrafya Dergisi*, sayı:29, 209-242

Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakioğlu, E., Adis, C., Valter, H.J. ve Yıldırım, T., 1995. Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer volkanizmasının özellikleri, *MTA Dergisi*, 117, 55-86.

Faure, G., 1986 (2. ed.). *Principles of Isotope Geology*. John Wiley and Sons, New York.

Fouillac, C., Michard, G., 1981, Sodium/lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. *Geothermics*. 10, 55-70.

Fournier, R.O., 1977, Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*. 5, 41-50.

Fournier, R.O., 1979, A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Res. Council Trans.* 3, 221-224.

Fournier, R.O., 1991, Water geothermometers applied to geothermal energy. Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, D'Amore, F. (coord.), *UNITAR/UNDP*, Rome. pp. 37-69.

Fournier, R.O. and Truesdell, A.H., 1973, An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters, *Geochimica et Cosm. Acta*. 37,1255-1275.

Fournier, R.O., Potter, R.W. II, 1982, A revised and expanded silica (quartz) geothermometer, *Geothermal Research Council Bull.* 11, 3-9.

Frizon de Lamotte, D., Poisson, A., Aubourg, C., and Temiz, H., 1995. Post-Tortonian westward and southward thrusting in the core of the Isparta re-entrant (Taurus, Turkey). *Geodynamic implications. Bull. Soc. Geol. France*, 166, 59-67.

Genç, Ş.C. and Yılmaz, Y., 1995. Evolution of the Triassic continental margin, Northwest Anatolia. *Tectonophysics* 243, pp. 193–207.

Genç, Ş.C, 1998. Evolution of the Bayramiç Magmatic Complex, Northwestern Anatolia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85(1-4), 233-249.

Gerardo-Abaya, J., D'Amore, F., Arnorsson, S., 2000. Isotopes for geothermal investigations. *Arnorsson, S. (ed.), Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use*. International Atomic Energy Agency, Vienna, s.49-65.

Giese, L.B., 1997. Geotechnische und umwelt geologische aspekte bei der forderung und reinjection von thermal fluiden zur nutzung geothermischer energie am beispiel des geothermal felde Kizildere und des umfeldes, W-Anatolien/Turkei, *PhD thesis*, FU Berlin, 201 pp.

Giggenbach, W. F., 1988, Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 55, 2749-2765.

Gözler, M.Z., Erül, E., Akçaören, F., Genç, Ş., Akat, U. Ve Acar, Ş., 1984. Çanakkale Boğazı doğusu-Marmara denizi güneyi-Bandırma-Balıkesir-Edremit ve Ege Denizi arasındaki alanın jeolojisi ve komplikasyonu, *MTA Raporu*, Ankara.

Güleç, N. ve Mutlu, H., 2002. Jeotermal alanlarda izotop jeokimyası, *Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi (Jenarum) Yaz Okulu Ders Notları*, İzmir, s 64-88.

Hochstein M.P., 1990. Classification and assessment of geothermal resources. In: Dickson MH, Fanelli M, editors. Small geothermal resources - A guide to development and utilisation. Rome Italy, *UNITAR/UNDP Centre on Small Energy Resources*; p. 31-59.

Karacık Z., 1995. Ezine-Ayvacık (Çanakkale) dolayında genç volkanizma-plütonizma ilişkileri, *PhD thesis*, İstanbul Technical University, Institute of Science.

Kharaka, Y. K., Lico, M.S. and Law, L.M., 1982, Chemical geothermometers applied to formation waters, *Gulf of Mexico and California basins*, *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 66, 558.

Kharaka, Y. K., Mariner, R. H., 1989, Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. Thermal History of Sedimentary Basins; *Methods and Case Histories*, N. D. Näser and T. H. McCulloh (eds.), *Springer Verlag*, pp. 99-117

Kissel, C., Averbuch, O., Frizon de Lamotte, D., Monod, O. & Allerton, S., 1993, First Paleomagnetic evidence for a post-Eocene clockwise rotation of western Taurides thrust belt east of the Isparta re-entrant (southwestern Turkey). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 117, 1-14.

Koçak, A., 2002. Jeotermal sistemler ve hidrolojik modelleme, *Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi (Jenarum) Yaz Okulu Ders Notları*, İzmir, s 109-118.

Kürçer, A., 2006, Yenice-Gönen civarının neotektonik özellikleri ve 18 Mart 1953 Yenice-Gönen Deprem (Mw: 7.2) Fayı'nın paleosismolojisi, ÇOMÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, 157.

Lalechos N. and Savoyat Ed., 1979. La sédimentation néogène dans le fossé nord-égéen. *VI Coll. On the Geology of the Aegean region*, vol. II, p. 591-603.

Lebküchner, R. F., 1956. Örencik Linyit Zuhuru Hakkında Ön Rapor (Çanakkale Vilayeti, Yenice Kazası, Kalkım Nahiyesi), *MTA Raporu*, Ankara.

Lund, J.W. and Anderson, D.N., 1980. Direct Utilization of Geothermal Energy: A Layman's Guide, *Geothermal Resources Council Special Report*, No:18.

Lyberis, N., 1984. "Tectonic evolution of the North Aegean trough", *Spec. Publ. Geol. Soc. London*, 17, 709-725.

Marcoux, J., 1987. Histoire et topologie de la Neo-Tethys. *These de Doctorat Detat. L'Universite Pierre et Marie Curie*, Paris, 569 p.

Muffler LJP ve Cataldi R., 1978. Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*; 7, p 53-89.

Nieva, D. and Nieva, R., 1987, Development in geothermal energy in Mexico, part 12-A cationic composition geothermometer for prospecting of geothermal resources, *Heat recovery systems and CHP*. 7, 243-258.

