ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UMURLU (AYDIN) JEOTERMAL SAHASI YERALTI SULARININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Engin BÜLBÜL

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2010

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

UMURLU (AYDIN) JEOTERMAL SAHASI YERALTI SULARININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Engin BÜLBÜL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mehmet ÇELİK

Bu çalışmada, Umurlu (Aydın) jeotermal sahasında yer alan sıcak ve mineralli kaynak ve kuyu sularının hidrokimyasal ve izotopik özelliklerinden yararlanılarak bu suların kökeni, beslenim alanı, oluşum mekanizması, yer altı dolaşım süreçleri ve sahanın kavramsal hidrotermal modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma alanı, Aydın ilinin 10 km doğusunda bulunan Umurlu ilçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. Aydın-Umurlu jeotermal sahası ve civarında, en altta Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi Metamorfikleri bulunmaktadır. Temel üzerine uyumsuz olarak gelen Neojen yaşlı çökeller Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimlerden oluşmaktadır. En üstte ise Menderes Grabeni boyunca geniş yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı birimler yer almaktadır. Menderes Masifi temel kayalarının kuzey-güney yönlü gerilmenin etkisiyle sürekli olarak yükselmesi sonucu Menderes Grabeni'nin kuzey kenarında doğu-batı yönlü biribirine paralel basamak faylar gelişmiştir. Bu basamak fay sistemi sahanın güneyinde alüvyon içinde de devam etmekte horst-graben yapısı oluşturmaktadır. İnceleme alanındaki D-B uzanımlı normal fayları kesen K-G, KB-GD ve KD-GB doğrultulu faylar jeotermal alanda önemli yapısal unsurlardır. Sahada Neojen kayaçların çakıltaşı seviyeleri I.rezervuarı oluşturmaktadır. Temeli oluşturan sert ve kırılgan litolojiler aktif graben tektonizması sonucunda ikincil geçirimlilik kazanmışlardır. Başlıca mermer, kalkşist ve kuvarsit ardalanmasından oluşan bu kayaçlar sahada II.rezervuarı oluşturur. İnceleme alanında rezervuarları biribirinden ayıran iki örtü kayaç topluluğu bulunmaktadır. Bunlar Neojen yaşlı kayaçların kumtaşı-kiltaşı-silttaşı ardalanması sunan litolojileri ile Menderes Masifi'nin şistleridir. Alanda açılmış olan derin jeotermal kuyuların rezervuar sıcaklıkları 149-155 ºC, debileri 15-50 l/s, özgül elektriksel iletkenlik değerleri ise 4300-5610 (µS/cm) arasındadır. İyon içeriklerine göre sıcak ve mineralli sular Na-HCO_3, soğuk sular ise Ca-HCO_3 ve Ca-Mg-HCO_3'lı sular tipine girmektedir. İnceleme alanında silis jeotermometrelerinden kuvarsa dayalı olan eşitlikler 148 ile 166 °C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları vermiştir. Bu sonuçlar sahada rezervuar sıcaklığını oluşturan 149-155 °C ile karşılaştırıldığında uyum içerisindedir. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki jeotermal sahalardan yapılan izotop örneklemesi sonucunda artan sıcaklıkla birlikte $\delta^{18}O$ zenginleşmesinin olduğu görülmüştür. Bu sahalardaki sıcak suların, yüksek Eİ, Cl^- ve düşük ^3H değerine sahip olması, derin ve uzun süreli (55 yıldan fazla) yer altı dolaşımlı meteorik kökenli sular olduğunu göstermektedir.

Ocak 2010, 133 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sıcak ve mineralli su, jeotermal saha, hidrojeokimya, izotop, Umurlu, Aydın

ABSTRACT

Master Thesis

HYDROGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE GROUNDWATER OF UMURLU (AYDIN) GEOTHERMAL FIELD

Engin BÜLBÜL

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geology Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Mehmet ÇELİK

Determination of the recharge sources, occurrance mechanism, circulation processes and conceptual model with the help of the hydrogeochemical and isotopic characteristics of hot and mineral spring and well waters, located in the Geothermal Area of Umurlu (Aydın), is the aim in this study. The study area is located in Umurlu, 15 km to the east of Aydın town center. The metamorphics of the Menderes Massive, of Paleozoic age, are encountered at the base in the Aydın – Umurlu Geothermal Field. The disconformitively overlaying Neogene series are basically formed of Pliocene and Miocene aged units. Quaterniary aged alluvial deposits, croping out widely through the Menderes Graben are located at the top. As the result of the North – South extension and the continous elevation of the Menderes basement rocks, paralel step fault systems have occured at the northern bank of the Menderes Graben. This step fault also occurs at the southern bank, below the alluvial deposits, leading to the horst – graben structure. The faults with N-S, NW-SE and NE-SW strikes which cut the E-W directioned normal faults of the graben system, are important structural elements of the geothermal area. The conglomerates of the Neogene series form the first reservoir in the area. Hard and compact lithologies of the basement rocks have gained a secondary porosity due to the active graben tectonism. These rocks constituing of marble, calc – schist and quartzite sequence, form the second reservoir in the area.There are two cap rocks between the reservoirs seperating each from the other. These are the sandstone, claystone and mildstone lithologies of the Neogene series and the schist rocks of the Menderes Massive. Deep geothermal wells, drilled in the site, give 149 – 155 °C of reservoir temperatures, 15 – 50 l/sec of flow rates, 4300 – 5610 µS/cm of specific electrical conductivities. According to the ion concentrations, hot and mineral waters are of Na – HCO_3, where as cold groundwaters are of Ca – HCO_3 and Ca – Mg – HCO_3 type waters. Quartz geothermometer calculations give reservoir temperatures between 148 and 166 °C, which show conformity with the real temperatures of the present wells. Enrichment of $\delta^{18}O$ is seen with the temperature increments, as the result of the isotope sampling in the exploration site and surrounding geothermal areas. High electrical conductivity, chloride and Tritium values of the geothermal waters of the area, indicate an origin of long and deep circulating (more than 55 years) meteoric origin waters.

January 2010, 133 pages

Key Words: Hot and Mineral Waters, Geothermal field, Hydrogeochemistry, Isotope, Umurlu, Aydin.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasını görüş ve katkılarıyla destekleyen danışman hocam Prof.Dr. Mehmet ÇELİK'e (Ankara Üniversitesi) saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın hazırlanmasına imkan sağlayan, bünyesinde çalışmaktan onur duyduğum MTA Genel Müdürlüğü'nün değerli yöneticilerinden Genel Müdür Yardımcısı Hayrullah DAĞISTAN'a, proje çalışma arkadaşlarımdan Çetin KARAHAN, Düzgün ÇAM, Berrin AKAN, Dilek BATUM, Hasan ÜNAL ve manevi destek ve sabırlarını hiç esirgemeyen eşim Rabia ve oğlum Kaan BÜLBÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez juri üyeleri Prof. Dr. Yusuf Kağan KADIOĞLU (Ankara Üniversitesi) ve Prof. Dr. Nail ÜNSAL (Gazi Üniversitesi) teze şekilsel ve bilimsel içerik bakımından katkıda bulunmuşlardır kendilerine teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmekte olan "Batı Anadolu'daki Jeotermal Sahaların Kavramsal Modelinin Oluşturulması" ve "Aydın ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi" kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Engin BÜLBÜL
Ankara, Ocak 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ x
1. GİRİŞ 1
1.1 Amaç ve Kapsam 1
1.2 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri 1
1.3 İnceleme Alanının Tanıtılması 2
1.4 İklim ve Bitki Örtüsü 4
1.5 Önceki Çalışmalar 7
2. BATI ANADOLU'NUN JEOLOJİSİ 13
2.1 Menderes Masifi 13
2.2 Neojen-Kuvaterner Yaşlı Havza Birimleri 17
2.3 Ege Bölgesi'nin Aktif Tektonizması 17
2.4 Ege Bölgesi'ndeki Gerilmenin Kökeni ve Zamanı 18
2.4.1 Tektonik kaçma modeli 18
2.4.2 Yay ardı açılma modeli 18
2.4.3 Orojenik çökme modeli 19
2.4.4 Çekirdek kompleks modeli 20
2.5 Büyük Menderes Grabeni 20
3. İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ 23
3.1 Stratigrafi 23
3.1.1 Paleozoyik 25
3.1.1.1 Gnays (Pzgny) 25
3.1.1.2 Şist (Pzmrş) 26
3.1.1.3 Mermer (Pzm) 28
3.1.2 Tersiyer 28
3.1.2.1 Miyosen (My) 29
3.1.2.2 Pliyosen (Pl) 30
3.1.3 Kuvaterner 30
3.1.3.1 Pleyistosen (Plt) 31
3.1.3.2 Holosen (Qaly, Trç) 31
3.2 Yapısal Jeoloji 32
3.3 Jeofizik Çalışmaları 35
3.3.1 CSAMT yöntemi (Yapay kaynaklı manyetotellürik yöntem) 35
3.4. Umurlu Jeotermal Sahasında Yapılan Aktif Tektonik Çalışmaları 38
3.4.1 Pınardere hendeği 38
3.4.2 Musluca dere hendeği 40
3.5 Toprak Gazı Ölçümleri 42
4. HİDROJEOLOJİ 45
4.1 Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri 45
4.1.1 Geçirimli birimler 45
4.1.2 Yarı geçirimli birimler 48

4.1.3 Geçirimsiz birimler 48
4.2 Yüzey Suları 49
4.3 Kaynaklar 49
4.3.1 Soğuksu kaynakları 49
4.3.1.1 Musluca kaynağı (U-6) 50
4.3.1.2 Palamutcuk çeşmesi (U-7) 50
4.3.1.3 Olucakpınar çeşmesi (U-8) 51
4.3.2 Soğuksu kuyuları 52
4.3.2.1 Hamdi'nin kuyusu (U-9) 52
4.3.3 Sıcaksu kaynakları 53
4.3.3.1 İmamköy kaynağı (U-4) 53
4.3.4 Sıcak su kuyuları 54
4.3.4.1 Aydın-Serçeköy (ASK-1) jeotermal sondaj kuyusu (U-1) 54
4.3.4.2. Aydın-Umurlu (AU-1) jeotermal sondaj kuyusu (U-2) 57
4.3.4.3 Aydın-Umurlu (AU-2) jeotermal sondaj kuyusu (U-3) 61
5. HİDROJEOKİMYA 65
5.1 Suların Fiziksel Özellikleri 66
5.1.1 Sıcaklık (T) 66
5.1.2 Elektriksel iletkenlik (EI) 68
5.1.3 Hidrojen iyon aktivitesi (pH) 69
5.2 Suların Kimyasal Özellikleri 70
5.2.1 Majör iyonlar 70
5.2.2 Kirlilik analizleri 74
5.2.3 Ağır metaller 76
5.3 İnceleme Alanındaki Suların Kökeni 80
5.3.1 Su kaynaklarının iyon karakteristikleri 80
5.3.2 Schoeller diyagramı 82
5.3.3 Piper diyagramı 83
5.4 Suların AIH Sınıflaması 85
5.5 Sulama Suyu Sınıflaması 85
5.6 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı 86
5.7 Suların Mineral Doygunlukları 88
5.8 Jeotermometre Uygulamaları 91
5.8.1 Silis jeotermometreleri 92
5.8.2 Katyon jeotermometreleri 94
6. İZOTOP HİDROLOJİSİ 99
6.1 Örnekleme ve Analiz Çalışmaları 99
6.2 Duraylı İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi 102
6.2.1 Oksijen-18 ve döteryum ilişkisi 103
6.2.2 Trityum (^{3}H) 106
6.2.3 Trityum (TU)-Elektriksel İletkenlik (Eİ) 108
6.2.4 Trityum (TU)-Sıcaklık (°C) 110
6.2.5 Trityum (TU)-Klorür (Cl^-) 110
7. KAVRAMSAL HİDROTERMAL MODEL 112
7.1 Isı Kaynağı 112
7.2 Beslenme 113
7.3 Hazne Kayaç (Sıcak su akiferi) 113
7.4 Örtü Kayaç 114

8. SONUÇ ve ÖNERİLER..... 115
KAYNAKLAR 120
EKLER..... 127
EK 1 Umurlu Jeotermal Alanının Jeoloji Haritası 128
EK 2 Umurlu Jeotermal Alanının Jeolojik Kesitleri 129
EK 3 Umurlu Jeotermal Alanının Hidojeoloji Haritası 130
EK 4 Umurlu Jeotermal Alanının Hidrojeolojik Kesitleri..... 131
EK 5 Umurlu Jeotermal Alanının Hidrotermal Kavramsal Modeli 132
ÖZGEÇMİŞ..... 133

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

δ	İzotop derişiminin V-SMOW (Vienna Standart Mean Ocean Water)'dan sapma miktarı
^{2}H	Döteryum
^{3}H	Trityum
^{18}O	Oksijen-18
Eİ	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)
µS/cm	Mikrosiemens/santimetre
mek/l	Miliekivalen/litre
mg/l	Miligram/litre
pH	Hidrojen iyonu aktivitesi negatif logaritması
SI	Doygunluk İndeksi
TU	Trityum Birimi
SAR	Sodyum Adsorpsiyon Oranı
T	Sıcaklık (°C)
TÇM	Toplam Çözünmüş Madde
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
AÜ	Ankara Üniversitesi
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
BMG	Büyük Menderes Grabeni
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
SMOW	Standart Mean Ocean Water (Standart Ortalama Deniz Suyu)
CSAMT	Controlled Source Audio Magnetotelluric (Yapay Kaynaklı Manyetotellürik Yöntem)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritaları 3
Şekil 1.2 İnceleme alanı ve yakın çevresindeki yağış gözlem istasyonlarının dağılımı 4
Şekil 1.3 İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri 5
Şekil 1.4 Aydın-Merkez DMİ'ye ait aylık ortalama yağış ve sıcaklık değişimi 5
Şekil 2.1 Menderes Masifi ve çevresindeki tektonik birlikleri gösterir jeoloji haritası ve A-B doğrultusunda şematik enine kesit (Gürer 2007) 14
Şekil 2.2 Menderes Masifi'nin genelleştirilmiş sütun kesiti (Dora vd. 2001) 16
Şekil 2.3 Türkiye'nin Neotektonik haritası (Barka vd. 1995) 17
Şekil 2.4 Orojenik çökme modeli (Gürer 2007) 19
Şekil 2.5 Büyük Menderes Grabeni'nde yer alan jeotermal sahalar (Şimşek 2003'den yararlanılarak elde edilmiştir) 22
Şekil 3.1 İnceleme alanının stratigrafisi 24
Şekil 3.2 Paleozoyik yaşlı gözlü gnays 25
Şekil 3.3 Allokton altere gnays 26
Şekil 3.4 Paleozoyik yaşlı kuvars-muskovit şist 27
Şekil 3.5 Paleozoyik yaşlı granat şist 27
Şekil 3.6 Mermer-fillit ardalanması 28
Şekil 3.7 Kırmızı-bordo renkli üst Miyosen çökelleri 29
Şekil 3.8 Pliyosen yaşlı kiltaşı-kumtaşı-çakıltaşı serileri 30
Şekil 3.9 Pleyistosen yaşlı gevşek tutturulmuş çakıltaşı-kiltaşı serileri 31
Şekil 3.10 D-B uzanımlı normal fay 33
Şekil 3.11 İnceleme alanındaki Temel-Neojen sıyrılma fayı 33
Şekil 3.12 İnceleme alanındaki makas zonlarında gözlenen hidrotermal alterasyonlar 34
Şekil 3.13 CSAMT ölçü düzeneği (Yamashita 1987) 35
Şekil 3.14 CSAMT ölçüm profilleri lokasyon haritası 36
Şekil 3.15 CSAMT A-B profili (Batum ve Üçer 2009) 37
Şekil 3.16 CSAMT C-D profili (Batum ve Üçer 2009) 37
Şekil 3.17 Pınardere hendeğinin lokasyon haritası 38
Şekil 3.18 Pınardere hendeğinin jeolojik enine kesiti (Eravcı 2006) 39
Şekil 3.19 Musluca dere hendeğinin lokasyon haritası 40
Şekil 3.20 Musluca dere hendeğinin jeolojik enine kesiti (Eravcı 2006) 41
Şekil 3.21 Radon dağılım haritası 44
Şekil 4.1 Çalışma alanındaki litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafik kesit (ölçeksiz) 47
Şekil 4.2 Palamutcuk çeşmesi 51
Şekil 4.3 Olucak pınar çeşmesi 51
Şekil 4.4 Hamdi'nin kuyusu 52
Şekil 4.5 İmamköy kaynağından görünüm 53
Şekil 4.6 ASK-1 sondajı kuyu bitirme logu (Karahan ve Güdücü 2008) 55
Şekil 4.7 ASK-1 sondajından görünüm 56
Şekil 4.8 ASK-1 kuyusu su kaybı testi 57

Şekil 4.9 AU-1 sondajı kuyu bitirme logu (Karahan ve Dönmez 2008)..... 59
Şekil 4.10 AU-1 sondajından görünüm..... 60
Şekil 4.11 AU-1 kuyusu su kaybı testi..... 60
Şekil 4.12 AU-2 sondajı kuyu bitirme logu (Karahan ve Gökmenoğlu 2008) 62
Şekil 4.13 AU-2 sondajının gayzerli üretiminden görünüm..... 63
Şekil 4.14 AU-2 kuyusu su kaybı testi..... 64
Şekil 5.1 İnceleme alanında yer alan suların Schoeller diyagramı 83
Şekil 5.2 İnceleme alanında yer alan suların piper diyagramı 84
Şekil 5.3 İnceleme alanında yer alan suların Wilcox diyagramı..... 86
Şekil 5.4 İnceleme alanında yer alan suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı..... 87
Şekil 5.5 Yeraltı sularının mineral doygunluk diyagramı..... 91
Şekil 5.6 İnceleme alanındaki sıcak sular için oluşturulmuş Giggenbach (1988) diyagramı 97
Şekil 5.7 İnceleme alanı için uygulanabilir jeotermometre yöntemlerinin seçilmesi 98
Şekil 6.1 İzotop örneklemesi yapılan noktalarının lokasyon haritası (Şimşek, 2003'den değiştirilerek)(ölçeksiz) 100
Şekil 6.2 İnceleme alanı ve çevre jeotermal sahalardaki suların $\delta^{18}O$-^{2}H grafiği..... 104
Şekil 6.3 İnceleme alanındaki suların ^{3}H-Eİ grafiği 109
Şekil 6.4 İnceleme alanındaki suların ^{3}H-T (°C) grafiği..... 110
Şekil 6.5 İnceleme alanındaki suların ^{3}H-Cl^{-} grafiği 111

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 1.1 İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri (mm) 6
Çizelge 1.2 İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C) 6
Çizelge 3.1 ASK-1 kuyusu civarında ölçülen gaz değerleri 43
Çizelge 4.1 ASK-1 kuyusu su kaybı testi statik sıcaklık ölçüm değerleri (Dünya 2008) 57
Çizelge 4.2 AU-1 kuyusu su kaybı testi statik sıcaklık ölçüm değerleri (Dünya 2008) 60
Çizelge 4.3 AU-2 kuyusu su kaybı testi statik sıcaklık ölçüm değerleri (Dünya 2008) 64
Çizelge 5.1 Yeraltı sularının fizikokimyasal analiz sonuçları 67
Çizelge 5.2 Suların elektriksel iletkenliğe göre sulama suyu açısından sınıflaması (Erguvanlı ve Yüzer 1973) 68
Çizelge 5.3 Çalışma alanındaki suların elektriksel iletkenlik değerlerine göre sulama suyu sınıflaması 69
Çizelge 5.4 İnceleme alanı içerisindeki su örneklerine ait kirlilik analizi sonuçları 74
Çizelge 5.5 Umurlu jeotermal sahasına ait su örneklerinin ağır metal analizleri (mg/l) 77
Çizelge 5.6 İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların iyon sıralaması 81
Çizelge 5.7 Yeraltı sularının Doygunluk İndisi (SI) değerleri 90
Çizelge 5.8 Silis jeotermometre eşitlikleri (S=mg/l olarak SiO_2 derişimidir) 93
Çizelge 5.9 Sıcak su kaynak ve kuyuları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları 93
Çizelge 5.10 Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler mg/l'dir) 94
Çizelge 5.11 Sıcak su kaynak ve kuyuları için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları 95
Çizelge 5.12 İnceleme alanı için uygulanan jeotermometre yöntemleri 98
Çizelge 6.1 İzotop örneklemesi yapılan kuyulara ait öz bilgiler 101
Çizelge 6.2 İnceleme alanındaki suların duraylı izotop içerikleri 102
Çizelge 6.3 İnceleme alanındaki suların trityum içerikleri 108

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada Aydın ili sınırları içerisinde yer alan Umurlu jeotermal sahasındaki sıcak ve mineralli sularının jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve jeofiziksel değerlendirilmesinin yapılarak termal suların kökenlerinin, oluşum mekanizmalarının ve yer altı dolaşım süreçlerinin belirlenmesi ve bu veriler ışığında Umurlu Jeotermal Sahası için kavramsal hidrotermal modelin oluşturulması amaçlanmaktadır.

1.2 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

Bu çalışma Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yürütülmekte olan "Batı Anadolu'daki Jeotermal Sahaların Kavramsal Modelinin Oluşturulması ve Rezervuar Parametrelerinin Belirlenmesi Projesi" ve "Aydın ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi" kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle Aydın civarında yapılmış olan jeolojik, hidrojeolojik çalışmalar derlenmiş, inceleme alanının jeoloji haritası yapılan saha çalışmaları ve uydu görüntülerinin analizi ile revize edilmiştir. İnceleme alanı içerisinde yer alan soğuk ve sıcak sulardan Mayıs 2008 ve Kasım 2008 tarihlerinde olmak üzere iki dönem halinde örnekleme yapılmaya çalışılmış, ancak bazı çevresel şartlar ve sahadaki derin jeotermal kuyuları tekrar üretime açmak mümkün olmadığından bu kuyulardan tek dönem halinde örnekleme yapılarak kimyasal ve izotopik analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Umurlu jeotermal sahasının Büyük Menderes Grabeni içerisindeki jeotermal sahalara göre konumunu daha doğru olarak ortaya koymak maksadıyla bu sahanın doğu komşusu olan Salavatlı jeotermal sahası ve batı komşusu olan Germencik jeotermal sahalarındaki kuyuların bazılarından da izotop örneklemesi yapılmış, örnekleme yapılamayan kuyularda da değişik araştırmacıların verilerinden faydalanılmış ve sonuçlar İzotop Hidrolojisi bölümünde toplu halde değerlendirilmiştir.

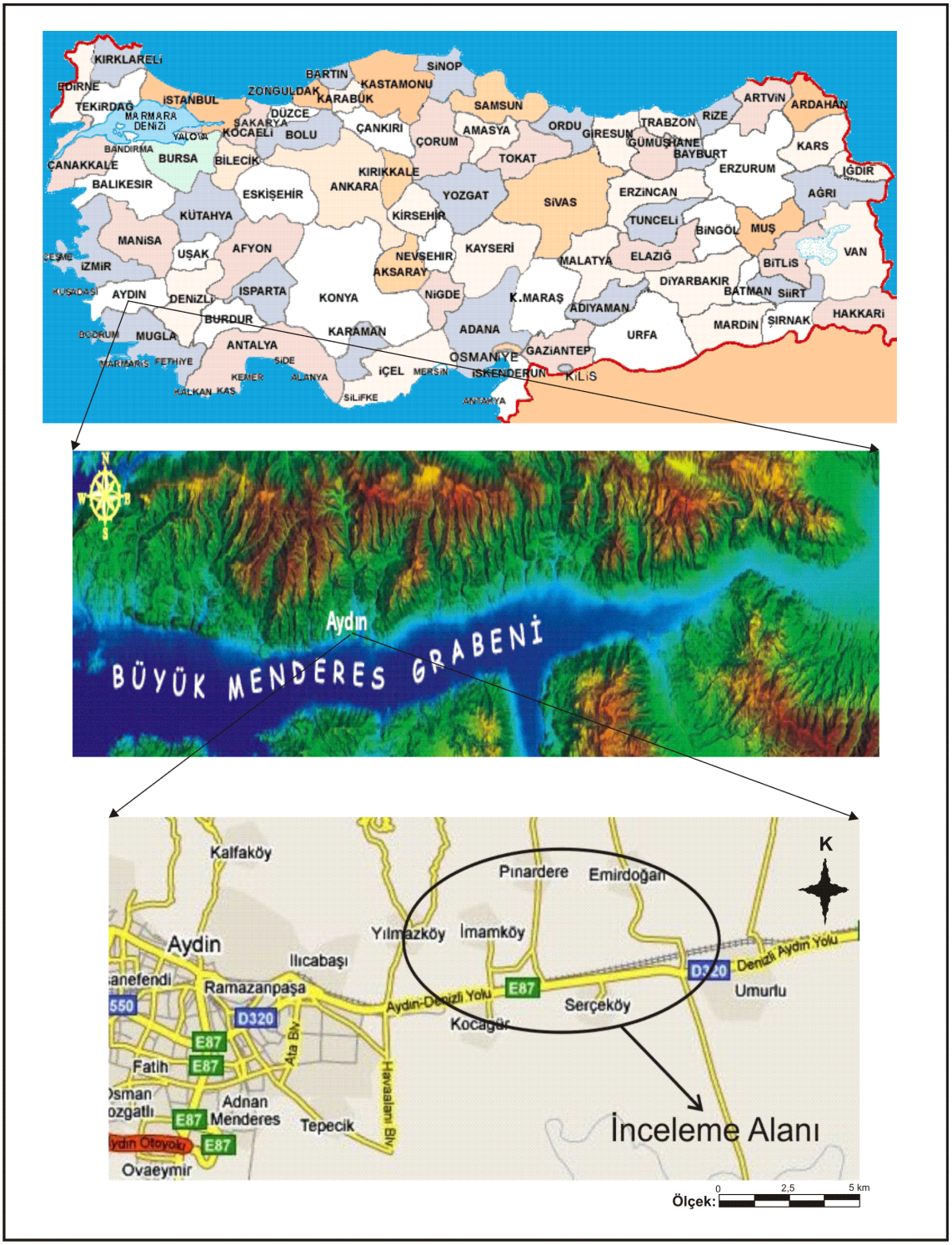
İnceleme alanında rezistivite ve CSAMT (Controlled Source Audio Magnetotelluric-Yapay Kaynaklı Manyetotellürik Yöntem) jeofizik çalışmaları ile Toprak gazı (Rn-CO_2) ölçümleri yapılarak jeolojik yapı, gömülü aktif tektonik hatlar ve jeotermal anomalinin devamlılığı araştırılmıştır.

Aydın-Umurlu jeotermal sahasında yer alan sıcak ve mineralli suların kimyasal analiz sonuçları Aquachem ve Phreeqc bilgisayar programlarıyla değerlendirilerek, sıcak akışkanların çözme ve çökelme özellikleri, yeraltında gelişen hidrokimyasal süreçler ve hidrokimyasal fasiyesleri hakkında bilgi edinilmiştir. Jeotermometre uygulamaları sıcak suların karakterine bağlı olarak seçilen jeotermometre formülleri ile hesaplanarak rezervuar sıcaklıkları tahmin edilmiş ve bulunan sonuçlar sahada açılmış olan kuyuların gerçek rezervuar sıcaklıklarıyla karşılaştırılarak saha için en uygun jeotermometre yöntemi belirlenmiştir. İzotop verileri ışığında suların kökeni, beslenme dönemi koşulları, buharlaşma etkileri yorumlanarak, yer altı suyunun beslenim ve dolaşım sistemi yorumlanmıştır. Elde edilen verilerle Aydın-Umurlu jeotermal sahasının hidrotermal kavramsal modeli oluşturulmuştur.

1.3 İnceleme Alanının Tanıtılması

Çalışma alanı Aydın ilinin yaklaşık 10 km doğusunda yer almaktadır. İnceleme alanı 1/25000 ölçekli Aydın M19b2 ve M19b3 paftalarında yaklaşık 150 km^2 lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1).

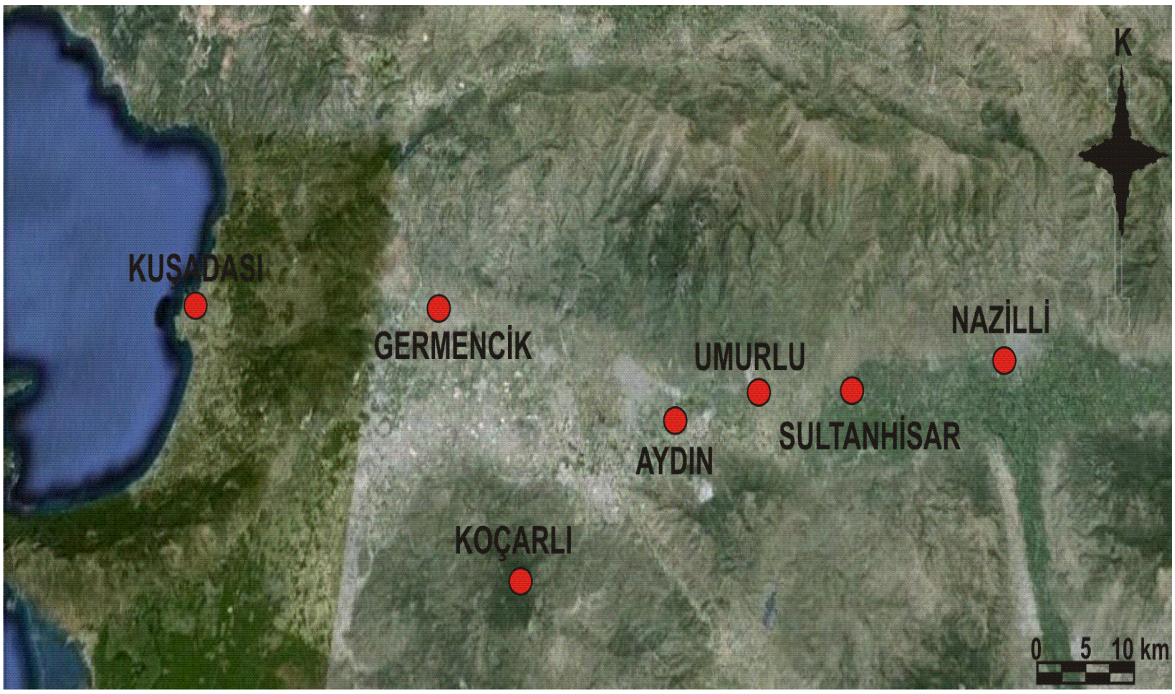
İnceleme alanında yer alan Pliyosen yaşlı kayaçlar gevşek tutturulmuş olduğundan kolay aşınmalıdır. Bunun yanı sıra genç tektonizmanın da etkisi nedeniyle alanda morfoloji çok dalgalı olup, çok sayıda tepe oluşmuştur. Bunlardan başlıcaları İmambaba Tepe (1648 m), Sivri Tepe (1659 m), İngediği Tepe (1142 m), Murat Dağı (1274) m dir. Çalışma alanının kuzeyini kapsayan Paleozoyik yaşlı formasyonlar yer yer orman ve yayla düzlükleri ile kaplıdır. Güneyde ise D-B yönünde akan Menderes Nehri bölgenin en büyük akarsuyudur. Akarsuyun kış ve ilkbaharda debisinde büyük artışlar olurken, yaz aylarında debisinde oldukça düşme görülmektedir.



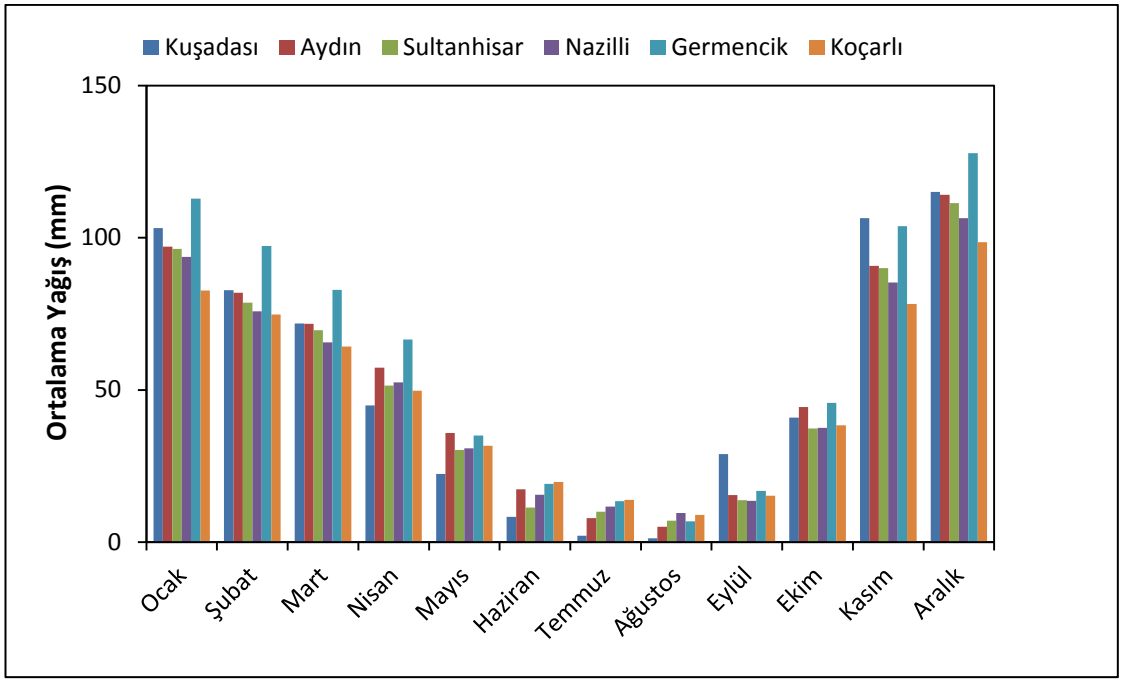
Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritaları

1.4 İklim ve Bitki Örtüsü

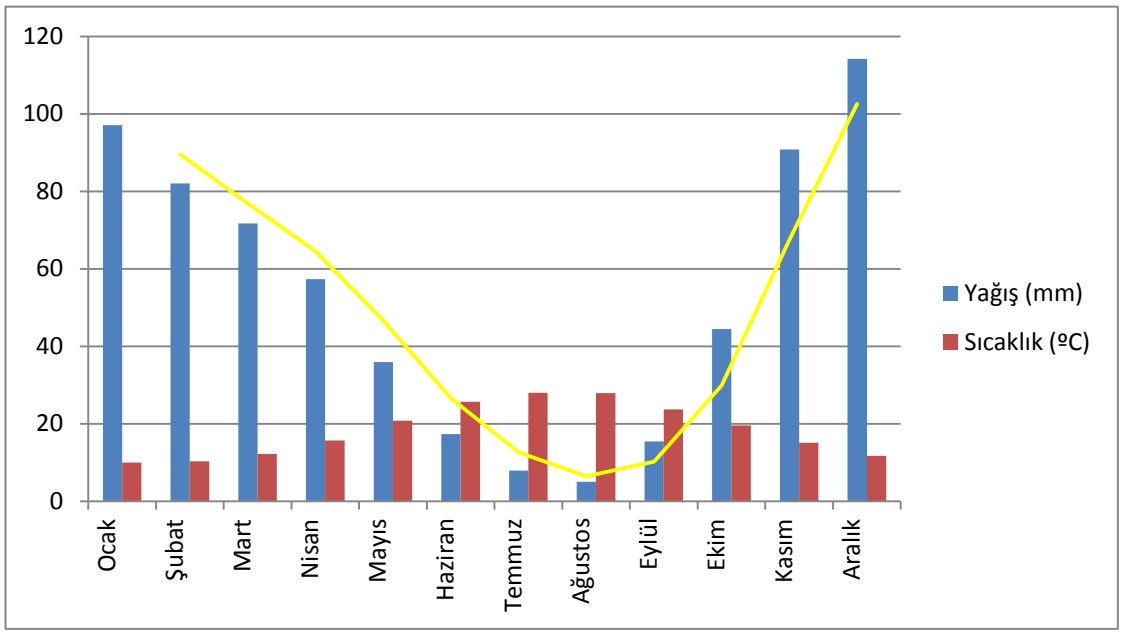
İnceleme alanında yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı geçen tipik Akdeniz iklimi hüküm sürmektedir. Bu çalışmada, Umurlu jeotermal alanında yeraltısuyunun besleniminin belirlenmesi amacıyla yağış ve sıcaklık bileşenleri incelenmiştir. Bu kapsamda inceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen istasyonların yağış ve sıcaklık verileri elde edilmiştir (Şekil 1.2). İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan 6 adet yağış istasyonunun uzun yıllar arasındaki ölçümler için hazırlanan aylık ortalama yağış grafiği incelendiğinde en yüksek yağışın Aralık ayında, en düşük yağışın ise Ağustos ayında gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 1.3). İnceleme alanına en yakın Aydın-Merkez Meteoroloji İstasyonu'na ait 1975 ve 2008 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık ölçümleri değerlendirilerek yağış ve sıcaklık değişimi incelenmiştir (Şekil 1.4). Buna göre Umurlu jeotermal sahasına en yakın gözlem istasyonu olan Aydın-Merkez istasyona düşen ortalama yağış 639 mm/yıl, ortalama sıcaklık ise 18,4 °C olarak hesaplanmıştır (Çizelge 1.1-1.2). Temmuz ve Ağustos ayları en sıcak (25,4-28,6 °C) ve kurak aylardır. Yılın en soğuk ayları ise Ocak ve Şubat aylarıdır (6,8-10,3 °C).



Şekil 1.2 İnceleme alanı ve yakın çevresindeki yağış gözlem istasyonlarının dağılımı



Şekil 1.3 İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri



Şekil 1.4 Aydın-Merkez DMİ'ye ait aylık ortalama yağış ve sıcaklık değişimi

Çizelge 1.1 İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri (mm)

İstasyon adı	Gözlem süresi	Yükselti (m)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Kuşadası	1975-2008	25	103,2	82,8	71,8	44,9	22,4	8,3	2,02	1,2	28,9	40,9	106,5	115,13	628,1
Aydın	1975-2008	56	97,1	82,0	71,7	57,3	35,9	17,3	7,9	5,0	15,4	44,4	90,8	114,2	639,0
Sultanhisar	1975-2008	73	96,4	78,7	69,6	51,4	30,3	11,3	10,0	7,0	13,7	37,3	90,0	111,4	607,14
Nazilli	1975-2008	60	93,7	75,8	65,6	52,5	30,8	15,5	11,6	9,5	13,5	37,5	85,3	106,5	597,8
Germencik	1987-1995	45	112,9	97,3	82,9	66,6	35	19,1	13,4	6,8	16,8	45,7	103,8	127,8	728,1
Koçarlı	1985-1994	80	82,7	74,8	64,3	49,7	31,6	19,8	13,9	8,9	15,2	38,4	78,3	98,6	576,2

Çizelge 1.2 İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C)

İstasyon adı	Gözlem süresi	Yükselti (m)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
Kuşadası	1975-2008	25	9,1	9,2	11,5	15,1	19,2	23,8	26,1	25,4	22	17,9	13,4	10,6	16,9
Aydın	1975-2008	56	10	10,3	12,2	15,7	20,8	25,7	28,0	27,9	23,7	19,6	15,1	11,7	18,4
Sultanhisar	1975-2008	73	7,7	8,4	11,2	15,3	20,7	25,7	28,1	27,0	22,9	17,9	12,3	9,0	17,2
Nazilli	1975-2008	60	7,4	8,4	11,4	15,6	21,9	26,1	28,6	27,5	23,3	18,1	12,0	8,6	17,4
Germencik	1987-1995	45	7,6	8,4	11,3	15,4	20,7	25,9	28,5	27,4	23,3	18,3	12,5	8,9	17,4
Koçarlı	1985-1994	80	8,0	8,7	11,5	15,5	26,7	25,7	28,1	26,9	22,9	18,1	12,6	9,2	17,8

1.5 Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı, Menderes Masifi'ne günümüzdeki şeklini kazandıran grabenlerden biri olan Büyük Menderes Grabeni'nin bir bölümünü kapsamaktadır. Bölgede bugüne kadar yürütülen çalışmalar ile inceleme alanının jeolojik, stratigrafik ve bölgesel tektonizmaya bağlı olarak gelişen sıcak suların oluşum koşullarına yaklaşımlarda bulunulmuştur. Çalışma alanı ve yakın çevresinide içine alan jeotermal amaçlı araştırmaların bazıları aşağıda verilmiştir.

Akartuna (1953), Aydın-Nazilli hattının kuzey yamaçlarında çalışmış, bu bölgenin genellikle kristalen şist ve Neojen'e ait formasyonlarla Kuvaterner'e ait alüvyonlardan meydana geldiğini belirtmiştir.

Yüksel (1971), Söke-Germencik bölgesinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları üzerine etüt yapmıştır. Bu çalışmaya göre Paleozoyik alttan üste doğru şöyle sıralanmıştır; 1. Gnays-granat şistler, 2. Mikaşist-mermerler, metamorfik şistler, 3. Mermerler. Paleozoyik'in üzerine açısal diskordansla Üst Pliyosen kayaçları gelmektedir. Ayrıca yaşları bilinmeyen ve metamorfikleri kesen ultrabaziklerin yanı sıra, Söke dolayında Üst Pliyosen'i kesen çok genç bazaltlar bulunmaktadır.

Karamanderesi (1972), Aydın-Nazilli-Çubukdağ arasında jeolojik harita alımı yapmış, bölgenin jeotermal potansiyelini araştırmış ve Salavatlı, Sultanhisar sahalarının jeotermal anlamda önemli olduğunu belirtmiştir.

Keskin (1972), Kızıldere jeotermal sahasında jeokimyasal analizler yaparak bölgede hazne kaya sıcaklığı 260 °C olan gnays-kuvarsit bileşimli üçüncü bir rezervuar kayacın varlığından bahseder.

Sarıız (1976), İnceleme alanında M19-b2 paftasında çalışmış Aydın-Umurlu bölgesinin jeolojisi ve jeotermal alan olanaklarına ilişkin ön raporu hazırlamıştır. Bu rapor sonucuna göre; çalışılan alan jeotermal alan olması mümkün olabilecek sahalar

dışındadır. Sıcak su kaynaklarının birincil hazne kayacı derinlerde olup, çalışılan sahada belirgin değildir.

Şimşek vd. (1980), Germencik-Ömerbeyli jeotermal sahasını detaylı çalışmışlardır. Bu alanda Menderes metamorfiklerinin genel stratigrafik istifi ile sahanın jeotermal potansiyelini ortaya koymuşlardır.

Filiz (1984), Ege bölgesinde yüzeyleyen önemli jeotermal alanları (Çeşme-Seferihisar, Dikili-Bergama, Sındırgı-Hisaralan, Bayındır-Dereköy, Aydın-Germencik) $\delta^{18}O$, $\delta^{2}H$, $\delta^{3}H$ ve $\delta^{13}C$ izotopları ile incelemiş, Aydın-Germencik yöresi için $\delta^{18}O$ zenginleşmesinin diğer sahalara göre daha yüksek olduğunu belirterek, Germencik sahasının rezervuar sıcaklığının Kızıldere jeotermal sahasından daha yüksek olabileceğini vurgulamıştır.

Şahin (1985), Aydın-Sultanhisar-Salavatlı sahalarında rezistivite etüdü gerçekleştirmiş, özdirenç aralıklarını 250-500 m olarak tutmuş ve rezistivite haritasında düşük rezistiviteli alanları belirlemiştir.

Akdoğan ve Gülay (1988), Aydın-Sultanhisar-Salavatlı sahalarında jeotermal amaçlı gravite etüdü yaparak sahada jeotermal açıdan önemli olan tektonik hatları ve gömülü yapıları araştırmıştır.

Güleç (1988), Germencik ve Bozköy kaplıcasındaki akışkanlardan asal gaz izotop çalışması yapmıştır. Bu çalışmalarda Germencik jeotermal alanındaki helyum asal gaz kökeninin %99 oranında kabuksal olduğunu, Kızıldere sahasında da manto katkısının %25-30 arasında değişmekte olduğunu belirtmiştir.

Karamanderesi (1994), inceleme alanının yakın çevresindeki Köşk-Sultanhisar-Atça jeotermal sahalarında jeolojik harita revizyonu yapmış ve bu çalışmalar sonucunda AS-1 ve AS-2 kuyuları açılmıştır. 1510 m derinliğindeki AS-1 kuyusunda 169,77 °C

maksimum sıcaklıkta 337,8 t/h debide, 962 m derinlikteki AS-2 kuyusunda ise 175,62 °C maksimum sıcaklıkta 313,2 t/h debide jeotermal akışkan elde edilmiştir.

Giese (1997), Menderes Masifi jeotermal alanlarında yaptığı incelemede, sıcak suların dinamik denge koşulları ve gelişimini, çevresel jeolojik koşullarını ve jeotermal sahalarda kabuklaşmaya neden olan etkenleri araştırmış tüm alanların enerji ve materyal dengesini saptamıştır. Bu çalışmanın sonucunda bölgesel ölçekte jeotermal model ortaya konmuştur.

