

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BALÇOVA JEOTERMAL SAHASI’NIN
HİDROTERMAL ALTERASYON VERİLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ

Mine ALACALI

Haziran, 2006

İZMİR

BALÇOVA JEOTERMAL SAHASI'NIN HİDROTERMAL ALTERASYON VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ekonomik Jeoloji Anabilim Dalı

Mine ALACALI

Haziran, 2006

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Mine ALACALI tarafından **Prof. Dr. M. Yılmaz SAVAŞÇIN** yönetiminde hazırlanan **“BALÇOVA JEOTERMAL SAHASI’NIN HİDROTERMAL ALTERASYON VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. M. Yılmaz SAVAŞÇIN

Danışman

Doç. Dr. Kadriye ERTEKİN

Yrd. Doç. Dr. Tolga OYMAN

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde ve yönlendirilmesinde yardımcı olan danışmanım Sayın Prof. Dr. M. Yılmaz SAVAŞÇIN'a, eski karotlardan örnek alımında, kuyu logları ve raporlara ulaşımındaki yardımlarından dolayı Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Ankara Genel Müdürlüğü'ne ve Ege Bölge Müdürlüğü'ne, İzmir Jeotermal A.Ş.'ye, petrografik analizlerin incelenmesinde ve fotoğraflanmasındaki yardımlarından dolayı Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. İsmet ÖZGENÇ'e ve Yrd.Doç.Dr. Tolga OYMAN'a, eleştiri ve katkılarından dolayı Sayın Dr. Servet YILMAZER'e ve MTA Ankara Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi'nden Sayın Ali İhsan Gevrek'e, desteklerinden dolayı Sayın Doç.Dr. Gültekin TARCAN'a, sabır ve anlayışlarından dolayı aileme teşekkür eder, bu çalışma uğruna vazgeçtiklerimden özür dilerim.

Mine ALACALI

BALÇOVA JEOTERMAL SAHASININ HİDROTERMAL ALTERASYON VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZ

Çalışma alanı İzmir'in 10 km batısında bulunan Balçova Jeotermal Alanı ve çevresini kapsamaktadır.

Bölgede litolojik istif, alttan üste doğru, Üst Kretase yaşlı İzmir Flişi, Miyosen yaşlı kireçtaşı, konglomera, kumtaşı üyelerinden oluşan Yeniköy Formasyonu, Pliyosen yaşlı aglomera-tüf, andezit ve riolitlerden oluşan Cumaovası Volkanitleri, Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyon şeklindedir.

Balçova Jeotermal Sahası ülkemiz için oldukça önemli bir saha olduğundan, daha önce pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Tüm bu çalışmaların incelenmesi bu teze de ışık tutmuştur. Balçova Jeotermal Sahası'nın yapısal, hidrojeolojik, jeokimyasal özellikleri irdelenerek, jeotermal potansiyel ile ilişkileri araştırılmıştır. Sahada bulunan derin sıcak su kuyularından sıcak su örnekleri alınmış ve Aquachem 3.70 adlı bilgisayar programından elde edilen grafiklerin yardımı ile suların sınıflaması yapılmıştır. Sıcak su kuyularının kuyu logları incelenerek, uygun görülen derinliklerden kırıntılar alınmış, alınan bu kırıntı örnekler petrografik yönden ve hidrotermal alterasyon yönünden incelenmiştir. Bu aşamalar sonucunda sahada montmorillonit + kaolinit zonu (100-150⁰C), geçiş zonu (150-200⁰C) ve klorit + illit zonu (200-250⁰C) belirlenmiştir. Belirlenen bu zonlar daha önce sığ kuyulara yönelik yapılan hidrotermal alterasyon çalışmaları ile de uyum göstermektedir. Örneklerle kimyasal jeotermometreler uygulanarak, 240⁰C'ye varan sıcaklıklar elde edilmiştir. Tüm veriler korole edilerek çizilen hidro-isoterm haritası ile sahanın olası jeotermal potansiyel sınırları, sahadan alınabilecek en yüksek sıcaklık ve jeotermal sahanın uzanımı yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Balçova, jeotermal, hidrotermal alterasyon, jeotermometre.

THE ASSESSMENT OF HYDROTHERMAL ALTERATION DATA OF THE BALÇOVA GEOTHERMAL

ABSTRACT

The studied area, Balçova Geothermal Field, is located 10 km western part of İzmir.

The lithology in the field, from oldest to youngest, are the Upper Cretaceous İzmir Flysch, Miocene aged Yeniköy Formation consist of sandstone, claystone and limestone, Pliocene aged Cumaovası Volcanites consist of agglomerates, tuff, andesites and rhyolites, Quaternary alluvium and debris flows.

Balçova Geothermal Field is a very important field in our country and has been studied by so many researchers and scientists. All these studies have also guided this thesis. By examining the structural, hydrogeological, geochemical properties of the Balçova Geothermal Field, the relationship between these and geothermal potential of the field has been searched. Hot water samples have been taken from the deep wells present in the Balçova Geothermal Field. The analysis of the samples have been run in the computer program named “Aquachem 3.70” and classified by the diagrams obtained. After examining the well-logs of the several deep wells, cutting samples and well-cores have been taken from the appropriate levels and have been studied by the means of petrology and hydrothermal alteration. As a result; 3 zones have been determined in the field. These are; montmorillonite + kaolinite zone (100-200°C), transition zone (150-200°C) and chlorite + illite zone (200-250°C). The determined zones match with the former shallow well alteration studies. By applying the chemical geothermometers to the samples, maximum 240°C of a temperature is obtained. Using the hydro-isotherm map of the field, drawn by correlating the whole data, possible geothermal boundary, possible maximum temperature and extension of the geothermal field have been interpreted.

Key Words: Balçova, geothermal, hydrothermal alteration, geothermometer

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
BÖLÜM İKİ – COĞRAFİ DURUM	3
BÖLÜM ÜÇ – ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
BÖLÜM DÖRT – JEOLJİ.....	11
4.1 Stratigrafi	11
4.1.1 Mesozoik-Üst Kretase.....	11
4.1.1.1 İzmir Flişi (Krif)	12
4.1.2. Senozoik-Miyosen	12
4.1.2.1. Yeniköy Formasyonu (Yf).....	12
4.1.3 Pliyosen.....	13
4.1.3.1 Cumaovası Volkanitleri	16
4.1.4. Kuvaterner.....	16
4.1.5. Yamaç Molozu	16
4.1.6. Alüvyon.....	16
4.2 Yapısal Jeoloji.....	17
4.2.1. Tabakalanma, Kıvrımlar	21
4.2.2. Faylar ve Depremsellik	21

BÖLÜM BEŞ – JEOFİZİKSEL ÇALIŞMALAR..... 26

BÖLÜM ALTI – HİDROJEOLOJİ..... 29

6.1 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri	29
6.1.1 İzmir Flişi	29
6.1.2 Yeniköy Formasyonu	30
6.1.3 Cumaovası Volkanitleri	30
6.1.4 Yamaç Molozu ve Alüvyon	30
6.2 Soğuk Su Kaynakları	30
6.3 Çalışma Alanında Açılan Sıcak Su Kuyuları Hakkında Bilgi	31

BÖLÜM YEDİ – JEOTERMAL ENERJİ..... 38

7.1 Giriş.....	38
7.2 Dünyada Jeotermal Enerji	39
7.3 Türkiye’de Jeotermal Enerji.....	40
7.4 Çalışma Alanında Sıcak Suların Oluşumu	43
7.5 Sıcak Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	47
7.5.1 Klorürlü Sular	47
7.5.2 Asit Sülfatlı Sular	48
7.5.3 Bikarbonatlı Sular	48
7.6 Balçova Jeotermal Alanı’nda Bulunan Sıcak ve Soğuk Suların Kimyasal Özellikleri ve Sınıflandırılmaları	50
7.7 Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması.....	57