Okay, I.A., 1987. Biga Yarımadası'nın batı kesiminin jeolojisi ve tektoniği, TPAO Arama Grubu, *Rapor no: 2374*.

Okay, I.A., 1989. Edremit-Balya-Manyas arasının jeolojisi ve tektoniği, TPAO Arama Grubu, *Rapor no: 2657*.

Okay, I.A. and Satır, M., 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey, *Geol. Mag.*, 137 (5), p 495-516

Okay, A., Siyako, M., Bürkan, K.A., 1990, Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi, *TPJD Bülteni*, C.2/1, s 83-121.

Oktu, G. ve Dilemre, A., 1997. Türkiye Termal ve Mineralli Sular Envanteri Çanakkale (17), *MTA Rapor No: 10393*, Ankara.

Öngen, S., 1978a. Genetische Aussagen Liber das Çavuşlu-Karaköy Granitoid Massiv, *İst. Üniv. Fen. Fak. Mecm. Seri B 43*, 141-150.

Öngen, S., 1978b. Petrographie und Petrochemie des Çavuşlu-Karaköy Granitoid Massivs, *İst. Üniv. Fen. Fak. Mec. Seri B 43*, 93-115.

Özbayrak, İ.H., 1980. Çanakkale-Yenice Hıdırlar Alanının Jeotermal Enerji Olanakları, *MTA raporu*, Ankara.

Özbayrak, İ.H., 1984, Geothermal Energy Possibilities of the Balıkesir Province NW Turkey, *Seminer on utilization of geothermal energy for electric power production and space heating Seminar Book*, Florence (Italy), p. 14-17.

Özden, S., Kürçer A., Ateş, Ö., Tutkun, S.,Z., 2006. Kuzey Anadolu Fayının güney kolu üzerinde yer alan Yenice - Gönen Fayı ve yakın civarındaki Geç Senozoyik yaşlı gerilme durumları, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı (ATAG-10) Bildiri Kitabı*, İzmir.

Parkhurst, D.L. and 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, *USGS Water Resources Investigation Report 99-4259*, 312p.

Poisson, A., 1984. The extension of the Ionian trough into SW Turkey. In: J. F. Dixon & A. H. Robertson Eds., The geologic evolution of the Eastern Mediterranean. *Geol. Soc. London Spec. Pub. 17*, 241-249.

Poisson, A., 1990. Neogene thrust belt in western Taurides. The imbricate systems of thrust sheets along a NNW-SSE transect. *IESCA-1990*, 224-235.

Poisson, A., Akay, E., Dumont, J. F. and Uysal, S., 1984. Isparta Angle (W Taurids): A Mesozoic paleorift. In: O. Tekeli and C. Göncüoğlu Eds., Geology of the Taurus belt, *sp. Pub. MTA*, Ankara, 11-26.

Reed, M., Spycher, N., 1984, Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution, *Geochimica Cosm. Acta.* 48, 1479-1492.

Sheppard, S. M. F. 1981. Stable isotope geochemistry of fluids. Rickard, D. T. and Wickman, F. E. (eds.), Chemistry and Geochemistry of Solutions at High Temperatures and Pressures. *Phys. Chem. Earth*, 13/14, 419-445.

Siyako, M., Bürkan., K.A., Okay, I.A., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nın Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları, *TPJD Bülteni*, C.1/19, 183-189.

Şahinci, A., 1991b. Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. *Reform Matbaası*, No.37/4 Beyler-İzmir, 247 s.

Şengör, A.M.C., ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, *Tectonophysics* 75, 181-241.

Şengör, A. M. C. Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, in Strike-slip Faulting and Basin Formation, edited by Biddke, K.T. and Christie-Blick, N., *Society of Econ. Paleont. Min. Sp. Publ.* 227-264.

Şimşek, Ş., Yıldırım N., Şimşek, Z.N., Karakuş, H., 2002. Deprem Bölgelerindeki Jeotermal Kaynaklarda Görüşlen Değişimler ve Önemi, *Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi Jeoloji ve Çevre Mühendisliği Bölümleri Orta Anadolu Jeotermal Enerji ve Çevre Sempozyumu*, 08-11 Ekim 2002, Aksaray s: 1-12.

Tarcan, G., (2002) Jeotermal Su Kimyası, *Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi (Jenarum) Yaz Okulu Ders Notları*, İzmir, s. 230-272.

Taylor, H. P., Jr., 1974. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. *Economic Geology*, 69, 843-883.

Taymaz, T., Jackson, J., and McKenzie, D., 1991, Active tectonics of the north and central Aegean, *Geophysical Journal International*, 106, 433-490.

Tonani, F., 1980, Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. *Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp.*, Strasbourg, pp. 428-443.

Truesdell, A. H., 1976, Summary of section III geochemical techniques in exploration. *Proc. of Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, 1975, San Francisco, U.S. Gov. Print. Office, pp. 53-79.

World Energy Outlook, 2002, *Published 21.09.2002 by International Energy Agency*.

Yılmaz, Y., 1989. An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey, In: *Tectonic Evolution of the Tethyan Region*, ed. A.M.C. Şengör, *Kluwer Academic Publisher*, 159-189.

Yılmaz, Y., 1998. When did the Aegean grabens begin to develop?, Third international Turkish Geology Symposium, Middle East Technical University, Ankara-Turkey, *Abstracts*, 185.

Yılmaz, Y., and Karacık, Z., 1999. Geology and petrology of the Kestanbol pluton, *Journal of Conference Abstracts*, European Union of Geosciences, V 4/1, p 679.