Mutlu ve Güleç (1998), Büyük Menderes Grabeni'nde gelişen jeotermal suların, bölgede etkin grabenleşmeye bağlı olarak geliştiğini ve tektonizmanın etkinliğini dikkat çekerler. Bu incelemede jeotermal suların rezervuar kayaçlarının Menderes Masifi'ne ait Mesozoyik öncesi mermer, gnays, kuvarsitlerden oluşan metamorfik kayaçlar, Mesezoyik yaşlı kireçtaşları ve Neojen yaşlı volkanosedimanter kayaçlar olduğu belirtmiştir. Araştırmacılar Aydın-Germencik sahasındaki Cl^- zenginleşmesinin olasılıkla fosil sularla ilişkili olabileceğini, ayrıca Kızıldere sahasında HCO_3^- varlığının ise jeotermal rezervuar içindeki karbonatlı kayaçlar ile su-kayaç ilişkisi içinde olabileceğini ortaya koymuşlardır. Kızıldere sahasındaki sularda Ca^{+2} yerine Na^+ etkinliği, jeotermal sistemde CO_2 varlığı ile karakterize edildiğini, Na^+'un silisik-klastik kayaçların alterasyonu ile oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışma kapsamında Batı Anadolu'da yüzeyleyen jeotermal suların, neotektonizmaya bağlı olduğunu, dolayısıyla litostatik basınç kaçmasına bağlı olarak manto malzemesinin yükselerek suları etkilediğini belirtmişler ve fay hatları boyunca gelişen suların derin döngüsünün önemli bir etmen olduğunu ortaya koymuşlardır.

Filiz vd. (2000), Germencik jeotermal alanındaki termal suların meteorik kökenli olduğunu ve trityum değerlerinin jeotermal suların yaşının en az 50 yılı işaret ettiğini belirtmişlerdir.

Gemici ve Tarcan (2002), Menderes Masifi'nde yüzeyleyen sıcak suların rezervuar kayaçlarının Menderes Masifi Metamorfikleri olduğunu belirtmektedirler.

Araştırmacılar gnays ve şistlerin genellikle düşük bor içeriği göstermesine karşın Menderes Masifi'nde yüzlek veren kayaçlarda bulunan serizit, illit ve turmalin minerallerinin su-kayaç ilişkisi ile sıcak sulardaki bor artışının nedenlerinden biri olduğunu savunmuşlardır. Çalışmada gerek düşük gerekse yüksek sıcaklıktaki jeotermal sulardaki HCO_3^- ve B^- arasında gözlenen pozitif korelasyon sonucunda sıcak sularda B^- içeriğinin öncel çalışmalarda belirtildiği gibi karbonatların çözünürlüğü ile ilgili olduğunu vurgulamışlardır.

Vengosh vd. (2002), Batı Anadolu'daki termal suların jeotermal özellikleri ile ilgili yaptıkları incelemede; denizel olmayan sıcak sularda farklı kökenli kayaçları ve farklı derin dolaşımları yansıtan üç tip kimyasal bileşimli su ayırt etmişlerdir. Na^+-HCO_3^- ve Na^+-SO_4^- tipli sular derin dolaşımlı olup metamorfik kayaçlar ve gnayslarla ilişkili olduğu, Ca^{+2}-Mg^{+2}-SO_4^{-2}-HCO_3^- bileşimli suların karbonatlı kayaçlardaki yüzeysel dolaşımı ve soğuk yüzey suları ile karıştığını belirtmişlerdir. Çalışmadaki verilerin Batı Anadolu'da bulunan sıcak sulardaki yüksek borun, derin mantodan $B(OH)_3$ gazı olarak boşalımından ziyade su-kayaç ilişkisi yoluyla oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Karamanderesi ve Helvacı (2003), Menderes masifindeki tektonik gelişim ve evreleri ile hidrotermal alterasyonların ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Salavatlı jeotermal alanında gözlenen kuvars, albit, klorit, kalsit, aragonit, dolomit, kaolinit, illit, montmorillonit, jips, vermikülit, pirit, siderit ve hidrobiyotit alterasyon mineralleridir. Bu minerallerin varlığı aktif jeotermal akışkan dolaşımının halen aktif olduğunu göstermektedir. Çalışmada tespit edilen klorit, kalsit, illit, kaolinit, montmorillonit, pirit ve hidrobiyotit parajenezinin, Salavatlı jeotermal alanının rezervuar sıcaklığının 200 °C olduğunu işaret ettiğini ifade etmişlerdir.

Şimşek (2003), Büyük Menderes Grabeni boyunca yaptığı hidrojeokimya çalışmasında inceleme alanının yakın çevresinde bulunan Kızıldere, Germencik, Aydın-Ilıcabaşı sahalarında izotop örneklemesi yapmış ve bu sahalarda yüksek sıcaklık ile Oksijen-18 değerleri arasında gözlenen pozitif korelasyonun bu bölgelerdeki derin dolaşımı ve su-kayaç ilişkisini işaret ettiğini belirtmiştir.

Üçer ve Ak (2004), İnceleme alanının doğusunda yer alan Salavatlı jeotermal sahasında CSAMT jeofizik etütleri yapmış ve yeni reenjeksiyon ve üretim kuyuları için potansiyel alanları tespit etmişlerdir.

Yaman (2005), "Menderes Masifi Kıtasal Rift Zonlarında Yer Alan Jeotermal Sulardaki Yüksek Bor değerlerinin Kökeni" adlı doktora tez çalışmasında jeotermal sahalardaki sularda yüksek bor içeriğinin tümüyle mağmadan kaynaklanmadığına, sıcaklıkla beraber su-kayaç etkileşiminin bor çözünürlüğünü artırdığını belirtmiştir.

Karahan (2007), inceleme alanının yakın çevresindeki Sultanhisar jeotermal sahasında jeolojik harita alımı ve jeofizik çalışmaları gerçekleştirmiş ve bu çalışmaların sonucunda SH-1 ve SH-2 kuyuları açılmıştır. Alanda 988 m olarak açılan SH-1 kuyusunda, tabanda en yüksek sıcaklık 145 °C, üretim ise artezyenik olarak 80 l/s olarak ölçülmüştür. Aynı sahadaki SH-2 kuyusu ise 986 m olup, en yüksek sıcaklık kuyu tabanında 146 °C, üretim debisi ise artezyenik olarak 111 l/s olarak ölçülmüştür.

Batum ve Üçer (2009), inceleme alanı ve yakın çevresinde yapmış oldukları CSAMT jeofizik yöntemiyle havza ortasındaki gömülü tektonik yapıyı ve jeotermal aktiviteye bağlı düşük rezistiviteli zonları belirlemişlerdir.

Bülbül vd. (2008), inceleme alanının doğusunda yer alan Salavatlı jeotermal sahasında ME-GE Geothermal Elektrik A.Ş adına 1250 m'lik ASR-3 Reenjeksiyon Kuyusunu açmışlar, sonuç olarak 169,42 °C sıcaklıkta 85,8 l/s debide akışkan elde etmişlerdir. Reenjeksiyon amaçlı açılan bu kuyunun enjektivite indeksi değeri ise 15,368 t/saat/bar olarak saptanmıştır.

Karahan ve Bülbül (2009), "Aydın ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları" projesi kapsamında bölgede yapmış oldukları jeoloji, jeofizik, jeokimya çalışmaları sonucunda Hıdırbeyli jeotermal sahasında HB-1, HB-2, Çiftlik jeotermal sahasında AÇ-1, Umurlu-Serçeköy jeotermal sahasında ASK-1, AU-1, AU-2, Atça jeotermal sahasında AT-1, AT-2, Nazilli jeotermal sahasında NB-1, NG-1, Pamukören jeotermal sahasında AP-1,

AP-2, AP-3 kuyuları açılmıştır. Yazarlara göre, ortaya çıkarılan tüm bu jeotermal sahalar elektrik üretimine uygun sahalar olup, özellikle Pamukören sahasının 190 °C sıcaklığı ve 250 l/s debisi ile ülkemizin 4.büyük jeotermal sahası olarak literatüre girmiştir.

Karahan ve Güdücü (2008), inceleme alanında (Umurlu jeotermal sahası) 2054 m derinliğinde ASK-1 kuyusunu açmışlar, 154,48 °C maksimum dinamik sıcaklıkta 71 l/s debide akışkan elde etmişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalardan da görüldüğü üzere, inceleme alanı olan Umurlu jeotermal sahasındaki sıcak ve mineralli sulara yönelik herhangi bir hidrojeokimyasal değerlendirme bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasıyla Umurlu jeotermal sahasındaki sıcak ve mineralli suların jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve jeofiziksel değerlendirilmesi yapılarak, termal suların kökenleri, oluşum mekanizmaları ve yer altı dolaşım süreçleri belirlenip, bu veriler ışığı altında Umurlu jeotermal sahası için hidrotermal kavramsal model oluşturulacaktır.

2. BATI ANADOLU'NUN JEOLOJİSİ

Batı Anadolu'nun jeolojik özellikleri başlıca iki grup altında toplanabilir:

1. Tetis Okyanusu'nun tükenip, orojenik sistemin oluştuğu dönem. Bu dönem dalma-batma sisteminin denetlediği, çarpışma tipi orojenezin geliştiği dönemdir. Ege ve çevresinde bu dönemde gelişen orojenik kuşaklar; Apenin, Dinarid, Hellenid, Balkanid, Torid ve Pontidler'dir.

2. Neojen'de başlayıp halen bölgeyi etkileyen K-G doğrultulu gerilme dönemi. Bu dönemde bölge K-G doğrultulu gelişmiş ve bir çok karasal havza açılmıştır (Gürer 2007).

İnceleme alanını da içine alan Büyük Menderes Grabeni çevresi başlıca iki tektono stratigrafik birime ayrılmıştır. Bunlar;

1. Menderes Metamorfik Masifi

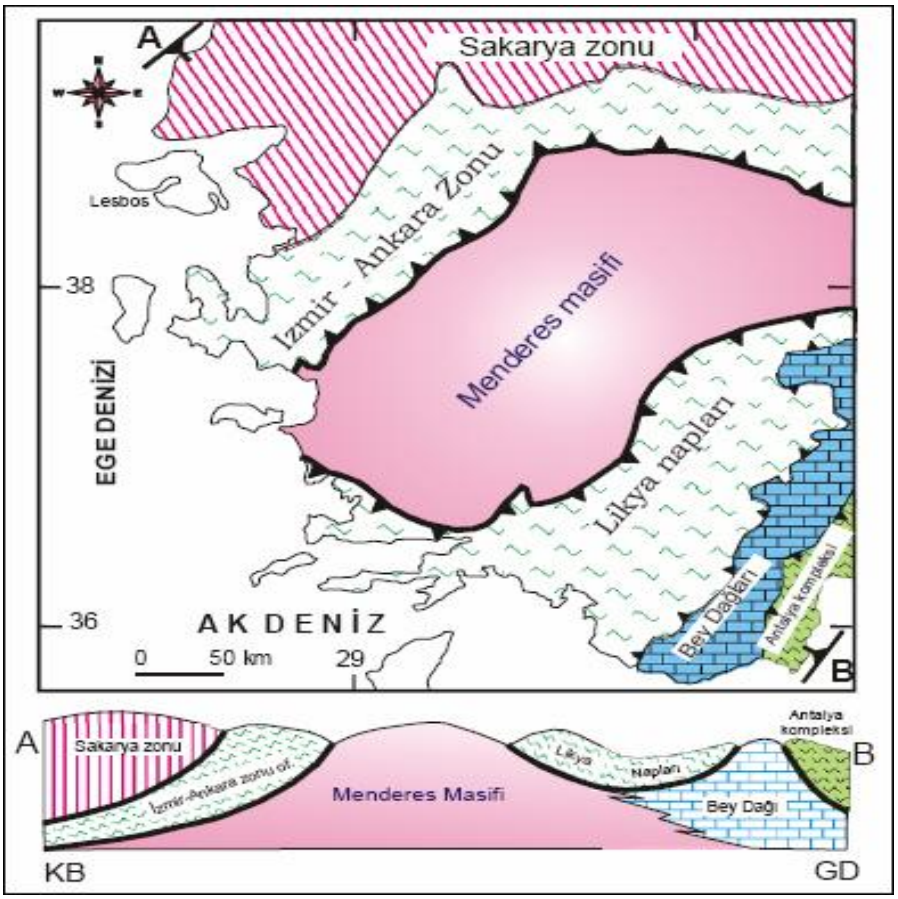
2. Neojen- Kuvaterner yaşlı havza birimleri

2.1 Menderes Masifi

Menderes Masifi genel olarak Batı Anadolu'nun otokton kristalin temel yapısını oluşturmaktadır. Masif, Alp-Himalaya orojenezinin geniş bir parçasını meydana getirmekte olup, bölgede yaklaşık 30.000 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Masif tektonik olarak KB'da Bornova Filiş Zonu'nu içine alan İzmir-Ankara Neotetis Sütür Zonu (Şengör ve Yılmaz 1981) güneyde Likya Napları (Graciasky 1972, Collins ve Robertson 1997) tarafından üzerlenmiştir (Şekil 2.1).

İnceleme alanının jeolojik istifi, temeli oluşturan Menderes Masifi'nin çekirdeği ve onu üzerleyen örtü birimlerinden oluşmaktadır.

Prekambriyen-Kambriyen yaşlı olan Pan-Afrikan projenezi ile ilişkili çok fazlı deformasyon ve metamorfizmaya sahip "çekirdek serisi" (Oberhanslı vd. 1997, Candan ve Dora 1998, Dora vd. 2001); gözlü gnayslar, metagranitler, yüksek dereceli şistler, paragnayslar ve eklojit kalıntıları içeren metagabrolardan oluşmuştur (Şengör vd, 1984, Satır ve Friedrichsen 1986, Candan 1995). Masifin çekirdeğinde egemen olan ve en geniş yayılıma sahip litolojiyi oluşturan gözlü gnayslar; iyi gelişmiş milonitik foliasyon ve K-G yönlü mineral uzaması ile karakterize edilen blastomilonitlerden meydana gelmektedir (Bozkurt ve Oberhanslı 2001).



Şekil 2.1 Menderes Masifi ve çevresindeki tektonik birlikleri gösterir jeoloji haritası ve A-B doğrultusunda şematik enine kesit (Gürer 2007)

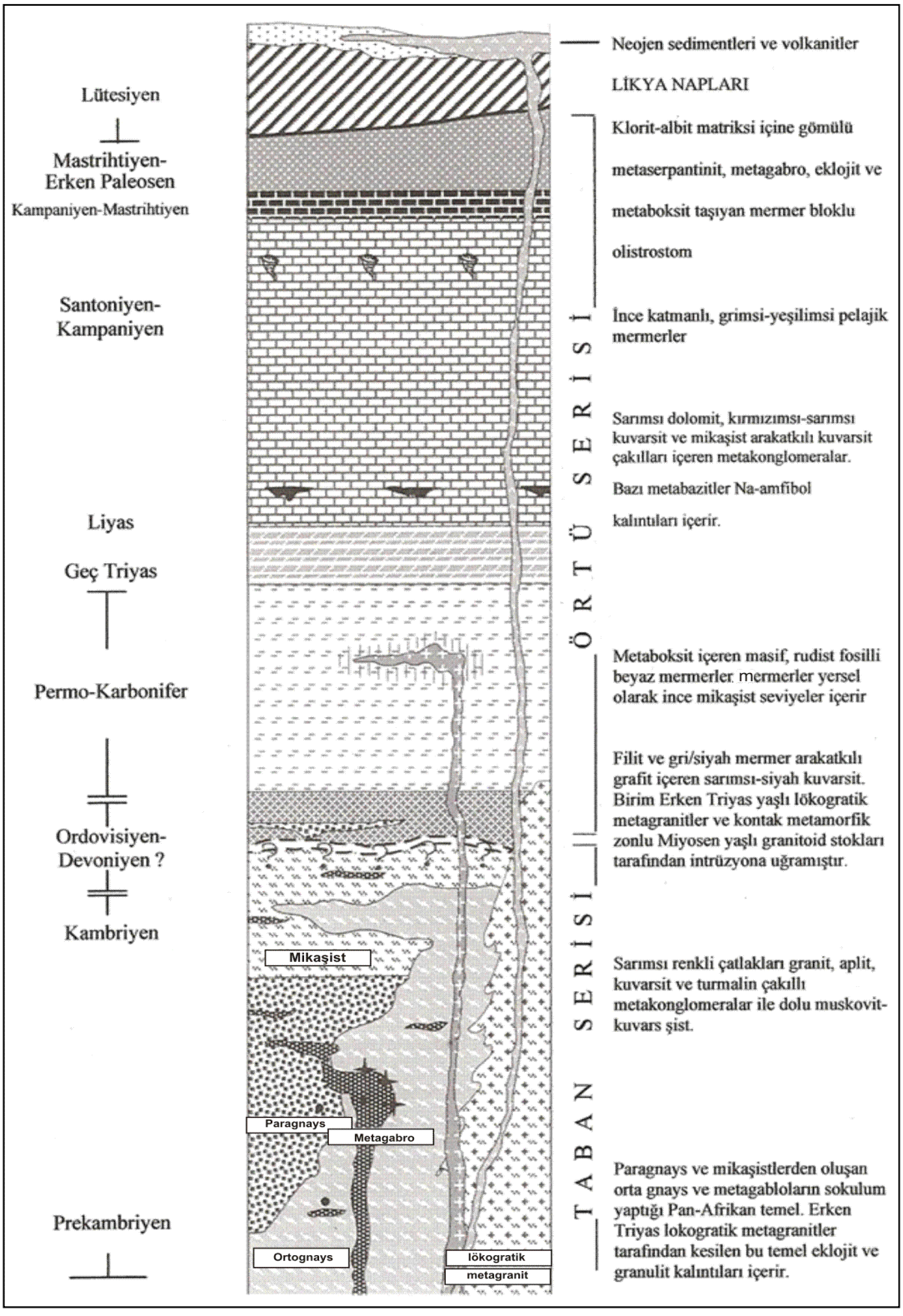
Paleozoyik-Erken Tersiyer yaşlı örtü kayaçları altta Ordovisiyen-Permokarbonifer yaşlı düşük-orta metamorfizma dereceli fillitler-kuvarsitler ve mermerlerden oluşmaktadır (Candan vd. 2001). Erken Triyas yaşlı lökogranitlerin bu kayaçlara sokulum yaptığı bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Şengör vd. 1984, Reischmann vd. 1991,

Koralay vd. 1998). Bu birimlerin üzerine gelen Geç Triyas-Erken Tersiyer yaşlı kayaçlar metaboksit içeren platform tipi mermerler ve metaolistosromlardan oluşmaktadır.

Menderes Masifi'nin genelleştirilmiş sütun kesiti Şekil 2.2'de verilmiştir. Bu istifte gözlenen platform tipi karbonatlar 2-3 km kalınlık sunmaktadır (Dora vd. 2001).

Menderes Masifi'nde gözlü gnaysların kökeni araştırmacılar için yıllarca tartışma konusu olmuştur. Bu konuda çalışan birçok araştırmacı gözlü gnaysların sedimanter kökenli (Schuiling 1962, Öztürk ve Koçyiğit 1983, Satır ve Friedrichsen 1986), bazıları da granitik kökenli olduğunu savunmuştur (Erdoğan 1992,1993, Erdoğan ve Güngör 2004).

Bozkurt vd. (1995), Menderes Masifi'ndeki gözlü gnaysların metasedimanter kayaçlarla örtülmediğini, aksine bu kayaçların Miyosen yaşlı granitler olduğunu ve metasedimanter kayaçlarla kesme ilişkisi gösterdiğini, jeokimyasal analizlere bağlı olarak gözlü gnaysların kökenini granitoid olarak açıklamaktadır. Benzer şekilde Erdoğan ve Güngör (2004), Bafa Gölü çevresindeki gözlü gnays-metamorfik kaya ilişkisinin önceden belirtildiğinin aksine intrüzif olduğunu saptamıştır (Yaman 2005).



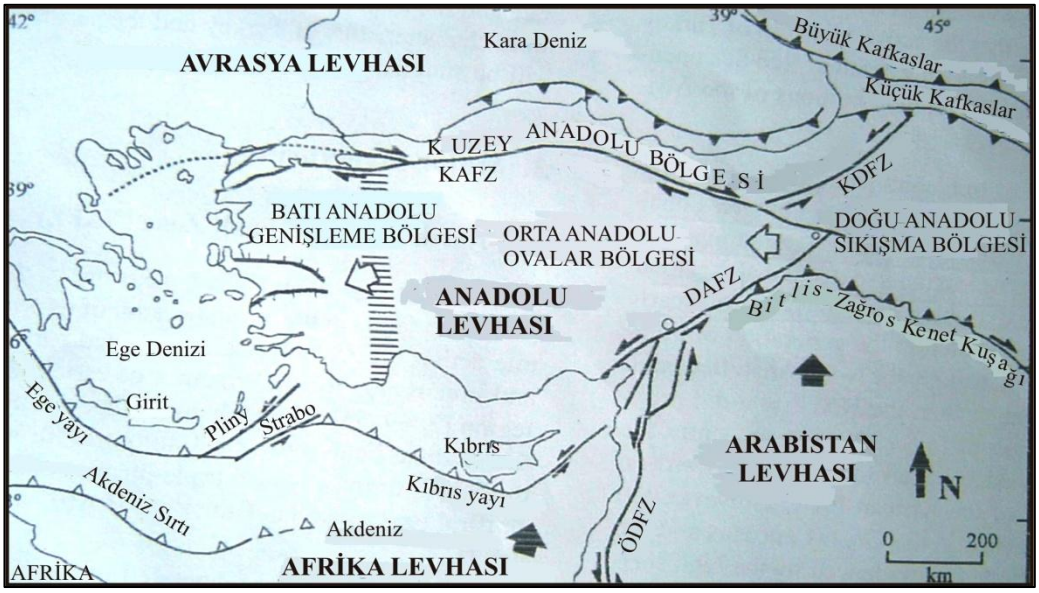
Şekil 2.2 Menderes Masifi'nin genelleştirilmiş sütun kesiti (Dora vd. 2001)

2.2 Neojen-Kuvaterner Yaşlı Havza Birimleri

Büyük Menderes Grabeni (BMG) çevresindeki flüviyo-lakustirin çökeller en geniş ve en tipik mostralarını grabenin kuzey kenarı boyunca 2-5 km genişliğinde verirler. BMG'nin kuzey kenarındaki tavan bloğunda genişliği 4-6 km'ye ulaşan tilt olmuş fay blokları bulunmaktadır. Bu fay bloğunda Alt Miyosen-Pliyosen zaman aralığında tektonikle eş yaşlı olarak göl, aksiyal akarsu ve lateral yalpaze ortamlarında çökelmiş, birbirleriyle yanal ve düşüy yönde geçişli yer yer basen içi uyumsuzluklar gösteren toplam kalınlığı 1500-1750 m olan karasal klastik bir istif çökelmiştir (Gürer 2007).

2.3 Ege Bölgesi'nin Aktif Tektonizması

Ege Bölgesi tektonik hareketler yönünden oldukça aktif bir bölge niteliğindedir. Batı Anadolu'da Senezoyik tektoniği ile yerkabuğunda önce bir sıkışma daha sonra da bir gerilme meydana gelmiştir (Şengör 1979). Ege Bölgesi'nde genleşme tektoniğinin nedeni ve başlangıç yaşı konusunda farklı görüşler bulunmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Türkiye'nin Neotektonik haritası (Barka vd. 1995)

2.4 Ege Bölgesindeki Gerilmenin Kökeni ve Zamanı

Ege Bölgesi'ndeki gerilmenin başlangıcı, yaşı ve oluşum evreleri hakkında çeşitli araştırmacılar tarafından değişik modeller ortaya konulmuştur. Bunlar;

2.4.1 Tektonik kaçma modeli

Dewey ve Şengör (1979)'e göre Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Doğu Anadolu Fayı'nın (DAF) sınırladığı Anadolu Bloğu'nun batıya kaçışı Geç Serravaliyen'den (12 my) beri devam etmektedir. Bu modele göre Arabistan Plakası'nın Avrasya Levhası'yla Güneydoğu Anadolu'da Bitlis Kenet Kuşağı boyunca çarpışmasından sonra Anadolu Levhası önce kalınlaşmaya başlamış daha sonra da Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fayları boyunca batıya doğru hareket etmeye başlamıştır. Bu hareketin sonucu olarak da Batı Anadolu'da D-B yönlü sıkışma, buna karşılık K-G yönlü bir genleşme meydana gelmiştir.

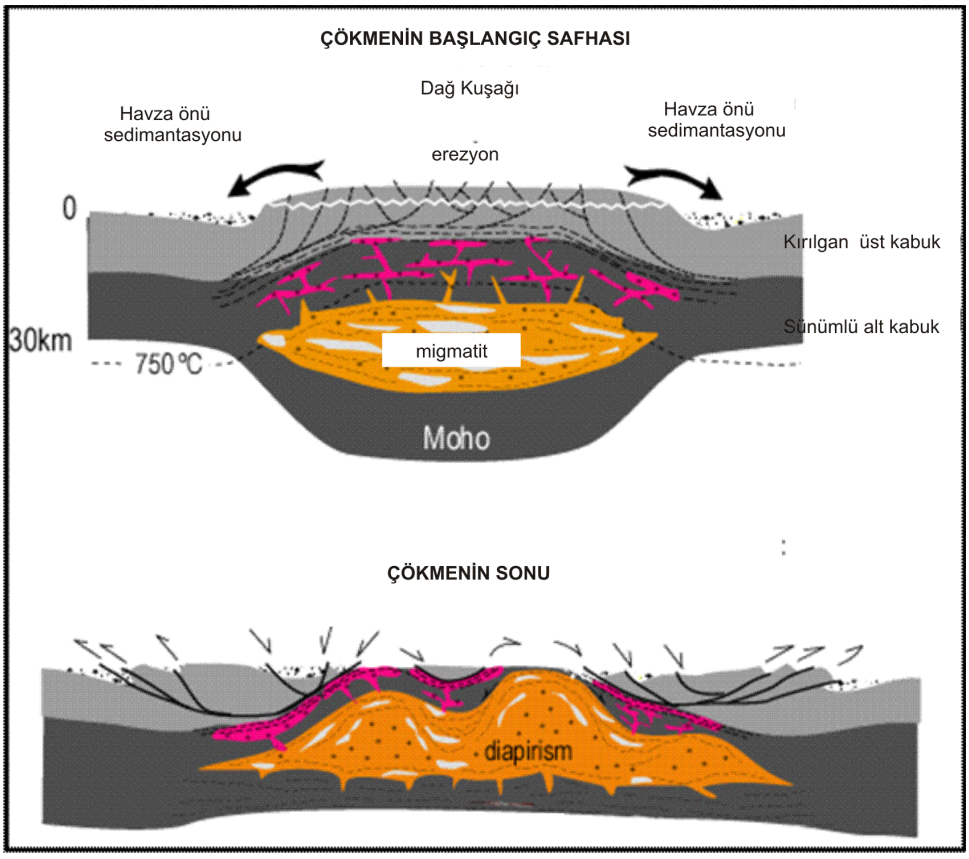
Bu model başlıca sağ yönlü KAFZ'nun başlangıç yaşına dayandırılmıştır (Şengör vd. 1985, Dewey ve Şengör, 1979, Görür vd. 1995). Diğer yandan günümüzdeki KAFZ çalışmaları göstermektedir ki; Pliyosen olarak düşünülen KAFZ'nun oluşum yaşı daha gençtir (3 ve 7 my) (Bozkurt 2001, Barka ve Kadisky 1988, Koçyiğit 1990). Gürer (2007)'e göre, KAFZ'nun revize edilen yaşı nedeniyle önerilen model Batı Türkiye'deki gerilme tarihçesi için uygun bulunmamıştır (Gürer 2007).

2.4.2 Yay ardı açılma modeli

Bu model Le Pichon ve Angelier (1979) tarafından savunulmuştur. Modele göre Afrika Levhası'nın kuzey kenarının, Helenik Yay boyunca kuzeye dalması ve dalan levhanın dönme noktasının geriye hareketiyle (roll-back) üst levhada bir genişleme yaratması sonucu K-G kabuksal bir genişleme olmuştur. Geriye çekilme mekanizmasının başlangıç yaşı konusunda bir uzlaşma olmamakla birlikte, 60 ila 5 my arası iddia edilmiştir (Mckenzie 1978, LePichon ve Angelier, 1979).

2.4.3 Orojenik çökme modeli

Bu model Ege Bölgesi için Dewey (1988) tarafından Geç Miyosen'de görülen genişlemeli tektoniği açıklamak için önerilmiştir. Ancak Seyitoğlu ve Scott (1991, 1992) Batı Anadolu'da D-B doğrultulu grabenler ve diğer havzalardan elde ettikleri palinolojik ve izotopik yaş verileri ile genişlemeli tektoniğin başlangıç yaşını Erken Miyosen olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak Paleosen'deki çarpışma sonucu İzmir-Ankara-Erzincan Neotetis kenet kuşağı boyunca Anadolu Levhası kısalıp kalınlaşmaya, Geç Oligosen-Erken Miyosen'de aşırı kalınlaşan kabuğun yayılması sonucu genişlemeli tektonik rejimin başladığı belirtilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Orojenik çökme modeli (Gürer 2007)

2.4.4 Çekirdek kompleks modeli

Batı Anadolu'da Menderes Masifi'nin bir çekirdek kompleks olduğu Verge (1993) ile Bozkurt ve Park (1994) tarafından belirtilmiş olsa da kapsamlı bir modelin sunulması için 2003 yılına kadar beklenmesi gerekmiştir. Ring vd. (2003) Menderes Masifi'ni güneye eğimli Likya Sıyrılma Fayı ve kuzeye eğimli Simav Sıyrılma Fayı (Işık vd. 1997, Işık ve Tekeli 2001) ile Oligosen'de simetrik çekirdek kompleksi olarak tanımlamışlardır. Orta Menderes Masifi ise kuzey ve güney sıyrılma fayları ile simetrik olarak yüzeylemektedir. Dom şeklini alan masif Erken Miyosen'de kuzeye eğimli Alaşehir Fayı ve güneye eğimli Büyük Menderes Fayı ile parçalanmakta ve bunların dönerek düşük açılı hale gelmeleri ile Pliyosen'de bu defa simetrik çekirdek kompleksi şeklinde Orta Menderes Masifi yüzeylemektedir (Seyitoğlu vd. 2004).

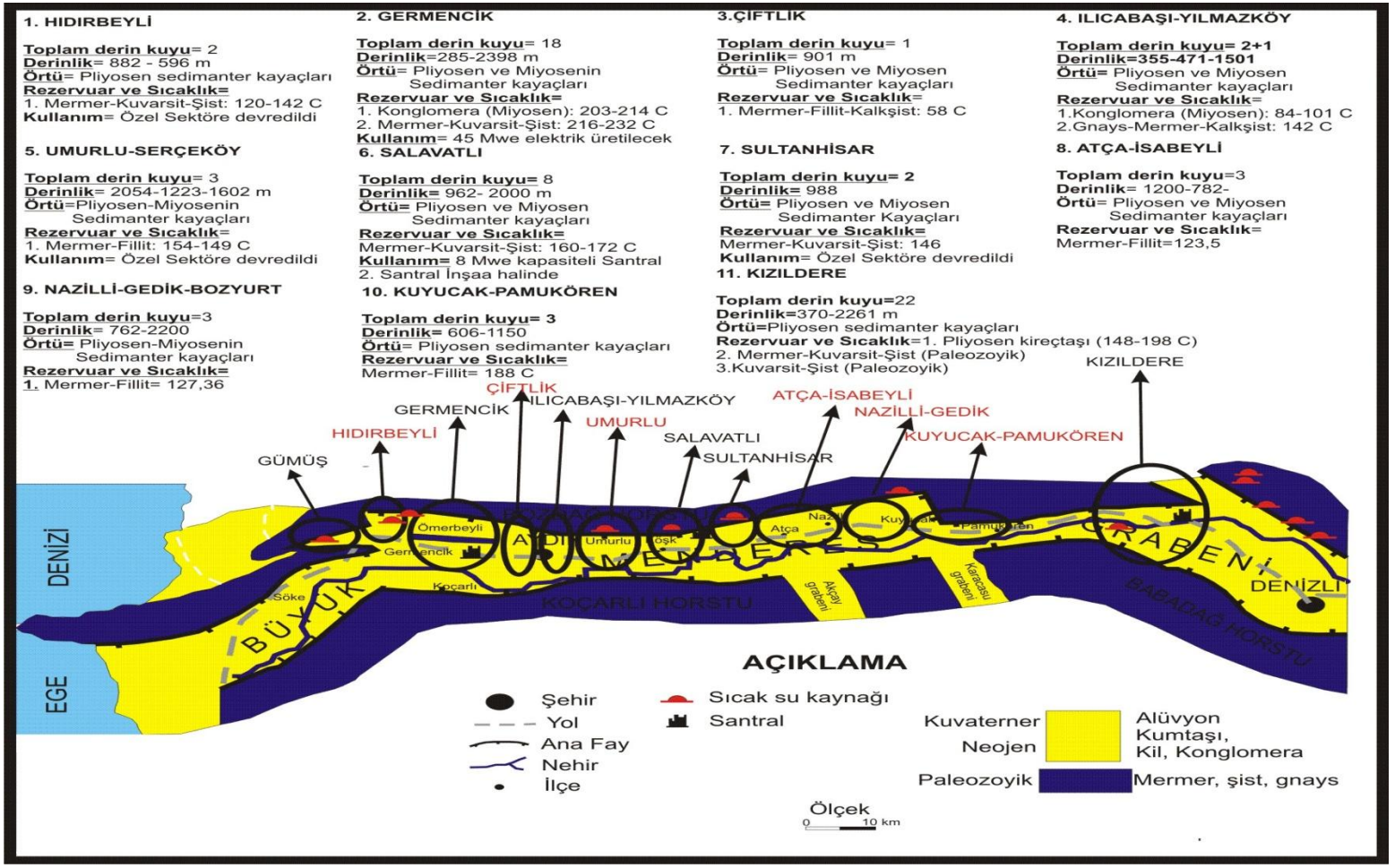
2.5 Büyük Menderes Grabeni

Batı Anadolu günümüzde K-G yönlü gerilme ve bununla ilişkili horst-graben yapıları ile karakteristiktir. Bölgenin jeolojisine bakıldığında iki farklı yönde Senozoyik yaşlı graben biçimli havzaların varlığı göze çarpmaktadır. Bunlar yaklaşık K-G ve D-B gidişli havzalardır. Batı Anadolu'da başlıca onbeş tane K-G yönlü ve sekiz tane de D-B gidişli graben vardır. Bunlar Edremit, Bakırçay, Simav, Gediz, K.Menderes, B.Menderes, Çürüksu, Gökova grabenleridir. Bu grabenler 100-150 km uzunluğunda 5-15 km genişliğindedir. Her bir grabenin en az bir kenarı yüzey kırıkları ile ilişkili dik topografyaya sahiptir.

İnceleme alanı olan Umurlu jeotermal sahasını da içine alan Büyük Menderes Grabeni, Batı Anadolu'nun en büyük D-B grabenlerinden biridir. Graben yaklaşık 125 km uzunluğunda ve 8-12 km genişliğindedir. Grabenin doğrultusu Ortaklar'dan itibaren değişerek Söke'ye doğru KD-GB doğrultusunda uzanmaktadır. Graben Buldan'ın doğusunda Gediz Grabeni ile kesişir ve Sarayköy'den itibaren Denizli Havzası'na doğru değişir. Graben, kuzeyde yaklaşık D-B doğrultulu giden güneye eğimli günümüzde düşük açılı bir sıyrılma fayı ile sınırlanmaktadır. Geç Miyosen(?)'de geliştiği düşünülen

bu fay ve güneyde yer alan graben dolgusu Pliyo-Kuvaterner'de gelişen daha genç normal faylarla kesilmiş ve atıma uğratılmıştır. Bu fayların etkisi ile önceki graben dolgusunun bir bölümü askıda kalmış ve aşınmaya uğramıştır (Sözbilir 2001).

Büyük Menderes Grabeni kazanmış olduğu tektonik yapıyla birlikte ülkemizin en önemli jeotermal sahalarını bünyesinde barındırmaktadır. Son yıllarda MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan yoğun çalışmalar neticesinde grabende bir çok jeotermal saha ortaya çıkarılmıştır. İnceleme alanı olan Umurlu Jeotermal Sahası da bu sahalardan biridir. Şekil 2.5'da bu sahalara ait öz bilgiler verilmektedir.



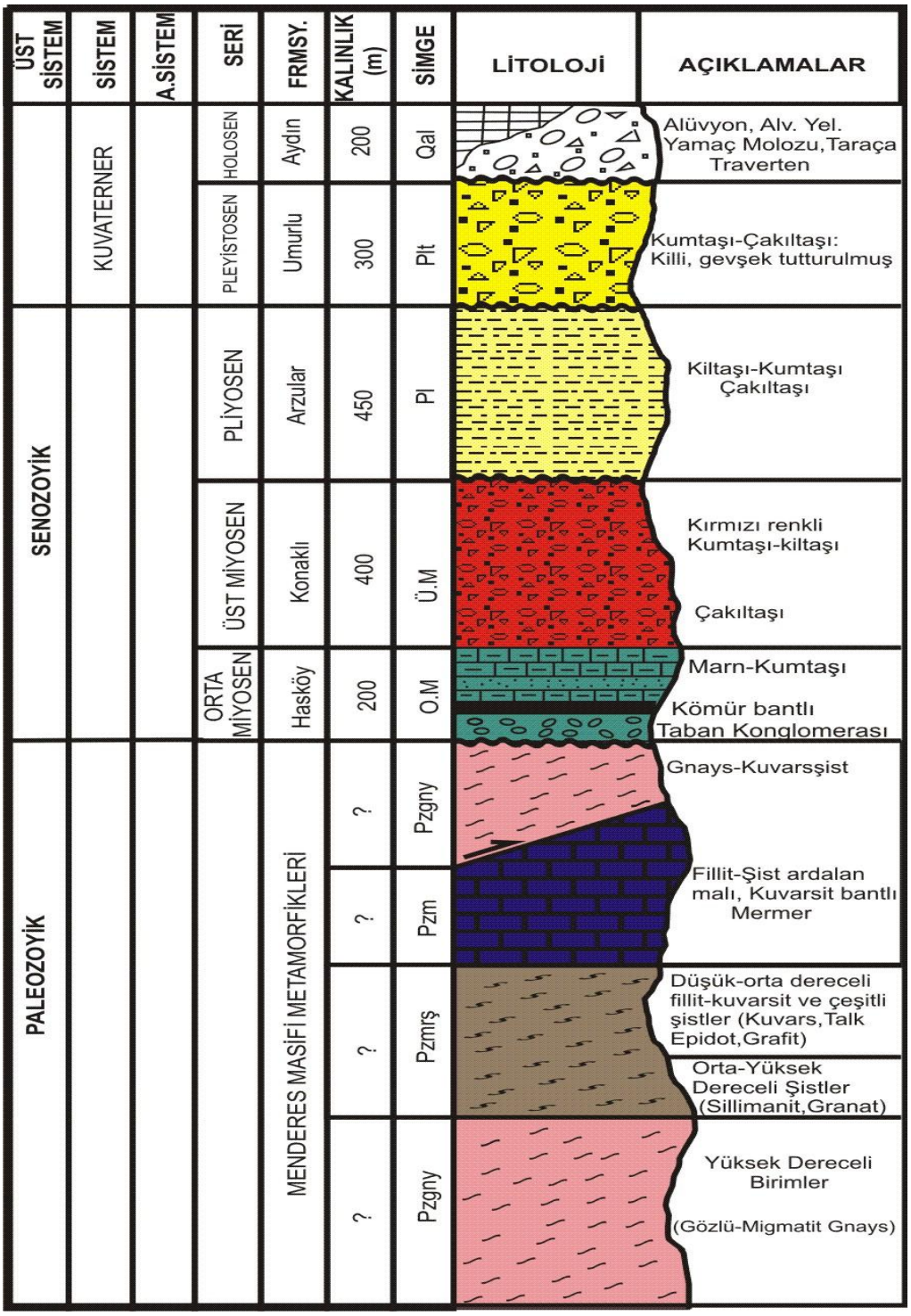
Şekil 2.5 Büyük Menderes Grabeni'nde yer alan jeotermal sahalar (Şimşek 2003'den yararlanılarak elde edilmiştir)

3. İNCELEME ALANININ JEOLOJİSİ

Bölgedeki sıcak ve mineralli suların geçirdiği hidrojeokimyasal süreçlerin belirlenmesi amacıyla 1/25000 ölçekli Aydın M19b2,b3 paftaları içinde yer alan Umurlu ve yakın dolayının jeolojisi incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında Sarıiz (1975), Şimşek vd. (1979), Karahan ve Bülbül (2009) tarafından yapılmış olan jeoloji çalışmaları temel alınmıştır. Söz konusu çalışmalardan yararlanılarak hazırlanan jeoloji haritası ve jeolojik kesitler Ek 1 ve Ek 2'de inceleme alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik istif ise Şekil 3.1'de sunulmuştur.

3.1 Stratigrafi

Aydın-Umurlu jeotermal sahası ve civarında, en altta Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfikleri bulunmaktadır. Temel üzerine gelen Neojen yaşlı çökeller Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimlerden oluşmaktadır. En üstte ise Menderes Grabeni boyunca geniş yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı birimler yer almaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 İnceleme alanının stratigrafisi

3.1.1 Paleozoyik

Bölgede Paleozoyik yaşlı kayaçlar Menderes Masifi Metamorfikleri adı altında toplanmıştır. Metamorfikler gözlü gnays, migmatit gnays, değişik metamorfizma özelliği gösteren şist ve mermerlerden oluşmaktadır.

3.1.1.1 Gnays (Pzgny)

Gnayslar stratigrafik olarak en eski kayaç grubu olarak kabul edilirler. Ancak arazide ve sahada yapılan sondajlarda kesilen istiflerde bindirme ile şist ve mermerler üzerine geldikleri görülmüştür (Bozköy sürüklenimi). İnceleme alanının kuzeyinde Musluca, Terziler ve Kenger köyleri civarında tektonik olarak yüzeylemektedirler (Ek 1,2). Arazide gnayslar migmatit gnays, gözlü gnays şeklinde farklı özellik sunarlar. Umurlu sondajlarında kesilen gnayslar genelde migmatit gnays özelliğindedir. Gnayslar genelde sarımsı ve pembe renkte olup, kayaçta kataklastik doku yaygındır. Gnayslar bindirme zonu boyunca sürüklendikleri için çok fazla tektonizmaya uğramış ve altere olmuşlardır (Şekil 3.2-3.3).



Şekil 3.2 Paleozoyik yaşlı gözlü gnays



Şekil 3.3 Allokton altere gnays

3.1.1.2 Şist (Pzmrş)

İnceleme alanında oldukça geniş alan kaplayan şistler genelde mikaşist olarak adlandırılmış olup mermerlerin altında ve üstünde yer almaktadırlar (Ek 1-2). Mermerlerin üstünde bulunan şistler kuvarsşist, mikaşist şeklinde olup, fazla bir kalınlığa sahip değillerdir. Stratigrafik istifte mermerlerin altında yer alan şistler granat şist, klorit-muskovit şist, biyotit şist bileşiminde olup değişik kalınlık ve ardalanmalar göstermektedirler. Şistlerin üzerinde ve aralarında ince ve kalın mermer bantları ve kalkşist seviyeleri görülmektedir (Şekil 3.4-3.5).



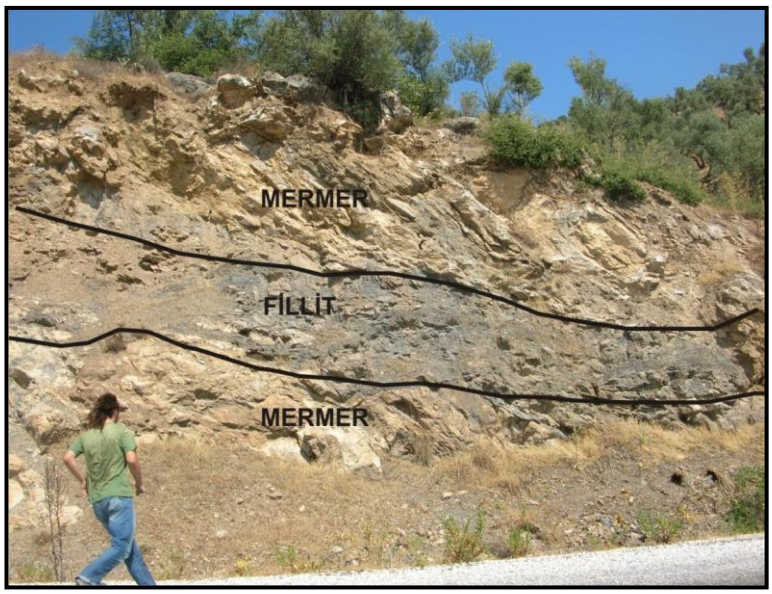
Şekil 3.4 Paleozoyik yaşlı kuvars-muskovit şist



Şekil 3.5 Paleozoyik yaşlı granat şist

3.1.1.3 Mermer (Pzm)

Menderes Masifi'nin örtü şistlerinin üzerinde bulunan mermerler inceleme alanının kuzeyinde Kavacık köyü, Karakütük Tepe ve Paşayaylası civarında damar şeklinde görülmekte birlikte, sahada yapılan derin sondajlarda kalın bir istif sunarlar. Mermerler inceleme alanında ve sondajlarda fillit, kuvarsşist ve şist birimlerle ardalanmalı olarak görülürler (Ek 1-2) Genel görünüşleri masif, kalın tabakalı, gri-beyazımsı renkte olup yer yer dolomitize, iri kristalli ve şeker dokuludur. Tektonik etkilerle kırık çatlaklı bir yapı kazanmalarından dolayı jeotermal anlamda iyi bir rezervuar kaya özelliği gösterirler (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Mermer-fillit ardalanması

3.1.2 Tersiyer

İnceleme alanında Tersiyer çökelleri, Neojen alt sistemine ait, Miyosen ve Pliyosen'de çökelmiş sedimanter birimler ile temsil edilmekte olup, genel stratigrafik istifte temel kayaçlar üzerine diskordansla gelmektedirler. Tersiyer çökellerinin Umurlu jeotermal sahasındaki temel birimleriyle ilişkisi düşük açılı sıyrılma fayı ile karakterize edilmektedir.