BÖLÜM SEKİZ – JEOTERMOMETRELER..... 59

8.1 Giriş.....	59
8.2 Kimyasal Jeotermometreler	59
8.2.1 Silis Jeotermometreleri	60
8.2.2 Na/K, Na/Li, K/Mg, Na-Ca Jeotermometreleri.....	62
8.2.2.1 Balçova Jeotermal Sahası’nda Jeotermometre Uygulamaları.....	64

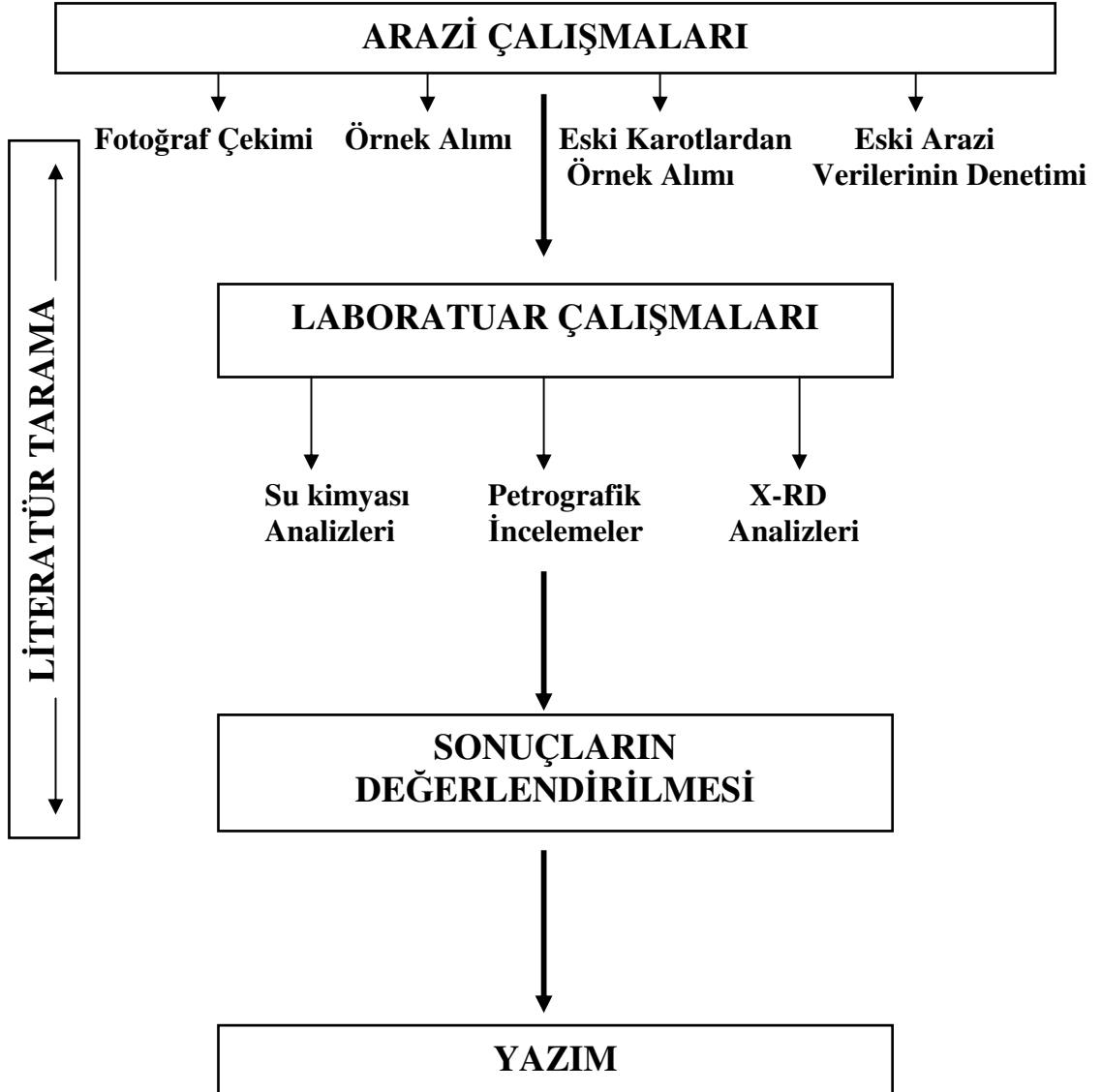
BÖLÜM DOKUZ – HİDROTHERMAL ALTERASYON.....	68
9.1 Giriş.....	68
9.2 Hidrotermal Alterasyon Oluşum ve Neden Olan Etmenler	69
9.3 Hidrotermal Alterasyon Mineralleri.....	70
9.4 Hidrotermal Alterasyonun Yoğunluğu ve Derecesi.....	72
9.5 Hidrotermal Alterasyonun Oluşum Türleri.....	72
9.5.1. Doğrudan Çökelme	72
9.5.2 Ornatım (Yer Değiştirme).....	73
9.5.3 Kimyasal Çözüldürme (Leaching)	73
9.5.4 Püskürmeler	74
9.6 Hidrotermal Alterasyonun Ana Kayaca Etkisi.....	74
9.6.1 Kimyasal değişimler	74
9.6.2 Fiziksel Değişimler.....	76
9.6.2.1 Yoğunluk.....	76
9.6.2.2 Gözeneklilik ve Geçirgenlik	76
9.6.2.3 Mıknatıs Özelliği	77
9.6.2.4 Direnç.....	77
9.6.2.5 Mineralojik değişimler.....	77
9.7 Alterasyon Minerallerinin Saptanmasında Kullanılan Yöntemler	80
9.7.1 X-Ray Difraktometre Cihazının Çalışma Prensibi.....	80
9.7.2 Balçova Jeotermal Alanı'nda Daha Önce Yapılan Hidrotermal Alterasyon Çalışmaları	82
9.7.3 Yapılan Hidrotermal Alterasyon Çalışmaları	84
9.7.4 Çalışma Alanından Alınan Örneklerin Petrografik Analiz Sonuçları	86
9.7.5 Çalışma Alanından Alınan Örneklerin X-Ray Difraktometre Sonuçları	90
9.7.6 Önceki yapılan sığ kuyu alterasyon verileri ile bu çalışmada yapılan derin kuyu alterasyon verilerinin irdelenmesi	102

BÖLÜM ON – SONUÇLAR	104
KAYNAKLAR	108
LEVHALAR	116
EKLER.....	123
Ek-1 - Kuyu Logları	124
Ek.1-A. BD-6 Kodlu kuyunun logu.....	125
Ek.1-B. BD-7 Kodlu kuyunun logu.....	126
Ek.1-C. BD-8 Kodlu kuyunun logu.....	127
Ek.1-D. BD-9 Kodlu kuyu logu.....	128
Ek.1-E. BD-10 kodlu kuyunun logu.....	129
EK-2 Kuyuların Sıcaksu Ve Maden Suyu Analiz Formları	130
Ek.2-A. BD-9 kodlu kuyunun kimyasal analiz sonuçları	131
Ek.2-B. BD-10 kodlu kuyunun kimyasal analiz sonuçları	132
Ek-3 X-Ray Difraktometre Analiz Sonuçları.....	133
Ek.3-A. BD-6 kodlu kuyunun 340-360 m ve 530-550 m’den alınan örneklerin X-Ray Difraktogramları.....	134
Ek.3-B. BD-8 kodlu kuyunun sırasıyla 139-140m, 321-322m, 415-416m, 454-456m, 498-500m, 530-532m, 535-536m, 539-540m, 541m’den alınan örneklerin X-Ray Difraktogramları	135
Ek.3-C. BD-9 kodlu kuyunun 292m, 320m, 380m, 426m, 486m, 540m ve 550m’den alınan örneklerin X-Ray Difraktogramları.....	137
Ek.3-D. BD-10 kodlu kuyunun 75m, 80m, 125m, 219m, 220m, 320m’den alınan örneklerin X-Ray Difraktogramları.....	138
Ek.3-E. Baraj Yolu üzerinden alanın örneğe ait X-Ray Difraktogramı	139

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

Yüksek lisans tezi olarak yapılan bu çalışmada, Balçova kaplıcaları ve çevresinin stratigrafisi, yapısal konumu incelenmiş, hidrojeolojik yönden bölgede bulunan soğuk ve sıcak su kaynakları, bu kaynakların özellikleri ve jeotermal sistem ile olan ilişkileri araştırılmış ve alterasyon mineralojisi incelenerek değerlendirilmiştir. Çalışma alanı İzmir- L18A₁-1, L18A₄-1, L17B₂-1 ve L17B₃-1 paftaları içerisinde yer almaktadır ve kuzeyde İzmir Körfezi, güneyde Efem Çukuru Köyü ve Karabelen Tepe, doğuda Buca ve Konak ilçeleri, batıda Narlıdere ilçesi ile sınırlıdır. Çalışmada izlenen yöntemler aşağıda akış şemasında verilmektedir.



Çalışmada, önceden yapılmış olan sıcak su sondajlarının kuyu logları incelenerek, alterasyona rastlanması düşünülen seviyeler belirlenmiş ve bu seviyelerden gerek kırıntı gerekse karot örnekler alınmıştır. Daha sonra bu karotlardan ince kesitler yaptırılarak, petrografik incelemede bulunulmuş, kırıntılar ise öğütülerek X-RD analizleri yaptırılmıştır. Aynı zamanda sahada daha önceden yapılan arazi çalışmaları da incelenmiştir. Maden Tetkik Arama Enstitüsü tarafından “Balçova Jeotermal Koruma Alanları Etüt Raporu” hazırlanması aşamasında sıcak ve soğuk su örnekleri alınmış ve kimyasal analizleri yaptırılmıştır. Analizlerin bir kısmı ise arazi laboratuvarında Kimya Mühendisi Nazım Yıldırım ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çeşitli tarihlerde gerçekleştirilen arazi gezilerinde fotoğraf çekimi, numune alımı işlemleri de yürütülmüş, bazı noktalarda alterasyon ürünü olduğu düşünülen oluşumların mevsimsel olarak devamlılığı izlenmiştir.

BÖLÜM İKİ

COĞRAFİ DURUM

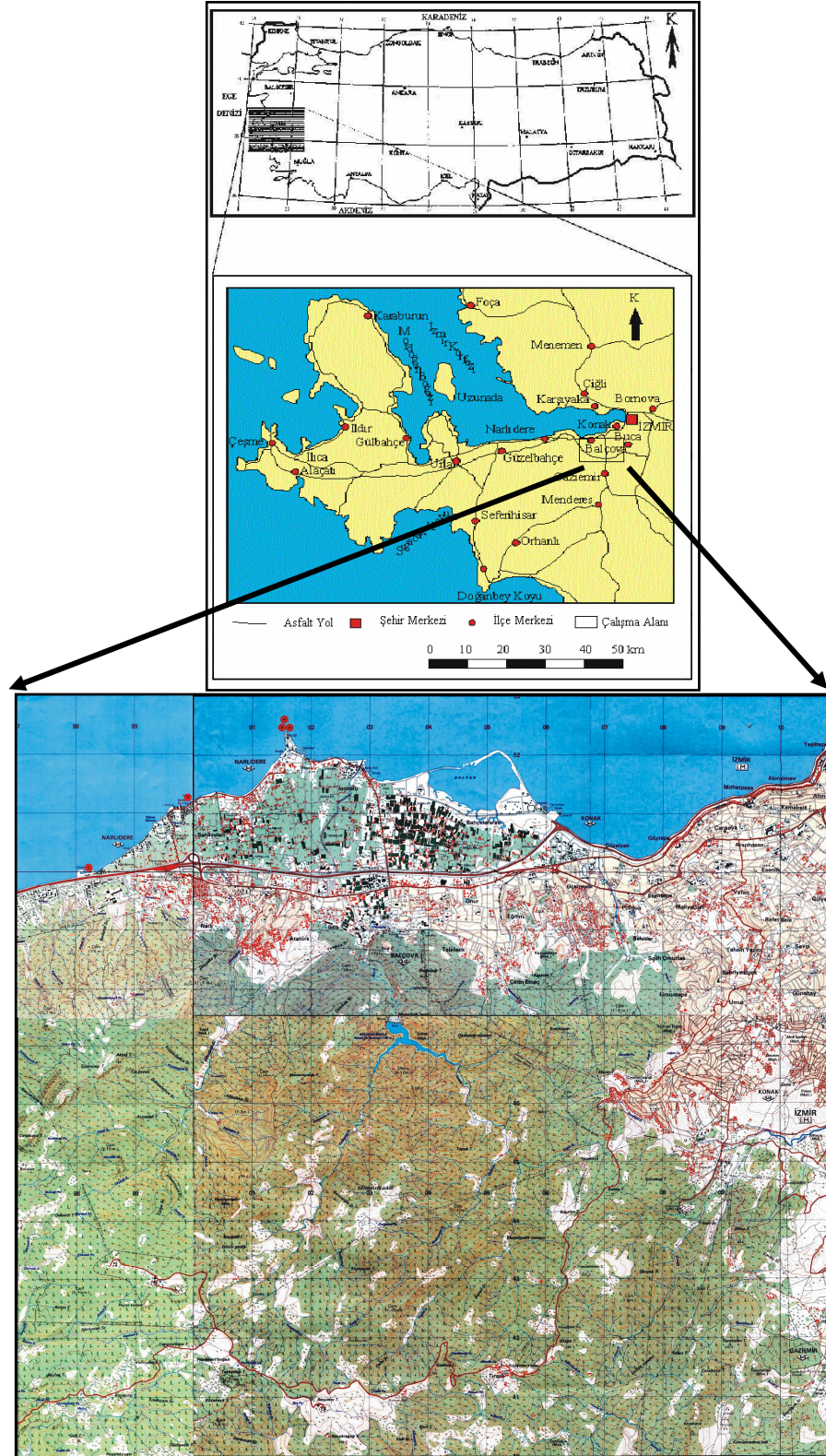
Çalışma alanı İzmir il merkezi Konak İlçesi'nin yaklaşık 10 km batısında bulunan Agamemnon Kaplıcaları ya da Agamemnon Ilıcaları olarak bilinen bölgeyi ve civarını kapsamaktadır (Şekil 1). Yüzölçümü 29 km² olan Balçova'da bulunan yükseltiler Karabelen Tepe (1040 m), Ardıçlı Tepe (1020 m), Çataalkaya Tepesi (888m)'dir. Ali Onbaşı Deresi, Ilıca Deresi, Hacı Ahmet Deresi, Yahya Deresi ve Sarıpınar Deresi de bölgenin akarsularını oluşturmaktadır. Bu akarsulardan ilk üçü mevsimsel akış göstermektedir. Bölge Ege Bölgesi'nin tipik Akdeniz iklimi etkisi altındadır. İzmir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nün Balçova ve çevresine ait 1938–2005 yılları arasındaki sıcaklık ve düşen yağış miktarına ilişkin verileri aşağıdaki tabloda sunulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Balçova ve çevresine ait 1938–2005 yılları arasındaki sıcaklık ve düşen yağış miktarı

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Ort.
T (°C)	8,7	9,3	11,3	15,6	20,6	25,3	27,7	27,3	23,4	18,7	14,0	10,4	17,7
Yağış (kg/m ²)	130,2	98,5	74,4	45,2	30,7	7,7	2,0	2,6	11,4	38,0	94,4	150,9	686,0