3.1.2.1 Miyosen (My)

Bölgede Paleozoyik yaşlı birimlerden sonra geniş bir stratigrafik boşluk bulunmaktadır. Orta Miyosen tortulları Paleozoyik birimler üzerine uyumsuzlukla gelmektedir (Şekil 3.1). Konglomera ve kumtaşı seviyeleriyle başlayan ve kömürlü kumtaşı, kiltaşı, silttaşı, marn ile devam eden birim, linyitli kısımlardan alınan fosillere göre Orta Miyosen yaşı verilmiş ve Hasköy Formasyonu olarak tanımlanmıştır (Karahan 2007). İnceleme alanında yapılan sondajlarda Orta Miyosen'e ait bu birimler kesilmemiştir. Birim inceleme alanında görülmemekle birlikte Nazilli ilçesinin kuzeyinde geniş alanlarda izlenmektedir.

Orta Miyosen yaşlı birimlerin üzerine Üst Miyosen yaşı verilen kırmızı, bordo renkli çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı çökelleri gelmektedir. Bazı seviyelerde jips oluşumları izlenmiştir. Kumtaşları ince şist ve kuvars tanelerinden oluşmaktadır. İstif sahada Konaklı Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.7). Birim inceleme alanında mostra vermemesine ragmen, ASK-1 sondajında 412 m, AU-1 sondajında 262 m, AU-2 sondajında ise 450 m kalınlığında kesilmiştir (Ek 2).



Şekil 3.7 Kırmızı-bordo renkli üst Miyosen çökelleri

3.1.2.2 Pliyosen

Üst Miyosen yaşlı çökeller üzerine uyumsuzlukla kumtaşı, kiltaşı ve silttaşından oluşan Pliyosen yaşlı birimler gelmektedir. Formasyon arazide sarı, yeşilimsi gri, kırmızımsı renk tonları sunmaktadır. Birim inceleme alanının kuzeydoğusunda geniş yayılım göstermektedir (Ek 1-2) ve sahada Arzular formasyonu olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Pliyosen yaşlı kumtaşı-kiltaşı-çakıltaşı serileri

3.1.3 Kuvaterner

Bölgede Pliyosen yaşlı birimlerin üzerinde, Kuvaterner dönemine ait Pleyistosen yaşlı çakıl ve kil serileri ile Holosen yaşlı taraça, alüvyon yelpazesi ve alüvyon birimleri yer almaktadır (Ek 1-2).

3.1.3.1 Pleyistosen (Plt)

Pleyistosen birimleri inceleme alanında açılan jeotermal sondajların kuzeyinde geniş bir alanda yüzlek vermektedir. Birim Pliyosen sedimanları üzerine uyumsuzlukla gelmektedir (Ek 1-2). Gevşek tutturulmuş kumtaşı, çakıltaşı, kumlu çakıllı ve yer yer killi birimlerden oluşmuştur. Birim kahverengi, sarımsı renkte, kötü boylanmalı olup, inceleme alanında Umurlu Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Pleyistosen yaşlı gevşek tutturulmuş çakıltaşı-kumtaşı serileri

3.1.3.2 Holosen (Qaly, Trç)

Holosen yaşlı seriler taraça, alüvyon yelpazesi ve alüvyon birimlerinden oluşmaktadır. Yamaç molozları, grabenleri oluşturan faylara bağlı olarak gelişmiştir. Tektonik olarak horst-graben sistemi oluşturan bölgede çöküntü alanlarında yamaçlardan inen malzeme ve derelerin taşımasıyla geniş alüvyon birikimleri oluşmuştur (Ek 1). Topografik yapıya ve sistemin enerjisine bağlı olarak ovaya doğru akan kuzey-güney yönlü akarsuların önünde alüvyon yelpazeleri gelişmiştir. Alüvyon kalınlığı güneye doğru gittikçe artmaktadır (Ek 2). Bölgede alüvyon; genellikle kuvars, kuvarsit, gnays ve mermer çakıllarından oluşmaktadır.

3.2 Yapısal Jeoloji

Batı Anadolu'da paleotektonik dönem boyunca etkili olan sıkışma tektoniğine bağlı olarak kabuk kısalıp kalınlaşmış ve bunun sonucunda da kabuk tabanında kısmi ergimeler başlamıştır. Sıkışma tektoniğinin etkisiyle sürüklenimler gelişmiş, gnayslar bu sürüklenim sonucunda şist ve mermerlerin üzerine bindirmiştir. Bindirme faylarının bölgedeki yaşlı tektonik olaylar olduğu ve sürüklenimin kuzeyden güneye doğru geliştiği belirtilmiş, bu durum Germencik sahasında Bozköy Sürüklenimi olarak gösterilmiştir (Şimşek vd. 1980). İnceleme alanında açılan sondajlarda da (ASK-1, AU-1, AU-2) benzer bindirme hattı, gnaysların mermerler üzerine bindirmesi şeklinde görülmüştür.

Batı Anadolu'da Orta Miyosen'den itibaren hakim olan gerilme tektoniğinin etkisiyle kuzey-güney açılmalar olmuş, Menderes Grabeni'ni oluşturan doğu-batı uzanımlı tektonik hatlar gelişmiştir. Bu hatları oluşturan faylar, eğim atımlı normal fay karakterinde olup grabenin kuzey kenarında daha net izlenmektedir (Şekil 3.10).

Hakyemez vd. (1999) tarafından yapılan sedimantolojik çalışmalar grabenin kuzey kenarı boyunca faylarla kontrol edilen alüvyal yelpazelerin güneye oranla daha çok geliştiğini ve dolayısıyla kuzey kenarın tektonik yönden daha aktif olduğu belirtilmiştir.

Graben kuzeyde yaklaşık D-B doğrultulu giden, güneye eğimli, günümüzde düşük açılı bir sıyrılma fayı (detachment) ile sınırlanır (Şekil 3.11). Orta-Geç Miyosen(?) de geliştiği düşünülen bu fay ve güneyde yer alan graben dolgusu Pliyo-Kuvaterner'de gelişen daha genç normal faylarla kesilmiş ve atıma uğratılmıştır. Bu fayların etkisi ile önceki graben dolgusunun bir bölümü askıda kalmış ve aşınmaya uğramıştır (Sözbilir 2001).

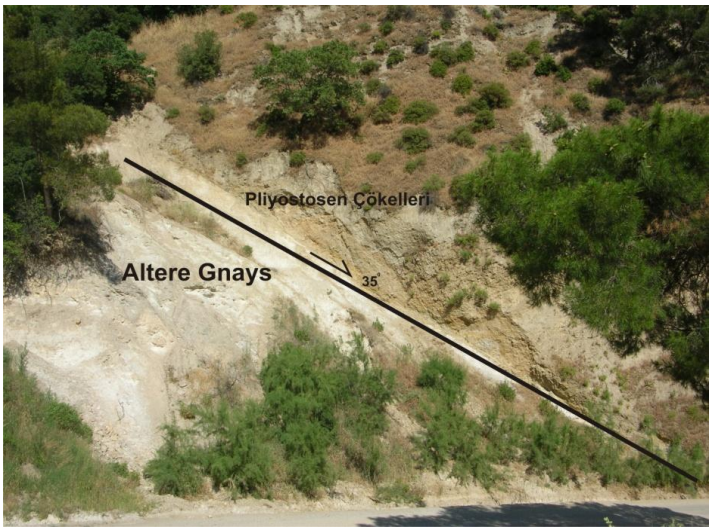
Gediz ve Menderes Grabenleri arasında kalan Menderes Masifi temel kayalarının kuzey-güney yönlü gerilmenin etkisiyle sürekli olarak yükselmesi sonucu Menderes Grabeni'nin kuzey kenarında yaklaşık doğu-batı yönlü birbirine paralel basamak faylar

gelişmiştir. Bu basamak fay sistemlerinin sahanın güneyinde de devam ettiği ve horst-graben yapısı oluşturduğu yapılan jeofizik çalışmalarla da saptanmıştır (Karahan ve Güdücü 2008).

Bölgede doğu-batı uzanımlı fayların dışında yaklaşık olarak kuzey-güney uzanımlı faylar da bulunmaktadır. Bu faylar genelde doğrultu atımlı olup Menderes Grabeni'ne akan dere yatakları boyunca görülmekte ve graben havzasında sıkça rastlanılmaktadır.



Şekil 3.10 D-B uzanımlı normal fay



Şekil 3.11 İnceleme alanındaki Temel-Neojen sıyrılma fayı

Büyük Menderes Grabeni'nde ovaya en yakın olan ve güneydeki fayın düşen bloğunda Holosen yaşlı alüvyon veya taraça bulunduğundan, alüvyonla dokanak yapan faylar bölgedeki en genç diri faylardır. Bu faylar boyunca gelişen fay dikliklerinin Kuyucak-Nazilli-Sultanhisar arasında K-G doğrultulu derelerle kesilerek devam ettiğini ve Nazilli Fayı olarak adlandırılan bu fayın 10 km'yi aşmayan segmentler oluşturacak şekilde Aydın-Germencik-İncirliova hattı boyunca uzandığı belirtilmiştir (Sözbilir 2001) (Şekil 2.5).

Büyük Menderes Grabeni'nde tüm jeotermal sahalarda olduğu gibi D-B uzanımlı normal fayları kesen K-G, KB-GD, KD-GB doğrultulu oblik veya normal faylar Umurlu jeotermal sahasında da önemli rol oynamıştır. İnceleme alanında yer alan termal kaynaklar ve hidrotermal alterasyonlar bu makas zonlarında gelişmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 İnceleme alanındaki makas zonlarında gözlenen hidrotermal alterasyonlar

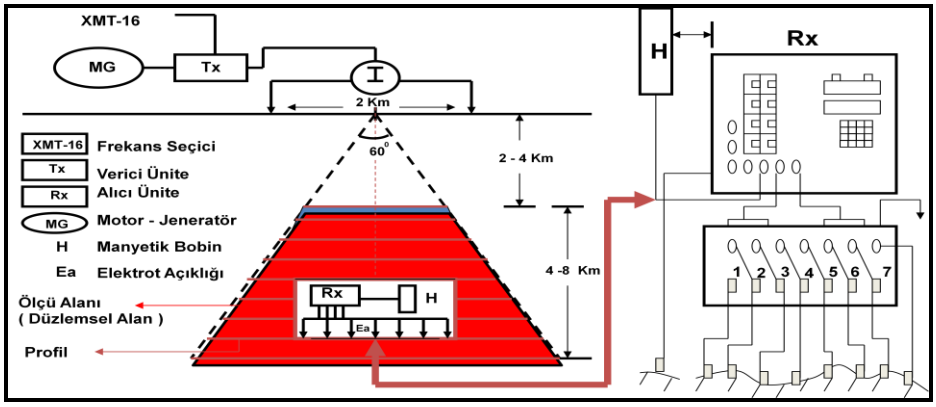
3.3 Jeofizik Çalışmaları

MTA Genel Müdürlüğü tarafından 2007-2008 yılları arasında yapılan "Aydın Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi" kapsamda Umurlu jeotermal sahasında jeofizik çalışmalarından CSAMT (Controlled Source Audio Magnetotelluric) rezistivite çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sahada yapılan detay jeoloji, jeokimya ve jeofizik çalışmaları sonucunda ASK-1, AU-1 ve AU-2 sondaj lokasyonları belirlenmiştir.

3.3.1 CSAMT (Yapay Kaynaklı Manyetotellürik Yöntem) Yöntemi

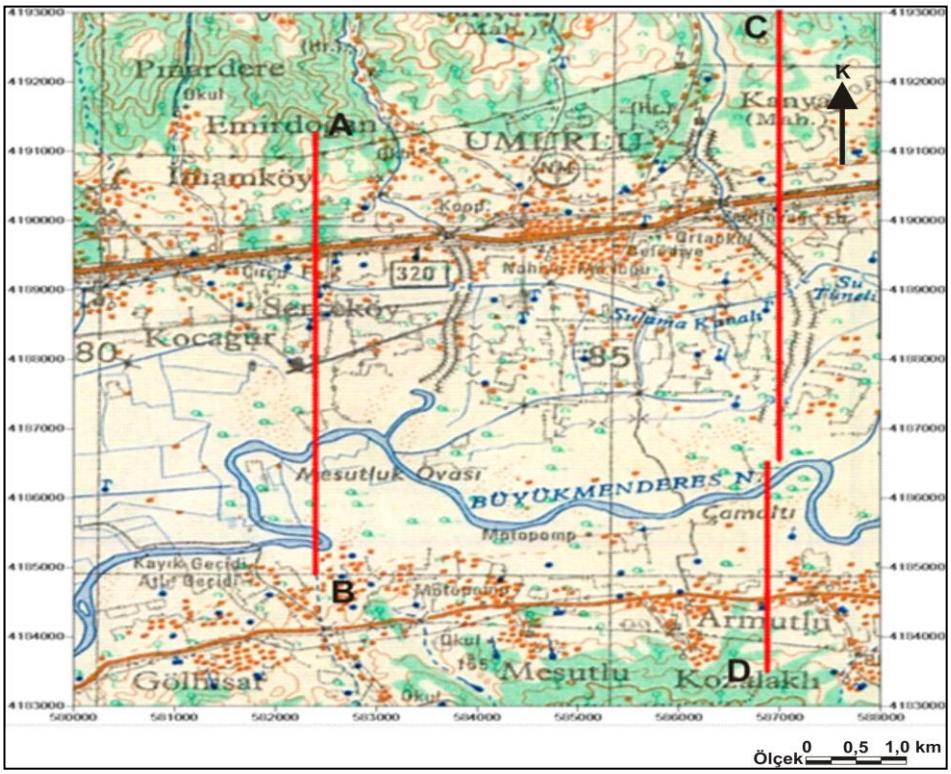
CSAMT yöntemi jeotermal enerji uygulamalarında yoğun olarak kullanılan elektromagnetik bir yöntemdir. Bilindiği gibi bir ortamın özdirenci, akışkan miktarı, sıcaklık, akışkan tuzluluğu ve gözeneklilik gibi özelliklere bağlıdır. Örneğin, bir ortamda sıcak ve soğuk su kuşakları; özdirenç değerinin sıcaklık ve buna ilişkin artan tuzluluğa bağlı olarak düşmesiyle kolayca ayırt edilebilmektedir.

CSAMT yönteminde sonlu uzaklıktaki bir dipol ile yere 8192 Hz-0.250 Hz arasında 16 değişik frekansta yere akım uygulanmaktadır. Kaynağa paralel olacak 7 adet polarize olmayan elektrot ile elektrik alan ve fazı; oldukça duyarlı bir manyetik bobin ile de manyetik alan ve fazı ölçülür. Bu ölçülen değerlerde Cagniard (1953) bağıntıları kullanılarak görünür özdirenç ve faz farkı hesaplanmaktadır (Şekil 3.13).



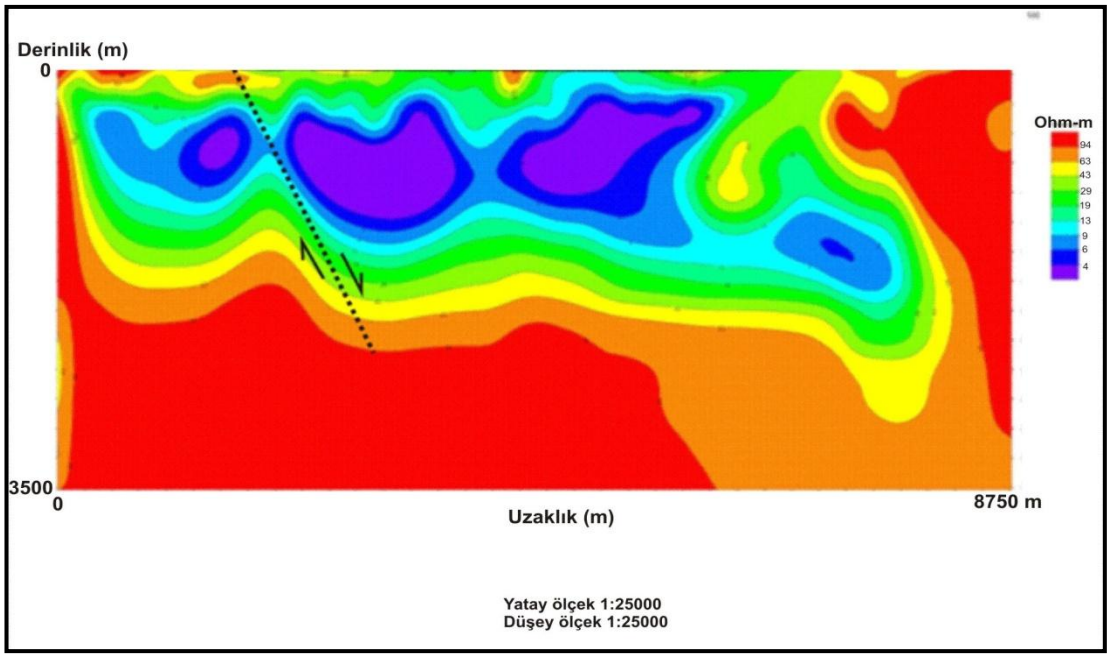
Şekil 3.13 CSAMT ölçü düzeneği (Yamashita 1987)

Umurlu Jeotermal Sahası'nın fiziksel yapısı, formasyon kalınlıkları ve tektonik hatlarının belirlenmesi için sahada 2 profil halinde 348 noktada toplam 17.4 km profil uzunluğunda ölçü alınmıştır (Şekil 3.14).

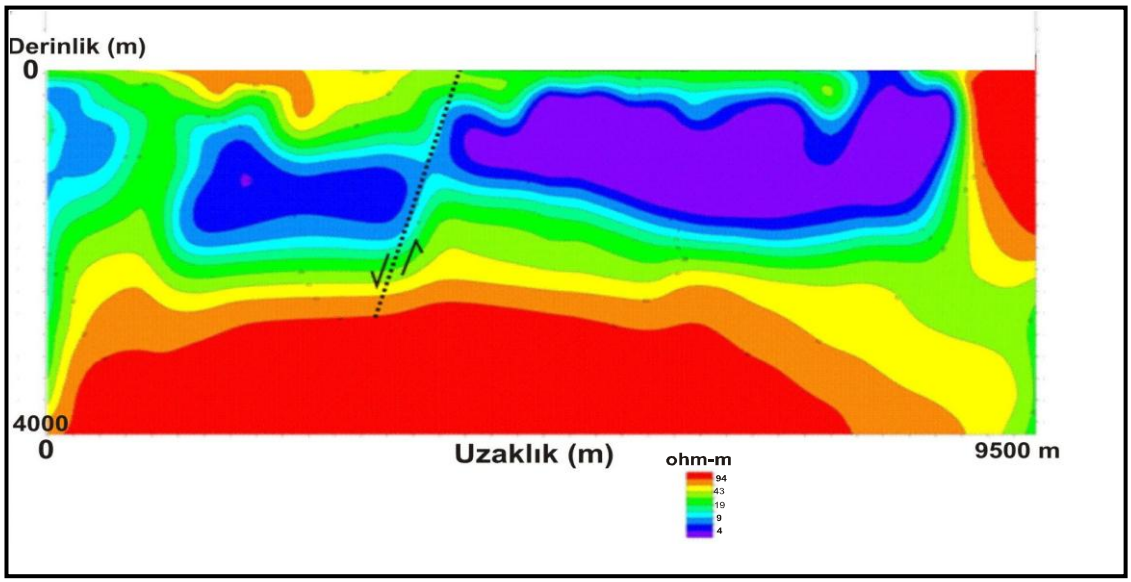


Şekil 3.14 CSAMT ölçüm profilleri lokasyon haritası (Batum ve Üçer 2009)

Şekil 3.15 ve 3.16'de görüldüğü gibi horst-graben yapısı havza ortasında da devam etmektedir. Bu grabenleşme içinde özdirenç değerlerinin düşük olduğu kuşaklar bize geçirimli ve sıcak suyun dolaştığı kuşakları göstermekte olup, jeotermal sistem açısından önem taşımaktadır.



Şekil 3.15 CSAMT A-B profili (Batum ve Üçer 2009)



Şekil 3.16 CSAMT C-D profili (Batum ve Üçer 2009)

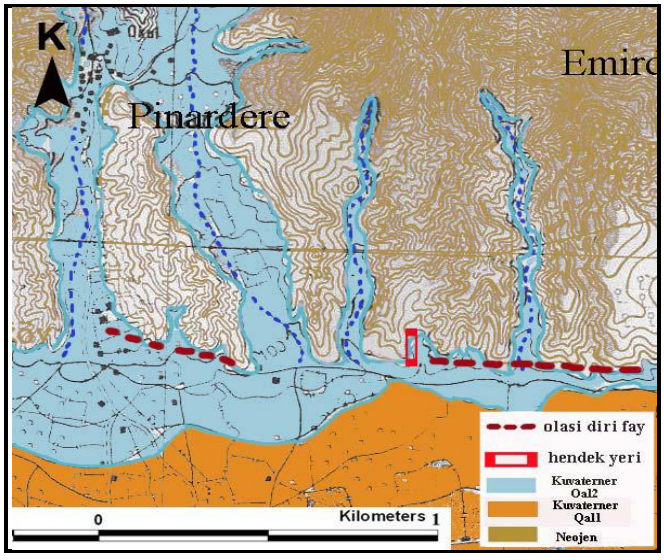
3.4 Umurlu Jeotermal Sahasında Yapılan Aktif Tektonik Çalışmaları

Umurlu Jeotermal Sahası jeolojik ve jeofizik verilere göre tektonik hatlara bağlı olarak doğu-batı doğrultusunda uzanmaktadır. Grabenin orta kısımlarına, güneye doğru gidildikçe örtü kalınlığı artmakta ve basamak faylar alüvyon altında da devam etmektedir. Bu genç aktif faylar jeotermal anlamda da güncel akışkanı taşıması bakımından saha için önem arz etmektedir.

Eravcı (2006), yapmış olduğu tez çalışmasında Büyük Menderes Grabeni içindeki aktif fayların jeolojisi ve paleosismisitesini incelemiş ve inceleme alanı içinde kalan iki ayrı yerde hendek çalışması yapmıştır. Hendek çalışması sonucu tespit edilen faylar yüzeyde gözlenen D-B doğrultulu faylara uygun davranış sergilemekte ve graben ortasında da basamak faylanmanın devam ettiği söylemini doğrulamaktadır. Aşağıda, inceleme alanında açılan hendekler hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

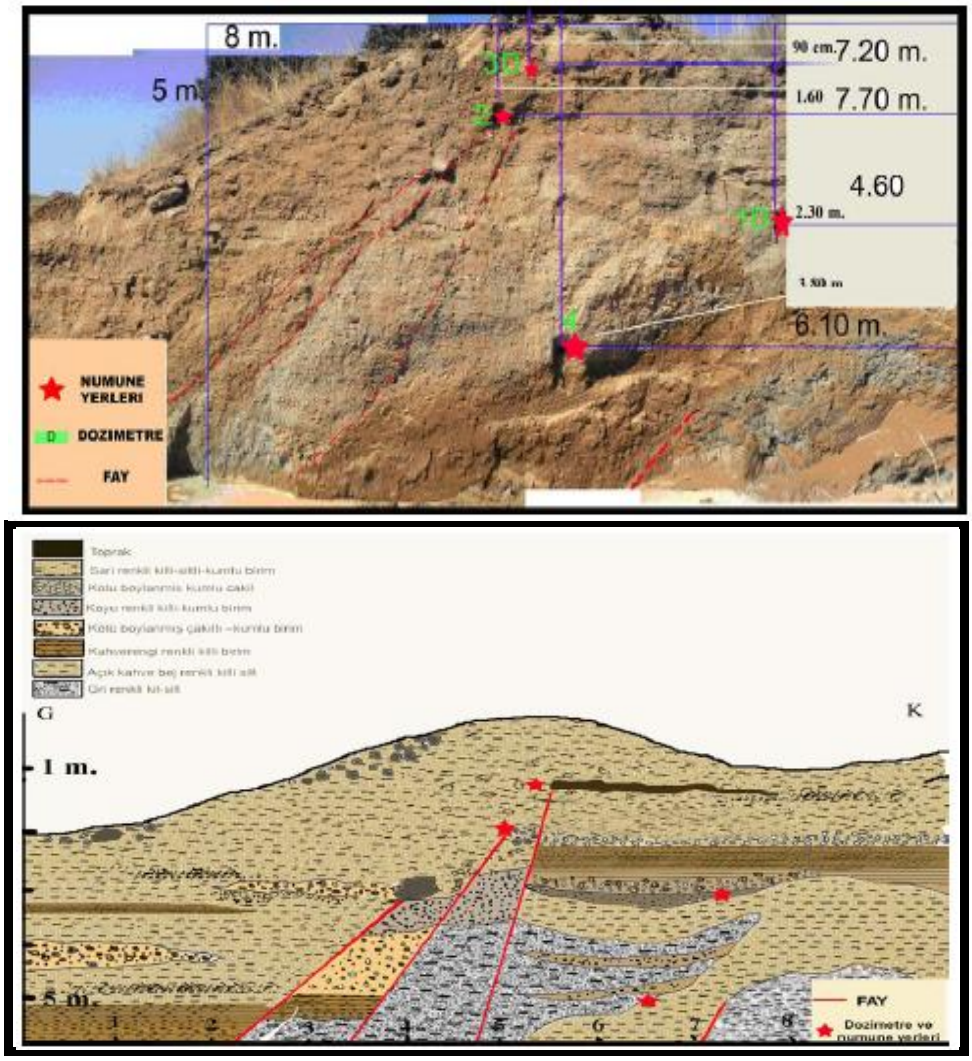
3.4.1 Pınardere hendeği

Pınardere Hendeği eski bir dere yatağının alüvyon yelpazesi üzerinde açılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 Pınardere hendeğinin lokasyon haritası

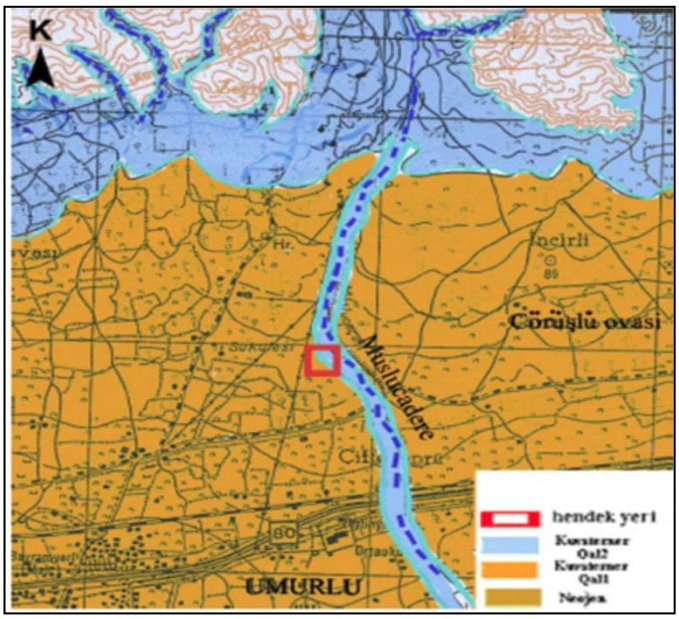
Hendeğin doğrultusu fay sarplığına dik, yani K-G olarak açılmıştır. Hendek uzunluğu 8 m, derinliği 5 m'dir. Hendekte ve civarında neotektonik birimlerin temelini Menderes Masifi'nin metamorfik birimleri oluşturmaktadır. Bu birimlerin üzerinde pekişmemiş çakıltaşı, kumtaşı ve kiltaşından oluşan Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler bulunmaktadır. Bu formasyonu üzerleyen birimler ise güncel alüvyal malzeme ile temsil edilmektedir. Hendekte tespit edilen en eski deprem izi K76D doğrultulu olan gri renkli killi-siltli birimi kesen izdir (Şekil 3.18). Hendekte tespit edilen diğer üç kırığın depremde oluştuğu düşünülmüştür. K80-85D doğrultulu bu kırıklar üzerinde yüzeye yakın yerlerde 30 cm atım, derinde yaklaşık 1-1.10 m atım ölçülmüştür (Eravcı 2006).



Şekil 3.18 Pınardere hendeğinin jeolojik enine kesiti (Eravcı 2006)

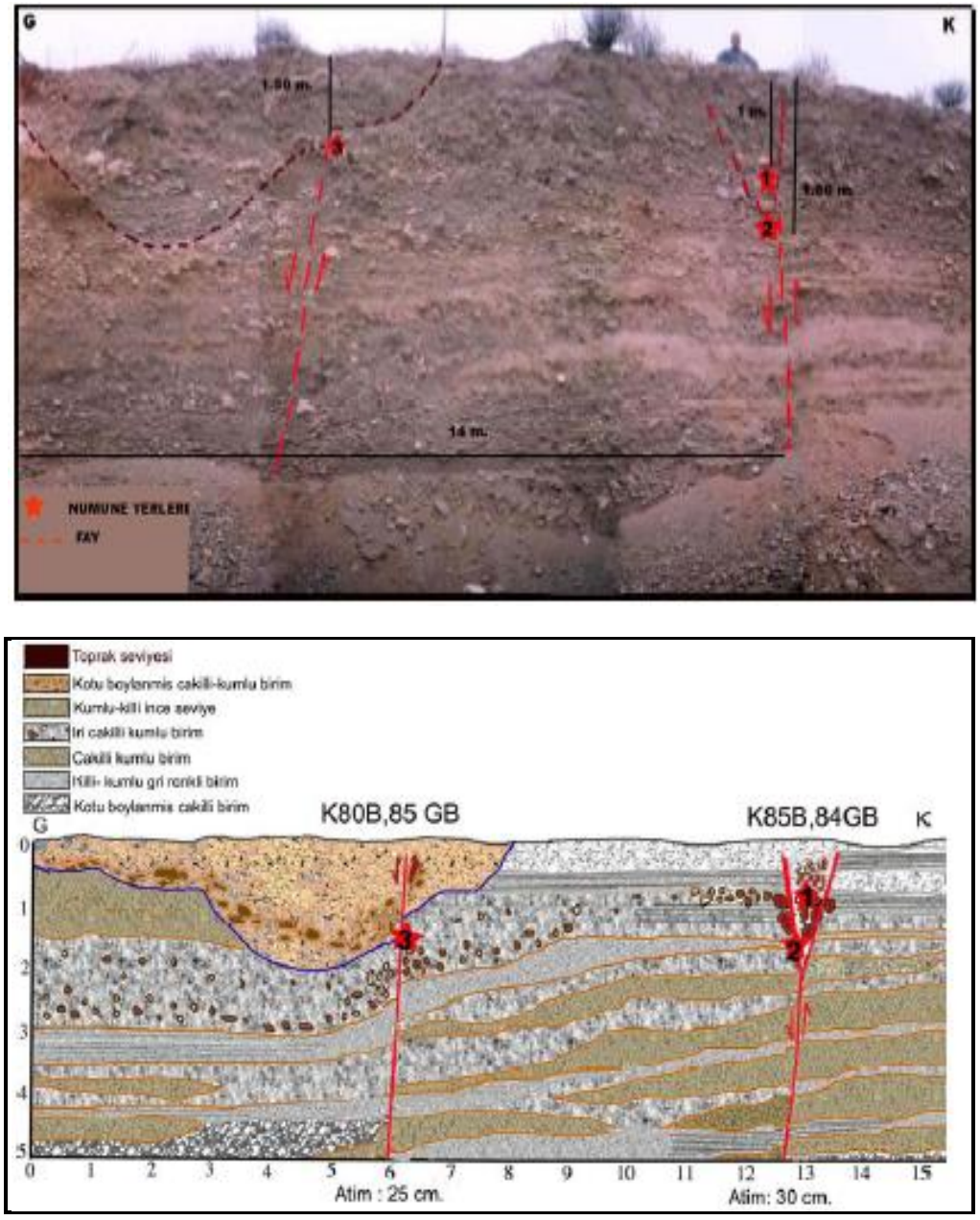
3.4.2 Musluca dere hendeği

Muslucadere hendeği Musluca Çayı'na ait alüvyal yelpaze üzerinde açılmıştır (Şekil 3.19). Musluca deresinin çökelleri oldukça kaba taneli, çakıllı ve yer yer kum bantları bulunan çökellerdir.



Şekil 3.19 Muslucadere hendeğinin lokasyon haritası

Yarma duvarında iki fay izi tespit edilmiştir. Her iki fayda da 25-30 cm'lik atımlar ölçülmüştür. Bu faylar K80B-85°GB ve K85B-84°GB doğrultu ve eğimdedir. Topografik harita incelendiğinde bu tespit edilen fayların Pınardere Hendeği'ndeki tespit edilen faylara göre havza içinde kaldıkları görülmüştür (Şekil 3.20) (Eravcı 2006).



Şekil 3.20 Musluca dere hendeğinin jeolojik enine kesiti (Eravcı 2006)

Yapılan hendek çalışmalarından da görüldüğü üzere, Pınardere Hendeği'nde K76D doğrultulu fay doğuya doğru devam ettirildiğinde K80B doğrultulu Musluca Hendeği'ndeki fayın doğrultusu ile çakışmaktadır.

3.5 Toprak Gazı Ölçümleri

Toprakta Hg, CO_2, H_2S, Rn ve Tn gaz ölçümleri, rezervuarın yapısal karakteristiği, jeotermal aktivitenin sığ derinliklerdeki yayılımı ve fay, kırık gibi tektonik hatların konum ve uzanımlarını aydınlatmada kullanılmaktadır.

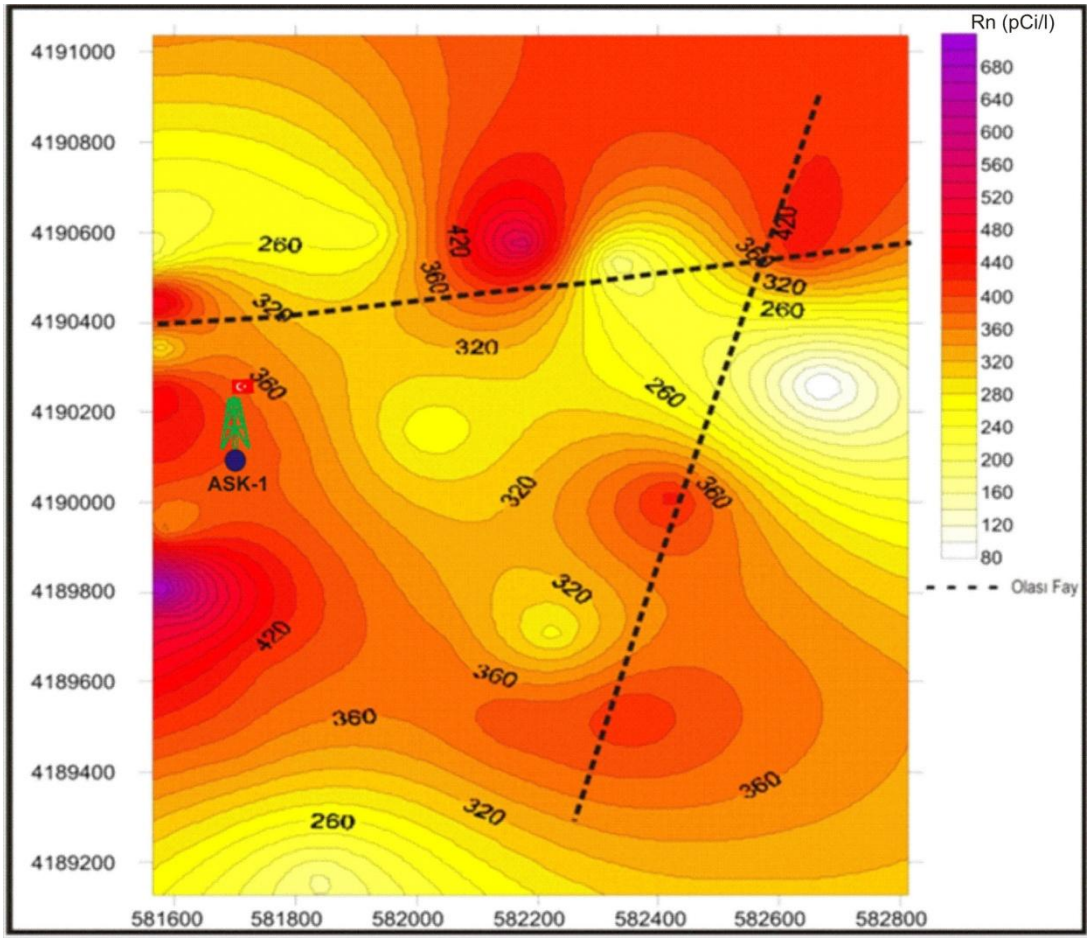
Diğer bütün gazlarda olduğu gibi, orjinleri ne olursa olsun, CO_2 ve Rn gazlarının kırık ve çatlaklarda yoğunlaştığı bilinen bir gerçektir. Dolayısıyla toprakta bir metre derinlikte yapılan CO_2 ve Rn ölçüm sonuçları tektonik yapı (fay-kırık) lokasyonları hakkında bilgi vermektedir. Yarılanma süresinin kısalığı dolayısıyla, özellikle Rn fay ya da kırık yüzeylerinden fazla uzağa gidememektedir. Dolayısıyla yoğunlaştığı ya da yüksek anomali verdiği yerler öncelikle fay ve kırık üzerleridir.

Bu kapsamda Umurlu jeotermal sahasında ASK-1 kuyusu dolaylarında karelaj sistemiyle 35 noktada Rn, CO_2, H_2S ve CH_4 ölçümü yapılmış (Çizelge 3.1), böylelikle hem jeotermal aktivitenin boyutları hem de fay doğrultuları hakkında bilgi sahibi olunmaya çalışılmıştır.

Radon dağılım haritasında (Şekil 3.21) mor-kırmızıyla gösterilen anomalilerin düzenli bir şekilde kuzeyden güneye azaldığı görülmektedir. Şekilde gösterilen yaklaşık D-B doğrultulu fay, anomalilerin hemen önünden geçirilmiştir. Bu fayın düşen bloğunda ise derinleşmeye bağlı olarak Rn değerlerinde azalmaların gözlenmesi olağan bir durumdur. Bir diğer durum ise kırmızıyla gösterilen 400-450 pCi/l'lik anomaliler KD-GB doğrultusunda çizgisellik sunmasıdır. Bu durumda sahada KD-GB doğrultulu bir fay olabileceği şeklinde yorum yapılmıştır.

Çizelge 3.1 ASK-1 kuyusu civarında ölçülen gaz değerleri

Y(Dogu)	X(Kuzey)	Rn (pCi/l)	CO_2 (ppm)
581565	4191038	348	0,6
581563	4190544	210	4,8
581574	4190447	505	1,2
581574	4190344	276	1
581581	4190253	456	1,1
581601	4190085	418	0,6
581587	4189938	349	0,6
581576	4189809	706	0,8
581576	4189749	534	0,9
581578	4189637	472	0,4
581733	4189646	407	0,5
581892	4189673	382	2
582041	4189684	366	1,1
582224	4189706	269	1,4
582423	4190014	430	0,4
582815	4189634	339	0,2
582349	4189538	419	1
582151	4189528	396	1,4
581700	4189441	365	0,5
581839	4189167	174	1,5
582551	4189128	313	1,1
581731	4190561	265	1,8
581930	4190598	249	3,1
582175	4190573	563	0,6
582326	4190537	179	0,8
582632	4190562	442	1,8
582668	4190261	71	1,7
582017	4190155	261	2,2
581786	4190112	377	1,9



Şekil 3.21 Radon dağılım haritası

4. HİDROJEOLOJİ

İnceleme alanında, genelleştirilmiş stratigrafi istifinde yer alan birimlerin hidrojeolojik özellikleri, sahada yapılan arazi çalışmaları, doğal su boşalımlarının olup olmaması, kuyu loglarında geçilen birimler ve literatürde açıklanan özellikleri değerlendirilerek belirlenmiş ve sahanın hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 4.1, Ek 3). Hidrojeoloji haritasına inceleme alanındaki su kaynakları, sondaj ve keson kuyular, dereler ile geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz litolojik birimlerin yanında örnekleme noktaları, jeofizik çalışmalar ve toprak gazı ölçüm noktaları da işlenmiştir.

İnceleme alanında Neojen kayaçların çakıltaşı seviyeleri I. Rezervuarı oluşturmaktadır. Temeli oluşturan sert ve kırılgan litolojiler aktif graben tektonizması sonucunda ikincil geçirimlilik kazanmışlardır. Başlıca mermer, kalkşist ve kuvarsit ardalanmasından oluşan bu kayaçlar bölgede sıcaksuyun yerleşebileceği geçirimli bir akifer özelliğinde olup, sahada II. Rezervuarı oluştururlar.

İnceleme alanındaki rezervuarları biribirinden ayıran iki örtü kayaç topluluğu bulunmaktadır. Bunlar; Neojen yaşlı kayaçların kumtaşı-kiltaşı-silttaşı ardalanması sunan litolojileri ile Menderes Masifinin şistleri ve kısmen de allokton gnayslardır.

4.1 Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Umurlu jeotermal sahasında bulunan litolojik birimler geçirimsiz, yarı geçirimli ve geçirimli birimler olarak belirlenmiş ve haritalanmış olup, aşağıda açıklanmıştır (Şekil 4.1) (Ek 3-4).

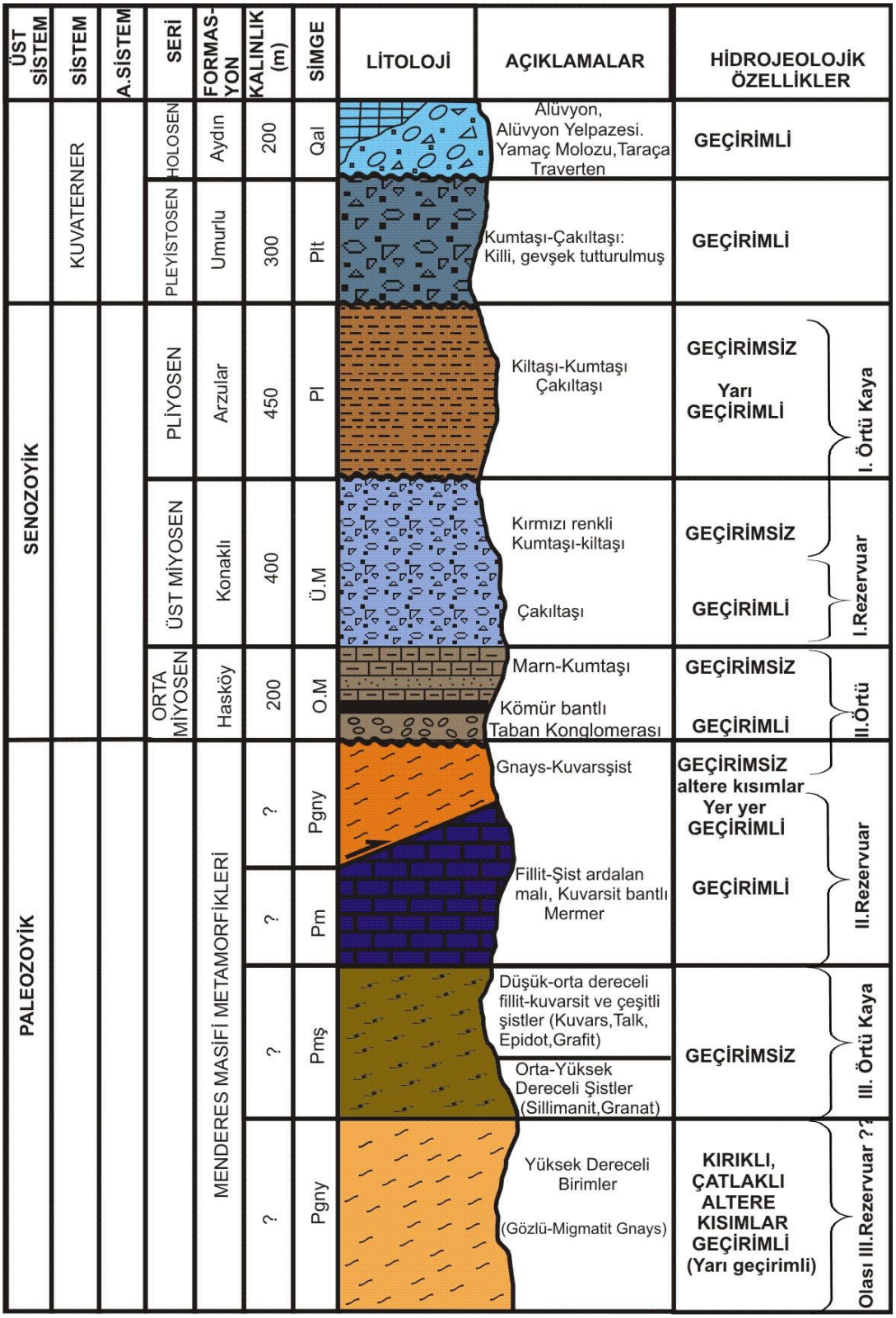
4.1.1 Geçirimli birimler

İnceleme alanında Kuvaterner'de gelişen gevşek tutturulmuş çakıltaşları, taraça, yamaç molozu ve alüvyon yelpazeleri geçirimli birimler olup, sahada Büyük Menderes Nehri civarında geniş alan kaplarlar. Büyük Menderes Grabeni'nde yer alan alüvyon

akiferlerinden sığ keson kuyular ile soğuk su kaynağı olarak yararlanılmaktadır. Alüvyon akiferin beslenimi yağıştan ve Menderes Nehri'nin kenarında yer alan alüvyonlarda nehirden sızma ile olmaktadır.