Ilıca Deresi üzerinde kurularak, maksimum göl hacmi 8.1hm³ ile 1979 yılında hizmete sunulmuş olan Balçova Cengiz Saran Barajı yıllık ortalama 12.4 hm³'lük su akışına sahip ve bölgenin önemli hidrolojik yapılarından birisidir (Şekil 2). İzmir İçme Suyu Projesi kapsamındaki barajın arıtma tesisi 1984 yılında işletmeye alınmış olup, İzmir ili içme suyu ihtiyacının karşılanmasında önemli bir rolü bulunmaktadır. Balçova ilçesinde, büyük bir bölümü sınırları içerisinde bulunan jeotermal kaynaklar nedeniyle seracılık yaygındır. Özellikle süs bitkisi yetiştiren seralardan yurt dışına çiçek ihracatı yapılmaktadır. Endüstriyel anlamda çok önemli işletmeleri bulunmayan ilçenin ekonomisine bölgede bulunan otellerin ve alışveriş merkezlerinin katkısı büyüktür. Günümüzde konut ısıtması, seracılık, sağlık amaçlı turizm gibi çeşitli alanlarda kullanılan jeotermal potansiyelin yanı sıra, sınırları

içerisinde bulunan Dokuz Eylül Üniversitesi Hastanesi ve Ekonomi Üniversite de ilçe ekonomisine canlılık kazandırmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Haritadan da görüleceği gibi (Şekil 1), ilçenin güney kesiminin engebeli olmasından dolayı yerleşim merkezi kuzeyde, Balçova Ovası'nda yer almaktadır. Yapımı yeni tamamlanan çevre yolu sayesinde Adnan Menderes Havaalanı'na 15 dakikalık bir uzaklıkta bulunan ilçenin karayolu açısından herhangi bir sorunu bulunmamaktadır. Ayrıca Üçkuyular Vapur İskelesi ve 6 km'lik sahil şeridinin sonunda yer alan yat limanı ile de deniz ulaşımı sağlanmaktadır.



Şekil 2. Balçova Cengiz Saran Barajı (DSİ, 2005)

BÖLÜM ÜÇ

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnceleme alanı gerek ekonomik gerekse turistik anlamda ülkemizin önemli bir jeotermal sahası olduğu için, jeotermal enerjinin önemi fark edildiği ve sıcak su sondajlarının başladığı yıllardan itibaren pek çok özel ve tüzel kişilik bu alanda incelemelerde bulunmuştur. Bu araştırma ve çalışmalardan değinilen bazıları aşağıda verilmiştir.

Serruya, (1962), sahada yaptığı hidrojeolojik etütlere dayanarak Agamemnon Ilıcasının bulunduğu yerden geçen doğu-batı uzanımlı bir fay olduğunu belirtmiştir.

Akartuna, (1962), İzmir-Torbalı ve Seferihisar civarında yaptığı çalışmalarda, Paleozoik metamorfik temelin üzerinde Üst Kretase filiş biriminin bulunduğu belirtilmiştir. Miyosen yaşlı kumlu, killi, çakıllı birimlerin uyumsuz olarak geldiği ve bunların paleontolojik bulguları ile yaş saptaması yapılmıştır.

Tezcan, (1962), İzmir Agamemnon Jeofizik Etüdlerinin Jeotermik Enerji Bakımından Değerlendirilmesi başlıklı raporunda kaplıca suyu ile soğuk alüvyon suyu arasında 1/7 oranında bir rezistivite kontrastını saptayarak, kaplıca suyunun içinde bulunduğu ortamın rezistivitesini düşürdüğünü belirtmektedir. Araştırmacı, rezistivite değerlerinin minimum olduğu seviyelerin kaplıca suyunun en sıcak ve henüz karışıma uğramamış olduğu bölgeler olduğunu belirtmektedir.

Şamilgil, (1964), İzmir Agamemnon Kaplıcaları'nda yapılan sondajlarda görev almış ve yapmış olduğu hidrojeolojik incelemeler sonucunda, alüvyon tabanında yer alan sıcak suların şistlerden gelen sularla, yüzey sularının karışımı olduğunu ileri sürmüştür. Bu raporda S-1 kodlu sıcak su kuyusundan 40 m derinlikte kuyu tabanında 124⁰C sıcaklık elde edildiği belirtilmektedir.

Öngür, (1972), İzmir-Urla çevresinde yaptığı incelemelerde gözlenen birime İzmir Filişi adını vermiş ve bu birimin üyelerini alttan üste doğru; Karabelen gnays üyesi, Kavacık kuvarsit üyesi, Efemçukuru üyesi, Gödence kaba filiş üyesi, Kaya arkoz üyesi olarak ayırtlamıştır.

Eşder ve Şimşek (1975), İzmir filişini sınırlarının kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı faylarla sınırlandırarak, İzmir-Seferihisar-Cumaovası civarındaki birimleri Paleozoik yaşlı kristalin şist ve mermerler, metamorfiklerin üzerine uyumsuz olarak gelen Üst Kretase yaşlı İzmir Filişi ve tabanda yeşil şist fasiyesi, Yeniköy formasyonu ve bu formasyonu uyumsuz olarak üstleyen Cumaovası volkanitleri şeklinde ayırtlamışlardır.

Yılmaz ve diğ. (1977), İzmir Agamemnon jeotermal sahasında yaptıkları araştırmalarda, sıcak suyun kimyasal analizlerine uyguladıkları jeotermometrelerden 108°C ile 150°C arasında değişen değerlere ulaşmışlar ve bu sıcaklıkların düşük değerler olmasını sahada sıcak sulara yüzeysel su karışımının olduğu şeklinde yorumlamışlardır. İlk kez bu çalışmada bölgede bulunan fayların adı Agamemnon Fayı-I ve Agamemnon Fayı-II olarak anılmıştır.

Yılmaz, (1981), Balçova jeotermal sahasının termal kapasitesi ve kullanımı hakkında çalışmalar yapmıştır. Araştırmacı, 1984'de yaptığı yüksek lisans çalışmasında ise, jeotermal sahada sıcak su çıkışını sağlayan fayları Agamemnon-I ve Agamemnon-II fayı olarak adlandırmıştır. Bunlardan ilki sıcak su çıkışında birinci derecede etkili olan faydır. Fayların doğrultuları sırası ile doğu-batı ve kuzeydoğu-güneybatıdır. Araştırmacı bölgenin sularını kimyasal açıdan da incelemiş ve bu bölgenin sıcak sularının kalsit ve dolomit çökeltme eğiliminde olduğunu belirtmiştir.

Özküçük, H. ve Acar B., (1981), Balçova İlçesi Kabaoğlu Mevkii'nde heyelan etüdü yaparak, aktif ve muhtemel heyelan sınırlarını belirlemişlerdir.

Drahor, (1983), sahada uyguladığı doğal uçlaşma yöntemi ile, önceki çalışmalarda tespit edilen fayların varlığı doğrulanmıştır.

Yilmazer, (1983), Balçova jeotermal sahasında bulunan 9 adet ısı üretim sondajından 4.400.000 kcal/s ısı enerjisi elde edilebileceğini hesaplamıştır.

Ercan ve diğ., (1983), Balçova jeotermal sahasındaki incelemelerinde hazne kaya derinliğini 800-1000 m civarında olduğunu belirtmişlerdir.

Yilmazer, S. (1989), Balçova jeotermal sahasında yapmış olduğu doktora tezinde sahanın jeokimyasal özelliklerini, alterasyon mineralojisini ve jeotermal olanaklarını irdelemiştir. Araştırmacı, sahada bulunan 4 sığ kuyuda yaptığı çalışmada, elde ettiği alterasyon minerallerinden yola çıkarak sahanın kil mineralleri fasiyes dağılımını sunmuş ve X-Ray difraktometre analiz sonuçlarına göre, kaolinit+montmorillonit, kaolinit+montmorillonit, illit+montmorillonit+vermikulit ve illit+klorit olmak üzere sahada 3 zon belirlemiştir.