İnceleme alanında yapılan arama sondajlarında iki ana rezervuar belirlenmiştir. Bunlardan ilki Miyosen birimleri içerisindeki çakıltaşlarının bulunduğu faylı zonlardaki tali rezervuarlardır. Umurlu jeotermal sahasında Miyosen birimleri mostra vermemesine rağmen sahada yapılan sondajlarda 450 m'ye varan kalınlıklarda kesilmiştir. Umurlu jeotermal sahasının yakın çevresinde bulunan, Ilıcabaşı (Ayter-1, Ayter-2) ve Germencik jeotermal sahalarında (ÖB-1, ÖB-4) Miyosen'in çakıltaşı seviyelerinden üretim yapan kuyular bulunmaktadır (Şekil 2.5). Bu kuyuların sıcaklık ve debileri bulundukları sahaların genel potansiyeli göz önüne alındığında düşük kalmaktadır. Bu nedenle inceleme alanında açılan kuyularda üretim yapabilecek Miyosen seviyeleri, hedeflenen sıcaklığa ulaşılamayacağı düşüncesiyle (MTA proje ekibi) muhafaza borusu arkasına alınarak, kapatılmıştır.

İnceleme alanında rezervuar oluşturan en önemli birim, mermer-kalkşist ve kuvarsit ardalanmasından oluşan Menderes Masifi Metamorfikleridir. İstif graben tektonizmasına bağlı olarak geçirimlilik kazanmıştır. İstif içerisindeki fay ve kırık zonları hidrojeolojik açıdan geçirimli olup, jeotermal akışkan içermesi bakımından büyük öneme sahiptir. Mermerler inceleme alanında Kavacık köyü, Karakütük Tepe ve Paşayaylası'nda mostra vermektedir (Ek 3-4). Sahada yapılan sondajlarda kuvarsşist, fillit ve şist birimleriyle ardalanmalı olarak görülürler. Arazide gri-beyaz renkte, iri kristalli, masif kalın tabakalı ve bol eklemli olarak gözlenmiştir. Umurlu jeotermal sahasında açılmış olan ASK-1 ve AU-1 kuyularında üretim mermer-fillit ardalanması içerisindeki fay zonlarından, AU-2 kuyusunda ise mermer-fillit ardalanmasının kırık ve çatlaklarından olmaktadır.



Şekil 4.1 Çalışma alanındaki litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafik kesit (ölçeksiz)

4.1.2 Yarı geçirimli birimler

Menderes Masifi'nde temeli oluşturan gnayslar inceleme alanının kuzeyinde Musluca, Terziler ve Kenger köyleri civarında yüzeylerler. Birimler arazide sert kırılgan ve eklemli olarak gözlenirler. Gnayslar Miyosen öncesi meydana gelen sıkışmayla şist ve mermerler üzerine bindirmiş ve "Allokton Gnays" olarak adlandırılmıştır (Şimşek vd., 1980). Bunlar bindirme zonu boyunca sürüklendikleri için çok fazla tektonizmaya uğramış ve altere olmuşlardır. Gnaysların bu altere kısımları yarı geçirimlidir. Büyük Menderes Grabeni'nde açılan sondajlarda altere gnaysların ve bindirme zonlarının üretime az da olsa katkıda bulundukları görülmektedir. Menderes Masifi çekirdeğinde bulunan gnaysların da kırıklı, çatlaklı, altere kısımlarının geçirimli olabileceğine ve sahada üçüncü bir rezervuar oluşturabileceğine dair görüşler bulunmaktadır (Şekil 4.1). Şimşek (1985) Kızıldere sahasında gnays-kuvarsit bileşimli bu rezervuarın sıcaklığının 250-260 °C olabileceğini tahmin etmiştir.

İnceleme alanında çakıltaşı-kumtaşı-kiltaşı ardalanmasından oluşan Pliyosen çökelleri de killi birimleri hariç yarı geçirimli olarak değerlendirilmiştir

4.1.3 Geçirimsiz birimler

İnceleme alanında yapılan sondajlarda rezervuarları birbirinden ayıran iki ayrı örtü kayaç topluluğu belirlenmiştir. Bunlardan Pliyosen ve Miyosen birimlerinin kumtaşı, kiltaşı ardalanması gösteren litolojileri geçirimsiz özellik sunmakta ve Miyosen çakıltaşlarından oluşan I.Rezervuar için geçirimsiz örtü özelliği göstermektedir. Menderes Masifi içerisindeki şistler de, mermer-kalkşist ve kuvarsitlerden oluşan II.Rezervuar için bir diğer örtü kayaç topluluğunu oluşturmaktadır. İnceleme alanında III. Rezervuar olarak düşünülen gnaysların üzerine gelen alt şistler de söz konusu rezervuar için geçirimsiz örtü kayaç özelliği göstermektedir (Şekil 4.1).

4.2 Yüzey Suları

İnceleme alanı dolayındaki en büyük akarsu Büyük Menderes Nehri'dir. Nehir, Dinar yakınlarındaki bir karst kaynağından doğmakta, Sarayköy, Aydın, inceleme alanının güneyinden ve Söke'yi geçip Akköy yakınlarında Ege Denizi'ne dökülmektedir. Nehir yılın tüm aylarında aktif olarak akmaktadır. Büyük Menderes Nehri'nin ortalama debisi kış ve ilkbahar aylarında 16 m^3/s, yaz ve sonbahar aylarında, kuraklık etkisi ile ortalama 2 m^3/s civarındadır (Özgür, 2002). Büyük Menderes Nehri Akçay, Çine Çayı gibi irili ufaklı bir çok kola ayrılır ve bu kollar zaman zaman mevsimsel değişikliklere bağlı olarak kuru dere özelliği göstermektedir.

İnceleme alanında sürekli akan Emirdoğan Deresi ve Musluca Çayı dışındaki dereler mevsimliktir. Bu dereler Umurlu Jeotermal Sahasını K-G yönünde kat ederek inceleme alanının dışında Büyük Menderes Nehri'ne kavuşmaktadır.

Alandaki yükselti kuzeyden güneye doğru azalmaktadır. Mevsimlik dereler, geçirimsiz birimler üzerinde topografyaya bağlı olarak kuzeyden güneye doğru genellikle birbirine paralel ve seyrek bir drenaj ağı sunmaktadırlar (Ek 3).

4.3 Kaynaklar

Bu bölümde çalışma alanında yer alan soğuksu kaynak ve kuyuları ile sıcaksu çıkışlarına ilişkin veriler incelenmiştir.

4.3.1 Soğuksu kaynakları

Çalışma alanında düşük debili kaynaklar yer almaktadır. Su kaynakları, eklem veya kırık düzlemlerinden çıkan, debileri 0,3-0,5 l/s arasında değişen sızıntılar şeklindedir. Genelde geçirimsiz temel kayaları oluşturan şistlerin bozuşma kuşağından beslendikleri için debileri azdır. İnceleme alanındaki formasyonlardan boşalan kaynakların büyük çoğunluğu kapte edilerek içme ve kullanma suyu amacıyla halkın hizmetine

sunulmuştur. Bu çeşmelerin bir kısmının saha çalışmaları sırasında yaz aylarında kuru olduğu gözlenmiştir.

İnceleme alanında örnekleme yapılan soğuk su kaynakları; Musluca kaynağı, Palamutcuk ve Olucakpınar çeşmeleridir (Ek 1-3).

4.3.1.1 Musluca kaynağı (U-6)

Musluca kaynağı inceleme alanındaki Musluca köyünün kuzeyinde yer almaktadır. Musluca Kaynağı Kabalık Deresi boyunca yaklaşık K-G doğrultulu giden faya bağlı olarak çıkmaktadır. Kaynağın beslenimi ve boşalımı şistlerin içerisinden olduğundan debisi az olup, yaklaşık 0,2-0,3 l/s'dir. Kaynağın fiziko kimyasal özellikleri Mayıs ve Kasım 2008 tarihlerinde ölçülmüş olup, sıcaklığının 16-16,5°C, elektriksel iletkenliğinin 705-716 µS/cm ve pH değerinin 7,04-7,21 arasında değişmekte olduğu görülmüştür. Kaynağın boşalım kotu yüksekliği 520 m'dir (Ek 3).

4.3.1.2 Palamutcuk çeşmesi (U-7)

Kapte edilerek çeşme haline getirilen kaynak, Palamutcuk köyü halkının kullanımına sunulmuştur. Kaynak muskovit şistler içinde temel-Neojen dokanağına bağlı olarak çıkmaktadır. Kaynağın boşalım yükseltisi 400 m, debisi 0,3 l/s civarında tahmin edilmiştir. Kaynağın fizikokimyasal özellikleri Kasım 2008 tarihinde ölçülmüş olup, sıcaklığı 18,5°C, Eİ değeri 347 µS/cm, pH değeri 7,84 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.2) (Ek 3).



Şekil 4.2 Palamutcuk çeşmesi

4.3.1.3 Olucak pınar çeşmesi (U-8)

Kapte edilerek çeşme haline getirilen bir diğer kaynak Kenger köyü içerisindeki Olucak Pınar Çeşmesi'dir. Gnays-şist dokanağından çıkan kaynağın boşalım yükseltisi 770 m'dir. Kasım 2008 tarihinde yapılan ölçümlerde kaynağın sıcaklığı 17,2 °C, Eİ değeri 318 µS/cm, pH değeri 8,0 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.3) (Ek 3).



Şekil 4.3 Olucak pınar çeşmesi

4.3.2 Soğuksu kuyuları

İnceleme alanının da içinde bulunduğu Menderes Ovası tarıma elverişli toprakları bünyesinde bulundurduğundan bölgede yüzlerce sulama amaçlı soğuk su kuyusu açılmıştır. Havza ortasındaki soğuk yeraltı sularında jeotermal akışkana bağlı bir kirlenmenin olup olmadığını tespit edebilmek için jeofizik çalışmalarında da rezistivite değerlerinin anomali gösterdiği alanda, yalnızca bir soğuk su kuyusundan örnekleme yapılmıştır.

4.3.2.1 Hamdi'nin kuyusu (U-9)

Alüvyon içerisinde açılmış 40 m'lik keson kuyuda dinamo 10 m derinliğe indirilmiştir. Kuyunun verimi 1 l/s olup, Kasım 2008 tarihinde yapılan ölçümlerde sıcaklığı 18,1 °C, Eİ değeri 903 µS/cm, pH değeri 7,47 bulunmuştur (Şekil 4.4) (Ek 3).



Şekil 4.4 Hamdi'nin kuyusu

4.3.3 Sıcak su kaynakları

İnceleme alanında iki adet sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Bunlar Nardere ve İmamköy kaynaklarıdır. Nardere Ilıcası kurumuş olduğundan bu kaynaktan örnekleme yapılamamıştır. MTA (2005) Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanterine göre; Nardere Ilıcası'nın sıcaklığı 37 °C'dir.

4.3.3.1 İmamköy kaynağı (U-4)

İnceleme alanında İmamköy Beldesi içerisinde bulunan İmamköy Kaynağı, Büyük Menderes Grabeni'ni oluşturan faylar boyunca, Pleyistosen birimleri içerisinden birkaç noktadan çıkmaktadır. Kaynağın debisi yaklaşık olarak 3 l/s'dir. Mayıs ve Kasım 2008 tarihlerinde kaynak başında yapılan fizikokimyasal ölçümler sonucunda İmamköy kaynağının sıcaklığı 36 °C olup, Eİ değeri 1790-1818 µS/cm, pH değeri 6,14-6,32 arasında değişmektedir (Şekil 4.5). Kaynak kullanımı yöre halkı tarafından ilkel şartlarda yapılmaktadır (Ek 3-4).



Şekil 4.5 İmamköy kaynağından görünüm

4.3.4 Sıcak su kuyuları

İnceleme alanında MTA Genel Müdürlüğü tarafından 2007-2008 yıllarında "Aydın Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi" kapsamında üç adet jeotermal sondaj yapılmıştır. Umurlu Jeotermal Sahasında açılmış olan ASK-1, AU-1, AU-2 kuyuları tez kapsamında incelenmiştir.

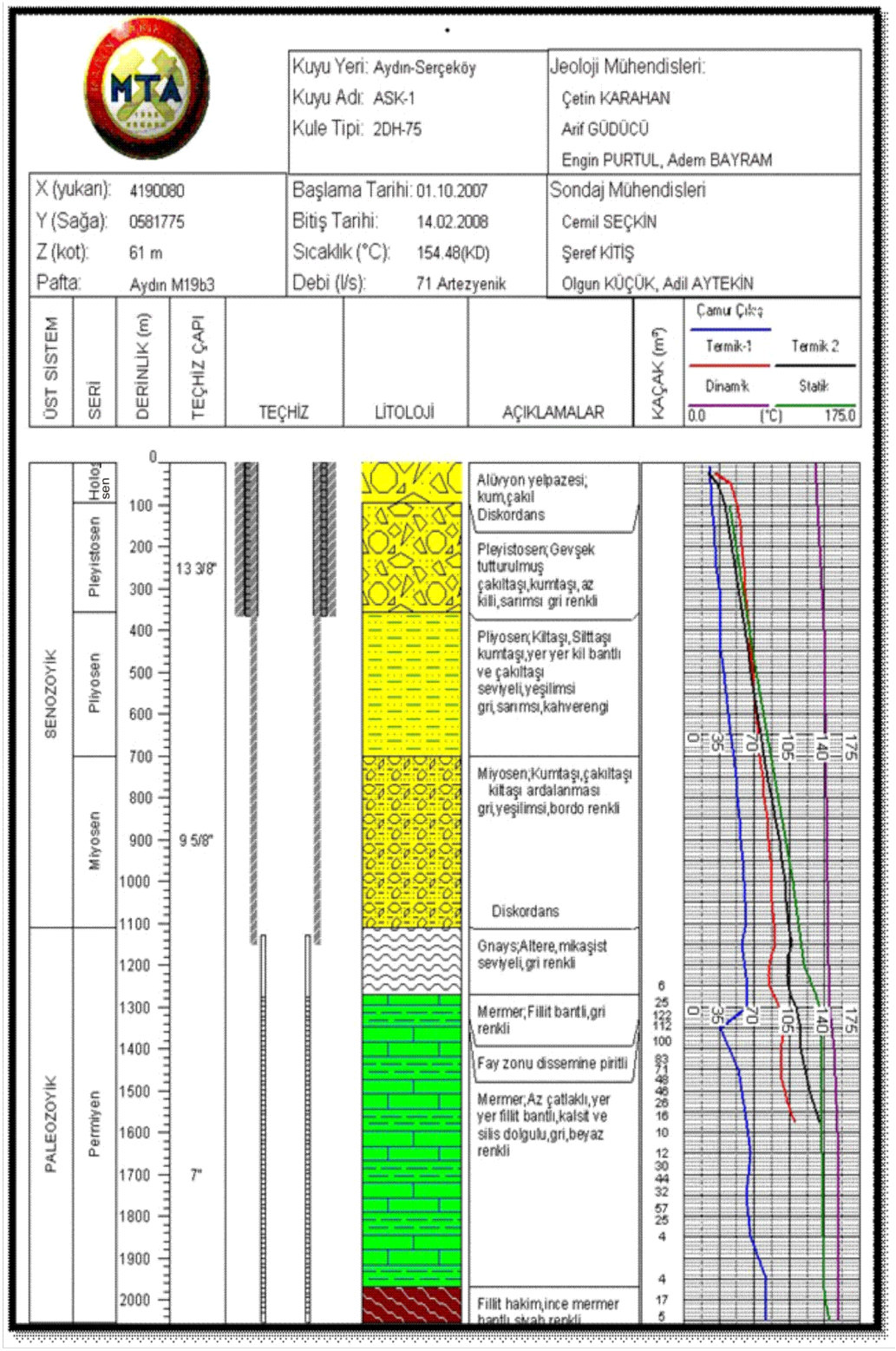
4.3.4.1 Aydın-Serçeköy (ASK-1) jeotermal sondaj kuyusu (U-1)

MTA Genel Müdürlüğü tarafından ASK-1 (X: 4190080 Y:0581775 Z:61) sondajına 01.10.2007 tarihinde başlanmış, kuyu 14.02.2008 tarihinde 2054 m derinliğinde açılarak tamamlanmıştır (Ek 1-2-3).

ASK-1 sondajında 0-90 m arasında alüvyon yelpazesi, 90-356 m arasında Pleyistosen gevşek çakıltaşı, 350-700 m arasında Pliyosen kiltaşı-silttaşı ve kumtaşı, 700-1100 m arasında Miyosen kiltaşı-kumtaşı-çakıltaşları kesilmiştir. Kuyuda 1116-1270 m'ler arasında bindirme ile gelen allokton gnayslara girilmiş, 1270-1970 m'ler arasında yaklaşık 700 m mermer kesilmiş, 1970 m'den tabana kadar da fillit kesilmiştir (Şekil 4.6).

ASK-1 sondajında yüzeyden itibaren 367 m'ye kadar 13 $^{3/8"}$ muhafaza borusu, 1150 m'ye kadar $9^{5/8"}$ muhafaza borusu indirilmiş ve etrafı çimentolanmıştır. ASK-1 kuyusunda 1130-1278 m'ler arasında 7" filtreli üretim borusu, 2031-2054 m'ler arası 7" kapalı üretim borusu kullanılmıştır (Şekil 4.6).

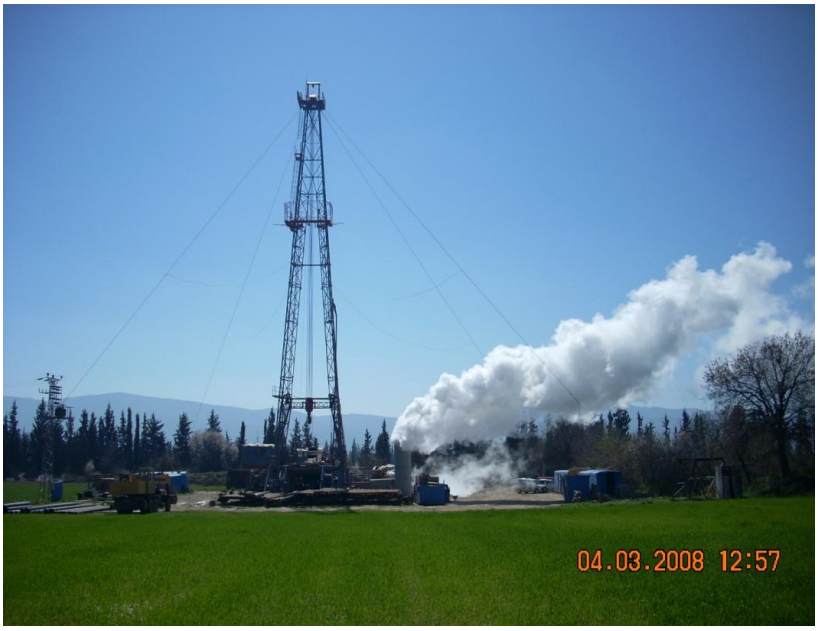
Sondajda 1315 m'de girilen birinci üretim zonunda ve 1996 m'de girilen ikinci üretim zonunda tam kaçaklar yaşanmıştır. Kuyuda 1315.90 m'de girilen ana üretimin yapıldığı fay zonunda birbirine çok yakın üç seviyede tam kaçak yaşanmış, aralarda kısmi sirkülasyon sağlanmıştır. Sondajın 1996 m'sinde girilen ikinci üretim zonunda yaşanan tam kaçak ise 1996,60-1996,90 m'ler arasında gerçekleşmiş, kaçak miktarı da üsteki zona göre daha az olmuştur (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 ASK-1 sondajı kuyu bitirme logu (Karahan ve Güdücü, 2008)

ASK-1 Jeotermal Sondajı'nda delme işleminin tamamlanmasından sonra kuyuya ait sıcaklık, üretim ve reenjeksiyon parametrelerinin belirlenmesi amacıyla test çalışmalarına başlanmış ve dinamik sıcaklık, dinamik basınç, statik sıcaklık, statik basınç ölçüleri alınmış (Şekil 4.6), yükselim, savak yöntemi ile üretim testi, çok debili enjeksiyon ve su kaybı testleri yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda kuyu içi maksimum dinamik sıcaklığı 154,5°C ve üretim artezyenik olarak 71 l/s (256 ton/saat) olarak belirlenmiştir (Şekil 4.7). Üretim testlerinden sonra kuyudaki üretim zonlarının bulunması amacıyla kuyuya soğuk su basılarak su kaybı testi yapılmış, akabinde kuyuya sıcaklık probu indirilerek sıcaklık değişimleri gözlenmiştir. Böylelikle sıcaklıklardaki ani yükselimler muhtemel üretim zonu olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.1)(Şekil 4.8).

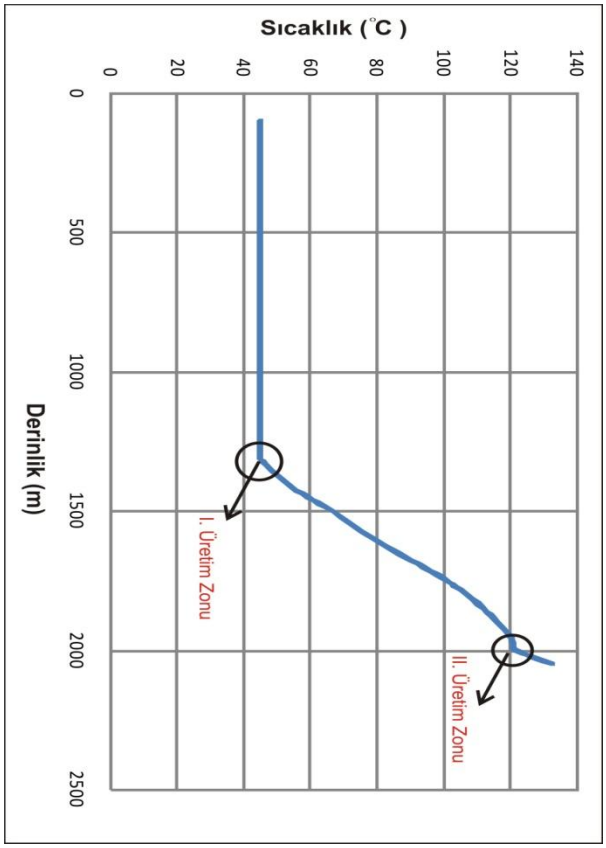
Şekil 4.3'de görüldüğü üzere üretim zonu 1300-1400 m'ler arasında gözükmektedir. Yani kuyu içerisinde ana üretim büyük oranda çamur sirkülasyonunun kesildiği 1315-1321 metreler arasındaki fay zonundan olmaktadır. Bu fay zonu da olasılıkla yüzeyde kuyuya yaklaşık 500 m mesafedeki, yaklaşık 70° eğimle gelen Neojen-alüvyon kontağını oluşturan fay olarak tahmin edilmektedir (Ek 2).



Şekil 4.7 ASK-1 sondajından görünüm

Çizelge 4.1 ASK-1 kuyusu su kaybı testi statik sıcaklık ölçüm değerleri (Dünya 2008a)

Derinlik (m)	Statik Sıcaklık (°C)
100	45
500	45
1000	45
1200	45
1275	45
1315	45,15
1400	52,68
1450	58,99
1500	66,39
1600	78,64
1700	93,42
1750	100,66
1785	104,76
1850	111,57
1900	115,71
1950	119,46
1975	120,54
2000	120,99
2050	132,21



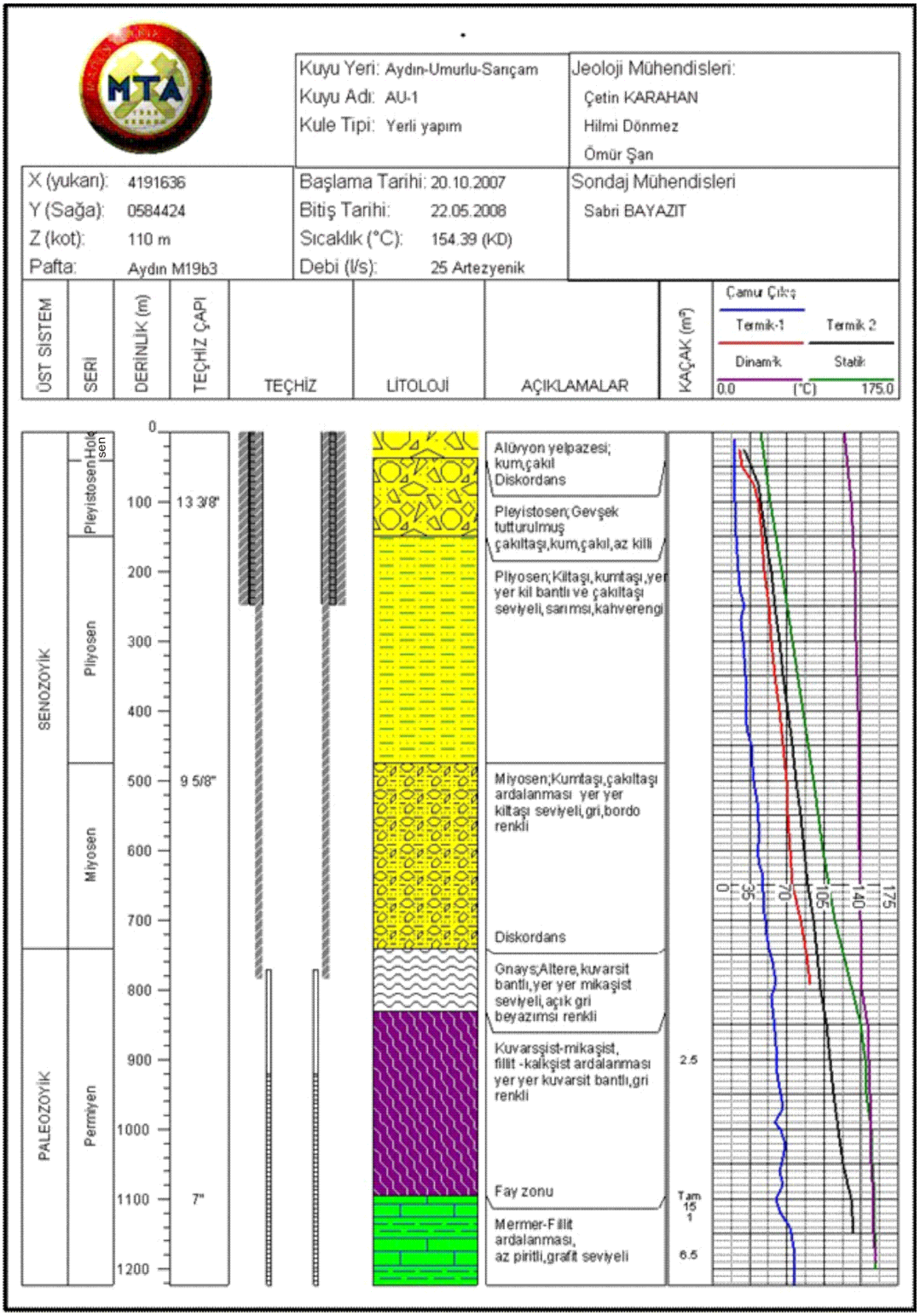
Şekil 4.8 ASK-1 kuyusu su kaybı testi

4.3.4.2 Aydın-Umurlu (AU-1) jeotermal sondaj kuyusu (U-2)

MTA Genel Müdürlüğü tarafından AU-1 sondajına (X: 4191636 Y: 0584424 Z: 110 (m)) 20.10.2007 tarihinde başlanmış kuyu 22.05.2008 tarihinde 1223 m'de bitirilerek tamamlanmıştır (Ek 1-3).

AU-1 sondajında 0-35 m arasında alüvyon yelpazesi, 35-150 m arasında Pleyistosen gevşek çakıltaşı, 150-480 m'ler arasında Pliyosen yaşlı kiltaşı, silttaşı ve kumtaşı seviyeli birimler, 480-742 m arasında Üst Miyosen yaşlı konglomera ve kumtaşı kesilmiştir. Sondajda 742 metreden sonra kuvarsşist, kuvarsit ve gnayslara girilmiştir. Kuyuda, 1095 m'de mermer-fillit ardalanmasına girdikten sonra fay zonu kesilmiş, sondajda tam kaçak olmuş, sirkülasyon sağlanarak sondaja devam edilmiş ve sondaj 1223 m'de tamamlanmıştır (Şekil 4.9).

AU-1 sondajında yüzeyden itibaren 250 m'ye kadar 13 $^{3/8"}$ muhafaza borusu, 796 m'ye kadar 9$^{5/8"}$ muhafaza borusu indirilmiş ve etrafı çimentolanmıştır (Şekil 4.4). Yapılan kuyu tamamlama sonucunda AU-1 kuyusunda maksimum dinamik sıcaklık 1190 m'de 153,48 $^{\circ}$C, maksimum statik sıcaklık ise 1211 m'de 154,39 °C olarak ölçülmüştür. Üretim testleri sonucunda ise kuyu beş gün süreyle üretimde tutulmuş ve debi 25 l/s olarak ölçülmüştür (Şekil 4.10). Su kaybı testine göre de üretim zonu ilerleme sırasında sirkülasyonun kesildiği 1100'lü metreler olarak tahmin edilmiştir (Çizelge 4.2) (Şekil 4.11).



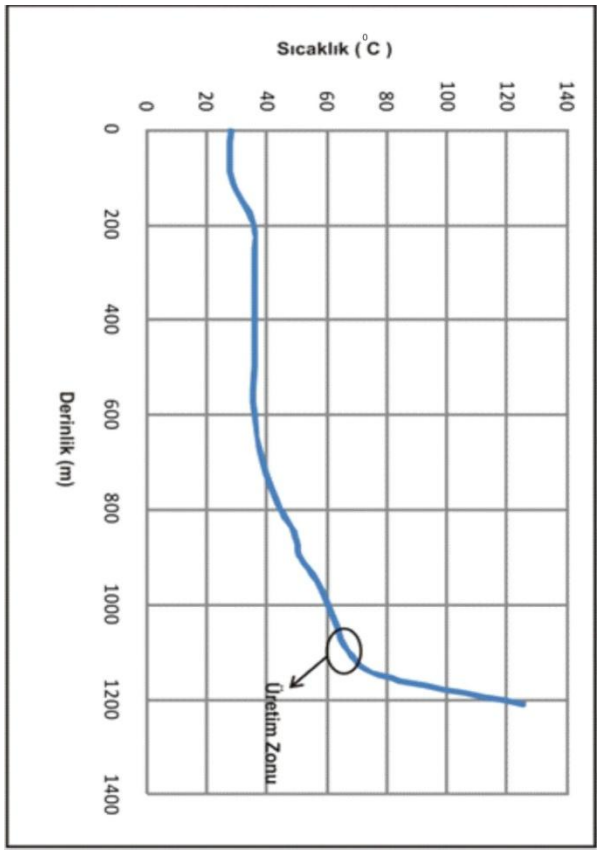
Şekil 4.9 AU-1 sondajı kuyu bitirme logu (Karahan ve Dönmez, 2008)



Şekil 4.10 AU-1 sondajından görünüm

Çizelge 4.2 AU-1 kuyusu su kaybı testi statik sıcaklık ölçüm değerleri (Dünya 2008b)

Derinlik (m)	Statik Sıcaklık (^{0}C)
0	28
100	28
200	35,58
300	35,65
400	35,65
500	35,65
600	35,71
700	38,37
800	44,39
850	49,18
900	50,9
950	56,49
1000	60,18
1050	63,18
1100	66,96
1150	77,07
1211	125,11



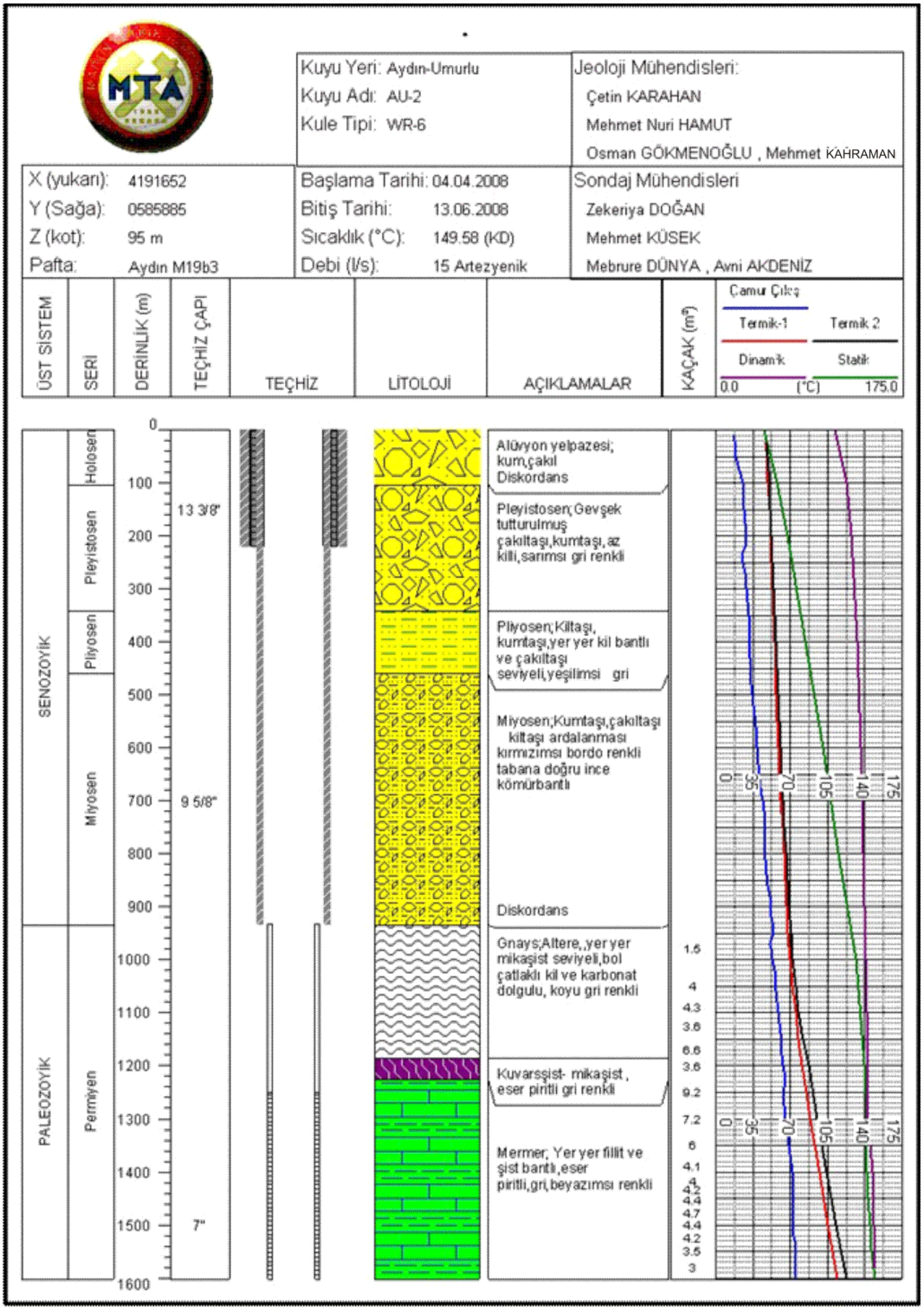
Şekil 4.11 AU-1 kuyusu su kaybı testi

4.3.4.3 Aydın-Umurlu (AU-2) jeotermal sondaj kuyusu (U-3)

MTA Genel Müdürlüğü tarafından AU-2 sondajına (X:4191652 Y:0585885 Z:95 m) 04.04.2008 tarihinde başlanmış 13.06.2008 tarihinde kuyu 1602 m'de bitirilerek tamamlanmıştır (Ek 1-3).

AU-2 sondajında 0-110 m arasında alüvyon yelpazesi, 110-320 m arasında Pleyistosen yaşlı gevşek konglomera, 320-480 m arasında Pliyosen yaşlı kiltaşı, silttaşı, ve kumtaşı ardalanması, 480-930 m arasında Üst Miyosen yaşlı bordo-gri renkli kumtaşları kesilmiştir. Bu metreden sonra bindirme ile şist ve mermerler üzerine gelen allokton gnayslara girilmiş, 1200 m'den sonra 1250 m'ye kadar yer yer kuvarsit bantlı mikaşist, kuvarsşist birimleri kesilmiştir. Sondajda 1250-1600 m arasında mermer, fillit ardalanmasında ilerlenmiş, 2 m karot alınarak 1602 m'de sondaj bitirilmiştir (Şekil 4.12).

AU-2 sondajında yüzeyden itibaren 220 m'ye kadar 13 $^{3/8"}$, 940 m'ye kadar 9 $^{5/8"}$ muhafaza borusu indirilerek etrafı çimentolanmıştır. AU-2 sondajında 1600 m'ye kadar 8 $^{½"}$ çapta ilerlenmiş ve 7" filtreli ve kapalı üretim borularla techiz işlemleri tamamlanarak kuyu üretime açılmıştır (Şekil 4.12-4.13).



Şekil 4.12 AU-2 sondajı kuyu bitirme logu (Karahan ve Gökmenoğlu, 2008)

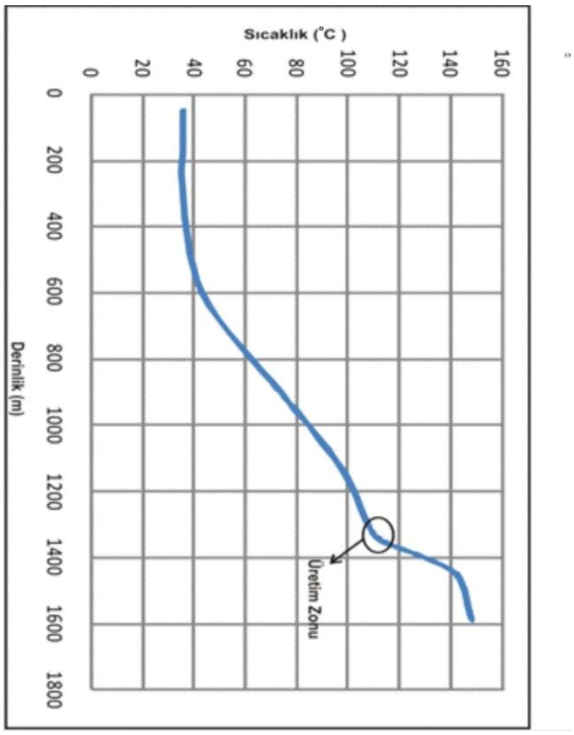


Şekil 4.13 AU-2 sondajının gayzerli üretiminden görünüm

Yapılan kuyu tamamlama testleri sonucunda AU-2 kuyusunda maksimum dinamik sıcaklık 1582 m'de 149,58 °C, maksimum statik sıcaklık ise 1590 m'de 149,00 °C olarak ölçülmüştür. Üretim testleri sonucunda kuyuda 101 t/saat gayzerli üretim olmuş, vana kısılarak 1 barlık kuyu başı basıncı altında maksimum 52 ton/saat sürekli üretim sağlanmıştır. Üretim zonunu belirlemek için yapılan su kaybı testine göre de üretim zonu kuyuda 1350 ila 1400 m'ler arasında tahmin edilmiştir (Çizelge 4.3) (Şekil 4.14).

Çizelge 4.3 AU-2 kuyusu su kaybı testi statik sıcaklık ölçüm değerleri (Dünya, 2008c)

Derinlik (m)	Statik Sıcaklık (^{0}C)
50	35,74
300	35,81
600	43,04
900	73,57
1000	84,33
1100	94,57
1200	102,28
1300	107,49
1350	113,01
1400	129,38
1450	141,99
1500	145,16
1550	146,62
1589	148,36



Şekil 4.14 AU-2 kuyusu su kaybı testi

5. HİDROJEOKİMYA

Umurlu jeotermal sahasında bulunan sıcak ve mineralli suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenip jeotermal sistem içerisinde geçirdikleri fizikokimyasal süreçlerin ortaya konulması amacıyla bölgedeki sıcak ve mineralli sularda dönemsel örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Jeotermal sistemin beslenim alanında yer alması muhtemel soğuk su kaynak ve kuyulardan da örnekler alınmış ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Örnekleme çalışmaları Mayıs 2008 ve Kasım 2008 tarihlerinde olmak üzere iki dönem halinde gerçekleştirilmiştir. Su örneklerinin pH, elektriksel iletkenlik (Eİ), sıcaklık (T), TDS (mg/l) gibi fiziksel parametreleri kaynak ve kuyu başında ölçülmüştür. MTA Genel Müdürlüğü laboratuarında majör iyon, kirlilik ve ağır metal analizleri, DSİ ve Hacettepe Üniversitesi laboratuarlarında ise çevresel izotop analizleri yapılmıştır.

Bu örneklerden; ASK-1 (U-1) kuyusundan sadece kimyasal analizler için tek dönem örnekleme yapılabilmiş, kuyunun üretime açılmasına çevresel şartlar müsaade etmediğinden çevresel izotop örneklemesi yapılamamıştır. AU-1 (U-2), AU-2 (U-3) kuyularından Mayıs 2008 tarihinde tek dönem halinde kimyasal ve çevresel izotop örneklemesi yapılmıştır. İnceleme alanında akış halindeki tek sıcaksu kaynağı olan İmamköy kaynağı'ndan (U-4) ve 90 m'lik sığ derinlikli Umurlu sıcaksu kuyusundan (U-5) iki dönem halinde kimyasal ve çevresel izotop örneklemesi yapılmıştır.

Jeotermal sistemin beslenim alanında olan Musluca soğuksu kaynağından (U-6) iki dönem halinde, Palamutcuk (U-7) ve Olucakpınar (U-8) çeşmelerinden Kasım 2008 tarihinde olmak üzere tek dönem halinde kimyasal ve çevresel izotop örneklemesi yapılmıştır. Ayrıca havzanın güneyinde alüvyonda jeofizik ölçülere göre anomali gösteren alanda açılmış 40 m'lik Hamdi'nin Kuyusu'ndan (U-9) Kasım 2008 tarihinde tek dönem halinde kimyasal ve çevresel izotop örneklemesi yapılmıştır.

5.1 Suların Fiziksel Özellikleri

Umurlu Jeotermal sahasında bulunan sıcak ve soğuk suların sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (Eİ), pH parametreleri kaynak başında ölçülmüştür. Yapılan fiziksel ölçüm sonuçları Çizelge 5.1' de sunulmuştur.