Yilmazer, S. ve diğ., (1989), Balçova jeotermal sahasındaki hidrotermal alterasyon verilerini değerlendirmişler ve araştırmalar sonucunda jeotermal sahada 3 alterasyon zonu belirlemişlerdir.

Yilmazer ve Büyükoğtar, (1989), Balçova Jeotermal Sahasının Hidrojeolojisi ve Koruma Alanları Raporu'nda Balçova Jeotermal Alanı sıcaklığının oluşumuna ilişkin jeotermal model geliştirilmiş ve yeraltı su tablası eş yükselti eğrileri haritası hazırlanmıştır. Ayrıca jeotermal alanda 3 farklı koruma zonu belirlenmiştir.

Çetiner ve diğ. (2000), İzmir-Güzelbahçe ve Gülbahçe civarında yaptıkları jeotermal enerji arama çalışmasında, İzmir filişinin genel olarak killi şist matriksli olduğu ve genel olarak geçirimsiz olduğundan ve filişin içerisinde yer alan fay hatlarına bağlı olarak gelişen ikincil permeabiliteden bahsedilmiştir.

Aksoy, N., (2001), Balçova-Narlıdere Jeotermal Sistemi olarak ele alınan sahada yapılan doktora çalışmasında sistem izleyici testleri yapılarak enjekte edilen uların rezervardaki hareket yönleri ve hızları saptanmaya çalışılmıştır. B-9 kuyusuna yapılan re-enjeksiyonun aynı oranda devam edilmesi halinde sığ akiferden ısıtma

amaçlı kullanımın olanaksız hale geleceğinin belirtildiği çalışmada, BD-2 kuyusundan yapılan re-enjeksiyonun derin üretim kuyularına etkisi olmadığı da belirtilmiştir. Ayrıca BD-2 kuyusundaki koruma borularında ve çimentolama problemleri nedeniyle, özellikle yüksek debili re-enjeksiyon yapıldığı takdirde suların yüzeye kadar çıktığı ve sıkı akiferde kimyasal kirlenmeye neden olduğu da tespit edilmiştir.

Satman ve diğ., (2002), jeotermal rezervuarın ve sistemin daha verimli işletilmesine yönelik çalışmalar yapmışlar, mevcut sistemin iyileştirilmesine yönelik olarak kaynak, üstyapı, yerbilimi çalışmaları, sondaj, formasyon değerlendirmesi, rezervuar mühendisliği, sahanın geliştirilmesi ve olası bir göçme sorunu ile ilgili önerilerde bulunmuşlardır.

Doglioni ve diğ., (2002), Batı Anadolu'nun tektoniğine yeni bir yaklaşım getirerek, Anadolu'nun Afrika Plakası tarafından sıkıştırılması ile Anadolu'nun batıya kaçışının Ege Denizi'ni kapatacağını belirtmişler, ancak böyle bir durum söz konusu olmadığı için bunu farklı merkezli GPS hız yönleri ile irdeleyerek yeni bir model oluşturmuşlardır.

Çetiner, L., (2004), İzmir-Balçova BD-8 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu'nda, BD-8 araştırma kuyusunun derinliği göz önüne alındığında, ülkemiz genelinde, 13"3/8 üretim ve 9"5/8 filtreli "casing" borusuna sahip ilk ve tek araştırma ve/veya üretim kuyusu olduğunu belirtmiştir. Ayrıca bu raporda, sahanın jeotermal enerji olanaklarının tektonik hatlara bağlı olarak, doğu yönünde devam ettiği anlaşılmış, ileride açılması planlanan BD-9 kuyusunun olası yeri saptanmaya çalışılmıştır. Ayrıca daha önceki yıllarda MTA tarafından Balçova Jeotermal Sahası için hazırlanmış olan "Koruma Alanları Sınırları"nın elde edilen veriler ile tekrar gözden geçirilmesi önerilmiştir.

Karahan ve diğ., (2004), BD-9 Sıcak Su Sondajı Kuyu Bitirme Raporu'nda, BD-9'un iyi bir üretim kuyusu olduğu belirtilmiş, önceki incelemelerde saptandığı gibi, Balçova Jeotermal Sisteminin tektonik kontrollü olduğu, üretimin Agamemnon-I fay

zonu boyunca gerçekleştiği yinelenmiştir. Ayrıca bu raporda, jeotermal sistemin doğu sınırının belirlenmesi amacı ile BD–9 sondajından daha doğu da olacak şekilde gradyan ve araştırma sondajlarının yapılması önerilmiştir.

Yılmazer ve Alacalı (2005) Balçova-Narlıdere jeotermal sisteminin olası jeotermal enerji potansiyelinin önceki sondaj çalışmaları verilerine dayanarak, 10 km²'lik bir alanda 1000 m kalınlığında rezervuar kayaç için, yapılan hesaplamalar sonucunda, 539.000.000 kcal/h olduğu belirtilmiştir.

Akçığ ve diğ., (2005), Balçova Belediyesi adına yapmış oldukları Kabaoğlu Heyelan Sahası Jeolojik ve Jeoteknik Etüd Raporu'nda elde edilen verileri yorumlayarak, inceleme alanının arazi kullanım haritasını (mikro bölgeleme haritası) hazırlamışlardır.

Yıldız ve diğ., (2005), İzmir-Balçova Jeotermal Sondajı BD-10 Kuyu Bitirme Raporu'nda (yayınlanmamış), Balçova jeotermal alanının doğu sınırını belirlemek için BD-9 sondajından daha doğu da gradyan ve araştırma sondajlarının yapılması önermişlerdir.

BÖLÜM DÖRT

JEOLOJİ

Bu bölümde, Balçova Jeotermal Sahası'nın genel jeolojisi, stratigrafisi ve bu yapının jeotermal kaynakla olan ilişkisi açıklanmıştır. Bu alan ile ilgili önceki çalışmalardan da yararlanılmıştır. Ülkemiz neotektonik etkinliği devam etmekte olan Alpin-Himalaya Tektonik Kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu kuşak ile ilgili gelişen plaka tektoniğine bağlı olarak Batı Anadolu güncel jeolojik görünümüne kavuşmuştur. Bu bağlamda neotektonik dönem genleşme yapısına (grabenler) özgü litosfer incilmesi sonucu jeotermal enerjinin açığa çıkmasından başka, yine plaka hareketlerine bağlı olarak güncel depremler oluşmaktadır. Başka bir anlatımla, yeraltı sularının dolaşımı, jeotermal sistemler ve sismik aktivite aynı neotektonik hareketlerin denetimindedir.

4.1. Stratigrafi

Çalışma alanında görülen kayalar yaşlıdan gence doğru, Üst Kretase İzmir Filişi, Miyosen Yeniköy Formasyonu, Pliyosen Cumaovası volkanitleri, Kuvaterner yamaç molozu ve bunların üzerinde yer alan alüvyondur (MTA, 1989) (Şekil 3). Yaygın gözlenen İzmir filişinin tabanı çalışma alanında gözlenememektedir. İzmir filişi metakumtaşı, fillit, diyabaz, serpantinit, kireçtaşı gibi değişik üyelerden oluşmaktadır. Doğu kesimlerde ise filiş üzerine uyumsuzlukla gelen Miyosen yaşlı Yeniköy formasyonu gözlenmektedir. Aglomera, tuf, andezit ve riyolitlerden oluşan Pliyosen yaşlı Cumaovası volkanitleri çalışma alanında yoğun olarak kuzeydoğu ve güneydoğu kesimlerinde gözlenmektedir. Yamaç molozu ve alüvyon en üstte yer almakta ve bu birimi uyumsuzlukla örtmektedirler. Bu birimlerin yaşı Kuvaternerdir.

4.1.1 Mesozoik-Üst Kretase

İzmir filişi çalışma alanında Üst Kretase'yi temsil eden birimdir. Çalışma alanında Üst Kretase yaşlı başka bir birime rastlanmamıştır.