5.1.1 Sıcaklık (T)

İnceleme alanında açılan derin jeotermal kuyulardaki maksimum dinamik sıcaklıklar ASK-1 (U-1) kuyusunda Kasım 2007 tarihinde 154,5 °C, AU-1 (U-2) kuyusunda Mayıs 2008 tarihinde 153,48 °C, AU-2 (U-3) kuyusunda ise Haziran 2008 tarihinde 149,58 °C olarak ölçülmüştür. AU-2 kuyusunun yaklaşık 1,5 km kuzeyinde açılmış olan 90 m'lik sığ Umurlu sıcaksu kuyusu'nun (U-5,5a) sıcaklığı Mayıs ve Kasım 2008 tarihlerinde 30-31,0 °C, İmamköy kaynağının (U-4,4a) sıcaklığı 36 °C olarak ölçülmüştür. Soğuksu kuyularından Hamdi'nin Kuyusu'nun (U-9) sıcaklığı Kasım 2008 tarihinde 18,10 °C, soğuksu kaynaklarından Musluca kaynağının (U-6) sıcaklığı Mayıs ve Kasım 2008 tarihlerinde 16,07-16,5 °C, Palamutcuk Çeşmesi'nin (U-7) sıcaklığı Kasım 2008 tarihinde 18,5 °C, Olucakpınar Çeşmesi'nin (U-8) sıcaklığı ise Kasım 2008 tarihinde 17,22 °C olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.1. Yeraltı sularının fizikokimyasal analiz sonuçları

						Konsantrasyon (mg/l)													
Örnek No	**Örnek Adı (Kotu-m)**	**Örnekleme Tarihi**	**T (°C)**	**pH**	**Eİ (µS/cm)**	**Na^+**	**K^+**	**Ca^{+2}**	**Mg^{+2}**	**HCO_3^-**	**Cl^-**	**SO_4^-**	**B**	**F**	**SiO_2**	**NO_2**	**NO_3**	**NH_4**	**PO_4**
U-1	ASK-1 Kuyusu (61 m)	Kasım 07	154,5	8,2	4300	1123	136	2,02	3,58	2607	237	105	66,2	9,1	159	-	-	-	-
U-2	AU-1 Kuyusu (110 m)	Mayıs 08	153,48	8,5	5610	1602	131	3,8	1	3731	74,4	106	54,1	2,8	161	<0,05	1,1	5,9	<0,1
U-3	AU-2 Kuyusu (95 m)	Haziran 08	149,58	8,2	5000	1250	99	4,1	3,5	2840	233	101	52,5	6,4	144	<0,05	2	14,7	0,3
U-4	İmamköy Kaynağı (100 m)	Mayıs 08	36,36	6,14	1790	118	16	180	83,7	903	21,9	282	<0,1	-	62	-	-	-	-
U-4a	İmamköy Kaynağı (100 m)	Kasım 08	36	6,32	1818	107	20,4	170	86,5	906	26,5	308	<0,1	0,4	63,3	<0,05	0,4	0,1	<0,1
U-5	Umurlu Sıcaksu Kuyusu (125 m)	Mayıs 08	30	6,7	850	27	7	135	17,4	508	13,5	12	<0,1	-	73	-	-	-	-
U-5a	Umurlu Sıcaksu Kuyusu (125 m)	Kasım 08	31	6,9	828	25	8,05	131	18,4	526	14,9	12,6	0,1	<0,1	80,5	<0,05	0,14	<0,1	<0,1
U-6	Musluca Kaynağı (500 m)	Mayıs 08	16,07	7,04	705	6,3	3,3	100	34,8	413	8,34	51,1	<0,1	-	11	-	-	-	-
U-6a	Musluca Kaynağı (500 m)	Kasım 08	16,5	7,21	716	6,19	3,68	92	38,8	417	9,28	56,3	0,2	<0,1	16,1	<0,05	0,43	<0,1	<0,1
U-7	Palamutcuk Çeşmesi (350 m)	Kasım 08	18,5	7,84	347	3,25	1	57,1	8,53	205	5,24	10,5	<0,1	<0,1	12,8	<0,05	1,3	<0,1	<0,1
U-8	Olucakpınar Çeşmesi (750 m)	Kasım 08	17,2	8	318	18	8,93	35	5,22	103	11,6	45,7	<0,1	-	29,3	<0,05	18,9	<0,1	<0,1
U-9	Hamdi'nin Kuyusu (40 m)	Kasım 08	18,1	7,47	903	15,2	5,89	101	47,3	429	25,5	105	0,1	0,15	22,5	<0,05	8,1	<0,1	<0,1

-: ölçüm yapılmadı

5.1.2 Elektriksel iletkenlik (Eİ)

Elektriksel iletkenlik, cisimlerin elektriği geçirme özelliğidir. Özgül Elektriksel iletkenlik, elektriksel direncin karşıtıdır ve analiz sonuçları mikroho/cm veya mikrosiemens/cm (μS/cm) olarak ve 25 °C'deki değer hesaplanarak verilir. 1 cm^3 suyun elektriksel iletkenliğine "özgül elektriksel iletkenlik" denir. Suyun özgül iletkenliği iyon cinsine, derişime ve sıcaklığa bağlıdır. Suların elektriksel iletkenliği yüksek ise, çürütme özelliği fazladır. 25°C'de saf suyun iletkenliği 0,055 mikromho/cm, içilecek suların 30-200, çok tuzlu petrol sularının ise 1000 mikromho'dan fazladır (Şahinci,1991). Suların Elektriksel iletkenliğe bağlı sınıflaması Çizelge 5.2'de, inceleme alanından alınan su örneklerinin Eİ değerlerine göre sınıflaması ise Çizelge 5.3' de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Suların elektriksel iletkenliğe göre sulama suyu açısından sınıflaması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973)

Eİ	Suyun Sınıfı
<250	Çok iyi
250-750	İyi
750-2000	Kullanılabilir
2000-3000	Şüpheli
>3000	Kullanılmaz

Çizelge 5.3 Çalışma alanındaki suların elektriksel iletkenlik değerlerine göre sulama suyu sınıflaması

Örnek No	Örnek Adı	Eİ (µS/cm)	Suyun Sınıfı
U-1	ASK-1 Kuyusu	4300	Kullanılmaz
U-2	AU-1 Kuyusu	5610	Kullanılmaz
U-3	AU-2 Kuyusu	5000	Kullanılmaz
U-4	İmamköy Kaynağı	1790	Şüpheli
U-4a	İmamköy Kaynağı	1818	Şüpheli
U-5	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	916	Kullanılabilir
U-5a	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	828	Kullanılabilir
U-6	Musluca Kaynağı	588	İyi
U-6a	Musluca Kaynağı	600	İyi
U-7	Palamutcuk Çeşmesi	315	İyi
U-8	Olucakpınar Çeşmesi	270	İyi

5.1.3 Hidrojen iyon aktivitesi (pH)

pH sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup, sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Soğuk yer altı sularının pH değerleri 4-9 arasındadır. Jeotermal suların pH değerleri kaynamaya bağlı olarak değişiklik sunmakta olup, karbondioksitin ortamdan uzaklaşması akışkanın daha alkali olmasına neden olabilmektedir. pH akışkanın tuzluluk ve sıcaklığından da etkilenmektedir (Nicholson, 1993).

Çalışma alanında bulunan; ASK-1 (U-1), AU-1 (U-2), AU-2 (U-3) derin sıcaksu kuyularının pH değerleri 8,2-8,5 arasında, İmamköy kaynağının (U-4) pH değeri 6,1-6,3 arasında, Umurlu sığ sıcaksu kuyusunun (U-5) pH değeri de 6,7-6,9 arasında değişmektedir (Çizelge 5.1). Derin sıcaksu kuyuları ile kaynaklar arasında gözlenen bu farklılık, kuyulardaki sıcaklık ve basınç değişimlerine bağlı olarak kaynamanın başlaması ve ortamdan karbondioksitin uzaklaşarak akışkanın daha alkali hale gelmesiyle açıklanabilir.

Çalışma alanındaki soğuksu kaynaklarının pH değerleri 7,0 ila 8,0 arasında değişmekte olup, tamamı bazik özelliktedir (Çizelge 5.1).

5.2 Suların Kimyasal Özellikleri

5.2.1 Majör iyonlar

Doğal suların toplam iyon içeriğinin %90 'ından daha fazlasını oluşturan Na^+, K^+, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Cl^-, HCO_3^- ve SO_4^{-2} iyonlarıdır. Çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk suların majör iyon analiz sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Analizleri yapılan bu iyonların açıklamaları ve dağılımları aşağıdaki şekildedir.

Sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+)

Na^+ doğal sularda yaygın olarak bulunulan alkali metaldir. Bütün Na^+ bileşikleri suda kolayca çözünürler. Yerkabuğundaki Na^+ kaynakları mağmatik kayaçlar, kil mineralleri, feldispatlar, evaporitler ve feldispatoidlerdir. Yer altı sularının doğal sodyum içeriği 6-130 mg/l arasında değişmektedir. İçme ve kullanım suları standartlarında sodyum için 175 mg/l maksimum değer verilmiştir (Anonim 2005). Potasyum ise esas olarak feldispatlarda, mikalarda, feldispatoidlerde ve kil minerallerinde bulunur. Doğal sularda K^+ içeriği 20 mg/l'den fazla değildir. Ancak sıcak su kaynaklarında bu değer 100 mg/l'e ulaşabilmektedir (Doğan 1981). İçme ve kullanma suları standartlarında potasyum 12 mg/l'i aşmamalıdır (Anonim 2005).

Na^+ + K^+ değerleri, ASK-1 (U-1) derin sıcak su kuyusunda Kasım 2007 tarihinde; 1123+136=1259 mg/l, AU-1 (U-2) kuyusunda Mayıs 2008 tarihinde 1602+131=1733 mg/l ve AU-2 (U-3) kuyusunda Haziran 2008 tarihinde 1250+99=1349 mg/l olarak ölçülmüştür. İmamköy kaynağının (U-4) Na^++K^+ değeri, Mayıs 2008 tarihinde 118+16=134 mg/l, Kasım 2008 tarihinde ise benzer şekilde 107+20,4=127,4 mg/l olarak ölçülmüştür. Umurlu sıcaksu kuyusunun (U-5) Na^++K^+ değerleri ise Mayıs 2008 tarihinde 27,00+7,0=34 mg/l, Kasım 2008 tarihinde benzer şekilde 25,0+8,05=33,05 mg/l olarak ölçülmüştür.

Soğuksu kaynaklarından Musluca kaynağı (U-6) ve Palamutcuk Çeşmesinin (U-7) Na^+ değerleri 6,30-3.25, K^+ değerleri 3,30-<1,0 arasında, Olucakpınar Çeşmesi (U-8) ve Hamdi'nin soğuksu kuyusunda (U-9) Na^+ değerleri 18,0-15,2 mg/l, K^+ değerleri ise 8,93-5,89 mg/l arasında değişmektedir.

İnceleme alanındaki derin sıcaksu kuyularındaki yüksek Na^++K^+ içeriği bu suların metamorfik kayaçlar ile yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında uzun süre etkileşimde kalmasından kaynaklanmaktadır. Bu sular aynı zamanda derin dolaşımlı olduklarından, Na^+ ve CI^- ce zengin olmaları beklenmektedir.

Kalsiyum (Ca^{+2}) ve Magnezyum (Mg^{+2})

Kalsiyum, doğal sularda en bol bulunan katyonlardan biridir. Ca^{+2} birçok mağmatik, kayaç minerallerinin, özellikle piroksen, amfibol ve feldispatların asıl bileşenidir. Tortul kayaçlarda kalsiyum genellikle karbonatlar (kalsit, dolomit vb.) şeklinde bulunmaktadır. Kalsiyumun doğal sulardaki miktarı, suyun bulunduğu ortamdaki kayaçların bileşimi ile yakından ilgilidir. Kalsiyum, suların sertliğini oluşturan ana iyonlardan biri olup, içme ve kullanma suyu standartlarında 200 mg/l'yi aşmamalıdır (Anonim 2005).

Mg^{+2} tuzları ise oldukça yüksek bir çözünürlüge sahiptirler. Doğal sularda 100 mg/l'ye kadar değişen derişimlerde bulunan Mg^{+2}, suların sertliğini oluşturan diğer bir iyondur. Kalsiyum ve magnezyumun zehirleyici özellikleri bulunmamaktadır (Doğan 1981).

İnceleme alanında Kasım 2007 tarihinde, ASK-1 (U-1) sıcaksu kuyusunda Ca^{+2} 2,02 mg/l ; Mg^{+2} 3,58 mg/l, Mayıs 2008 tarihinde AU-1 (U-2) kuyusunda Ca^{+2} 3,8 mg/l ; Mg^{+2} 1,0 mg/l ve Haziran 2008 tarihinde AU-2 (U-3) kuyusunda Ca^{+2} 4,1 ; Mg^{+2} 3,5 mg/l olarak ölçülmüştür.

İmamköy kaynağının (U-4,4a) Ca^{+2} değerleri Mayıs ve Kasım 2008 tarihlerinde 170-180 mg/l ; Mg^{+2} değerleri 83,7-84,5 mg/l, Umurlu sıcaksu kuyusunun (U-5,5a) Ca^{+2}

değerleri Mayıs ve Kasım 2008 tarihlerinde 131-135 mg/l ; Mg^{+2} değerleri ise 17,4-18,4 mg/l olarak ölçülmüştür.

Alkalinite (HCO_3^- ve CO_3^-)

Suların alkalinitesi, içerdiği çözünmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötralleşme kapasitesidir. Hemen hemen bütün doğal sularda, alkalinite karbonat (CO_3), bikarbonat (HCO_3^-) ve hidroksil (OH^-) iyonlarından ortaya çıkmaktadır. Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel unsurlar atmosferik karbondioksit ile toprakta ve doygun olmayan zonda üretilen gazlardır. Bunun dışında biyolojik olarak oluşan sülfat redüksiyonu ile karbonatlı kayaçların metamorfizması sonucu da karbondioksit oluşabilmektedir.

İnceleme alanındaki HCO_3^- değerleri ASK-1 (U-1), AU-1 (U-2), AU-2 (U-3) sıcaksu kuyularında 2607-3731 mg/l arasında, İmamköy kaynağında (U-4) 903 mg/l, Umurlu sıcaksu kuyusunda (U-5) 508 mg/l, soğuksu kaynak ve kuyularında da 103-429 mg/l arasında değişim göstermektedir.

Derin jeotermal kuyulardaki HCO_3^- değerlerinin yüksek olması bu kuyuların rezervuar kayaçlarının rekristalize kireçtaşları olmasından ileri gelmektedir.

Klorür (Cl^-)

Klorürün doğadaki dağılımı oldukça yaygındır. Klorür esas olarak sedimanter kayaçlarda, özellikle evaporitlerde bulunur. Ayrıca sodalit, biyotit, hornblend gibi mağmatik kökenli minerallerde ve şeyllerde klorür iyonu bulunmaktadır. Kirlenmemiş doğal sularda klorür içeriği genellikle 10-200 mg/l aralığındadır. Bu değer yağışın klorür içeriği ile yakından ilişkilidir.

İnceleme alanındaki ASK-1 (U-1) kuyusunun Cl^- derişimi Kasım 2007 tarihinde 237 mg/l, AU-1 (U-2) kuyusundaki Cl^- derişimi Mayıs 2008 tarihinde 74,4 mg/l, AU-2 (U-

3) kuyusundaki Cl^- derişimi ise; Haziran 2008 tarihinde 233 mg/l olarak ölçülmüştür. İmamköy kaynağının (U-4,4a) Cl^- derişimi Mayıs 2008 tarihinde 21,9 mg/l, Kasım 2008 tarihinde 26,5 mg/l olarak ölçülmüştür. Umurlu sıcak su kuyusunun (U-5,5a) Cl^- derişimi Mayıs 2008 tarihinde 13,5 mg/l, Kasım 2008 tarihinde 14,9 mg/l' dir. Soğuksu kaynaklarının Cl^- değerlerinin ise Kasım 2008 tarihinde yapılan ölçümlerde 5,24 ile 25,5 mg/l arasında değişmekte olduğu görülmüştür.

Sülfat (SO_4^{-2})

Kükürt elementi indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak mağmatik ve sedimanter kayaçlarda yaygın olarak bulunmaktadır. Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozundukları zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşur ve bu iyonlar suya geçmektedir.

İnceleme alanındaki ASK-1, AU-1, AU-2 sıcak su kuyularındaki SO_4^{-2} değerleri Kasım 2007, Mayıs-Haziran 2008 tarihlerinde yapılan ölçümlerde; 101-105 mg/l arasında değişmektedir. İmamköy kaynağında (U-4) sülfat değeri Mayıs 2008 tarihinde 282 mg/l, Kasım 2008 tarihinde ise 308 mg/l olarak ölçülmüştür. Derin sıcak su kuyularına göre İmamköy kaynağındaki yüksek SO_4^{-2} derişimi bu kaynağın sularının Pliyosen'in jipsli birimleriyle daha uzun süre temasta kalmasıyla ve Pliyosen birimlerinin, İmamköy kaynağı için beslenme bölgesi konumunda olmasıyla açıklanabilir.

Soğuk su kaynak ve kuyularındaki SO_4^{-2} derişimi ise 10,5-105 mg/l arasında değişmektedir.

5.2.2 Kirlilik analizleri

Umurlu jeotermal sahasında yer alan kaynak ve kuyu sularında kirlilik tespitine yönelik örnekler derlenerek NH_4, NO_2, NO_3, PO_4 analizleri yapılarak Çizelge 5.4'de verilmiştir. Bu analizler ile ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 5.4 İnceleme alanı içerisindeki su örneklerine ait kirlilik analizi sonuçları (mg/l)

Örnek No	Örnekleme Tarihi	Örnek Adı	NH_4	NO_2	NO_3	PO_4
U-2	Mayıs 08	AU-1 Kuyusu	5,9	<0,05	1,1	<0,1
U-3	Haziran 08	AU-2 Kuyusu	14,7	<0,05	2	0,3
U-4a	Kasım 08	İmamköy Kaynağı	0,1	<0,05	0,4	<0,1
U-5a	Kasım 08	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	<0,1	<0,05	0,14	<0,1
U-6a	Kasım 08	Musluca Kaynağı	<0,1	<0,05	0,43	<0,1
U-7	Kasım 08	Palamutcuk Çeşmesi	<0,1	<0,05	1,3	<0,1
U-8	Kasım 08	Olucakpınar Çeşmesi	<0,1	<0,05	18,9	<0,1
U-9	Kasım 08	Hamdi'nin Kuyusu	<0,1	<0,05	8,1	<0,1

Amonyum (NH_4)

Amonyum formu sularda bulunan azotun en fazla indirgenmiş inorganik bileşiği olup, çözünmüş amonyak (NH_3) ve amonyum (NH_4) iyonlarından oluşmaktadır. Doğal sulardaki amonyak derişimleri genellikle 0,1 mg/l'den daha düşüktür. Yer altı sularındaki amonyak derişimi toprak tanelerinin ve kil minerallerinin adsorplaması nedeniyle daha düşük olabilmektedir.

Amonyak içeren sularda bakteri üremesi nedeniyle dağıtım şebekelerinde bir takım sorunlar ortaya çıkmaktadır (McNeely vd. 1979). İçme ve kullanma suları standartlarında amonyum 0,5 mg/l'yi aşmamalıdır (Anonim 2005).

İnceleme alanındaki sıcak su kuyularından AU-1 kuyusunun amonyum değeri Mayıs 2008 tarihinde 5,9 mg/l, AU-2 kuyusunun amonyum değeri ise Haziran 2008 tarihinde 14,7 mg/l olup sınır değerlerinin üzerindedir. İmamköy kaynağı ve diğer soğuksu

kaynaklarındaki amonyum değerleri ise Kasım 2008 tarihinde 0,1 mg/l'ın altındadır (Çizelge 5.4).

Nitrit (NO_2)

Nitrit iyonu, sularda düşük miktarda bulunan bir azot bileşiğidir. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan, amonyak ve nitrat arasında (nitrifikasyon) veya nitrit ve azotoksit arasında (denitrifikasyon) geçiş formu olrak bulunmaktadır. Suda nitritin bulunması organik kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik süreçlerin varlığını göstermektedir (McNeely vd. 1979). Nitrit insanlar ve hayvanlar için nitrattan daha fazla zehirleyicidir. Türkiye'de uygulanan standartlara göre, içme ve kullanma suları standartlarında nitrit 0,5 mg/l'yi aşmamalıdır (Anonim 2005). Yapılan ölçümlerde Umurlu jeotermal sahasındaki sıcak ve soğuk sularda Mayıs-Kasım 2008 tarihleri arasında nitrit varlığına rastlanılmamıştır (Çizelge 5.4).

Nitrat (NO_3)

NO_3 iyonu sularda bulunan bağlı azotlu bileşiklerin en önemlisidir. Çoğu yüzey suları bir miktar nitrat iyonu içerir. Bununla birlikte NO_3'ın ana kaynaklarından biri insan ve hayvan atıkları olduğundan 5 mg/l'den fazla nitrat içeriği kirlenme göstergesi olabilir (Mcneely vd. 1979). Öte yandan, mağmatik ve volkanik gazlar sulardaki nitrata kaynaklık ederler. Yüzey ve yer altı sularındaki nitrat çoğunlukla organik veya insan kaynaklıdır. Bozunan bitkisel ve hayvansal atıklar, endüstriyel atıklar, tarımda kullanılan gübreler, yüzey ve yer altı sularındaki nitratı sağlayan başlıca kaynaklardır (Hem 1985).

Nitratın insan sağlığı üzerine olan etkileri göz önünde tutularak Dünya Sağlık örgütü (WHO) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE), içme sularında nitrat iyonunun 50 mg/l'den daha az olmasını önermiştir (Anonim 2005). Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk sularda nitrat derişimi standartlardaki limitlerin altındadır. Ancak çevresel etkilere karşı koruma önlemlerinin alınmamış olması nedeniyle Olucakpınar Çeşmesi

(U-8) ve Hamdi'nin Kuyusu'nda (U-9) Kasım 2008 döneminde nitrat değerleri diğer örneklere göre daha yüksek olup, kirlenmeden söz edilebilir.

Fosfat (PO_4)

Fosfor mağmatik kayaçlarda bulunan en yaygın elementlerden biridir. Sedimanlar içinde de oldukça yaygın olmasına karşın doğal sulardaki fosfat derişimi 1 ppm'in çok altındadır (Hem 1985). Yüzey ve yer altı sularındaki fosfat, kayaçlardan ve topraktan, bozunan bitkisel ve hayvansal atıklardan, kullanılan gübrelerden kaynaklanabilir. Ortamda yeterli miktarda azot bulunduğunda 0,1 mg/l üzerindeki fosfor derişimleri çamur oluşumuna ve alg çoğalmasına neden olarak suyun içme, endüstriyel ve banyo amacıyla kullanımını etkilemektedir (McNeely vd. 1979). TSE standartlarında fosfat için bir sınır değeri verilmemiştir.

İnceleme alanındaki örnekleme noktalarında Mayıs, Haziran, Kasım 2008 tarihlerinde yapılan analizlerde fosfat varlığına rastlanılmamıştır.

5.2.3 Ağır metaller

Doğal sularda bulunan majör iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadır. Demir dışında diğer ağır metaller sularda genellikle 1 mg/l'den daha düşük derişimlerde bulunmaktadır (Freeze ve Cherry 1979). Doğal sulara, evsel ve endüstriyel atıklar ve madencilik faaliyetleri aracılığı ile önemli miktarda ağır metal katılabilmektedir. Suyun dolaşımı sırasında temasta bulunduğu litolojik birimlerin yapısı da sulardaki ağır metal içeriğinin kaynaklarından birini oluşturmaktadır.

İnceleme alanındaki su noktalarında ağır metal olarak bakır (Cu), demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn), krom (Cr), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.5). İnceleme alanındaki derin kuyulardan sadece AU-1 kuyusunda ağır metal analizleri yapılmıştır. Ayrıca İmamköy kaynağı, Umurlu sıcaksu

kuyusu ve Mursallı soğuksu kaynağından Mayıs ve Kasım 2008 tarihleri olmak üzere iki dönem halinde, diğer soğuk su örnek noktalarından ise Kasım 2008 tarihinde tek dönem halinde analizler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.5 Umurlu jeotermal sahasına ait su örneklerinin ağır metal analizleri (mg/l)

Örnek No	Örnek Adı	Örnekleme Tarihi	Fe	Mn	Cu	Cr	Ni	Zn	Cd	Pb
U-2	AU-1 Kuyusu	Mayıs 08	1,0	0,07	<0,05	-	<0,05	<0,05	-	<0,05
U-4	İmamköy Kaynağı	Mayıs 08	3,4	0,32	<0,05	-	<0,05	<0,05	-	<0,05
U-4a	İmamköy Kaynağı	Kasım 08	3,9	0,34	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
U-5	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	Mayıs 08	0,28	0,28	<0,05	-	<0,05	<0,05	-	<0,05
U-5a	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	Kasım 08	<0,05	0,21	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
U-6	Musluca Kaynağı	Mayıs 08	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05	<0,05	-	<0,05
U-6a	Musluca Kaynağı	Kasım 08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
U-7	Palamutcuk Çeşmesi	Kasım 08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
U-8	Olucakpınar Çeşmesi	Kasım 08	0,09	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	<0,05
U-9	Hamdi'nin Kuyusu	Kasım 08	1,0	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

(-): Ölçülmemiştir.

Demir (Fe) ve Mangan (Mn)

Demir mağmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlardaki bir çok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunmaktadır. İnsani amaçlı tüketim suları standartlarına (Anonim 2005) göre Fe için verilen en fazla değer 0,2 mg/l dir. Demirin su içerisindeki çözünürlüğü ortamın pH ve redoks koşullarına bağlıdır.

Mangan ise genel olarak metamorfik ve mağmatik kayaçlarda olivin, piroksen ve amfibol minerallerinde bulunmaktadır. Yer altı sularında bulunan Mn miktarı su içerisinde çözünmüş oksijen miktarına bağlı olarak değişmektedir. Mangan çözünmüş oksijene doygun yeraltısularında çökelirken, oksijensiz ortamlarda demirle birlikte bol miktarda bulunmaktadır (Hem 1985).

İnceleme alanındaki AU-1(U-2) kuyusunun Fe derişimi Mayıs 2008 tarihinde 1,0 mg/l ve Mn bileşimi ise 0,07 mg/l olarak ölçülmüştür. İmamköy kaynağının Fe ve Mn derişimi Mayıs 2008 tarihinde sırasıyla 3,4 ve 0,32 mg/l , Kasım 2008 tarihinde ise 3,9

ve 0,34 mg/l olarak ölçülmüştür. Umurlu sıcaksu kuyusunun Fe ve Mn derişimleri Mayıs 2008 tarihinde sırasıyla 0,28 ve 0,28 mg/l, Kasım 2008 tarihinde <0,05 mg/l ve 0,21 mg/l olarak ölçülmüştür. Umurlu sıcaksu kuyusunda dönemler arasındaki Fe içeriğindeki bu farklılık yağışlı dönemde yer altı suyunun Fe içeren olivin vb. gibi mineraller içeren metamorfik kayaçlarla temas etmesinden kaynaklanmaktadır. Soğuksu kaynak ve kuyularının Fe içerikleri Kasım 2008 tarihinde yapılan ölçümlerde <0,05 ile 1,0 mg/l, Mn içerikleri ise <0,05 ile 0,06 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 5.5).

Bakır (Cu)

Cu yerkabuğundaki kayaçlarda doğal Cu veya Cu içeren sülfür ve karbonat mineralleri halinde bulunmaktadır. Bununla birlikte Cu minerallerinin çözünürlükleri çok düşük olduğundan, sulardaki bakırın çok az bir kısmı doğal kökenlidir (Hem 1985). Çeşitli sanayi atıklarından gelebilen Cu'nun içme ve kullanma standartlarında (Anonim 2005) 2 mg/l'yi aşmaması önerilmektedir. İnceleme alanındaki tüm örnekleme noktalarındaki Cu derişimi, içme ve kullanma standartları sınır değerinin altındadır (Çizelge 5.5).

Krom (Cr)

Suların bileşiminde bulunan Cr, kayaçlardan, endüstriyel atıklardan ve tarımdan kaynaklanabilmektedir. Kromun doğal sulardaki derişimi genellikle 0,01 mg/l'nin altındadır. Bununla birlikte suyun temasta olduğu kayacın bileşimine bağlı olarak krom derişimi 0,2 mg/l'ye kadar artabilmektedir (Hem 1985). Türkiye'de içme suyu standartlarında krom içeriği için önerilen sınır değer 0,05 ppm olarak verilmektedir (Anonim 2005).

İnceleme alanında derlenen numunelerdeki Cr derişimlerinin Kasım 2008 tarihinde 0,05 mg/l'nin altında olduğu görülmüştür (Çizelge 5.5).

Nikel (Ni)

Ni, mağmatik kayaçlarda bulunan bir çok mineralin yapısında bulunmaktadır. Ni'in doğal sularda, 1 mg/l'ye kadar yükselen derişimleri yanında, genellikle 0,005 ile 0,02 mg/l arasında derişimlerde bulunduğu belirlenmiştir (WHO 1993). İnsani amaçlı tüketim suları standartlarında Ni 0,02 mg/l'i aşmamalıdır (Anonim 2005).

İnceleme alanında derlenen numunelerdeki Ni derişimleri Mayıs ve Kasım 2008 tarihlerinde 0,05 mg/l'in altında çıkmıştır (Çizelge 5.5).

Çinko (Zn) ve Kadmiyum (Cd)

Doğal sularada bulunan Zn genellikle suyun temasta olduğu kayaçlardan, topraktan, endüstriyel atıklardan, gübrelerden ve atmosferden kaynaklanmaktadır. Zn, insan için gerekli olan, zehirli olmayan bir element olup 25 mg/l derişimlere kadar olumsuz bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir (McNeely vd. 1979). İnsani amaçlı tüketim suları standartlarında (Anonim 2005) Zn için bir sınır değer verilmemiştir.

İnceleme alanında derlenen numunelerdeki Zn derişimleri Mayıs ve Kasım 2008 tarihlerinde 0,05 mg/l'in altındadır (Çizelge 5.5).

Kadmiyum, yer kabuğunda her zaman çinko ile kombinasyon halinde bulunmaktadır. Ayrıca, gübre ve pestisit kadmiyum içermektedir. Kadmiyum ayrıca endüstrilerde çinko, kurşun ve bakır ekstraksiyonunun kaçınılmaz yan ürünüdür. Doğal suların kadmiyum içerikleri genellikle 0.001 mg/l den daha azdır. Bununla birlikte bazı sularda 0.01 mg/l'ye kadar ulaşan derişimlerde bulunabilmektedir (McNeely vd. 1979). Çalışma alanında yer alan sularda kadmiyum değeri Kasım 2008 tarihinde 0,05 mg/l'in altındadır (Çizelge 5.5).

Kurşun (Pb)

Birçok kayaç oluşturan mineralin asıl yapısında yer alan kurşun, sularda doğal olarak bulunmakta, kayaçlardan ve insan faaliyetlerinden sağlanmaktadır. Doğal sulardaki kurşun, nadir olarak yüksek değerlere ulaşmaktadır. İnsan vücudunda birikim yaparak zehirli bir etkiye sahip olan kurşun için (Anonim 2005), içme suyu standartlarında izin verilebilir üst sınır olarak 0,01 mg/l derişimi verilmiştir. Çalışma alanında yer alan sularda kurşun derişimi değeri Mayıs ve Kasım 2008 tarihlerinde 0,05 mg/l'in altındadır (Çizelge 5.5).

5.3 İnceleme Alanındaki Suların Kökeni

İnceleme alanında derlenen soğuk sular ile sıcak ve mineralli sular için yapılan kimyasal analiz sonuçları ile bölgedeki su kaynaklarının kimyasal özellikleri ve litoloji ile olan ilişkileri incelenmiştir. Bu amaçla, yapılan kimyasal analiz sonuçlarından hazırlanan Schoeller ve Piper diyagramları ile soğuk su kaynaklarının birbirleriyle ve sıcak sularla olan benzerlik ve farklılıkları belirlenmiştir.

5.3.1 Su kaynaklarının iyon karakteristikleri

Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının iyon içeriklerinin mek/l derişimine göre, hakim iyon sıralaması ve bu sıralamaya göre oluşturulmuş su tipleri Çizelge 5.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 5.6 İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların iyon sıralaması

	Örnek No	Örnekleme Tarihi	Örnek Adı	Katyon sıralaması	Anyon sıralaması	Su tipi
Sıcak ve Mineralli Sular	U-1	Kasım 07	ASK-1 Kuyusu	Na+K>Mg>Ca	HCO_3>Cl>SO_4	Na-HCO_3
	U-2	Mayıs 08	AU-1 Kuyusu	Na+K>Ca>Mg	HCO_3>SO_4>Cl	Na-HCO_3
	U-3	Haziran 08	AU-2 Kuyusu	Na+K>Mg>Ca	HCO_3>Cl>SO_4	Na-HCO_3
	U-4	Mayıs 08	İmamköy Kaynağı	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
	U-4a	Kasım 08	İmamköy Kaynağı	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
	U-5	Mayıs 08	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>Cl>SO_4	Ca-HCO_3
	U-5a	Kasım 08	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>Cl>SO_4	Ca-HCO_3
Soğuk Sular	U-6	Mayıs 08	Musluca Kaynağı	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
	U-6a	Kasım 08	Musluca Kaynağı	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-Mg-HCO_3
	U-7	Kasım 08	Palamutcuk Çeşmesi	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
	U-8	Kasım 08	Olucakpınar Çeşmesi	Ca>Na+K>Mg	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-HCO_3
	U-9	Kasım 08	Hamdi'nin Kuyusu	Ca>Mg>Na+K	HCO_3>SO_4>Cl	Ca-Mg-HCO_3

İyon karakteristiklerine göre ASK-1 (U-1), AU-1 (U-2) ve AU-2 (U-3) derin jeotermal sondajlarında hakim katyon Na^+, hakim anyon HCO_3^- olup bu sular Na-HCO_3'lı sular sınıfındadır. İmamköy kaynağı (U-4,4a) ve Umurlu sıcak su kuyusu (U-5, 5a) suları ise Ca-HCO_3 su tipindedir.

Soğuk su kaynaklarında hakim katyon Ca^{+2} ve hakim anyon HCO_3^- olup, beslendikleri birimlerin litolojik özelliklerine bağlı olarak iyon dizilimleri de değişmektedir.

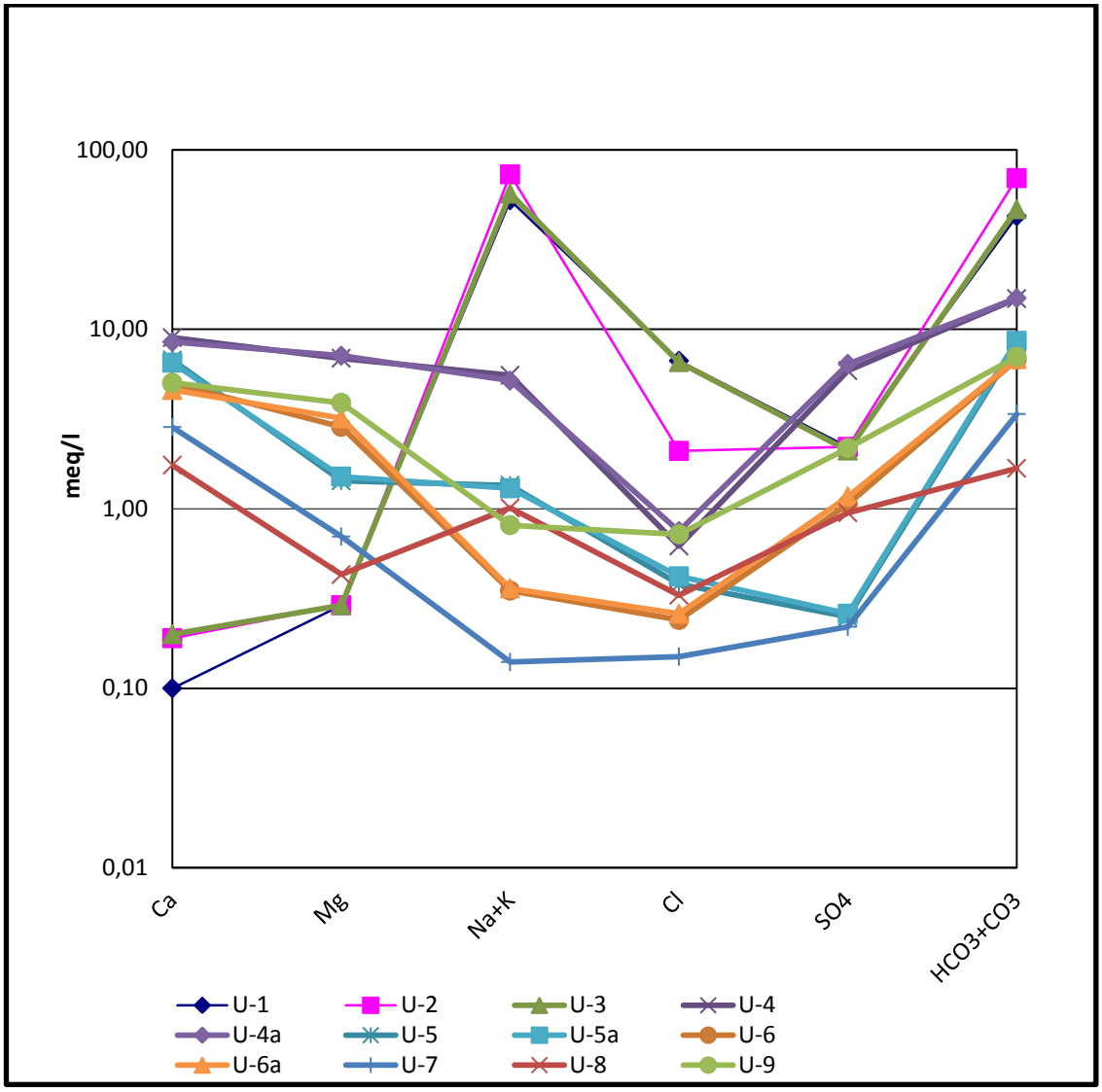
İnceleme alanındaki derin jeotermal kuyuların sularında Na^+ yoğun olarak migmatit gnayslardan ve bir miktarda Neojen oluşuklarından gelmektedir. Ayrıca sıcak sulardaki sodyum ve bikarbonat iyonu artışı tersine, kalsiyum iyonunun azalışı iyon değişimi ile açıklanabilir. Bu iyon değişimi karbonatların çözünürlüğü ile artan Ca^{+2}'nin, şistlerin ya da Neojen yaşlı tortulların killerindeki minerallerde bulunan Na^+ ile yerdeğiştirmesi sonucu oluşan doğal yumuşatma tepkimesi (iyon değişimi) olarak gerçekleşmektedir. Ayrıca bu kuyulardaki hakim anyonun HCO_3^- olması, sıcaksu akiferinin rekristalize kireçtaşları olmasından kaynaklanmaktadır.

5.3.2 Schoeller diyagramı

Bölgedeki sıcaksu kaynaklarının birbirleriyle ve soğuksu kaynaklarıyla olan kökensel benzerlik ve farklılıklarının gösterilmesi amacıyla yarı logaritmik Schoeller diyagramı çizilmiştir (Şekil 5.1).

Schoeller diyagramında sıcaksu kuyularının çizgilerinin (U-1,U-2,U-3) birbirine paralellik göstermesi bu suların benzer beslenime ve hazne kayaç tipine sahip oldukları, yüksek $Na^{+}+K^{+}$ ve CI^{-} derişimleri ile soğuksu kaynaklarından belirgin bir şekilde ayrıldıkları görülmektedir.

İnceleme alanındaki soğuk su kaynak ve kuyuları da birbirine benzer bir paralellik içermekle birlikte sığ dolaşıma sahip olan U-7 ve U-8 soğuk su kaynaklarının U-6 ve U-9 soğuk su kaynak ve kuyularına oranla daha az iyon derişimine sahip oldukları görülmektedir. İnceleme alanında Mayıs ve Kasım 2008 tarihlerinde olmak üzere iki dönem örnekleme yapılabilen U-4,U-5,U-6 kaynaklarının kimyasal analiz sonuçlarının bu iki dönem arasında değişmediği grafikte çizgilerin çakışması şeklinde görülmektedir (Şekil 5.1).

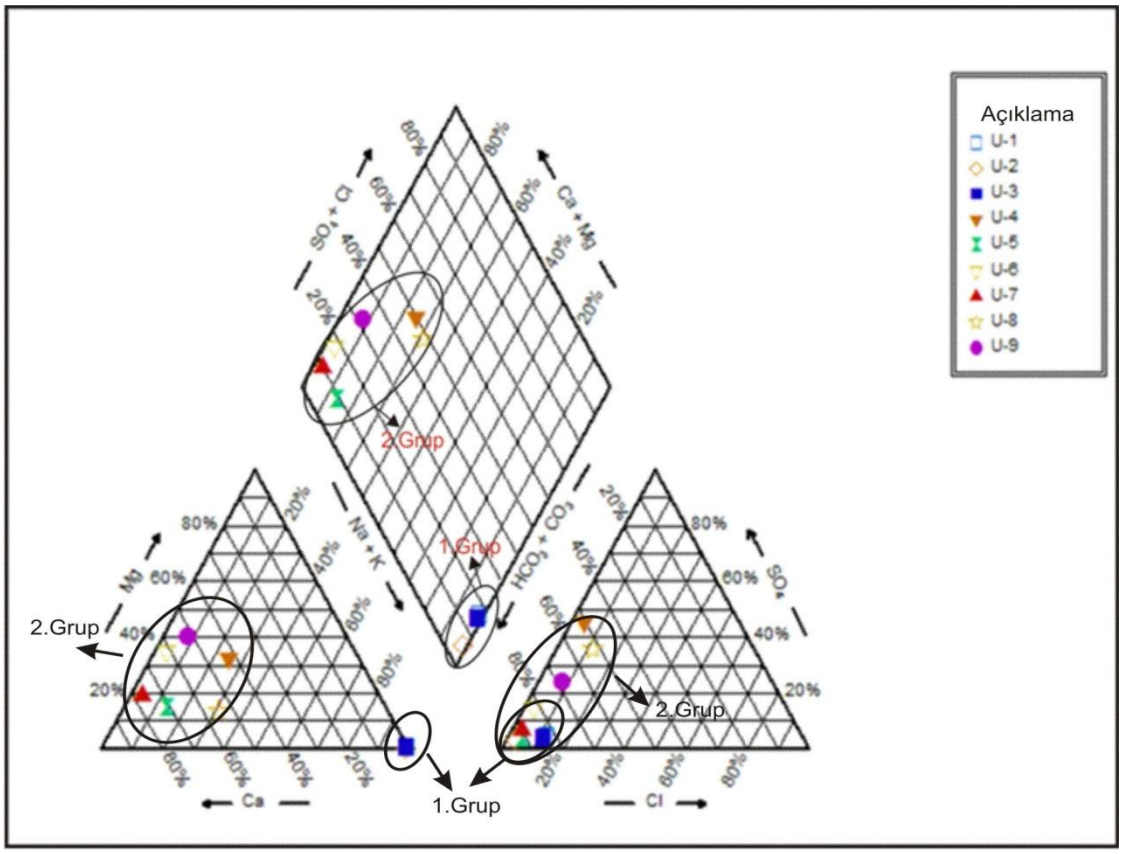


Şekil 5.1 İnceleme alanında yer alan suların Schoeller diyagramı

5.3.3 Piper diyagramı

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

İnceleme alanındaki sular Piper diyagramında iki ayrı grup oluşturmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 İnceleme alanında yer alan suların piper diyagramı

1. grup: inceleme alanında açılmış olan derin sıcak su kuyularını (U-1,U-2,U-3) kapsamaktadır. Bu sıcak su kuyularının aynı bölgede kümelenmeleri bu suların benzer beslenim, dolaşım ve depolanım özelliklerine sahip oldukları anlamına gelmektedir. Bu sularda HCO_3 iyonunun baskın olması, bu kuyulardaki sıcak su akiferinin karbonatlı kayaçlar olmasından kaynaklanmaktadır. Rezervuarların durumu sondaj loglarında da görülmektedir.

2. grup: Bu grupta inceleme alanındaki soğuksu kaynakları (U-6,U-7,U-8,U-9), İmamköy sıcak su kaynağı (U-4) ve sığ derinlikli açılmış olan Umurlu sıcak su kuyusu (U-5) bulunmaktadır. Bölgedeki soguk ve sıcak su kaynakları genel olarak Ca+Mg-HCO_3 tipi sular sınıfına girmektedirler. İmamköy kaynağındaki (U-4) düşük CI değeri, derin sıcak su kuyularına oranla daha sığ dolaşımı göstermektedir. İmamköy kaynağının

SO_4^- değeri diğer kaynak ve kuyulara göre daha yüksektir. Bu durum İmamköy kaynağının Neojen çökelleri içerisindeki jipsli birimlerle daha fazla temas etmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Derin sıcak su kuyularındaki Mg^{+2} miktarındaki azlık, yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde magnezyumun, ikincil alterasyon minerallerinden illit, montmorillonit ve özellikle klorit tarafından soğrulması nedeniyle magnezyum miktarının düşmesinden kaynaklanmaktadır.

5.4 Suların AIH Sınıflaması

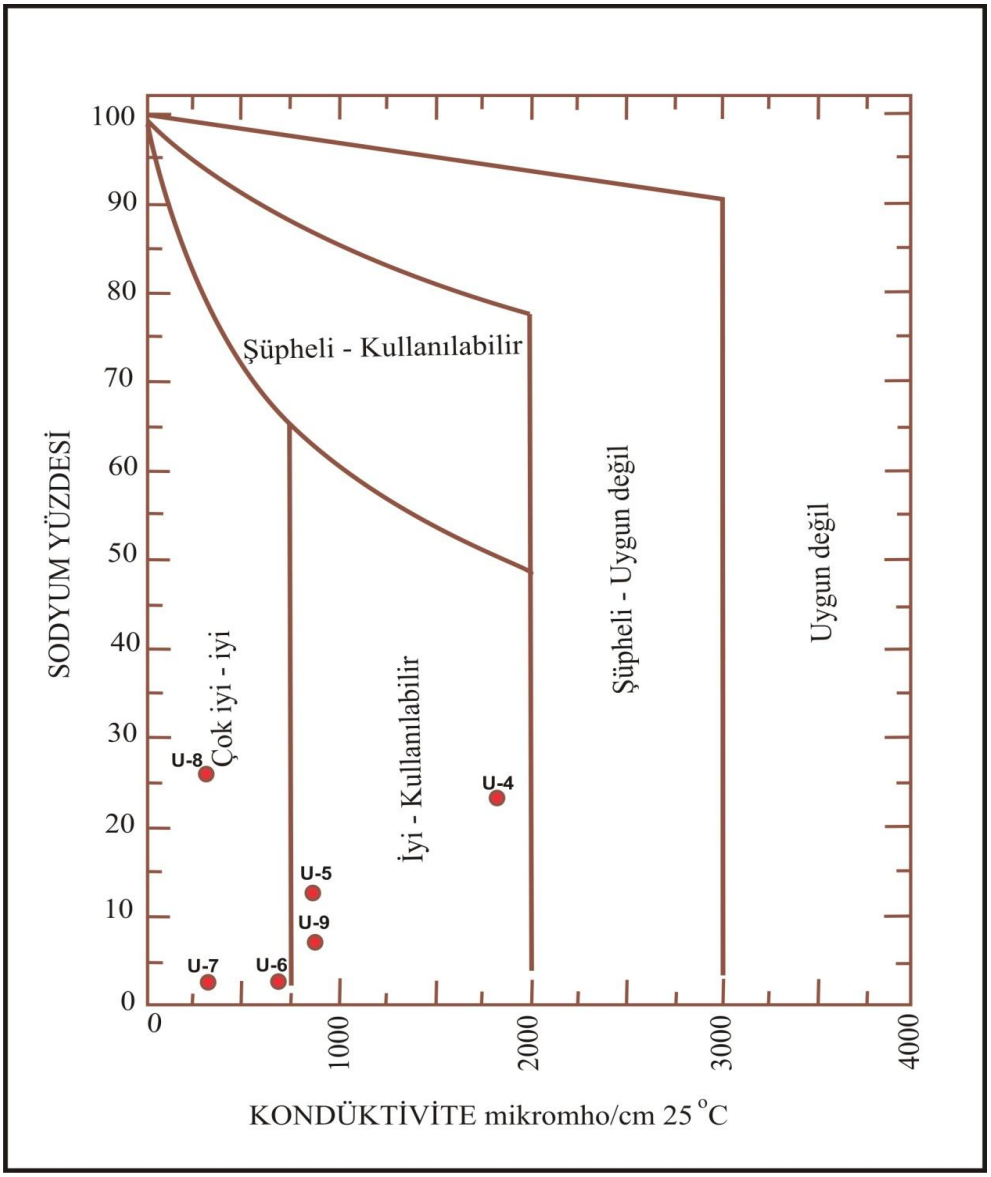
Uluslararası Hidrojeologlar Birliğine (AIH) göre; ASK-1 ve AU-2 derin jeotermal kuyu sularının sınıflaması "Sodyumlu, bikarbonatlı, silisli, borlu, florürlü, karbondioksitli sıcak ve mineralli su" şeklindedir.

AU-1 derin kuyu suyunun sınıflaması ise; "Sodyumlu, bikarbonatlı, silisli, borlu, karbondioksitli sıcak ve mineralli su" şeklindedir.

5.5 Sulama Suyu Sınıflaması

Wilcox diyagramında, Sodyum yüzdesi (%Na) ve elektriksel iletkenlik (Eİ) (µS/cm) değerlerine göre suların sulama suyu olarak kullanımı değerlendirilmiştir.

İnceleme alanındaki sular Wilcox diyagramı üzerinde değerlendirildiğinde Musluca (U-6), Palamutcuk (U-7), Olucakpınarı (U-8) soğuk kaynak sularının "Çok İyi-İyi", İmamköy sıcaksu kaynağı (U-4), Umurlu sığ sıcak su kuyusu (U-5) ve Hamdi'nin Kuyusu sularının (U-9) "İyi-Kullanılabilir" sular bölümünde yer aldığı görülmektedir (Şekil 5.3). İnceleme alanında bulunan ancak Eİ'leri 4000 µS/cm'den büyük olan ASK-1(U-1), AU-1(U-2), AU-2(U-3) derin jeotermal kuyularının suları bu diyagram üzerinde yer almamakla birlikte yüksek sıcaklık, yüksek mineral ve sodyum içeriği nedeniyle sulama suyu amaçlı kullanımları uygun değildir.



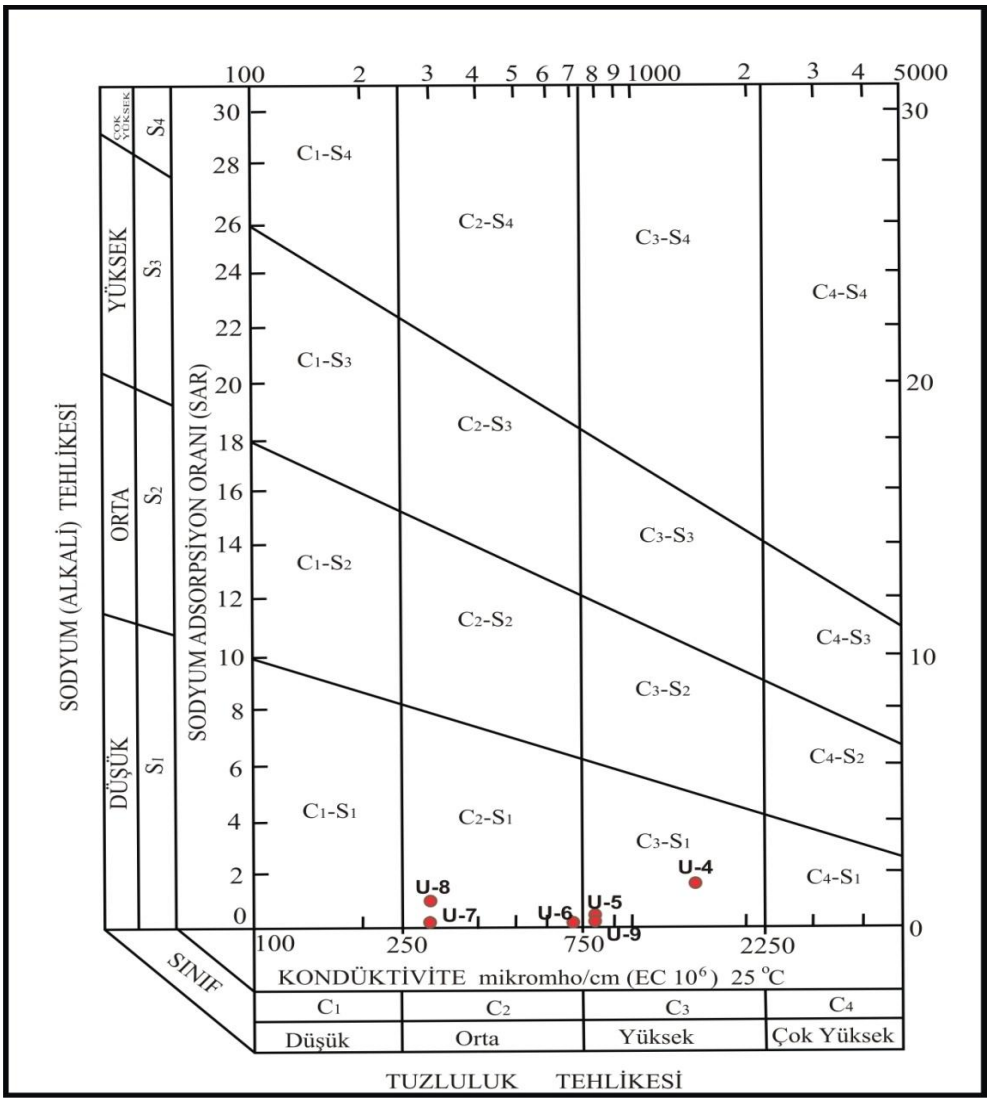
Şekil 5.3 İnceleme alanında yer alan suların Wilcox diyagramı

5.6 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

ABD Tuzluluk Laboratuarı Diyagramı üzerinde sodyum (Alkali) tehlikesi ve tuzluluk tehlikesinin belirlenmesi amacıyla Sodyum Adsoprpsiyon Oranı (SAR) ve Eİ değerleri işaretlenmiştir (Şekil 5.4).

İnceleme alanında bulunan kaynak ve kuyu suları diyagram üzerinde değerlendirildiğinde; İmamköy kaynağı (U-4), Umurlu sığ sıcak su kuyusu (U-5) ve

Hamdi'nin soğuk su kuyusunun (U-9) C3-S1 (Yüksek Tuzlu-Düşük Sodyumlu) sular, Musluca (U-6), Palamutcuk (U-7) ve Olucakpınar (U-8) kaynaklarının ise C2-S1 (Orta Tuzlu-Az Sodyumlu) sular sınıfında yer aldığı görülmektedir. İnceleme alanında bulunan ancak Eİ'leri 5000 µS/cm'den veya SAR oranları 30'dan büyük olan ASK-1 (U-1), AU-1 (U-2) ve AU-2 (U-3) kuyuları bu diyagram üzerinde yer almamaktadır.



Şekil 5.4 İnceleme alanında yer alan suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

5.7 Suların Mineral Doygunlukları

Yeraltısularında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam ile kabuklaşma ve korozyon problemlerinin önceden tahmin edilebilmesi için suların mineral doygunluk durumları araştırılmaktadır.

İnceleme alanındaki sıcak su rezervuarının muhtemelen Paleozoyik mermerler olması nedeniyle sıcak suların özellikle kalsit, aragonit ve dolomit gibi karbonat minerallerine göre doygunluk durumları incelenmiştir.

Su-mineral denge durumu kısaca doygunluk indisi (SI) her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişmektedir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indisi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır.

SI = 0 ise su ile mineral dengededir.

SI > 0 ise su ilgili minerale aşırı doygundur (mineral çökeltici özelliktedir).

SI < 0 ise su ilgili minerale doygun değildir (mineral çözücü özelliktedir).

İnceleme alanında sıcak su kaynakları ile birlikte soğuk su kaynaklarının anhidrit, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, jips, halit ve kuvars minerallerine doygunluk durumları incelenmiş ve PHREEQC Interactive 2.8 (Parkhust and Apelo 1999) programı kullanılarak hesaplanan SI değerleri Çizelge 5.7'de verilmiştir. Hesaplamalarda arazide ölçülen pH ve sıcaklık değerleri ile laboratuarda ölçülen kimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır.

İnceleme alanındaki sıcak su kuyularının, kaynaklarının (U-1,U-2,U-3,U-4,U-5) ve U-6, U-7, U-9 soğuk su kaynaklarının kalsit, aragonit, dolomit gibi karbonatlı minerallere doygun olduğu (Şekil 5.5) görülmektedir. Bu durum sıcaksuların rezervuar kayaçlarının mermer, kalkşist ve kuvarsit olmasından kaynaklanmaktadır. Değerlendirmelere göre

derin sıcak su kuyularında (U-1,U-2,U-3) kuyu içerisinde $CaCO_3$ kabuklaşma sorununun yaşanması muhtemeldir.

Derin sıcak su kuyuları içerisindeki kalsit çözünürlüğü, kısmi karbondioksit basıncı ile ilgilidir. Kuyu içerisinde akışkan yükselirken, karbondioksitin kısmi basıncı azalır, $CO_{2(gaz)}$ buhar fazına süratle geçer, akışkanın pH'ı yükselir, kaynama başlar ve sonuç olarak akışkan kalsite karşı aşırı doygun hale gelmekte ve kuyu içerisinde kalsit çökelimi gerçekleşmektedir.

Bölgedeki suların jips, anhidrit gibi sülfatlı mineraller ile halit'e doygun olmadıkları, U-6, U-7 soğuk su kaynakları dışında kuvars ve kalsedon gibi silis minerallerine doygun oldukları görülmüştür. İmamköy sıcak su kaynağı (U-4) jips mineraline doygun olmamasına rağmen diğer soğuk su ve sıcak sulara oranla jipse doygunluğu daha fazladır. Bunun sebebi İmamköy kaynağının jipsli birimlerle olan temas süresinin diğer kaynaklara göre daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Tarcan (2005), Batı Anadolu'da rezervuar sıcaklığı 150 °C'den yüksek olan 7 jeotermal sahadaki 27 kuyuda yapmış olduğu çalışmada (Kızıldere, Salavatlı, Germencik, Kavaklıdere, Salihli-Caferbeyli, Simav ve Tuzla) bu kuyuların bazılarının dışında kalsit, aragonit, selestit yönünden aşırı doygun, jips, anhidrit, florit, Ca-montmorillonit, kuvars, anortit, illit ve kaolinit yönünden doygunluk sınırının altında, kalsedon, kuvars, amorf silis gibi silis minerallerine de doygunluğa yakın olduklarını söylemiştir. Çalışmaya göre jeotermal kuyulardaki mineral doygunlukları, jeokimyasal çalışmalar ve arazi gözlemleri ile karbonat mineralleri, amorf silis ve sülfat mineralleri kabuklaşma eğilimi göstermektedir.

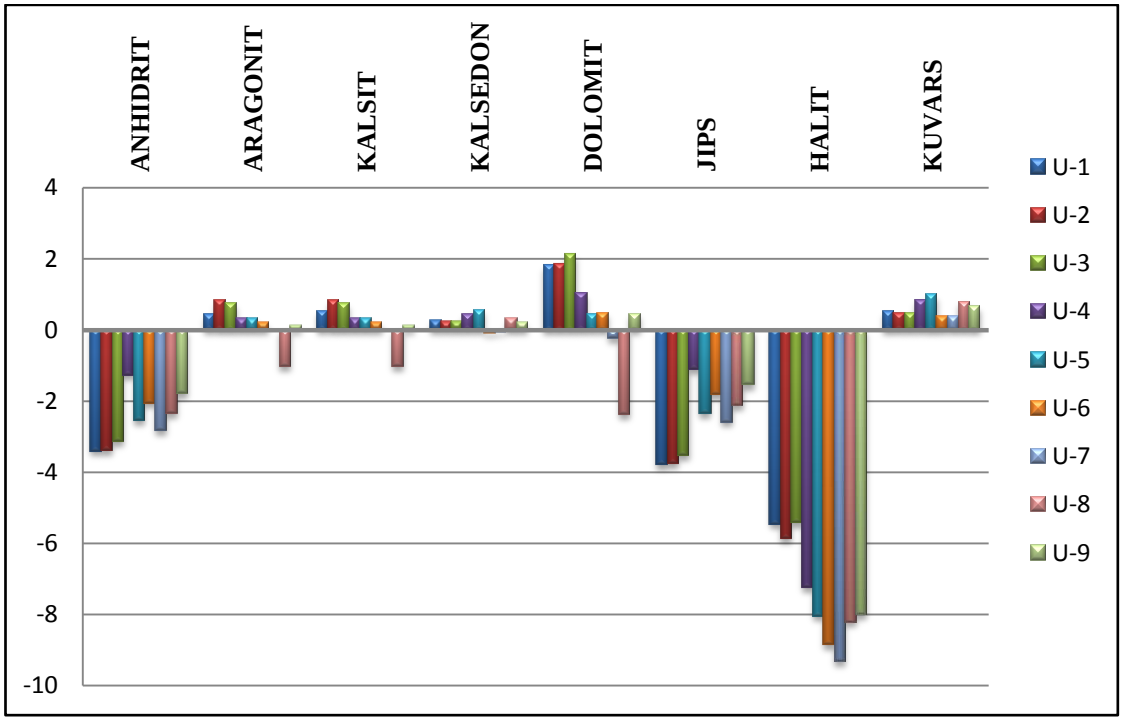
Jeotermal sahalarda kabuklaşmayı kontrol etmek için bir çok yöntem bulunmaktadır. Bunlar pH kontrolü, kaynama basıncının kontrol altında tutulması, mekanik ve kimyasal temizlik ve kimyasal madde enjeksiyonu olarak sıralanabilir. Bunlardan en uygun olanı kimyasal madde (inhibitör) enjeksiyonu ile kabuklaşmanın önlenmesidir.

Kalsiyum karbonat kabuklaşması, inceleme alanını da içerisine alan Batı Anadolu'daki düşük ve orta entalpili sahaların ana kabuklaşma sorunudur. Düşük entalpili ve düşük karbondioksit içeren sularda, sadece basınç kontrolü ile kabuklaşma önlenebilmektedir. Örneğin; İzmir-Balçova sahasında (140 °C sıcaklık ve %0,01 CO_2 için) üretim kuyularından eşanjöre kadar sistem basıncı 6 bar'da tutularak kabuklaşma kontrolu sağlanmıştır. Ancak yüksek sıcaklık ve yüksek miktarda CO_2 içeren Aydın civarındaki jeotermal sahalarda (Germencik, Umurlu, Salavatlı, Kızıldere) kaynama olmadan üretimin olanaksız olduğu, bu durumun kaynama noktasından itibaren kabuklaşma riski oluşturacağı ifade edilmiştir (Aksoy 2007).

Aydın civarındaki jeotermal sahalarda kalsiyum karbonat kabuklaşmasını engellemede kullanılan en etkili yol olarak inhibitör (kimyasal madde) enjeksiyonu görülmektedir. Bu yöntem Germencik, Salavatlı jeotermal sahalarında başarıyla uygulanmaktadır.

Çizelge 5.7 Yeraltı sularının Doygunluk İndisi (Sİ) değerleri

Örnek No	Örnek Adı	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Halit	Kuvars
U-1	ASK-1	-3,4	**0,44**	**0,54**	**0,27**	**1,81**	-3,8	-5,45	**0,53**
U-2	AU-1 Kuyusu	-3,38	**0,82**	**0,82**	**0,23**	**1,85**	-3,77	-5,86	**0,48**
U-3	AU-2 Kuyusu	-3,14	**0,75**	**0,75**	**0,23**	**2,13**	-3,54	-5,42	**0,48**
U-4	İmamköy Kaynağı	-1,27	**0,32**	**0,32**	**0,45**	**1,02**	-1,1	-7,25	**0,84**
U-5	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	-2,55	**0,32**	**0,32**	**0,57**	**0,46**	-2,36	-8,05	**0,98**
U-6	Musluca Kaynağı	-2,06	**0,2**	**0,2**	-0,08	**0,48**	-1,82	-8,85	**0,37**
U-7	Palamutcuk Çeşmesi	-2,83	0	0	-0,06	-0,24	-2,59	-9,32	**0,38**
U-8	Olucakpınar Çeşmesi	-2,36	-1,04	-1,04	**0,33**	-2,37	-2,12	-8,22	**0,79**
U-9	Hamdi'nin Kuyusu	-1,79	**0,12**	**0,12**	**0,21**	**0,46**	-1,55	-8	**0,66**



Şekil 5.5 Yeraltı sularının mineral doygunluk diyagramı

5.8 Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermal sular yeraltından yüzeye erişirlerken temas ettiği kayaçlarla ısı alış verişi ve soğuk yeraltısuları ile karışımı gibi süreçler ile soğurlar ve akifer içindeki sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklara sahip olurlar. Akifer içerisindeki akışkan sıcaklığının tahmin edilmesi amacıyla kaynak veya kuyu başında yapılan kimyasal ve izotopik analizlerden yararlanılarak jeotermometre yöntemleri geliştirilmiştir. Jeotermometreler; kimyasal jeotermometreler ve izotopik jeotermometreler olmak üzere iki gruba ayrılır. Kimyasal jeotermometreler kaynak veya kuyu başından alınan örneklerin kimyasal bileşimine (özellikle silis ve katyon derişimi ve buhar içerisindeki gazların bağıl oranlarına), izotopik jeotermometreler ise su-gaz-mineral fazları arasındaki izotopik değişimle ilişkilidir. Sıcak ve mineralli suların rezervuar sıcaklığının tahmin edilmesinde en pratik ve kısa süreli metotlardan biri kimyasal jeotermometrelerdir. Jeotermometrelerin sıcak sulara uygulanmasındaki temel varsayım, sıcaklığa bağlı su-mineral dengesinin derinlerdeki rezervuar kayaçta sağlanmış olmasıdır (Andresdottir ve Arnorsson 1995).

Jeotermometre yöntemleriyle rezervuar sıcaklığının hesaplanması, suda bulunan iyon, gaz ve izotop içeriklerinin hangi sıcaklıkta termal sudaki çözünürlüğe veya iyon değişimine sahip olabileceğinin belirlenmesi temeline dayanmaktadır. Jeotermometre eşitlikleri kullandıkları kimyasal reaksiyonlar açısından başlıca iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan biri mineralin sıcaklığa bağlı çözünürlüğünü temel alan jeotermometreler (silis jeotermometreleri), diğeri ise, çözünmüş iyonların sıcaklığa bağlı iyon takas (ion Exchange) reaksiyonlarına dayanan katyon jeotermometreleridir (Na-K, Na-Ca, Na-K-Ca, K-Mg, Li-Na vb.) (Fournier 1991).

5.8.1 Silis jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki sıcaklığa bağlı çözünürlüğüne dayalıdır. Termodinamik olarak belirli bir kritik noktaya kadar sıcaklık arttıkça silis çözünürlüğü önemli ölçüde artmaktadır. Kuvars, kristobalit, kalsedon ve amorf silis gibi değişik silis formlarının su içerisindeki çözünürlüğü farklı olduğu için farklı jeotermometre eşitlikleri geliştirilmiştir (Çizelge 5.8). Silis için geliştirilen jeotermometre eşitliklerinin her biri farklı sıcaklık değer aralıkları için geçerlidir. Kuvars çözünürlüğü, sıcaklığı 120-180 °C'den daha yüksek olan jeotermal rezervuarlarda çözünmüş silisi kontrol etmekterdir (Fournier 1991). Daha yüksek sıcaklıkta akifer kayaçtan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi gözlenmektedir. Sıcaklığı 180 °C'den az olan jeotermal sistemlerde ise kuvarstan çok kalsedon ile bir denge söz konusudur. Bu nedenle sıcaklığı 180 °C'den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180 °C'den daha yüksek jeotermal sistemlere ise kuvars jeotermometresi uygulanması daha uygun görülmektedir (D'Amore and Arnırsson 2000). Çizelge 5.8'de verilen eşitliklerle hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Çizelge 5.9'da sunulmuştur.

Çizelge 5.8 Silis jeotermometre eşitlikleri (S=mg/l olarak SiO_2 derişimidir)

No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği	Sıcaklık Aralığı	Referans
1	Kuvars	$t\ ^0C=-42.2+0.28832S-3.6686x10^{-4}S^2+3.1665x10^{-7}S^3+77.034\log S$	25-900	Fournier and Potter (1982)
2	Kuvars (buhar kaybı yok)	$t\ ^0C=(1309/(5.19-\log S))-273.15$	25-250	Fournier (1977)
3	Kuvars (100 ^{0}C'de Maks. buhar kaybı)	$t\ ^0C=(1522/(5.75-\log S))-273.15$	25-250	Fournier (1977)
4	Kuvars	$t\ ^0C=-55.3+0.36559S-5.3954x10^{-4}S^2+5.5132x10^{-7}S^3+74.360\log S$	0-350	D'Amore and Arnorsson (2000)
5	Kalsedon (buhar kaybı yok)	$t\ ^0C=(1032/(4.69-\log S))-273.15$	0-250	Fournier (1977)
6	Kalsedon (buhar kaybı yok)	$t\ ^0C=(1112/(4.91-\log S))-273.15$	25-180	Arnorsson et al.(1983)

Çizelge 5.9 Sıcak su kaynak ve kuyuları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları

			Jeotermometre Eşitliği (^{0}C)					
Örnek No	Örnek Adı	SiO_2 (mg/l)	1	2	3	4	5	6
U-1	ASK-1 Kuyusu	159	165	165	156	155	142	137
U-2	AU-1	161	166	166	156	156	142	138
U-3	AU-2	144	159	159	151	148	134	136
U-4	İmamköy Kaynağı	62	112	112	111	100	84	84
U-5	Umurlu Sıcak su Kuyusu	73	120	120	118	107	88	88

Kuvarsa dayalı 1,2,3 ve 4 no'lu jeotermometreler ile ASK-1 kuyusu için 155-165 °C aralığında, AU-1 kuyusu için 156-166 °C aralığında, AU-2 kuyusu için 148-159 °C aralığında rezervuar sıcaklıkları elde edilmiştir. Elde edilen rezervuar sıcaklıkları bu kuyularda ölçülen maksimum kuyu dibi sıcaklıkları ile oldukça uyum içindedir. Her üç kuyu için kalsedon formuna dayalı jeotermometre eşitlikleri (5 ve 6 nolu) Umurlu jeotermal alanında ölçülen rezervuar sıcaklığından daha düşük değerler vermektedir. İmamköy kaynağı ve Umurlu sığ sıcaksu kuyusunda hesaplanan jeotermometre sonuçları 1,2,3,4 nolu kuvars jeotermometreleri için 100-120 °C, 5-6 nolu kalsedon jeotermometreleri için 84-92 °C arasında sıcaklıklar vermektedir. Bu durum, bölgedeki rezervuar sıcaklığı olarak 155 °C baz alındığında oldukça düşük kalmaktadır. Bunun, sebebi sıcak suyun yüzeye çıkarken soğuk su karışımı ve kondaktif soğuma ile silisini çökeltmesi ve buna bağlı olarak analizlerde düşük silis derişimi ölçülmesi olabilecektir.

5.8.2 Katyon jeotermometreleri

Katyon jeotermometreleri iyon değişimi temeline dayanmaktadır. İyon değişim denge sabitleri (K), sıcaklığın etkisi altındadır. Bunun dışında kimyasal dengeyi etkileyen rezervuar sıcaklığı, kimyasal tepkime hızı, su-kayaç etkileşimi, sıcak suyun rezervuar kayaçta bekleme süresi gibi bir çok etken bulunmaktadır. Ayrıca rezervuar kayaçtan yüzeye erişim sırasında suyun etkileşimde olduğu kayaçların yapısı ve soğuk su karışımı nedeni ile katyon jeotermometreleri farklı rezervuar sıcaklıkları vermektedir. Bu nedenle sondaj kuyularından üretilen akışkanlar dışında bu eşitliklerin rezervuar sıcaklığı tahmininde uygulanması uygun görülmemektedir. Katyon jeotermometreleri için türetilen jeotermometre eşitlikleri Çizelge 5.10'da verilmiştir. Bu eşitlikler ile Umurlu jeotermal sahası için hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Çizelge 5.11'de sunulmuştur.

Çizelge 5.10 Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler mg/l'dir)

No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği	Referans
1	Na-K	$T^oC=(856/(0.857+\log(Na/K)))-273.15$	Truesdell (1976)
2	Na-K	$T^oC=(833/(0.780+\log(Na/K)))-273.15$	Tonani (1980)
3	Na-K	$T^oC=(933/(0.993+\log(Na/K)))-273.15$	Arnorsson et al. (1983)
4	Na-K	$T^oC=(1319/(1.699+\log(Na/K)))-273.15$	Arnorsson et al. (1983)
5	Na-K	$T^oC=(1217/(1.483+\log(Na/K)))-273.15$	Fournier (1979)
6	Na-K	$T^oC=(1178/(1.470+\log(Na/K)))-273.15$	Nieva and Nieva (1987)
7	Na-K	$TºC=(1390/(1.750+\log(Na/K)))-273.15$	Giggenbach (1988)
8	Na-K[a]	$TºC=733.6-770.551Y+378.189Y^2-95.753Y^3+9.544Y$	D'amore and Truesdell (1973)
9	Na-K-Ca[d]	$TºC=(1647/(\log(Na/K)+\beta[\log(\sqrt{Ca}/Na)+2.06]+2.47))-273.15$	Fournier and Truesdell (1973)
10	K-Mg	$TºC=(4410(14-\log(K^2/Mg)))-273.15$	Giggenbach (1988)

[a] $Y=\log([Na]/[K])$; [b] $\log(K^2/Mg)>1.25$; [c] $\log(K^2/Mg)<1.25$;
[d] $t^0C>100\ ^0C$ ise $\beta=1/3$, $t^0C<100\ ^0C$ ise 4/3, $tºC<100ºC$ ve $[\log(\sqrt{Ca}/Na)+2.06]<0$ ise $\beta=1/3$

Çizelge 5.11 Sıcak su kaynak ve kuyuları için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları

		Jeotermometre Eşitliği (^{0}C)									
Örnek No	**Örnek Adı**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
U-1	ASK-1	209	218	215	231	234	220	248	219	257	156
U-2	AU-1	167	173	175	200	200	187	217	185	230	178
U-3	AU-2	164	170	172	198	198	185	214	182	222	145
U-4	İmamköy Kaynağı	223	232	228	241	245	231	258	231	180	53
U-5	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	320	337	318	304	315	300	322	309	187	52

Katyon jeotermometrelerinden Na-K, genelde uzun süreli geçiş zamanına sahip, olgun yer altı suları ile beslenen jeotermal akiferlerde kullanımı daha uygundur. Na-K iyon değişim tepkimesine dayalı jeotermometre eşitlikleri (Çizelge 5.11, 1-8 nolu eşitlikler) ile ASK-1 kuyusu için 209-248 °C, AU-1 kuyusu için 167-217 °C, AU-2 kuyusu için ise 164-214 °C arasında rezervuar sıcaklıkları vermektedir. Sıcaklığa bağlı olarak, Ca^{+2} çözünürlüğünün İmamköy kaynağı (U-4) ve Umurlu sıcaksu kuyusunda (U-5) diğer derin sıcaksu kuyularına göre daha fazla olması sebebiyle, Na-K jeotermometreleri ile türetilen sıcaklık değerleri İmamköy kaynağı ve Umurlu sıcak su kuyusu için gerçeği yansıtmaktan uzaktır.

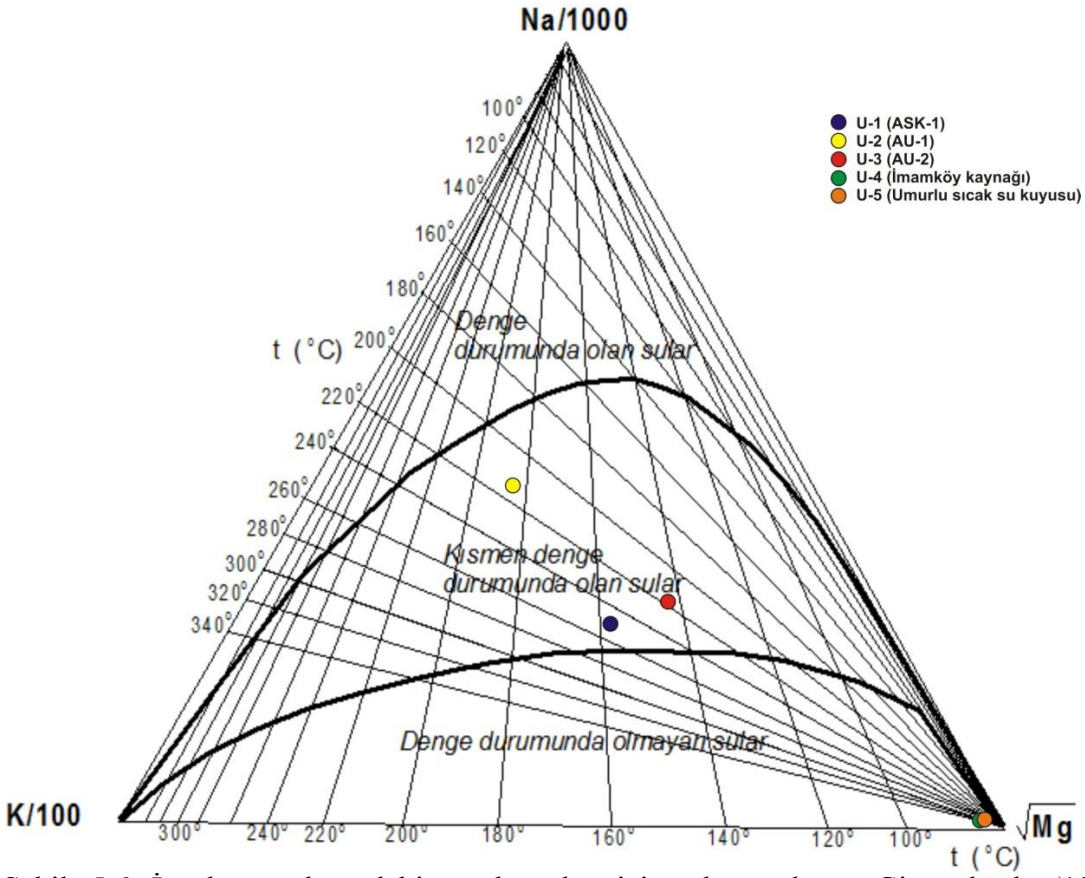
Na-K-Ca jeotermometresi için geliştirilen eşitlik (Çizelge 5.11, 9 nolu eşitlik); feldispatlar, kalsit veya Ca^{+2} içeren mineraller ile jeotermal akışkanlar arasındaki dengeye dayalıdır. Kuvars ve Na-K jeotermometrelerine göre en önemli özelliği düşük sıcaklıklarda veya dengeye ulaşmamış sularda yüksek veya hatalı sonuçlar vermemesidir. Jeotermometre eşitliğinde ASK-1, AU-1 ve AU-2 kuyuları için $\beta=1/3$ alınarak rezervuar sıcaklığı hesaplanmış ve 222 ile 257 °C arasında sıcaklık değerleri türetilmiştir. Bu sıcaklık değerleri kuyularda ölçülen rezervuar sıcaklığından oldukça fazladır. Bu durum, kuyulardaki kalsit çökelimine bağlı olarak yüzeye gelen akışkandaki Ca^{+2} derişiminin rezervuar şartlarından daha düşük ölçülmesine ve dolayısıyla jeotermometre eşitliğinde yüksek sıcaklık değerleri vermesiyle açıklanmıştır.

Na-K-Mg jeotermometre eşitlikleri (Çizelge 5.11, 10 nolu eşitlik) jeotermal suların akifer sıcaklıklarının yanı sıra suların temasta olduğu mineraller ile denge durumlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu amaçla Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen Na-K-Mg jeotermometresi ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hem de katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığı hesabı için jeotermal suya uygulanıp/uygulanamayacağı veya güvenilir sonuçlar verip/vermeyeceği kontrol edilebilmektedir. Giggenbach (1988)'e göre "olgun olmayan-denge durumda olmayan", seyreltilmiş sularda K-Na arasındaki denge sıcaklığının kullanılarak değerlendirme yapılmasının uygun olmadığını "olgun sular-denge durumunda olan sular" hattında ve üzerinde yer alan jeotermal sulara uygulanan katyon jeotermometrelerinin daha doğru sonuçlar vereceği belirtilmiştir.

Na-Mg-K üçgeninde Umurlu jeotermal alanı içerisinde yer alan ASK-1, AU-1 ve AU-2' kuyuları "kısmen denge durumunda olan sular", İmamköy kaynağı ve Umurlu sıcak su kuyusu ise "denge durumunda olmayan sular" bölümünde yer almaktadır (Şekil 5.6).

Na-K-Mg jeotermometresi (Çizelge 4.10, 10 nolu eşitlik), ASK-1 kuyusu için 156 °C, AU-1 kuyusu için 178 °C, AU-2 kuyusu için ise 145 °C sıcaklık türetmiştir. Bu sonuçlar kuyular için ölçülen 149-155 ºC'lik rezervuar sıcaklıkları dikkate alındığında oldukça kabul edilebilir düzeyde oldukları görülmektedir.

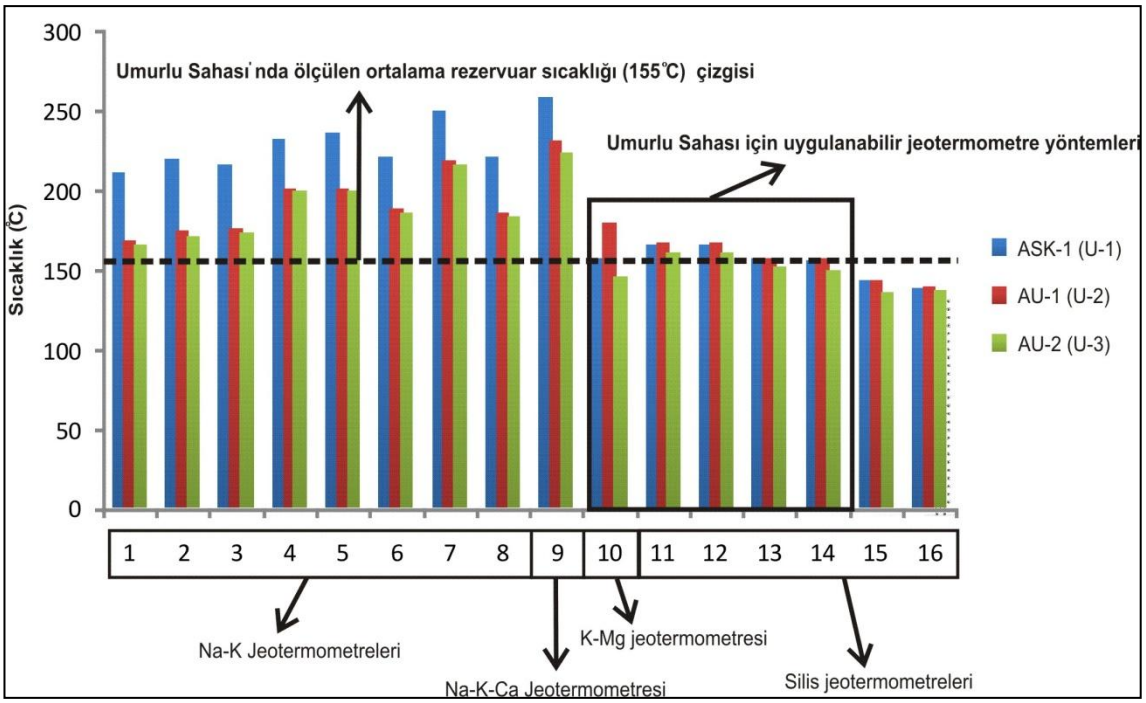
Sonuç olarak kullanılan jeotermometre yöntemlerinden Na-K-Mg katyon jeotermometresi ve silis jeotermometrelerinden kuvars jeotermometreleri Umurlu sahası için uygulanabilir yöntemlerdir (Çizelge 5.12) (Şekil 5.7).



Şekil 5.6 İnceleme alanındaki sıcak sular için oluşturulmuş Giggenbach (1988) diyagramı

Çizelge 5.12 İnceleme alanı için uygulanan jeotermometre yöntemleri

	Katyon Jeotermometreleri										Silis Jeotermometreleri					
	Na-K								Na-K-Ca	K-Mg						
Örnek Adı	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
ASK-1	209	218	215	231	234	220	248	219	257	**156**	**165**	**165**	**156**	**155**	142	137
AU-1	167	173	175	200	200	187	217	185	230	**178**	**166**	**166**	**156**	**156**	142	138
AU-2	164	170	172	198	198	185	214	182	222	**145**	**159**	**159**	**151**	**148**	134	136



Şekil 5.7 İnceleme alanı için uygulanabilir jeotermometre yöntemlerinin seçilmesi

6. İZOTOP HİDROLOJİSİ

Jeotermal akışkanların hidrokimyasal özellikleri yanında çevresel izotop içeriklerininde incelenmesi ile jeotermal sistemlerin bir çok hidrojeolojik özelliğinin aydınlatılması mümkün olabilmektedir. İzotop oranlarının sıcaklığa, su-kayaç etkileşimine ve diğer fizikokimyasal süreçlere duyarlı olmaları nedeniyle izotop teknikleri jeotermal araştırmalar için önemli katkılar sağlamaktadır. Duraylı oksijen-18 ($\delta^{18}O$) ve döteryum ($\delta^{2}H$) izotopları genel olarak jeotermal akışkanın kökenlerinin (meteorik, fosil, metamorfik), beslenme alanlarının ve akifer içerisindeki akışkan sıcaklığının belirlenmesinde kullanılırken, radyoaktif trityum (^{3}H) izotopu ise akışkanın yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, inceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynak ve kuyuları ile soğuk su kaynak ve kuyularının çevresel izotop içerikleri incelenerek, jeotermal akışkanın beslenme alanı, kökeni, akışkan bileşimini etkileyen su-kayaç etkileşim süreçleri açıklanmaya çalışılmıştır.

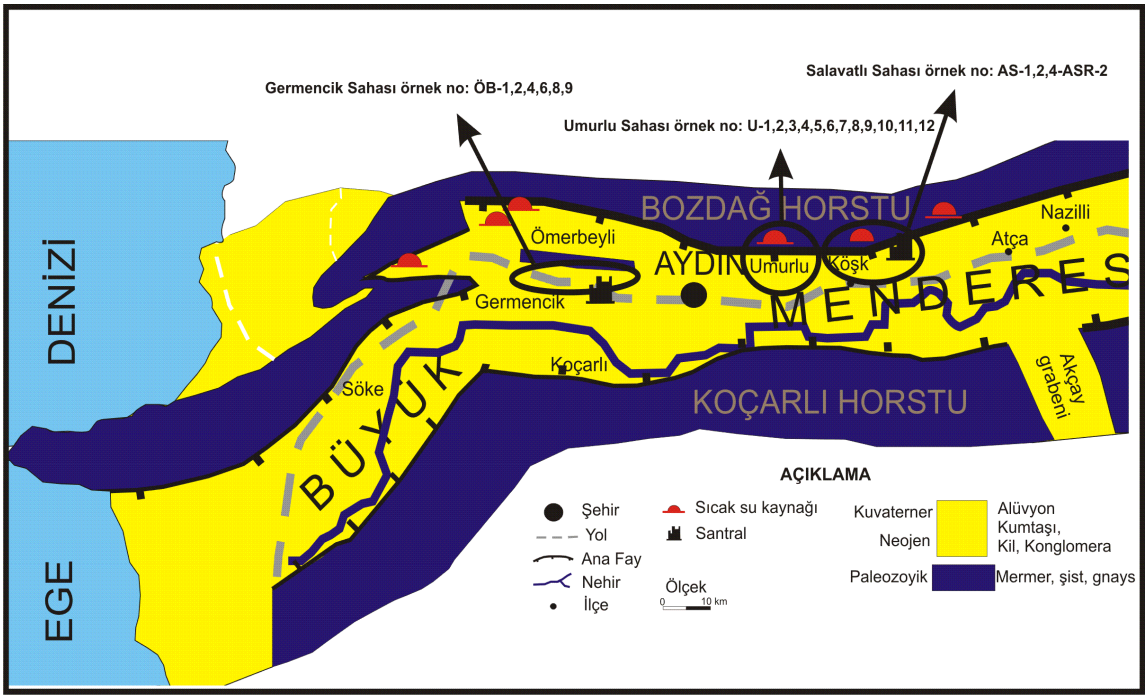
Ayrıca, Umurlu jeotermal sahasının Büyük Menderes Grabeni jeotermal sahaları içerisindeki yerini daha iyi ortaya koyabilmek amacıyla, bu sahanın batı ve doğu komşusu olan Germencik ve Salavatlı jeotermal sahalarındaki kuyulardan da tez çalışması sırasında izotop örneklemesi yapılmış ve Umurlu sahasının diğer sahalar içindeki yeri ve önemi değerlendirilmiştir.

6.1 Örnekleme ve Analiz Çalışmaları

Umurlu jeotermal sahasındaki AU-1 ve AU-2 kuyularının izotop örneklemesi bu kuyuların açılıp, üretim testlerine geçtiğinde yapılmıştır. Bunun dışında İmamköy kaynağı, Umurlu sıcak su kuyusu ve Musluca soğuk su kaynağından Kasım ve Mayıs 2008 aylarında olmak üzere 2 dönem örnekleme yapılmıştır. Palamutcuk Çeşmesi, Hamdi'nin Kuyusu ve Olucakpınar Çeşmesi'nden ise Kasım (2008) ayı içerisinde tek dönem örnekleme yapılmıştır.

Umurlu jeotermal sahasının batı komşusu olan Germencik jeotermal sahasındaki kuyulardan örnekleme yapmak mümkün olmadığından sahada açılmış olan ÖB-1,2,4,6,8 ve 9 kuyularının δ ^{18}O- δD ve ^{3}H değerleri değişik araştırmacılardan alınarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, Umurlu jeotermal sahasının doğu komşusu olan Salavatlı jeotermal sahasındaki ASR-2, AS-1, AS-2, AS-4 kuyularından tek dönem halinde örnekleme yapılmıştır. Şekil 6.1 ve Çizelge 6.1'de örnekleme noktalarına ait lokasyon haritası ve bu kuyulara ait öz bilgiler verilmiştir.