4.1.1.1. İzmir Flişi (Krif)

Çalışma alanının en yaşlı birimi olarak yorumlanan İzmir filifi, metakumtaşı, fillit, kireçtaşı, radyolarit ardalanması ve spilitik denizaltı volkanizması türevlerinden oluşmuştur (Yılmaz, 1989). Ayrıca filif içerisinde bantlar halinde gözlenen kumtaşlarında kübik şekilli (özşekilli) pirit seviyeleri de tespit edilmiştir (Levha 1-Foto-1 ve 2). İzmir filifi, Balçova Kaplıcaları'ndan güneye doğru Ilıca Deresi boyunca yer alan yol yarmalarında, Dededağı zirvesine giden yol boyunca tıraşlanmış bölgelerde, çalışma alanının çevresinde ise güneybatıya doğru Seferihisar, Doğanbey, Gümüldür, doğuda Bornova, Kemalpaşa, batıda Güzelbahçe civarında gözlenmektedir (Şekil 4). Çalışma alanının genelleştirilmiş kolon kesiti Şekil 3'de verilmiştir. Ayrıca filif içerisinde, hidrotermal alterasyona uğramış kayalarda gözlenmektedir. Çalışma alanında Balçova kaynağının güney bölgesinde ve Ilıca Deresi'nin her iki tarafında jeotermal akışkanın İzmir filifi ile etkileşimi sonucu oluşmuştur (Levha-2, Foto 3 ve 4). Yer yer oksitlenmiş ve sülfürlü seviyeler gözlenmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar ve sonuçları ilerleyen bölümlerde sunulmuştur.

4.1.2. Senozoik-(Miyosen)

Miyosen çalışma alanında Yeniköy formasyonu ile temsil edilmektedir ve güneydoğu kesimlerde az da olsa gözlenmektedir.

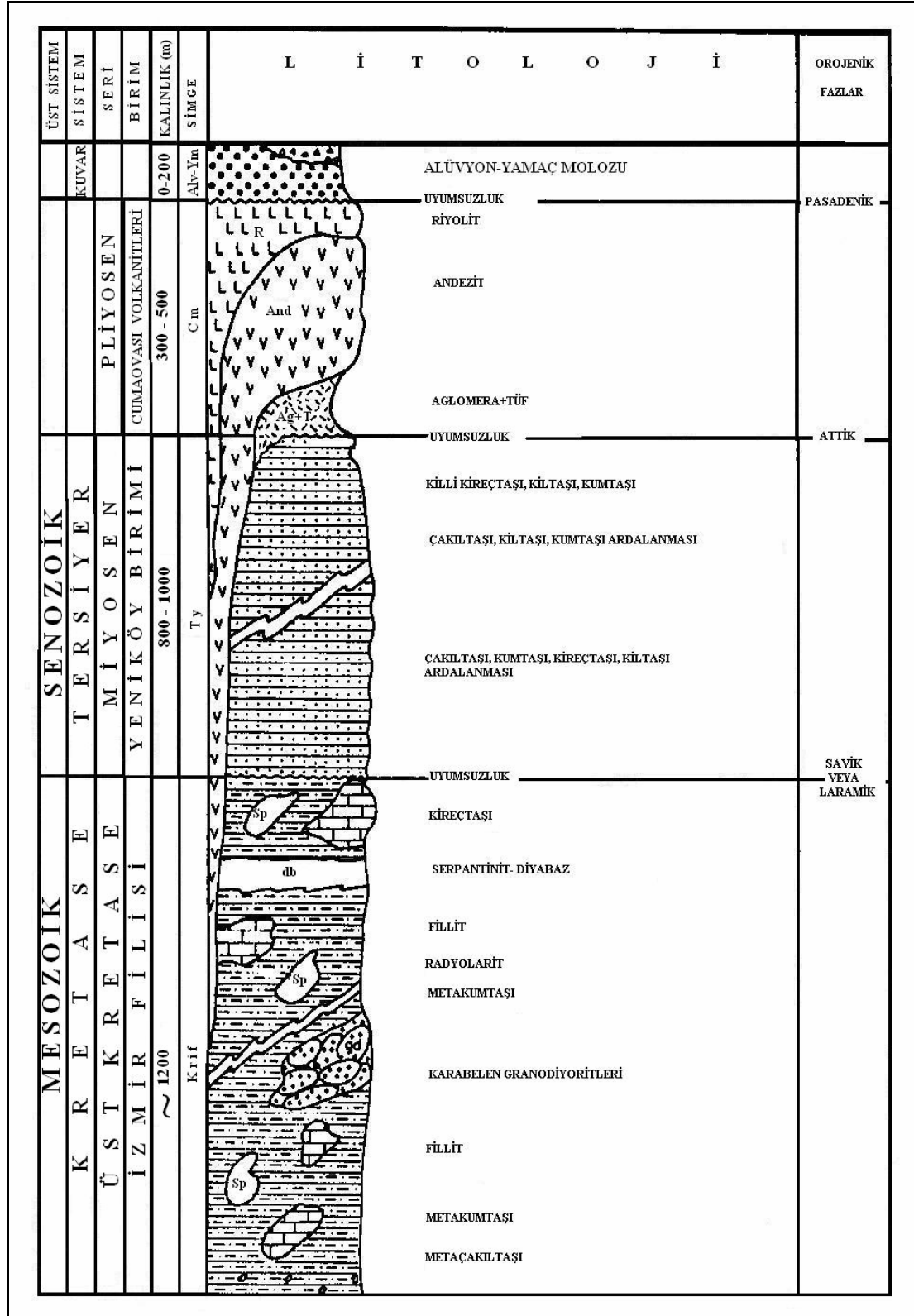
4.1.2.1. Yeniköy Formasyonu (Ty)

Adını çalışma alanının güneyindeki Yeniköy'den alan ve çalışma alanında net olarak gözlenemeyen bu formasyon, çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, miltaşı, kireçtaşı ve linyit üyelerinden oluşmaktadır. Önceki araştırmalarda da belirtildiği gibi, formasyonun tabanında kötü boylanmış, yer yer bloklu orta ve kalın katmanlı çakıltaşları bulunmaktadır. Formasyonun üst seviyelerine doğru linyitli kumtaşı, kireçtaşı ve kıltaşı ardalanması yer alır. Formasyonun en üst seviyeleri çakıltaşı,

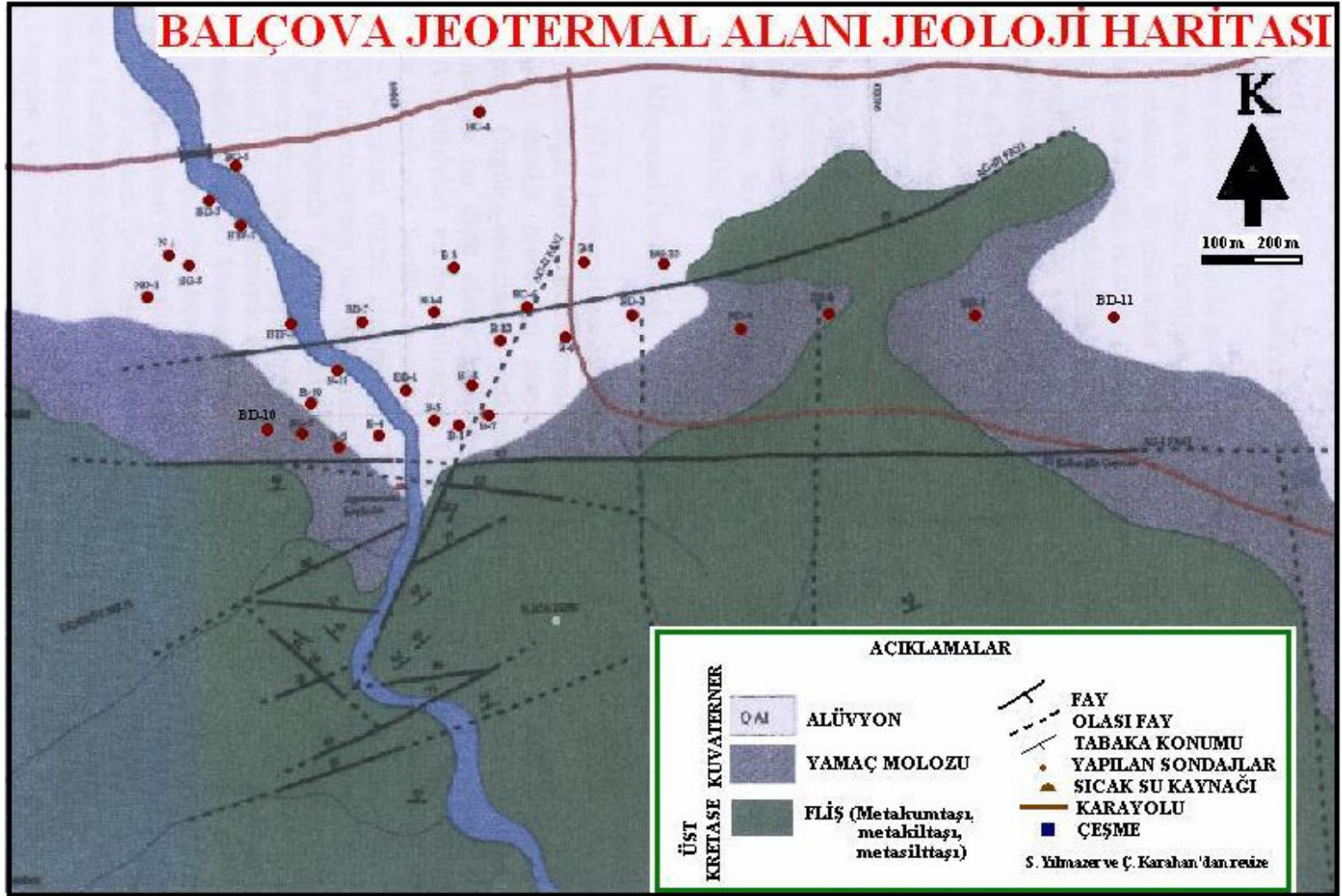
kumtaşı, çakıllı kumtaşı, açık renkli, beyazımsı, algli kireçtaşı ardalanması ve volkanosedimanterlerden tuf ve tufitler ile temsil edilmektedir. Yeniköy formasyonunun alt dokanağı İzmir filişi ile uyumsuz olup, çoğu yerde faylıdır. Formasyon içinde bulunan fosillere göre Alt Pliyosen, Dasiyen veya Dasiyen civarı olarak yaş değerlendirilmesi yapılmıştır (Yılmaz; 1989, Akartuna, 1962).

4.1.3.Pliyosen

Çalışma alanında Pliyoseni Cumaovası volkanitleri temsil edilmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanının stratigrafik kolon kesiti (MTA,1989)



Şekil 4. Çalışma alanının jeolojik haritası

4.1.3.1. Cumaovası Volkanitleri

Eşder ve diğ. (1975)'nin Cumaovası volkanitleri diye adlandırdığı, çalışma alanının güneydoğusu ve güneybatısında gözlenen birim aglomera, tuf, tüfit ve pembe riolitlerden meydana gelmektedir. Yeniköy formasyonu bu birimi uyumsuzlukla üzerlemektedir.

4.1.4. Kuvaterner

Çalışma alanında Kuvaterner çökeller yamaç molozu ve alüvyondan oluşmaktadır.

4.1.4.1. Yamaç molozu

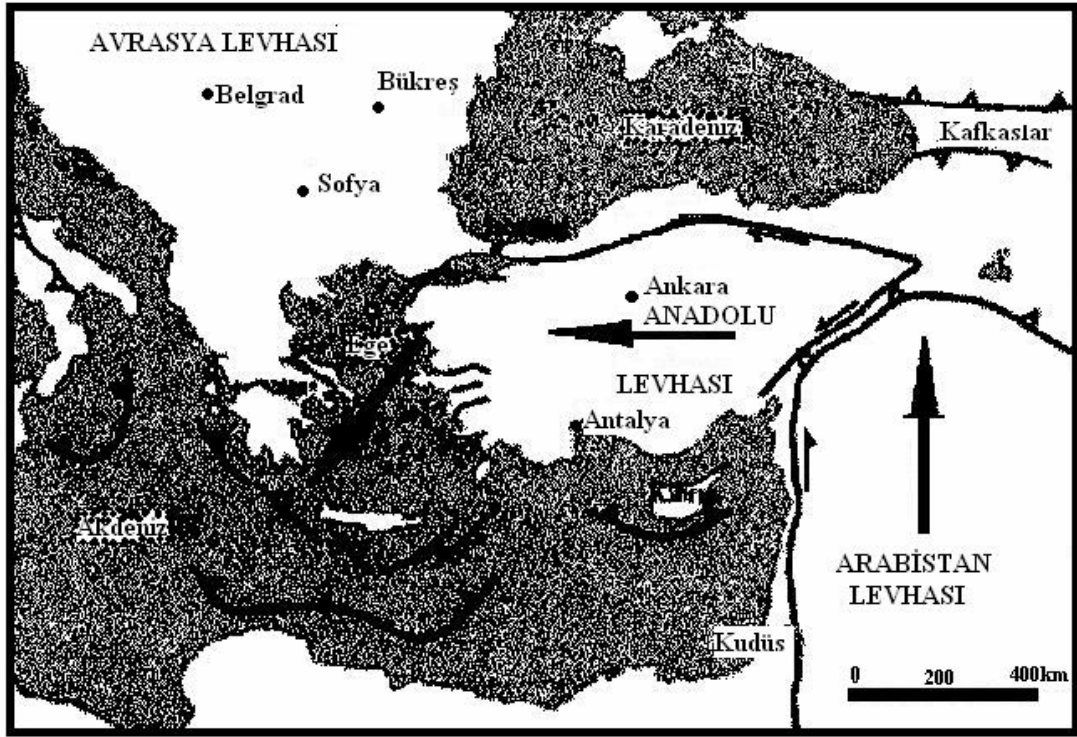
Çalışma alanında Agamemnon–I Fayı olarak adlandırılan fayın kuzeyinde ve çalışma alanının batısında yer alan yamaçlarda gözlenmektedir. Agamemnon–I Fayı'nın yükselmesi ile faya yakın bölgelerde oluşmuştur. Gevşek yapıda, yer yer köşeli çakıllardan oluşmaktadır.

4.1.4.2. Alüvyon

Yamaç molozları çalışma alanının kuzeyine gidildikçe incelmekte ve Kuvaterner alüvyona geçiş gözlenmektedir. Balçova ilçesindeki yerleşim bölgesinin büyük bir bölümü alüvyonal zemin üzerinde yer almaktadır. Dereler boyunca gayet net gözlenen alüvyonun kalınlığı güneyden kuzeye doğru gidildikçe artış göstermektedir. Daha çok filişin üyelerinin kötü boylanmış parçalarından meydana gelmektedir. Baskın olarak filiş türevi çakıl, kum, kil ve siltten meydana gelmektedirler, orta ve kötü boylanma göstermektedirler.