Örneklerin duraylı izotop (δ^{18}O- δD) analizleri DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı İzotop Analizi Laboratuvarında, ^{3}H analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Çevresel Trityum Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.1 İzotop örneklemesi yapılan noktalarının lokasyon haritası (Şimşek, 2003'den değiştirilerek) (ölçeksiz)

Çizelge 6.1 İzotop örneklemesi yapılan kuyulara ait öz bilgiler

	GERMENCİK SAHASI						SALAVATLI SAHASI				UMURLU SAHASI		
Örnek no	ÖB-1*	ÖB-2*	ÖB-4*	ÖB-6*	ÖB-8*	ÖB-9*	AS-1**	AS-2**	ASR-2**	AS-4**	ASK-1**	AU-1**	AU-2**
Açılma Tarihi	1982	1982	1984	1984	1986	1986	1987	1988	2005	2008	2007	2008	2008
Derinlik (m)	1002	975,5	284	1100	2000	1465	1510	962	1300		2054	1223	1602
Rezervuar	Miyosen konglomera	Mermer-Kuvarsit-Şist	Miyosen konglomera	Mermer-Kuvarsit-Şist	Mermer-Kuvarsit-Şist	Mermer-Kuvarsit-Şist	Mermer	Mermer	Mermer	Mermer	Mermer-Fillit	Mermer-Fillit	Mermer-Fillit
Sıcaklık (^{0}C)	203	232	213	224	220	224	169	171,4	160	167	154,5	153,48	149,58
Debi (l/s)	92	144	535	450	343	425	93	91	100		71	25	15
Eİ (µS/cm)	6500	7200	5400	6200	6600	6500	4800	4600	5050	5110	4300	5610	5000
pH	7,21	6,71	7,71	8,7	7,08	8,2	7,1	7,7	8,4	8,5	8,2	8,5	8,2
Na^+	1440	1445	1420	1775	1410	1440	1140	1100	1251	1196	1123	1602	1250
K^+	60	135	135	180	122,5	140	143	90	155	166	136	131	99
Ca^{+2}	50	30	12	3,6	62,5	85	9,6	14	6,2	8,6	2,02	3,8	4,1
Mg^{+2}	1	1	1,7	0,5	1,5	10	1,08	1,1	0	1,12	3,58	1	3,5
CO_3^{-2}	0	0	0	298	0	336,5	0	0	279	303	0	0	0
HCO_3^-	1140,21	1419,53	1440	1202	1396,72	860,83	2694	2831	2386	2422	2607	3731	2840
Cl^-	1595,3	1559,8	1500	1882	1488,9	1542,1	250	233	288	289	237	74,4	233
SO_4^{-2}	125,9	33,3	37	64,2	96,02	43,62	138	170	165	161	105	106	101
B	31,06	31,32	55	74	29	27,83	45,8	42	50,4	50,4	66,2	54,1	52,5
SiO_2	140	160	53	41	286	286	209	178	217	238	159	161	144
Su Tipi	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-Cl	Na-HCO3	Na-HCO3	Na-HCO3	Na-HCO3	Na-HCO3	Na-HCO3	Na-HCO3

- Değerler mg/l olarak verilmiştir

*MTA, 1988,2005

**Bu çalışma

6.2 Duraylı İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi

Duraylı izotoplar jeotermal arama ve geliştirme çalışmalarında akışkan bileşimini etkileyen kayaç-su etkileşimi, buharlaşma ve soğuk su karışımı gibi fiziko-kimyasal süreçlerin irdelenmesinde kullanılmaktadır.

Umurlu jeotermal sahası ve yakın çevresindeki jeotermal sahalara ait duraylı izotop analiz değerleri Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 İnceleme alanındaki suların duraylı izotop içerikleri

Jeotermal Saha	Örnek No	Örnek adı	Örnekleme Tarihi	$\delta^{18}O$(‰SMOW)	$\delta^{2}H$(‰SMOW)
UMURLU	U-2	AU-1	Haziran 08	-5,66	-45,24
	U-3	AU-2	Haziran 08	-3,46	-48,57
	U-4	İmamköy Kaynağı	Mayıs 08	-7,1	-34,79
	U-4a	İmamköy Kaynağı	Kasım 08	-7,07	-35,97
	U-5	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	Mayıs 08	-6,52	-33,11
	U-5a	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	Kasım 08	-6,74	-33,01
	U-6	Musluca Soğuksu Kaynağı	Mayıs 08	-7,95	-38,83
	U-6a	Musluca Soğuksu Kaynağı	Kasım 08	-7,62	-37,18
	U-7	Palamutcuk Çeşmesi	Kasım 08	-8,02	-40,18
	U-8	Olucak Pınarı	Kasım 08	-7,55	-38,7
	U-9	Hamdi'nin Kuyusu	Kasım 08	-7,81	-37,49
	U-10[a]	Paşayaylası	Mayıs 00	-8,2	-39,8
	U-11[a]	Altınoluk	Mayıs 00	-8	-40
	U-12[a]	Karaköy	Mayıs 00	-7,45	-38,2
GERMENCİK	ÖB-1[b]	ÖB-1	Temmuz 98	-3,53	-40,2
	ÖB-2[b]	ÖB-2	Temmuz 98	-2,64	-41,2
	ÖB-4[a]	ÖB-4	Temmuz 98	-3,2	-39,6
	ÖB-6[c]	ÖB-6	Temmuz 98	-1,3	-33
	ÖB-8[b]	ÖB-8	Temmuz 98	-2,27	-41,9
	ÖB-9[b]	ÖB-9	Temmuz 98	-1,74	-37,9
SALAVATLI	AS-1	AS-1	Kasım 08	-3,28	-50,29
	AS-2[d]	AS-2	Temmuz 98	-1,36	-45
	ASR-2	ASR-2	Mayıs 08	-3,04	-42,83
	ASR-2a	ASR-2	Kasım 08	-2,61	-44,71
	AS-4	AS-4	Kasım 08	-2,5	-45,51
	AS-5[d]	Salavatlı Hamamı	Temmuz 98	-6,5	-36
	BM	Menderes Nehri	Mayıs 00	-7,3	-49

[a] Güner (2005), [b] Şimşek (2003), [c] Correia (1990), [d] Özgür (1998)'den alınmıştır.

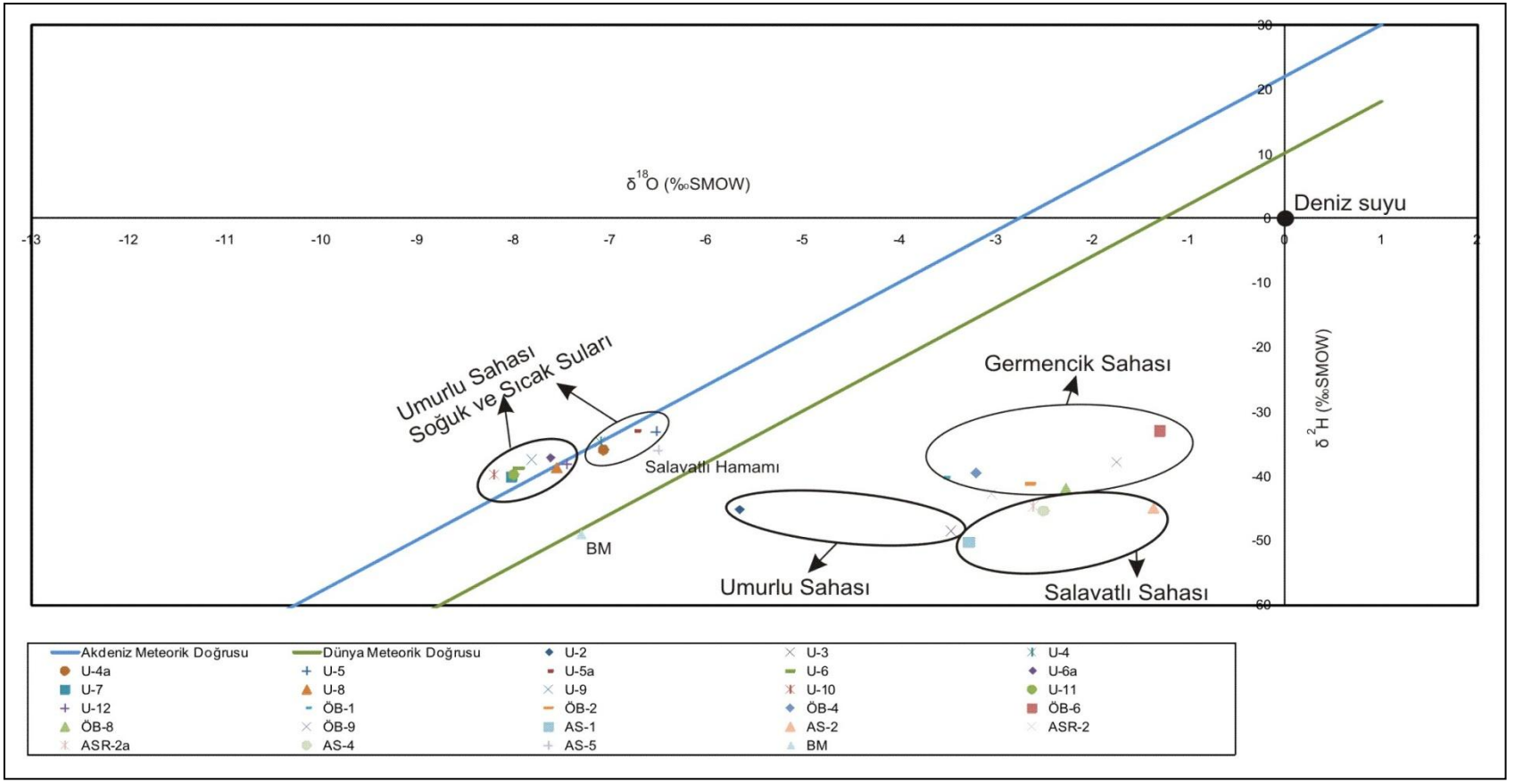
6.2.1 Oksijen-18 ve döteryum ilişkisi

Meteorik suyun hidrojen ve oksijen izotopları arasında buharlaşma ve yoğunlaşma gibi atmosferik süreçler ile kontrol edilen bir doğrusal ilişkisi vardır. Her bölgenin kendini karakterize eden bir meteorik su doğrusu bulunmaktadır. Bu meteorik su doğruları yeraltısularının kökeninin belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Şekil 6.2'de verilen inceleme alanı ve yakın çevresindeki jeotermal sahalara ait $\delta\ ^{18}O$- $\delta\ ^{2}H$ grafiğinden, tüm örnekleme noktalarının;

$\delta\ D=8\ \delta\ ^{18}O+22$ (Doğu Akdeniz Meteorik Su Doğrusu; Payne ve Dinçer,1965) ile $\delta D=8\ \delta\ ^{18}O+10$ (Dünya Meteorik Su Doğrusu) olan meteorik yağış doğruları çevresinde yer aldıkları görülmektedir. Bu durum, jeotermal sistemin meteorik sulardan beslendiğini göstermektedir. Meteorik doğruya ait "Döteryum fazlası" değerinin yüksek (‰ 22) olması havzada hakim yağışların hızlı buharlaşma etkisi altındaki Doğu Akdeniz kaynaklı atmosferik su buharınca oluştuğunu göstermektedir.

Soğuk su örneklerinden; Musluca (U-6,6a), Palamutcuk (U-7), Olucakpınarı (U-8), Paşayaylası (U-10), Altınoluk (U-11), Karaköy (U-12) numuneleri inceleme alanının yakın çevresindeki dağların zirve noktalarına yakın olarak bulunan soğuk su kaynaklarından alınmıştır. Kaynakların kotları düşükten yükseğe doğru sırasıyla Palamutcuk (350 m), Musluca (500 m), Olucakpınarı (750 m), Karaköy (920 m), Paşayaylası (1300 m) ve Altınoluk (1600 m) şeklindedir. Altınoluk ve Paşayaylası örnekleri Karaköy ve Olucakpınarı örneğine göre daha yüksek kotlardan alındığı için her iki örneğin $\delta^{18}O$ değerleri daha hafif izotop içeriğine sahiptir.



Şekil 6.2 İnceleme alanı ve çevre jeotermal sahalardaki suların $\delta^{18}O$-^{2}H grafiği

Büyük Menderes Nehri (BM) ve sıcak suların δ^2H izotop içerikleri göz önüne alındığında sıcak suların Büyük Menderes Nehri'nin etkisi altında olmadığı görülmektedir.

Umurlu (149,5-154,5 °C), Germencik (203-232 °C) ve Salavatlı (160-171 °C) jeotermal sahaları birlikte değerlendirildiğinde $\delta^{18}O$ zenginleşmesinin artan sıcaklıkla arttığı gözlenmektedir. Bu durum jeotermal sahalardaki derin dolaşımı ve artan sıcaklıkla birlikte su-kayaç etkileşiminin arttığını göstermektedir.

Umurlu jeotermal sahasına komşu olan Germencik ve Salavatlı sahalarındaki su-kayaç etkileşiminin daha fazla olduğu görülmektedir. İnceleme alanı olan Umurlu Jeotermal sahasındaki düşük $\delta^{18}O$ değerleri komşu sahalara göre daha düşük rezervuar sıcaklığını ve daha sığ suların etkinliğini göstermektedir.

Sıcaklığa bağlı $\delta^{18}O$ zenginleşmesi saha bazında da kendini göstermektedir. Örnek olarak Germencik sahası ele alınırsa, sahada I.Rezervuarı oluşturan, Neojen konglomeralarından üretim yapan ÖB-1, ÖB-4 kuyularının rezervuar sıcaklığı 196 ve 203 °C'dir. II.Rezervuarı oluşturan mermer-şist ardalanmasından üretim yapan ÖB-2, ÖB-6, ÖB-8 ve ÖB-9 kuyularının rezervuar sıcaklığı ise 206-232°C arasında değişmektedir. Şekil 6.2'deki grafikte de görüldüğü gibi Germencik sahası içerisinde II.Rezervuardan üretim yapan ÖB-2, ÖB-6, ÖB-8 ve ÖB-9 kuyularındaki $\delta^{18}O$ zenginleşmesi I.Rezervuardan üretim yapan ÖB-1 ve ÖB-4 kuyularına göre daha fazladır. Salavatlı jeotermal sahasındaki kuyuların rezervuar sıcaklığı ise 169 ile 175 °C arasında değişmektedir. Görüldüğü gibi Umurlu jeotermal sahasındaki 155 °C'lik daha düşük rezervuar sıcaklığıyla Germencik ve Salavatlı sahalarına göre $\delta^{18}O$ zenginleşmesinin daha az olması eldeki veriler ışığında olağan görülmektedir.

Germencik sahasına paleo-deniz suyu karışmış olması nedeniyle bu bölgedeki sular "Na-Cl" tipinde sular olarak kendini göstermektedir (Çizelge 6.1). Deniz suyu karışımı Germencik sahasındaki döteryum değerlerini Umurlu ve Salavatlı sahalarına göre daha yukarı çekmiştir (Şekil 6.2).

Umurlu jeotermal sahasında örnekleme yapılan AU-1(U-2) ve AU-2(U-3) kuyuları kendi içerisinde değerlendirildiğinde, her iki kuyunun da yaklaşık aynı rezervuar sıcaklığına sahip olmasına rağmen AU-1(U-2) kuyusundaki $\delta^{18}O$ zenginleşmesinin AU-2 (U-3) kuyusuna göre daha az olduğu görülmektedir. Bu durum ilk bakışta AU-1(U-2) kuyusuna daha sığ seviyelerden soğuk su girişimi olduğunu düşündürmüş ancak kuyulardaki kaynama ve buharlaşma süreçlerinin izotop farklılaşmasına yol açarak kuyularda farklı $\delta^{18}O$ zenginleşmesine neden olduğu görüşü daha ön plana çıkmıştır. Bu süreçte, akışkan kuyu içerisinde yükselirken kaynama sürecine maruz kalmakta, akabinde buhar fazı akışkandan ayrılmaktadır. AU-2 kuyusunda da kaynama süreci ve buharlaşma daha fazla olduğundan AU-1 kuyusuna göre $\delta^{18}O$ zenginleşmesi daha fazla olmakta ve bu durum kuyulardaki farklı Cl^- derişimleriyle de desteklenmektedir. Jeotermal sularda derin dolaşım göstergesi olan Cl^- un Çizelge 5.1'deki kimyasal analiz çizelgesine bakılacak olursa AU-1(U-2) kuyusunun Cl^- derişiminin ASK-1(U-1) ve AU-2(U-3) kuyularındaki Cl^- derişimlerinin yaklaşık 1/3'ü kadar olduğu görülmektedir. Kuyular arasındaki Cl^- derişimindeki bu farklılık AU-2 kuyusunda buhar fazının akışkandan daha fazla ayrılması ve artık sıvıda Cl^- derişiminin artması şeklinde yorumlanmıştır.

6.2.2 Trityum (^3H)

Kararsız çekirdeğin kararlı duruma geçinceye kadar uğradığı nükleer değişime (bozunma) radyoaktivite denmektedir. Bir radyoaktif izotop kararlı bir çekirdeğe dönüşürken bazı nükleer ışınlar yayarak radyoaktif parçalanmaya uğramaktadır. Herhangi bir radyoizotopun parçalanma oranı o izotopun yarı ömrüne bağlıdır. Bir radyoizotopun yarı ömrü ($T_{1/2}$) belirli bir andaki atomlarının sayısının yarıya düşmesi için geçen zamandır ve her radyoizotop için farklıdır. Bu çalışmada kullanılan ^3H için yarılanma ömrü 12,3 yıldır (Unterweger and Lucas 2000).

Çevresel izotoplardan ^3H, yeraltısuyu araştırmalarındaki önemi radyoaktif bozunmanın dışındaki etkilerden hemen hemen hiç etkilenmemesidir. Trityum derişimi sıvı parıldama ve gaz sayaçları ile belirlenmektedir. Derişim birimi Trityum Birimi (TU) olup, 1 TU 10^{18} H atomuna karşılık gelen 1 adet ^3H atomunu ifade etmektedir.

Trityumun meteorik sulardaki miktarı aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- Stratosferdeki nitrojenin nötron bombardımanı sonucunda oluşan trityum miktarı,
- Trityumun beta ışıması yaparak yarılanması,
- Mevsimsel olarak Stratosfer'den Troposfer'e geçen (enjekte olan) trityum miktarı,
- Termonükleer bomba denemelerinden türemiş trityum miktarı,
- Yerel olarak bilimsel çalışmalarda kullanılmak üzere nükleer reaktör veya diğer kaynaklardan yapay yollardan üretilmiş trityum miktarı.

Atmosferdeki trityum miktarı 1952'deki termonükleer bomba denemelerinden önce 5-10 TU iken atmosfere yapay yolla salınan trityumla birlikte bu değerler kuzey yarım kürede 1000 TU dan daha fazla değerlere yükselmiştir.

Kuzey yarımkürede uzun dönemli ölçümlere bağlı olarak bahar ve yaz aylarındaki trityum derişimi kış aylarına oranla daha fazladır. Karaların üzerinde yaz aylarında trityum miktarının artmasının nedeni kış ve bahar yağışlarının bir kısmının tekrar buharlaşmasıdır (Clark ve Fritz 1997).

Yeraltısuyunun ^{3}H derişimi, akiferi besleyen suların ^{3}H değerine, bunların toplam beslenimdeki katkı oranlarına ve beslenim suyunun yeraltındaki kalış süresine bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda farklı kökenli suların karışımı da yeraltısuyunun trityum miktarını değiştirebilir. Umurlu jeotermal sahası ve komşu jeotermal sahalara ait trityum değerleri Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3 İnceleme alanındaki suların trityum içerikleri

Jeotermal Saha	Örnek no	Örnek adı	T (^{0}C)	EC (µS/cm)	Cl (mg/l)	Trityum (TU)	Hata (+,-)
UMURLU	U-2	AU-1	153,48	5610	74,4	0,03	0,23
	U-3	AU-2	149,58	5000	233	0,35	0,27
	U-4	İmamköy Sıcaksu Kaynağı	36	1790	21,9	0,66	0,26
	U-4a	İmamköy Kaynağı	36	1818	26,5	0,35	0,25
	U-5	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	29	850	13,5	-0,2	0,27
	U-5a	Umurlu Sıcaksu Kuyusu	31	828	14,9	-0,01	0,26
	U-6	Musluca Soğuksu Kaynağı	16	705	8,34	0,14	0,24
	U-6a	Musluca Soğuksu Kaynağı	16,5	716	9,28	3,9	0,34
	U-7	Palamutcuk Çeşmesi	20	347	5,24	2,72	0,3
	U-8	Olucak Pınarı	17	318	11,6	3,28	0,31
	U-9	Hamdi'nin Kuyusu	18,1	903	25,5	3,16	0,31
GERMENCİK	ÖB-1[b]	ÖB-1	203	6500	1595,3	0,69	0,33
	ÖB-2[b]	ÖB-2	232	7200	1559,8	0,23	0,33
	ÖB-6[c]	ÖB-6	224	6200	1882	0,6	0,33
	ÖB-8[b]	ÖB-8	220	6600	1488	0,5	0,33
	ÖB-9[b]	ÖB-9	224	6500	1542,1	0,64	0,33
SALAVATLI	AS-1	AS-1	169	4800	250	-0,23	0,25
	AS-2[d]	AS-2	171,4	4600	233	0,2	0,25
	ASR-2	ASR-2	165,8	5050	288	0,45	0,24
	ASR-2a	ASR-2	165,8	5050	288	0,22	0,27
	AS-4	AS-4	167,5	5110	289	-0,28	0,25
	BM	Menderes Nehri	13	410	63	5,5	0,25

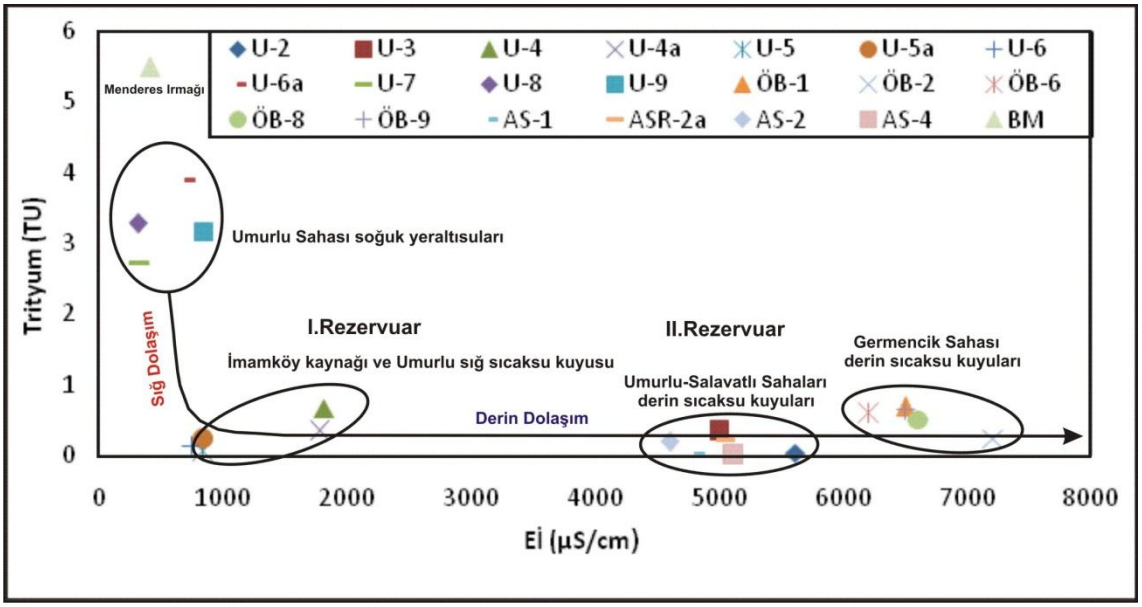
[b] Şimşek (2003), [c] Correia (1990), [d] Özgür (1998)'den alınmıştır

6.2.3 Trityum (TU)-Elektriksel İletkenlik (Eİ)

Suların izotopik değerlendirilmesinde kullanılan trityum izotopu radyoaktif bir izotop olmasından dolayı yeraltısuyunun rezervuarda kalış süresi ile orantılı olarak radyoaktif bozunmaya uğramaktadır. Dolayısıyla yer altı sularının dolaşım süresinin ortaya konmasında ^{3}H izotopu en önemli parametrelerden biridir. Aynı şekilde genellikle örneklere ait Eİ değerleri de yeraltı suyunun rezervuarda kalış süresi ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Umurlu, Germencik ve Salavatlı jeotermal sahalarındaki Eİ değerlerinin yüksek ve TU değerlerinin düşük olması, sıcak suyun derin dolaşıma sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 6.3). Umurlu jeotermal sahasındaki soğuk suların (U-6, U-7, U-8, U-9) trityum değerleri ortalama 3,5 TU ve Büyük Menderes Nehri'nin suyu ise 5,5 TU'dur. Bu değerlere göre, bu sular genç sular sınıfında yer almaktadır. İnceleme alanındaki şistler

içinden gelen Musluca soğuk su kaynağının (U-6,6a) ^{3}H içeriği mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir. Mayıs döneminde çok düşük değerlere sahip olan ^{3}H içeriği (0,14), Kasım döneminde daha yüksek ^{3}H değerleri (3,9) vermektedir. Bu durum Musluca kaynağının beslenme döneminin Kasım ayı içerisindeki yağışlar olduğu hakkında bilgi vermektedir.

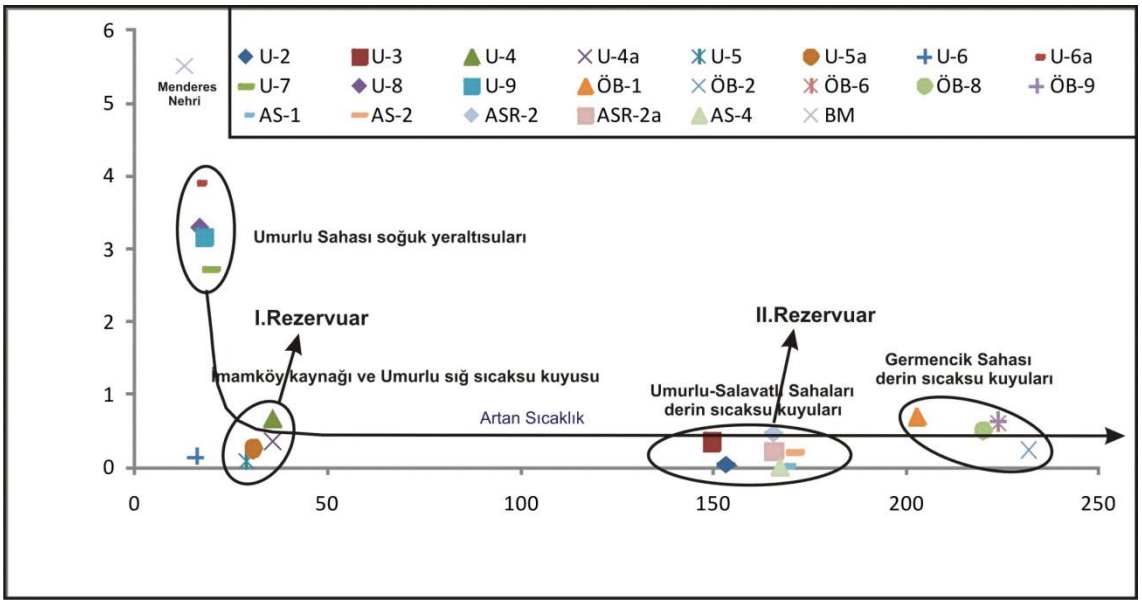


Şekil 6.3 İnceleme alanındaki suların ^{3}H-Eİ grafiği

Umurlu, Germencik ve Salavatlı jeotermal sahalarındaki sıcaksu kuyularının trityum değerleri sıfıra yakın olup, bunlar derin dolaşımlı sular sınıfında yer almaktadır. Bu durum tüm sahalardaki jeotermal akiferin nükleer denemelerden önce beslendiğini, göreceli olarak uzun süreli (yer altı dolaşım süresi 55 yıldan fazla) geçiş zamanına sahip yeraltısuları ile beslendiğini göstermektedir.

6.2.4 Trityum (TU)-Sıcaklık (°C)

İnceleme alanı ve yakın çevresindeki jeotermal sahalara ait örneklerin ^{3}H-T(°C) ilişkisi Şekil 6.4'de gösterilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi Umurlu, Germencik ve Salavatlı sahalarındaki kuyular yüksek sıcaklık ve düşük ^{3}H içeriğine sahip olup, daha yüksek kotlardan beslenen derin dolaşımlı suları temsil etmektedirler.



Şekil 6.4 İnceleme alanındaki suların ^{3}H-T (°C) grafiği

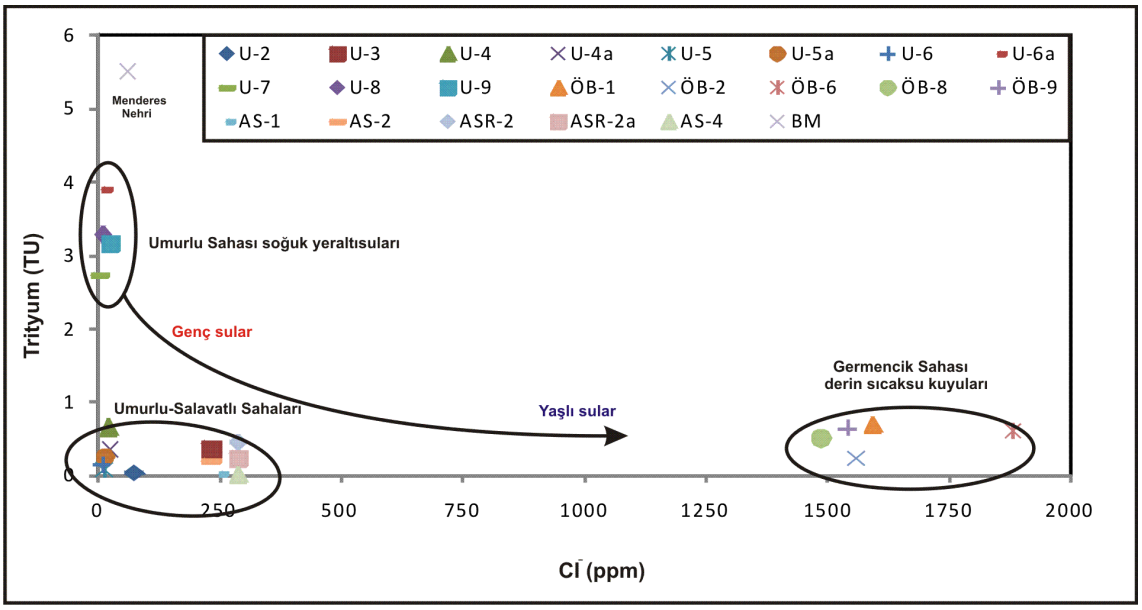
6.2.5 Trityum (TU)-Klorür (Cl⁻)

İnceleme alanında boşalımları yüksek kotlarda yer alan soğuksu kaynaklarının ^{3}H içeriği jeotermal sulara oranla daha fazladır. Sıcak sularda, ^{3}H değerinin sıfıra yakın olması Umurlu, Germencik ve Salavatlı sahalarındaki sıcak ve mineralli suların soğuksulara oranla yeraltında daha uzun süre dolaşım gösterdiklerini ifade etmektedir. Aynı zamanda atmosferik trityumun sıfırın üzerinde olduğu görülmektedir.

Sıcak suların klorür miktarı, soğuk su kaynaklarından daha fazladır. Bu durum, beslenme alanından süzülerek ısınan sıcak suların, kayaçlarla daha uzun süre temas ederek, klorür iyonunun, korunan (konservatif) özellikte olması ile yer altı suyu akım

yönü boyunca klorürce daha zengin hale gelmesi ve dolayısıyla daha derin dolaşımlı sular olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 6.5'de görüldüğü üzere; Germencik jeotermal sahasındaki kuyuların Cl^- içerikleri Umurlu ve Salavatlı sahalarındaki kuyulara göre oldukça fazladır. Bu durum Germencik sahasındaki suların daha yüksek sıcaklık içermesi, su-kayaç etkileşimlerinin daha fazla olduğunu göstermektedir. Ancak, Germencik sahasının Ege Denizi'nin etkisinde olması nedeniyle rezervuara paleo-deniz suyu karışmış olduğu ifade edilmiştir (Güner ve Yıldırım 2007). Bu nedenle Germencik sahası suları Umurlu ve Salavatlı sahaları ile kıyaslanamayacak kadar yüksek Cl^- içeriğine sahip olabilir. Bu da Güner ve Yıldırım (2007)'ın görüşlerini doğrulamaktadır.



Şekil 6.5 İnceleme alanındaki suların ^3H-Cl^- grafiği

7. KAVRAMSAL HİDROTERMAL MODEL

Jeotermal sistemler bir ısı kaynağından yüzeye, jeotermal akışkan yoluyla ısı transferinin sağlandığı sistemlerdir. Jeotermal sistemlerin yapısındaki ana bileşenler; ısı kaynağı, beslenme alanı, hazne kayaç, örtü kayaç ve jeotermal akışkanın yüzeye çıkışını sağlayan kırık ve çatlak sistemleridir. İnceleme alanında yapılan hidrojeolojik, hidrojeokimya ve izotop çalışmaları ile Umurlu jeotermal sahasının kavramsal modeli oluşturulmuştur (EK 5).

7.1 Isı Kaynağı

Jeotermal sistemlerde ısı kaynağı, yüksek sıcaklıkta yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen mağmatik sokulumlar olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde derinlikle birlikte artan jeotermal gradyan da olabilmektedir.

Menderes Grabeni'nde kıtasal kabukta incelmeye bağlı olarak yüzeye yaklaşan ve zayıflık zonları boyunca yükselen mağma faaliyetleri sistemin ısı kaynağını oluşturmakta ve yerel jeotermal gradyanı yükseltmektedir. Graben faylarından çok derine inen faylar, litosferin üst kısımlarından ısı transferi yaparak hazne kayayı ısıtırlar. Bölgede, derinde gabro stokları ve granit pegmatit dayklarının bulunması , yüzeye yakın yerlerde ısısını kaybetmemiş asit mağmatik kayaçların bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca inceleme alanının batısında bulunan Germencik jeotermal sahası civarında yer yer Pliyosen çökellerini kesen Pliyosen-Pliyokuvaterner yaşlı genç volkanitler belirlenmiştir. Söke batısındaki bu volkanik çıkışlar KD-GB doğrultulu lav domları şeklinde gözlenmektedir. Ayrıca Germencik sahasında açılmış olan ÖB-6 kuyusunun 760-770' m leri arasında olivin bazalt daykının kesilmiş olması (Çiçekli vd. 1986) bölgedeki yüksek ısı gradyanının açıklanmasına yardımcı olmuştur. İnceleme alanında ısı kaynağına yönelik yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak Kızıldere sahası içerisinde yapılan derin jeofizik (manyetotellürik) çalışmasında ısı kaynağının 15 ile 35 km arasında bir derinlikte olabileceği söylenmiştir (Bayrak vd. 2009).

7.2 Beslenme

Jeotermal sistemler; meteorik, mağmatik ve jüvenil kökenli akışkanlar ile beslenmektedir. Umurlu jeotermal alnında yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarının izotopik olarak Doğu Akdeniz ve Dünya Meteorik Su Doğruları arasında kalmaları nedeniyle bölgedeki jeotermal sistemi meteorik kökenli suların beslediği tahmin edilmiştir. Ayrıca sıcak su kaynak ve kuyularının düşük trityum, yüksek Cl^- ve Eİ değerleri jeotermal alandaki derin yeraltı suyu dolaşım sistemine işaret etmektedir.

Umurlu jeotermal sisteminin beslenme alanı sahanın kuzeyinde bulunan Bozdağ Horstu olabileceği düşünülmektedir (Şekil 6.1). Alandaki jeotermal kaynakların beslenme alanı yükseklikleri ile ilgili yeterli bilgi yer almamaktadır. Grabenin oluşumunu sağlayan D-B uzanımlı graben faylar ile K-G doğrultu atımlı faylar belirli bölgelerde kesişmekte, bu kesişen fay kuşakları yoluyla beslenme uzun mesafeler boyunca havza dışından da olabilmektedir.

Umurlu jeotermal sahası sistemine göre; kuzeydeki yüksek topografyalı bölgeden yeraltına süzülen meteorik sular derinlere doğru I. ve II. rezervuar seviyelere ulaşmaktadır. Aynı zamanda, yukarıda da değinildiği gibi havza dışından da faylarla beslenim söz konusudur. Rezervuarda yer alan sular kabuk incelmesine bağlı olarak yüzeye yaklaşan mağma faaliyetleri tarafından ısıtılmaktadır. Daha sonra, graben yapısını oluşturan doğu-batı uzanımlı basamak faylar boyunca yükselen sıcak sular I.rezervuara kadar yükselerek onu ısıtmaktadır. Aynı zamanda inceleme alanında II.rezervuardan I.rezervuara doğru kondüksiyon akımları da söz konusudur.

7.3 Hazne Kayaç (Sıcak su akiferi)

İnceleme alanında yapılan arama sondajlarında iki ana rezervuar belirlenmiştir. Bunlardan ilki Miyosen birimleri içerisindeki çakıltaşlarının bulunduğu faylı zonlardaki tali rezervuarlardır. Umurlu jeotermal sahasının yakın çevresinde bulunan, Ilıcabaşı (Ayter-1, Ayter-2) ve Germencik jeotermal sahalarında (ÖB-1, ÖB-4) Miyosen'in

çakıltaşı seviyelerinden üretim yapan kuyular bulunmaktadır. Bu kuyuların sıcaklık ve debileri bulundukları sahaların genel potansiyeli göz önüne alındığında daha düşüktür. Bu nedenle, inceleme alanında açılan kuyularda üretim yapabilecek Miyosen seviyeleri, hedeflenen sıcaklığa ulaşılamayacağı düşüncesiyle muhafaza borusu arkasına alınarak, kapatılmıştır.

Umurlu jeotermal sahasında bindirme ve graben tektoniği ile yüksek geçirimlilik ve gözeneklilik oluşturmuştur. Bu anlamda sıkışma tektoniği sonrası sürüklenimle gelen gnayslar (Bozköy sürüklenimi) ve graben tektoniği altında kırıklı ve çatlaklı bir yapı kazanmış mermer-kalkşist ve kuvarsit ardalanmasından oluşan birim Umurlu jeotermal sahası için iyi bir rezervuar kaya özelliği göstermektedir. Umurlu jeotermal sahasında açılmış olan ASK-1 ve AU-1 kuyularında üretim mermer-fillit ardalanması içerisindeki fay zonlarından, AU-2 kuyusunda ise mermer-fillit ardalanmasının kırık ve çatlaklarından olmaktadır. Ayrıca, Şimşek (1985) Menderes Masifi'nin çekirdeğini oluşturan gnaysların, kırıklı ve çatlaklı kısımlarının bölgedeki jeotermal sahalarda III.rezervuarı oluşturabileceğinden bahsetmektedir. Şu ana kadar bölgede III.rezervuardan üretim yapan kuyu yer almamaktadır.

7.4 Örtü Kayaç

Hidrotermal sistemin sahip olduğu ısıyı koruyabilmesi için, sıcak su akiferi üzerinde düşük geçirimliliğe ve düşük termal iletkenliğe sahip örtü kayaca ihtiyaç duyulmaktadır. İnceleme alanında yapılan sondajlarda rezervuarları birbirinden ayıran iki ayrı örtü kayaç topluluğu belirlenmiştir. Bunlardan Pliyosen ve Miyosen birimlerinin kumtaşı, kiltaşı ardalanması gösteren litolojileri geçirimsiz özellik sunmakta ve Miyosen çakıltaşlarından oluşan I.rezervuar için geçirimsiz örtü özelliği göstermektedir. Menderes Masifi içerisindeki üst şistler de, mermer-kalkşist ve kuvarsitlerden oluşan II.rezervuar için bir diğer örtü kayaç topluluğunu oluşturmaktadır. Ayrıca II.rezervuarın altında yer alan alt şistler sahada olası III.rezervuar için örtü kaya özelliği gösterebilir.

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Umurlu jeotermal alanının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan jeoloji, hidrojeoloji, jeofizik, jeokimyasal ve izotopik çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

Çalışma kapsamında Umurlu jeotermal sahasının 1/50000'lik jeoloji haritası önceki çalışmaların revize edilmesiyle yeniden oluşturulmuş, jeolojik kesitler ve stratigrafik istif ortaya çıkarılmıştır. Arazi çalışmaları ve sahadaki derin kuyuların verilerinden kayaçların hidrojeolojik özellikleri belirlenmiş, böylelikle tez sahasının 1/50000 ölçekli hidrojeoloji haritası yapılmıştır.

İnceleme alanında ve civarında en altta Paleozoyik yaşlı metamorfiklerin bulunduğu, bunun üzerine gelen Neojen yaşlı çökellerin Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimlerden oluştuğu, en üstte ise Menderes Grabeni boyunca geniş yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı birimlerin yer aldığı belirlenmiş ve bu birimler hazırlanan 1/50000'lik jeoloji haritasında ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Graben, inceleme alanının kuzeyinde yaklaşık D-B doğrultusunda giden güneye eğimli düşük açılı sıyrılma fayı ile sınırlanmıştır. Orta-Geç Miyosen'de geliştiği düşünülen bu fay, güneyde yer alan graben dolgusu, Pliyo-Kuvaterner'de gelişen daha genç normal faylarla kesilmiş ve atıma uğratılmıştır.

Menderes Masifi temel kayalarının kuzey-güney yönlü gerilmenin etkisiyle sürekli olarak yükselmesi sonucu Menderes Grabeni'nin kuzey kenarında doğu-batı yönlü biribirine paralel basamak faylar gelişmiştir. Bu basamak fay sistemlerinin sahanın güneyinde alüvyon içinde de devam ettiği ve horst-graben yapısını oluşturduğu saptanmıştır.

İnceleme alanında D-B uzanımlı normal fayları kesen K-G, KB-GD ve KD-GB doğrultulu oblik veya normal fayların bulunduğu ve bu fayların genellikle Menderes Grabeni'ne akan dere yatakları boyunca geliştiği belirlenmiştir.

Büyük Menderes Grabeni'ndeki tüm jeotermal sahalarda olduğu gibi D-B uzanımlı normal fayları kesen K-G, KB-GD, KD-GB doğrultulu oblik veya normal faylar Umurlu jeotermal sahasının oluşumunda da önemli rol oynamaktadır. İnceleme alanında yer alan termal kaynak ve hidrotermal alterasyonlar bu makas zonlarında gelişmiştir. Sahada bundan sonra yapılacak olan sondaj çalışmalarında bu makas zonlarının referans özellikte olduğu görülmüştür.

Umurlu jeotermal sahasının fiziksel yapısı, formasyon kalınlıkları ve tektonik hatlarının belirlenmesi için sahada 2 profil halinde 348 noktada toplam 17.4 km profil uzunluğunda CSAMT jeofizik ölçüsü alınmıştır. Ölçümler sonucunda horst-graben yapısının havza ortasında da devam ettiği görülmüştür. Bu grabenleşme içinde özdirenç değerlerinin düşük olması jeotermal sistem açısından önem taşımakta olup, jeotermal sahanın bu yönde geliştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

İnceleme alanındaki Neojen kayaçların çakıltaşı seviyeleri I.rezervuarı oluşturmaktadır. Temeli oluşturan sert ve kırılgan litolojiler aktif graben tektonizması sonucunda ikincil geçirimlilik kazanmışlardır. Başlıca mermer, kalkşist ve kuvarsit ardalanmasından oluşan bu kayaçların sahada II.rezervuarı oluşturdukları saptanmıştır.

İnceleme alanındaki rezervuarları birbirinden ayıran iki örtü kayaç topluluğunun olduğu belirlenmiştir. Bunlardan Neojen yaşlı kayaçların kumtaşı-kiltaşı-silttaşı ardalanması sunan litolojileri I.rezervuarın, Menderes Masifi'nin şistleri ise II.rezervuarın örtü kayaçlarıdır.

Sahada açılan derin jeotermal kuyuları (ASK-1, AU-1, AU-2) iyon içeriklerine göre; Na-HCO_3, İmamköy kaynağı ve Umurlu sığ sıcaksu kuyusu Ca-HCO_3'lı, soğuksu kaynak ve kuyuları ise Ca-HCO_3 ve Ca-Mg-HCO_3 tipi sular sınıfında yer almaktadır.

Umurlu jeotermal sahasındaki derin jeotermal kuyu (ASK-1, AU-1, AU-2) sularında B, 52-66 mg/l lik değeri ile standart sınır değerlerinin üzerindedir. Kuyulardan üretim sonrasında açığa çıkan atık suların, yüzey sularına karışması çevresel kirliliğe yol açabilecektir. Ayrıca, sıcak ve mineralli olan bu suların oluşturacağı kirliliğin önüne geçilebilmesi için sahada reenjeksiyon uygulamasının yapılması zorunludur.

İnceleme alanındaki suların kalsit, aragonit, dolomit gibi karbonat minerallerine doygun olduğu görülmüştür. Bu durum sıcaksuların rezervuar kayaçlarının karbonatlı kayaçlar olmasından kaynaklanmaktadır. Kuyularda üretim sırasında kabuklaşma sorununun yaşanması kaçınılmazdır. Kuyuda $CaCO_3$ kabuklaşmasının önlenmesi için inhibitör enjeksiyonu yönteminin uygulanması yararlı olacaktır.

Umurlu jeotermal sahasındaki ASK-1, AU-1, AU-2 kuyularının Giggenbach diyagramına göre "kısmen denge durumunda olan sular" İmamköy kaynağı ve Umurlu sığ sıcak su kuyusunun ise "denge durumunda olmayan sular" bölümünde yer almasından dolayı, katyon jeotermometreleri, Na-K-Mg jeotermometre eşitliği dışında sahada güvenilir sonuçlar vermemiştir. Silis jeotermometrelerinden kuvarsa dayalı olan eşitlikler ASK-1 kuyusunda 155-165 °C, AU-1 kuyusunda 156-166 °C, AU-2 kuyusunda 148-159 °C aralıklarında rezervuar sıcaklıkları vermiştir. Bu sıcaklıklar, sahada gerçek rezervuar sıcaklığı olan 149-155 °C ile karşılaştırıldığında sonuçlar birbirini desteklemektedir.

Umurlu jeotermal sahasının, Büyük Menderes Grabeni içindeki diğer jeotermal sahalarla olan ilişkisini ortaya koymak amacıyla izotop örnekleme çalışması Salavatlı ve Germencik jeotermal sahalarında da yapılmıştır. Bu sahalarda artan sıcaklıkla birlikte $\delta^{18}O$ zenginleşmesi görülmektedir. Bu durum jeotermal sahalardaki derin dolaşımı ve artan sıcaklıkla birlikte su-kayaç etkileşiminin arttığını göstermektedir. Yine bu sahalardaki sıcak suların, yüksek Eİ, Cl^- ve düşük ^3H değerine sahip olması, derin ve uzun süreli (55 yıldan fazla) yer altı dolaşımlı, meteorik kökenli sular olduğunu göstermektedir.

Umurlu jeotermal sahası sistemine göre; kuzeydeki yüksek topografyalı bölgeden yeraltına süzülen meteorik sular derinlere doğru I. ve II. rezervuar seviyelerine ulaşmaktadır. Aynı zamanda, havza dışından da uzun mesafeler boyunca faylarla beslenim söz konusudur. Rezervuarda yer alan sular kabuk incelmesine bağlı olarak yüzeye yaklaşan mağma faaliyetleri tarafından ısıtılmaktadır. Daha sonra, graben yapısını oluşturan doğu-batı uzanımlı basamak faylar boyunca yükselen sıcak sular I.rezervuara kadar yükselerek onu ısıtmaktadır. Aynı zamanda inceleme alanında II.rezervuardan I.rezervuara doğru kondüksiyon akımları da söz konusudur.

Bölgedeki sıcak suların işletilmesi ve reenjeksiyon çalışmalarının yapılması durumunda, uzun dönemli fiziksel ve kimyasal değişimlerinin belirlenmesi amacıyla periyodik olarak ölçümlere devam edilmelidir. Ayrıca, bölgedeki derin dolaşımlı suların beslenim yaşının ve kökeninin belirlenmesi amacıyla karbon, helyum ve klorür izotopu analizleri yapılmasıda faydalı olacaktır.

Umurlu jeotermal sahasındaki sıcak su akiferlerinin yayılımı ve komşu rezervuarlarla ilişkisinin belirlenmesi için ayrıntılı jeofizik çalışmaları yapılmalıdır.

Umurlu jeotermal sahasında yapılan derin jeotermal sondajlardan elde edilen yüksek sıcaklık ve debi değerlerine göre sahanın elektrik üretimine uygun olduğu görülmektedir. Sahada kurulacak olan santralde sürdürülebilir üretimin yapılabilmesi ve uzun vadede kuyularda meydana gelebilecek basınç düşümlerinin önüne geçebilmek için atık akışkanın rezervuara reenjeksiyonu zorunludur. Reenjeksiyon için ilave çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Sahada elektrik üretiminden dönecek olan atık akışkanın şehir ısıtmacılığı, seracılık, kuru buz üretimi ve balneolojik amaçlı olarak entegre kullanılmasıyla Umurlu jeotermal sahasını daha ekonomik bir hale getirmek mümkün olabilecektir.

Umurlu jeotermal sisteminin bozulmasına, kirlenmesine ve sürdürülebilir özelliğinin yitirilmesine neden olacak dış etkenlerden korumak amacıyla sahanın jeolojik,

hidrojeolojik yapısı, iklim koşulları, zemin cinsi ve tipleri, drenaj sahası sınırı, kaynak ve kuyu çevresindeki yerleşim birimleri, endüstri tesisleri, çevrenin topografik yapısı gibi unsurlara bağlı olarak sahanın koruma alanı kuşaklarının belirlenmesi gerekmektedir. Umurlu jeotermal sahası için oluşturulacak olan koruma alanı kuşaklarının belirlenmesine bölgesel hidrojeolojik çalışmalar sonucunda karar verilmelidir.

Termal akiferin derinlerde yer alması ve ısı kaynağının yeryüzünün kilometrelerce altında bulunması nedeniyle inceleme alanında, alanın özelliklerini karakterize edecek sayıda derin sondaj gerekmektedir. Termal akiferin hidrolik parametrelerinin yanı sıra, akifere ait termal parametrelerin de (termal iletkenlik katsayısı, özgül ısı kapasitesi, vb.) belirlenmesi, jeotermal sistemin kavramsal modelinin geliştirilmesinde büyük önem taşıyacaktır. Oluşturulacak olan kavramsal model ileride yapılması olası matematiksel bir modele temel oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

Akartuna, M. 1953. Aydın-Nazilli hattı kuzeyindeki versanların jeolojik etüdüne ait rapor. MTA Derleme Rapor No:2625, Ankara (yayımlanmamış).

Akdoğan, N. ve Gülay, O. 1988. Aydın-Sultanhisar-Salavatlı sahası jeotermal enerji aramaları gravite etüt raporu. MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No:8322, Ankara (yayımlanmamış).

Aksoy, N. 2007. Jeotermal sularda kabuklaşma sorunu, Makine Mühendisleri Odası, Jeotermal enerji semineri, İzmir.

Andresdottir, A. And Arnorsson, S. 1995. Studies of the chemical evolution of natural waters in the Hrepper-Land geothermal field, İceland: an aid to geothermometry interpretation. Proceedings of the World Geothermal Congress, 18-31 May, International Geothermal Association (IGA), Vol.2, Florence, Italy. pp. 1001-1006.

Arnnorsson, S., Gunnlaugsson, E. and Svaversson, H. 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. Geochimica et. Cosmochimica Acta, 47, pp.567-577.

Barka, A.A. ve Kadinsky, C. 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonics, 7, 663-684.

Barka, A.A., Reilinger, R., Şaroğlu, F. and Şengör, A.M.C. 1995. The Isparta Angle: Its Importance in the Neotectonics of the Eastern Mediterranean Region. IESCA Procedings, 13-18.

Batum D. ve Üçer, A. 2009. Güneybatı Anadolu jeotermal sahaları geliştirme ve ısı kaynağı aramaları projesi Aydın ve çevresi CSAMT etüt raporu. Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, hazırlanmakta.

Bayrak, M., Serpen, Ü. And Ilkışık, O.M. 2009. Electrical resistivity image of the Kızıldere geothermal system inferred from magnetotelluric data. Proceedings, Thirty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 9-11, 2009.

Bozkurt, E. 2001 b. Neotectonics of Turkey-asynthesis. Geodinamica Acta, 14, 3-30.

Bozkurt, E. and Oberhanslı, R. 2001. Menderes Massif (Western Turkey): structural, metamorphic and magmatic evolution a synthesis. International Journal of Earth Sciences, 89, 679-708.

Bozkurt, E. and Park, R.G. 1994. Southern Menderes Massif: an incipient metamorfic core complex in Western Anatolia, Turkey. J.Geol.Soc.,London, 151, 213-216.

Bozkurt, E., Winchester, J.A. and Park, R.G. 1995. Geochemistry and tectonic significace of augen gneisses from the southern Menderes Massif (west Turkey). Geol. Magazine, Cambridge Univ. Press, 132, 287-301.

Bülbül, E., Yolal, A. ve Ceran, F. 2008. Aydın-Salavatlı ASR-3 reenjeksiyon sondajı kuyu bitirme raporu. MTA Genel Müdürlüğü Ankara (yayımlanmamış).

Cagniard, L. 1953. Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting GP. 18, 605-653.

Candan, O. 1995. Menderes Masifinde kalıntı granulit fasiyesi metamorfizması. International Journal of Earth Sciences, 4, 35-55.

Candan, O. And Dora, O.Ö. 1998. Granulite, eclogite and blue schists relics in the Menderes Massif: an approach to Pan-African and Tettiary bmetamorphic evolution. Geol. Bull. Turkey. 41, 1-35.

Candan, O., Dora, O. Ö., Oberhanslı, R., Çetinkaplan, M., Partzch, J.H., Warkus, F.C. and Dürr, S. 2001. Pan-African high-pressure metamorphism in the Prekambrian basement of the Menderes Massif. Western Anatolia, Turkey. Int.J.EarthSci., 89, 793-811.

Clark, I. D. and Fritz, P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology, Lewis Publishers, New York, p.328.

Collins, A.S. and Robertson, A.H.F. 1997. The Lycian Melange southwest Turkey: an emplaced accretionary complex. Geology, 25, 255-258.

Collins, A.S. and Robertson, A.H.F. 1998. Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episodic thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, SW Turkey. J.Geol.Soc.Lond., 155, 759-772.

Correra, H., Escobar, C. and Gauthier, C., 1990, Germencik geothermal field feasibility report, part two, October, MTA, Ankara.

Craig, H. 1961. Standarts for reporting concentrations of deterium and oxgen-18 in natural waters Science, 133, pp. 1833-1834.

Çiçekli, K., Karamanderesi, İ.H. ve Güneri A. 1986. Aydın-Germencik-Ömerbeyli Jeotermal Sahası Ömerbeyli-6 derin jeotermal sondaj bitirme raporu, MTA.

D'Amore F. and Amorsson, S. 2000. Geothermometry isotopic and chemical techiques in geothermal exploration, development and use. Arnorsson, s.(ed.), IAEA, Vienna. P. 152-199.

Dewey, J. F. and Şengör, A.M.C. 1979. Aegan and sourrounding regions; complex multi-plate and continuum tectonics in a convergent zone. Geol. Soc. America Bull. Part 1.90., 84-92 p.

Dewey, J.F. 1988. Extensional collapse of orogens, Tectonics, 7, 1123-1139.

Doğan, L. 1981. Hidrojeolojide su kimyası, DSİ yayınları.

Dora, O.Ö., Candan, O., O, Kaya., Koralay, E. and Dürr, S., 2001, revision of "Leptite gneiss" in the Menderes Massif: a supracrustal metasedimentary origin. In: Menderes Massif (Western Turkey): structural, metamorphic and magmatic evolution, Int, J.Earth Sci., 89, 832-847.

Dünya, H. 2008a, Aydın Salavatlı ASK-1 sondajı kuyu bitirme test raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, (yayımlanmamış)

Dünya, H. 2008b, Aydın Salavatlı AU-1 sondajı kuyu bitirme test raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, (yayımlanmamış)

Dünya, H. 2008c, Aydın Salavatlı AU-2 sondajı kuyu bitirme test raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, (yayımlanmamış)

Eravcı, B. 2006. Büyük Menderes Grabeni içindeki Aktif Fayların Jeolojisi ve Paleosismisitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Erdoğan, B. 1992. Problem of core-mantle boundary of Menderes Massif. Geosound, 20(3), 14-315.

Erdoğan, B. 1993. Menderes Masifi'nin kuzey kanadının stratigrafisi ve çekirdek-örtü ilişkisi. Geological Congress of Turkey, Ankara, 56.

Erdoğan, B. And Güngör, T., 2004. The problem of the core-cover boundary of the Menderes Massif and an emplacement mechanism for regionally gneissic granites, Western Turkey. Turkish J.Earth Sci., 13, 15-36

Erguvanlı, K. ve Yüzer, E. 1973. Yer altı suları jeolojisi, İTÜ Maden Fakültesi

Filiz, Ş. 1984. Investigation of the important geothermal areas by Using, C,H,O, Isotopes, Seminer on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Spaca Heating, Florence, 25-26.

Filiz, Ş., Tarcan, G. and Gemici, U. 2000. Geochemistry of the Germencik Geothermal Fields. Turkey In: Proceedings World geothermal Congress, Kyushu-Tohoku, Japan. 1010-1012.

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

Fournier, R.O, 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. Geothermics. 5, p. 41-50.Fournier, R.O., Potter, R.W., 1979, Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer, Geochimica et Cosm. Acta 43, 1543-1550.

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

Freeze, R.A. and Cherry, J.A. 1979 Groundwater, Practice-Hall, 604 p.

Friedman, I. 1953. Deuterium content of natural water and other substances, Geochim. Cosmochim. Acta, 4, pp. 89-103.

Gemici, U. and Tarcan, G. 2002. Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey, and examples of their environmental impacts, Environmental Geology, 12, 125-132.

Giese, L. 1997. Geotechnische und umweltgeologische Aspektebei der Forderung und Reinjection von Thermalfluiden zur Nutzung geothermischer Energie am Beispiel der Geothermal feldes Kızıldere und des Umfeldes, W.Anatolien/Türkei; Unpubl. Ph.D. thesis, Freie Universitat Berlin, 201 p.

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

Görür, N., Sakına, M., Barka, A. and Akkök, 1995, Miocene to pliocene paleogeographic evolution Turkey and its surroundings. Journal of Human Evolution, 28, 309-324.

Graciansky, P.C. 1972. Menderes Masifi güney kıyısı boyunca görülen metamorfizma hakkında açıklamalar. MTA Dergisi, 64, 88-121.

Güleç, N. 1988. The distribution of helium-3 in Western Turkey. General Diroctorate of Mineral research and Exploration (MTA) Bulletin 108, 35-42.

Güner, İ.N. ve Yıldırım, N. 2005, Jeotermal akışkanlarda paleo-deniz suyunun varlığına bir örnek: Ömerbeyli-Germencik (Aydın) jeotermal sahası, II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu Gümüldür, İzmir. pp. 309-323.

Gürer, O,F. 2007. Ortaklar-Germencik Yöresinin Neotektonik İncelemesi, Tubitak Projesi, Proje kodu: 105Y059, Kocaeli.

Hakyemez, Y.H., Erkal, T. and Göktaş, F. 1999, Late quaternary evolution of the Gediz and Büyük Menderes Grabens, western Anatolia, Turkey. Quaternary Science Reviews, 18, 549-554.

Hem, J.D. 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, USGS Water Supply Paper 2254, US Gov. Print Office, 263p.

Işık, V. and Tekeli, O. 2001. Late orogenic crustal extension in the northern Menderes Massif (western Turkey): evidence for metamorphic core complex formation. International Journal of Earth Sciences 89, 757-765.

Işık, V., Tekeli, O., and Cemen, L. 1997. Mylonitic fabric development alaong a detachment surface in northern Menderes Massif; Western Anatolia, Turkey: Geological Society of America Annual Meeting Abstracts with Programs, V.29, no.6, p. A-220.

Karahan, Ç. 2007. Aydın-Sultanhisar SH-1 ve SH-2 sıcak su sondajları kuyu bitirme raporu. MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No:20958, Ankara (yayımlanmamış).

Karahan, Ç. ve Dönmez H. 2008. Aydın-Umurlu AU-1 sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara (yayımlanmamış).

Karahan, Ç. ve Gökmenoğlu O. 2008. Aydın-Umurlu AU-1 sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara (yayımlanmamış).

Karahan, Ç. ve Güdücü A. 2008. Aydın-Umurlu-Serçeköy ASK-1 sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara (yayımlanmamış).

Karahan, Ç. ve Bülbül, E. 2009. Güneybatı Anadolu jeotermal sahaları geliştirme ve ısı kaynağı aramaları projesi jeotermal jeoloji etüt raporu (hazırlanmakta), Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara (yayımlanmamış).

Karamanderesi, İ.H. 1972. Aydın-Nazilli-Çubukdağ arası jeotermal alan olanakları hakkındaki jeolojik rapor, MTA Genel Müd. Derleme rapor No:5224, Ankara (yayımlanmamış).

Karamanderesi, İ.H. 1994. Aydın-Sultanhisar-Salavatlı jeotermal sahası AS-1 ve AS-2 kuyularının bölgesel değerlendirme raporu, MTA Genel Müdürlüğü Derleme Raporu No: 9956, Ankara, (yayımlanmamış).

Karamanderesi, İ.H. and Helvacı, C. 2003. Geology and hydrotermal alteration of the Aydın-Salavatlı geothermal field, western Anatolia, Turkey. Turkish J.Earth Sci., 12, 175-198.

Keskin, B., 1972, Kızıldere Jeotermal Sahası jeokimyasal analizleri ve üçüncü rezervuar varlığı hakkında rapor, MTA Rapor No:785, 180 s. Ankara (yayımlanmamış).

Koçyiğit, A. 1990. tectonic setting of the Gökova basin; total ofset of the North Anatolian Fault Zone, E Pontide, Turkey. Annales Tectonicae 4, 155-170.

Konak, N., Akdeniz N. and Öztürk, E.M. 1987. Geology of the South of Menderes Massif, IGCP Project no.5. Correlation of Var-iscan and pre-Variscan events of the Alpine Mediternanean mountain belt, field meeting. Min.Res.Expl.Inst., 92, 42-53.

Koralay, E., Satır, M. and Dora, O.Ö. 1998. Geochronologic evidence of Triassic and Precambrian magmatism in the Menders Massif, west Turkey. Third Int. Turkish Geol. Symp., 285-286.

Le Pichon, X. and Angelier, J. 1979. The Aegean arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. Tectonpphysics, 60, 1-42.

McKenzie, D.P. 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: The Aegean Sea and surrounding regions, Geophysic J.R. astr.Soc., 55, 217-254.

McNeely, R.N., Nermanis, V.P. and Dwyer, L. 1979. water quality source book, a guide to water quality parameters, Inland Waters Directorate, Water quality Branch, Ottawa, 88p.

Anonim. 2005, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Envanter serisi. 201, Ankara.

Mutlu, H. and Güleç, N. 1998. Hydrogeochemical outline of thermal water and geothermometry applications in Anatolia Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Res., 85, 495-515.

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, pp 243-258.

Oberhanslı, R., Candan, O., Dora O.Ö. and Dürr, H. 1997. Eclogites within the Menderes Massif, western Turkey. Lithos, 41, 135-150.

Özgür, N. 2002. Geochemical signiture of the Kızıldere geothermal field, Western Anatolia, Turkey. Int. Geol. Rev., 44, 153-163.

Öztürk, A. ve Koçyiğit, A. 1983. Menders grubu kayalarının temel-örtü ilişkisine yapısal bir yaklaşım (Selimiye-Muğla). Geol.Soc.Bull.Turkey, 26, 99-106.

Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 1999, User's guide to PHREEOC (Version 2)-a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, USGS Water Resources Investigation Report 99-4259, 312p.

Payne, B. ve Dinçer, T. 1965, Isotope survey of Karst Region of Southern Turkey, Proc. Of Sixth Int. Conference of Radiocarbon and tritium Dating, IAEA, Publ.

Reischmann, T., Kroner, A., Todt, W., Dürr, S. and Şengör, A.M.C. 1991. Episodes of crustal growth in the Menderes Massif, W Turkey, inferred from zircon dating. Terra Abstracts, 3, 35.

Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R. and Gressi, K. 2003. Tectonic denutaion of a Late Cretaceous. Tertiary collisionabelt: regionally synmtric cooling patterns and their relation extensional faults in the Anatolide belt of extensional faults in the Anatolide belt of Western Turkey. Geol. Mag. 140, 421-441.

Sahinci, A. 1991a, Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. D.E.Ü. Müh.- Mim.

Sarıız, K. 1976. Aydın-Umurlu bölgesinin jeolojisi ve jeotermal alan olanaklarına ilişkin ön rapor, MTA Derleme Rapor No:5677, Ankara (yayımlanmamış).

Satır, M. and Friedrichsen, H. 1986. The origin and evolution of the Menderes Massif, W Turkey: a rubidium/strontium and oxygen isotope study. Geol. Rundsch., 75, 703-714.

Schuiling, K.D. 1962. On the petrology, age and structure of the Menderes migmatites complex (SW Turkey). Min.Res.Exp.Inst. Turkey Bull. 58, 71-84.

Seyitoğlu, G. and Scott, B. 1991. Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. Geological Magazine.128-2:156-166.

Seyitoğlu, G. and Scott, B. 1992. The age of the Büyük Menderes Graben(west Turkey) and its tectonic implications. Geol. Mag. 129, 239-242.

Seyitoğlu, G., Işık, V. and Çimen, İ.. 2004. Complete tertiary exhumation history of the Menderes Massif, Western Turkey: an alternative working hypothesis, 10.1111/j. 1365-3121.

Sözbilir, H. 2001. Nazilli ve dolayının (BMG) genç tektoniği Büyük Menderes Depremleri Jeofizik Toplantısı, 54-61.

Sözbilir, H. 2001. Nazilli ve dolayının (Büyük Menderes Grabeni) genç tektoniği. Büyük Menderes Depremleri Jeofizik Toplantısı, 54-61.

Şahin, H. 1985. Aydın-Sultanhisar-Salavatlı jeotermal enerji aramaları rezistivite etüdü raporu, MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 7921, Ankara (yayımlanmamış).

Şengör, A.M.C. 1979. Post collisional tectonics of Turkish-Iranian plateau and a comprasion with Tibet. Tectonophysics, 55, 361-376.

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

Şengör, A.M.C., Satır, M., and Akkök, R. 1984. Timing of the tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. Tectonics, 3, 693-707.

Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and basin formation in zones of tectonic escape : Turkey as a case study. In: Biddle, K.T., Christie-Blick, N.(Eds.), Strike-slip Faulting and Basin Formation, vol. 37. Soc.Econ.Petrol.Spec.Publ.,Tulsa,pp.227-264.

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

Şimşek. Ş., Karamanderesi, İ.H., Yılmazer, S., Eşder, T., Erişen, B., Keskin, B., Öngür, T., Yüksel, V., Suludere, Y., Kastelli, M., Özbayrak, İ.H., Uğurlu, A., Şimşek, Z., Sarıiz, K., Uysallı, H., Uygur, N. ve Coşkun, B. 1979. Aydın-Denizli jeotermal alanları. MTA Arşiv No:370077, Ankara (yayımlanmamış).

Şimşek, S., Uygur, N., Özbayrak, İ:H., Coşkun, B., Dikmenoğlu, T. ve Aras, A. 1980. Aydın (Germencik-Söke) alanının jeotermal enerji olanakları, Tubitak 10. Bilim kongresi, 251-264, Kuşadası.

Şimşek, Ş. 1985. Geothermal Model of Denizli, Sarayköy-Buldan Area, Geothermics, 14(2/3), 393-417.

Şimşek, Ş. 2003. Hydrogeological an isotopic survey of geothermal fields in the Büyük Menderes Graben, Turkey. Geothermics, 32, 669-678.

Tarcan, G. 2005. Mineral saturation and scaling tendencies of waters discharged from wells (>150^{0}C) in geothermel areas of Turkey, Journ. Of Volc. And Geoth. Res., 142, 263-283.

Tonani, F. 1980, Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Adv.Eur.Geoth.Res.Secpnd 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.

Anonim. 1997. Türk Standartları ; İçme Suları, TS 266, Ankara.

Anonim. 2005. Türk standartları Enstitüsü, İçme suları standartları No:226, Ankara.

Unterweger, M.P. and Lucas, L.L. 2000. Calibration of the national institute of standards and technology tritiated water standards, Applied Radiation and isotopes, USA.

Üçer, A. ve Ak, M. 2004. Aydın-Salavatlı sahası jeotermal enerji aramaları CSAMT etüt raporu, MTA Genel Müdürlüğü derleme Rapor No: 10726, Ankara (yayımlanmamış).

Vengosh, A., Helvacı, C. and Karamanderesi, İ.H. 2002. Geochemical consantrains for the origin of thermal waters from Western Turkey. Applied Geochemistry, 17, 163-183.

Verge, N.J. 1993. The exhumation of the Menderes Massif metamorfic core complex of western Anatolia. Terra Abstracts 5, 249.

WHO, 1993. Drinking water standarts, in Engineerig Geology and Environmental

Yaman, D. 2005. Menderes Masifi Kıtasal Rift Zonlarında yer alan jeotermal sulardaki yüksek bor değerlerinin kökeni, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

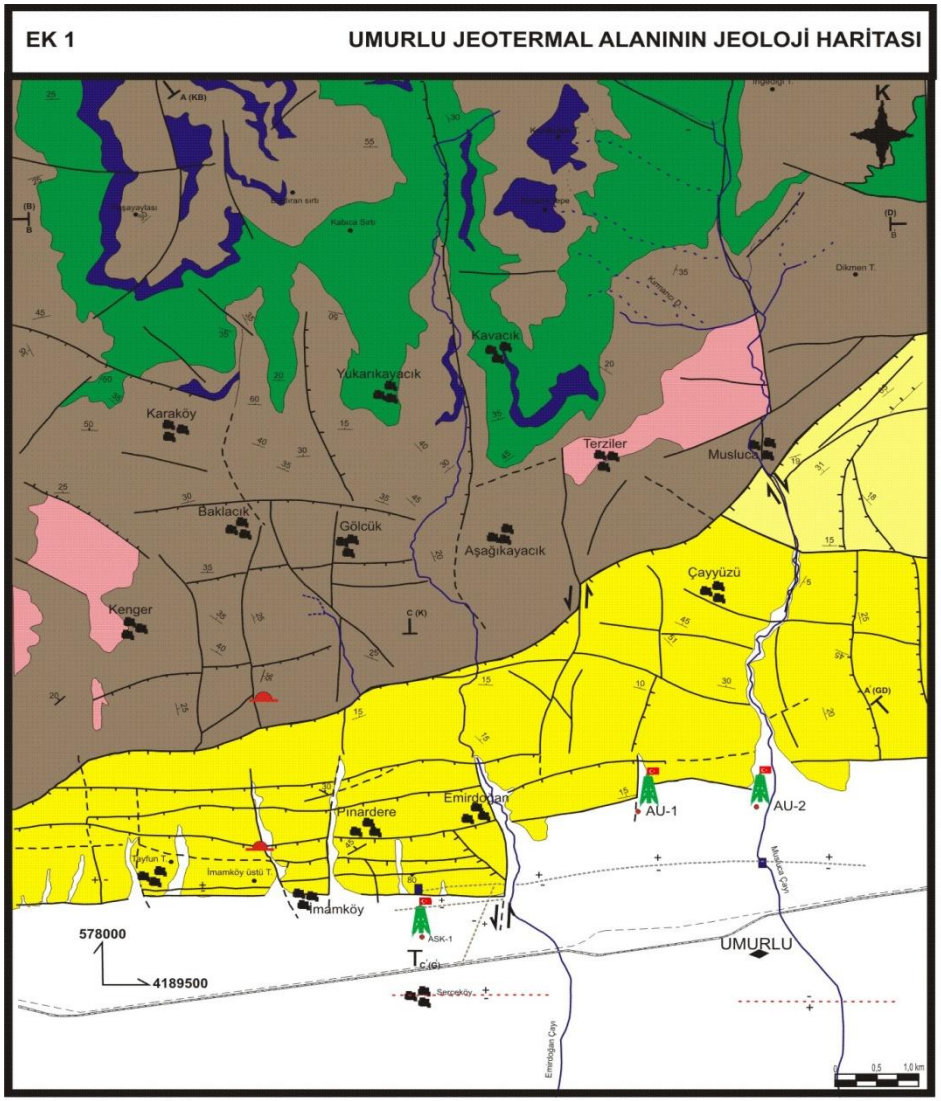
Yamashita, M. 1987. Software and hardware design of Controlled Source Audio-frequency Magnetotelluric (CSAMT) system and test survey: Phoenix Geophysics Limited company report, 43 p.

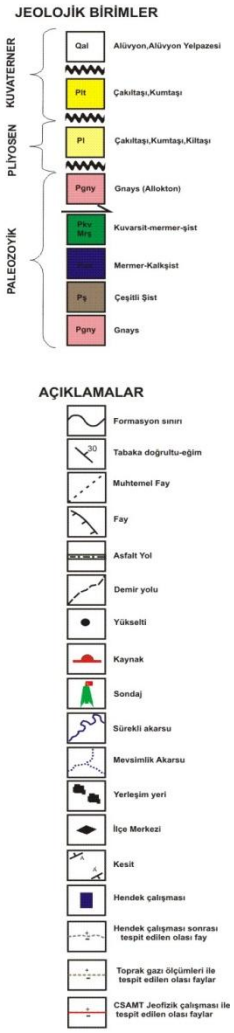
Yüksel, V. 1971. Söke-Germencik bölgesinin jeolojisi ve jeotermik olanakları, MTA. Ankara (yayımlanmamış).

EKLER

EK 1 Umurlu Jeotermal Alanının Jeoloji Haritası
EK 2 Umurlu Jeotermal Alanının Jeolojik Kesitleri
EK 3 Umurlu Jeotermal Alanının Hidojeoloji Haritası
EK 4 Umurlu Jeotermal Alanının Hidrojeolojik Kesitleri
EK 5 Umurlu Jeotermal Alanının Hidrotermal Kavramsal Modeli

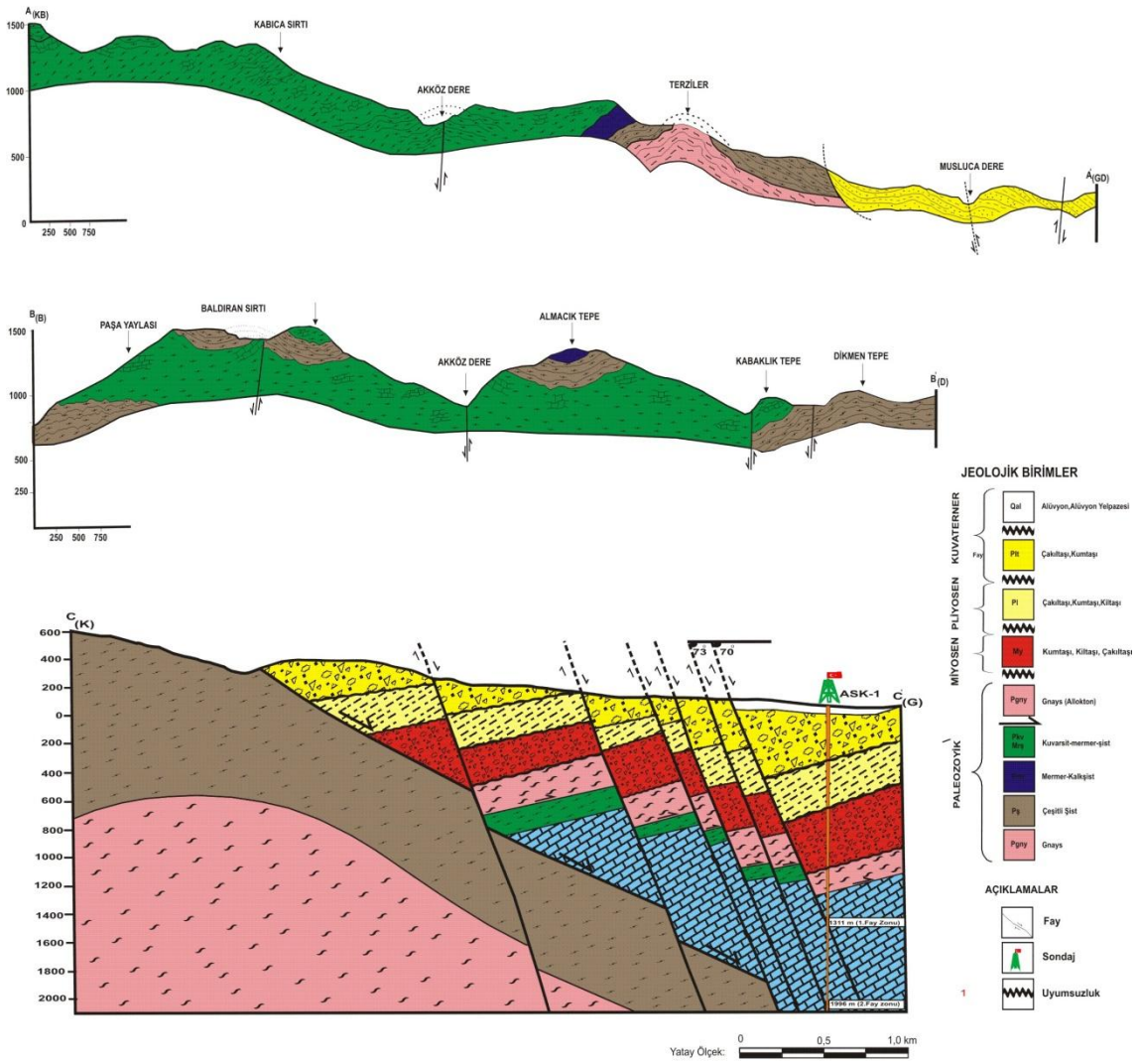
EK 1 **UMURLU JEOTERMAL ALANININ JEOLOJİ HARİTASI**



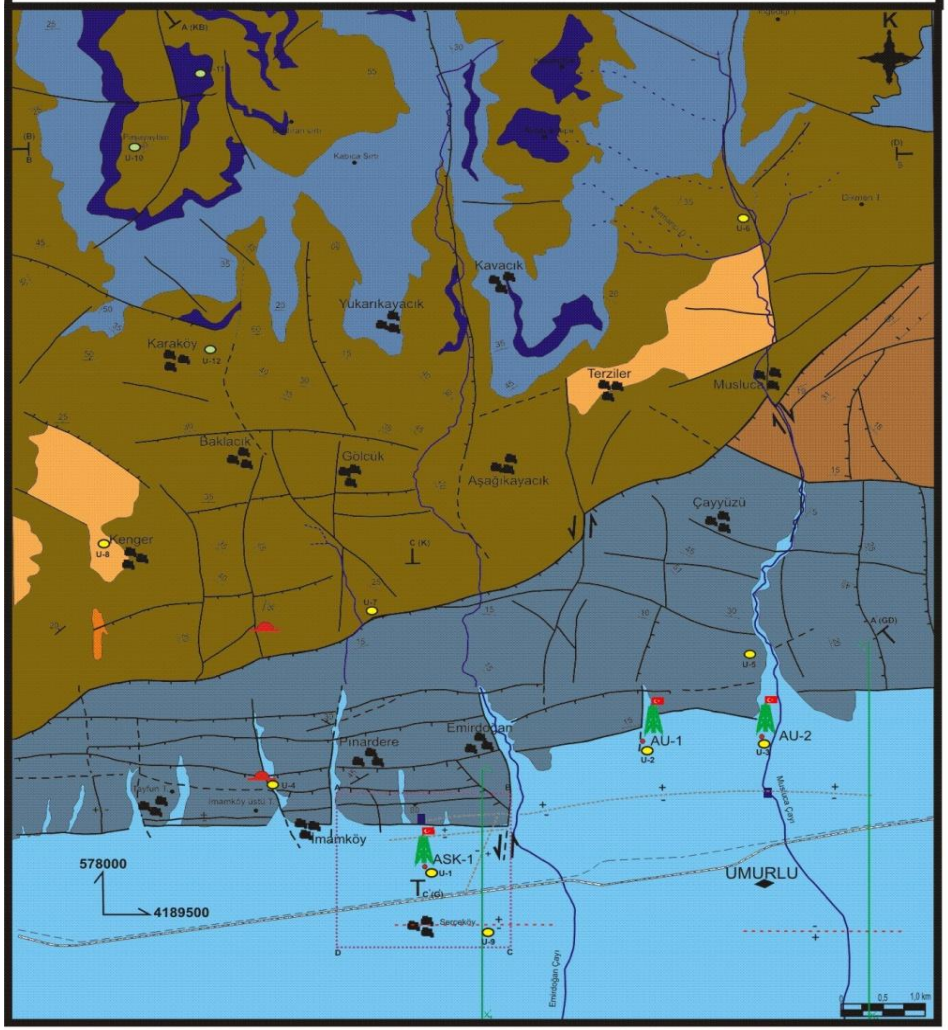


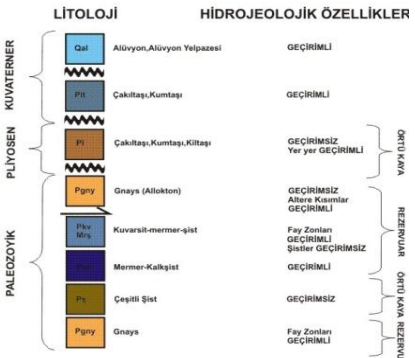
Sarıız (1972), Şimşek vd. (1979) ve Karahan, Ç., Bülbül, E., (2009) dan yararlanılmıştır

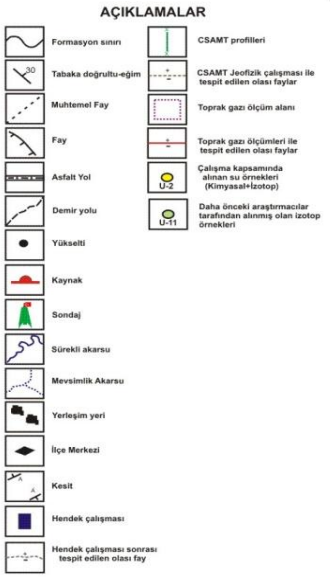
EK 2 **UMURLU JEOTERMAL ALANININ JEOLOJİK KESİTLERİ**



EK 3 **UMURLU JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLOJİ HARİTASI**

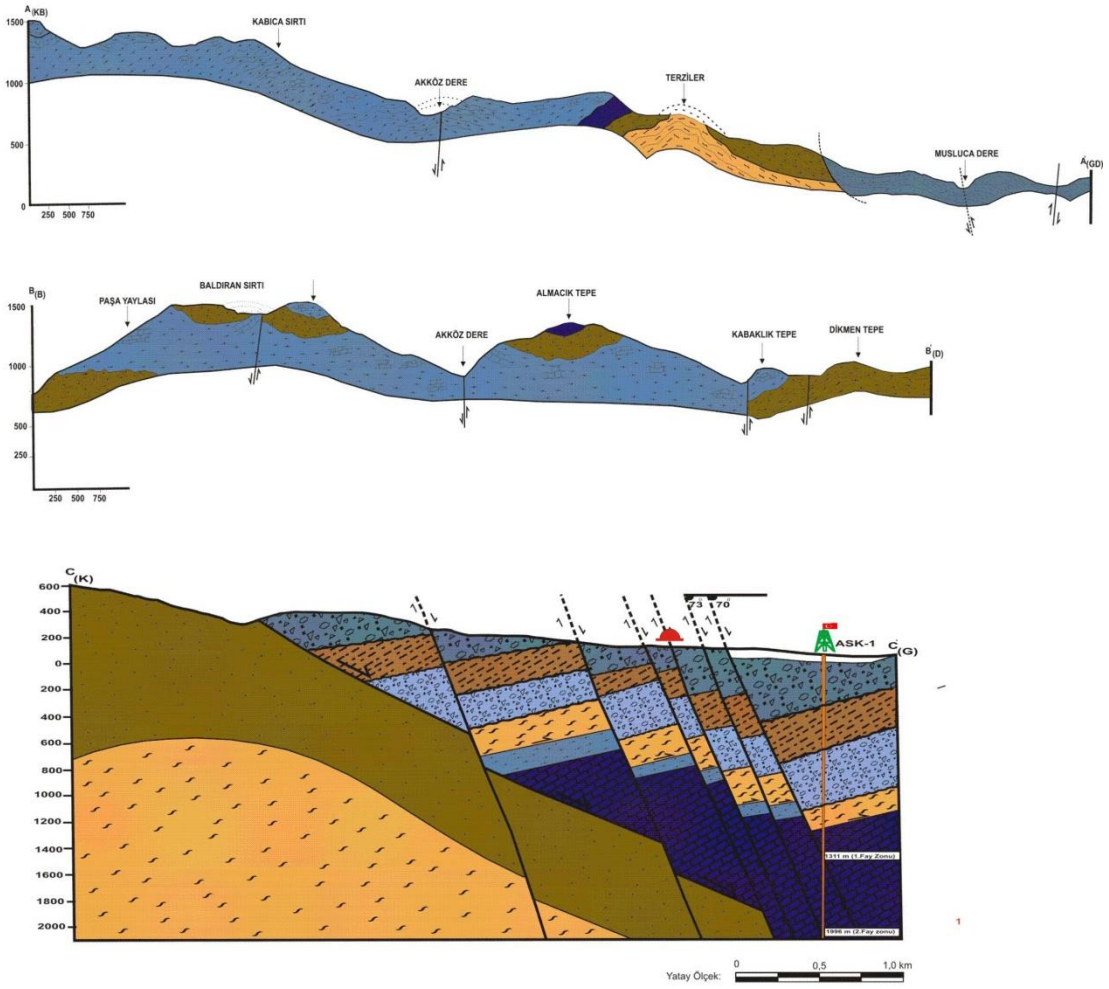




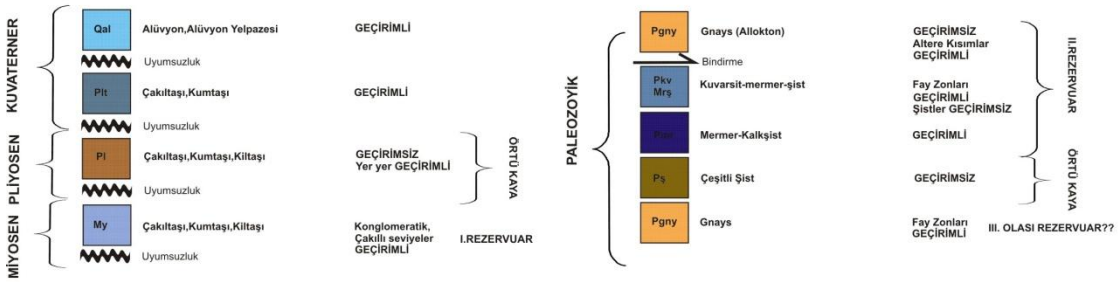


Sarıız (1972), Şimşek vd. (1979) ve Karahan, Ç., Bülbül, E., (2009) dan yararlanılmıştır

UMURLU JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLOJİ KESİTLERİ (EK-4)

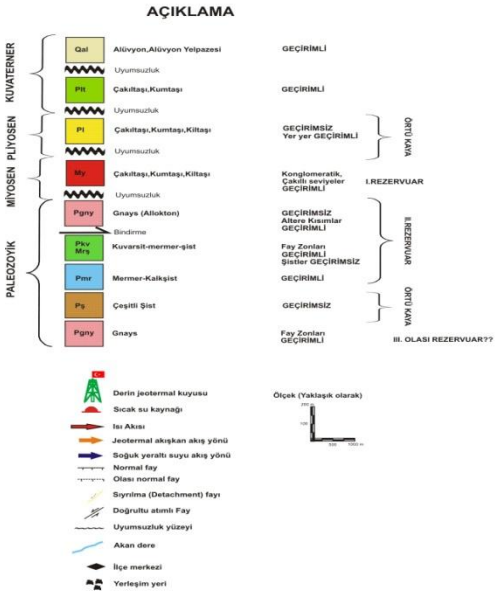


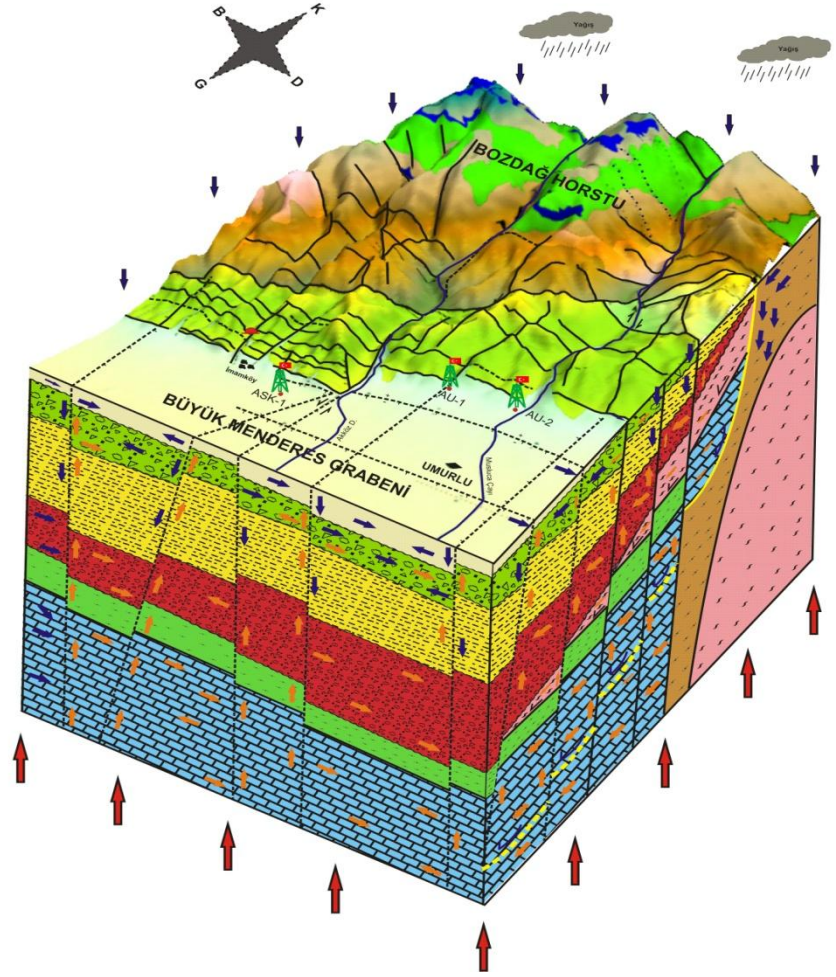
AÇIKLAMA



EK 5

UMURLU JEOTERMAL ALANININ HİDROTERMAL KAVRAMSAL MODELİ





ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Engin BÜLBÜL

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 02/08/1980

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Aydınlıkevler Lisesi (1997)

Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2003)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitisü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (Ocak 2010)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

MTA Genel Müdürlüğü (26.12.2004-)