4.2. Yapısal Jeoloji

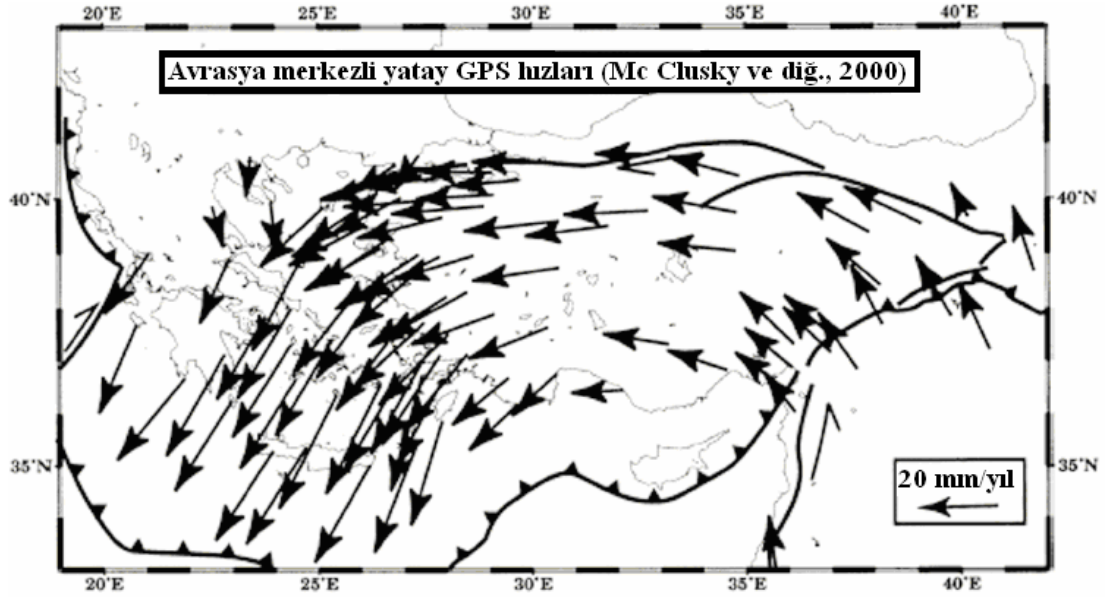
Çalışma alanı tektonik açıdan Batı Anadolu tektonik yapısı içerisinde değerlendirilmektedir. Batı Anadolu'da egemen olan neotektonik dönem genişlemenin etkisi ile Ege Bölgesinde görülen horst-graben yapısı burada da gözlenmektedir. Bu yapının oluşumu ile ilgili iki ayrı model önerilmiştir. Şengör ve Dewey (1979)'e göre Doğu Anadolu Arap Plakası tarafından sıkıştırılmakta (Şekil 5), bu nedenle Anadolu Bloku Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı'nın doğrultu atımlı hareketi nedeniyle B-GB'ya doğru itilmektedir. Çalışma alanının da içerisinde bulunduğu Batı Anadolu'nun aktif tektonizması Ege dalma batma sisteminin ve Arabistan levhasının Bitlis suture kuşağı boyunca Anadolu'yu kuzey yönünde sıkıştırmasının etkisindedir (Şengör ve Dewey, 1979). Bu etkenlerden dolayı bölge güncel olarak tektonik yönden aktif bir bölgedir (Yılmaz, 2000). Ege ve Anadolu plakalarının altına doğru dalmaya devam etmekte olan Afrika ve Arap Plakaları, Anadolu Plakası'nı Pliyosen'den itibaren batıya doğru hareketlendirmektedir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1987). Bu itici güç ile Kuzey ve Doğu Anadolu fayları gerilim yaratır ve kabukta sıcaklığın artışına neden olur. Anadolu Plakası'nın batısındaki Ege Bölgesi de çekme ve yükselme kuvvetlerinin etkisinde kalmaktadır ve bölgede hâkim olan horst-graben yapılarının gözlenmesi ile sonuçlanmaktadır.



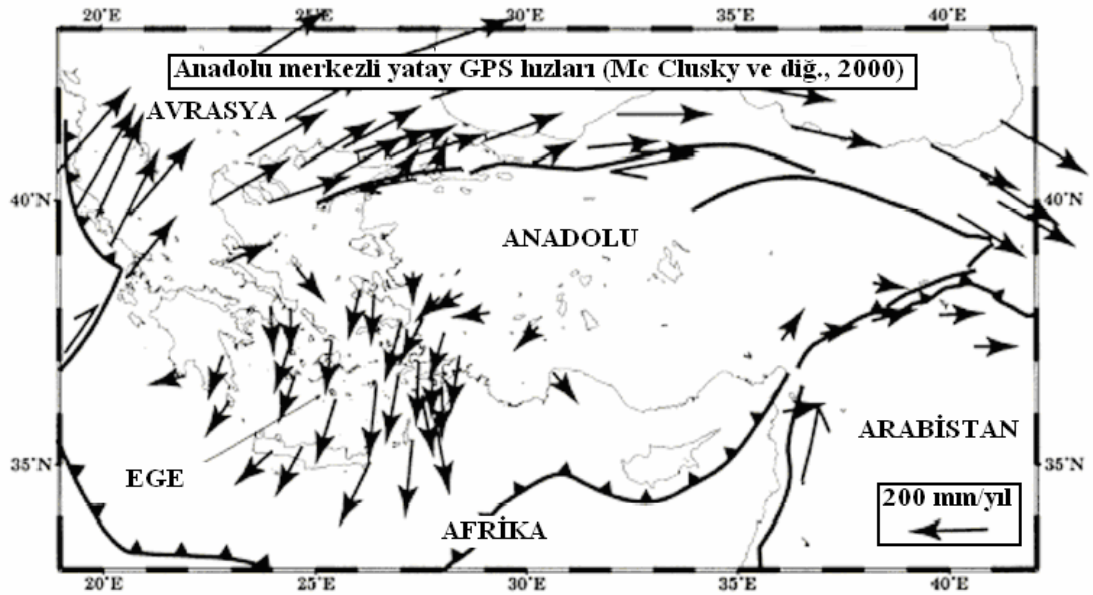
Şekil 5. Şengör ve Dewey'e göre güncel tektonik hareket yönü

Yukarıda değinilen ve yaygın olarak benimsenmiş olan model (Şengör ve Dewey, 1979), Ege Denizi'nin büyümesi ile çelişkilidir. Ayrıca Doğu Anadolu'da bazı bölgelerde litosferik mantonun yitmiş olması (Keskin, 2003) ve astenosferin doğrudan kabuğun altında yer alması nedeniyle, Doğu Anadolu'da halen mevcut bir yitim zonundan ve bu zonun Anadolu Plakasını KG yönlü sıkıştırmasından bahsedilemez. Yapısal jeolojinin, jeotermalin ve volkanizmanın konumu ile daha uyumlu bir model Doglioni ve diğ. (2002) tarafından önerilmiştir. Araştırmacılar; Afrika kıtasının Anadolu plakası altına dalması ile başlayan orojenik olaylar sonucu gözlenen kıtasal çarpışma ürünü plutonik kayalar (granit, granodiyorit) ve bunların yüzey kayalarının (andezit, trakiandezit, dasit) yaklaşık eş zamanlı olarak Batı Anadolu'yu biçimlendirdiği savunulmaktadır. Araştırmacılar özellikle batıya kaçıışı "No Thanks" sözleri ile geri çevirerek, Ege Denizi'nin güncel grabenleşmesini işaret etmişlerdir. Araştırmacılar, aynı anda hem Ege Denizi'nin genişmesi hem de Anadolu'nun bu genişleme havzasına doğru tektonik kaçıışı imkânsız bir çelişki olarak yorumlamaktadırlar. Ayrıca GPS verilerine dayanarak ortaya konulan hipotezde Batı Anadolu'da gözlenen GB' ye yönelik göreceli hareket vektörlerinin

Doğu Anadolu'ya göre daha hızlı olduğunu belirtmişler, bu hareket vektörlerinin Doğu Anadolu'ya göre daha hızlı olmasının Arap levhasının Anadolu levhası altına dalması ile ilişkili olamayacağını savunmuşlardır. Aşağıdaki şekillerde Avrasya, Anadolu merkezli (Şekil 6 ve 7) ve dünyanın merkezi referans alınarak elde edilmiş GPS değerlerine göre (Şekil 8) güncel tektonik hareket yönleri verilmektedir.

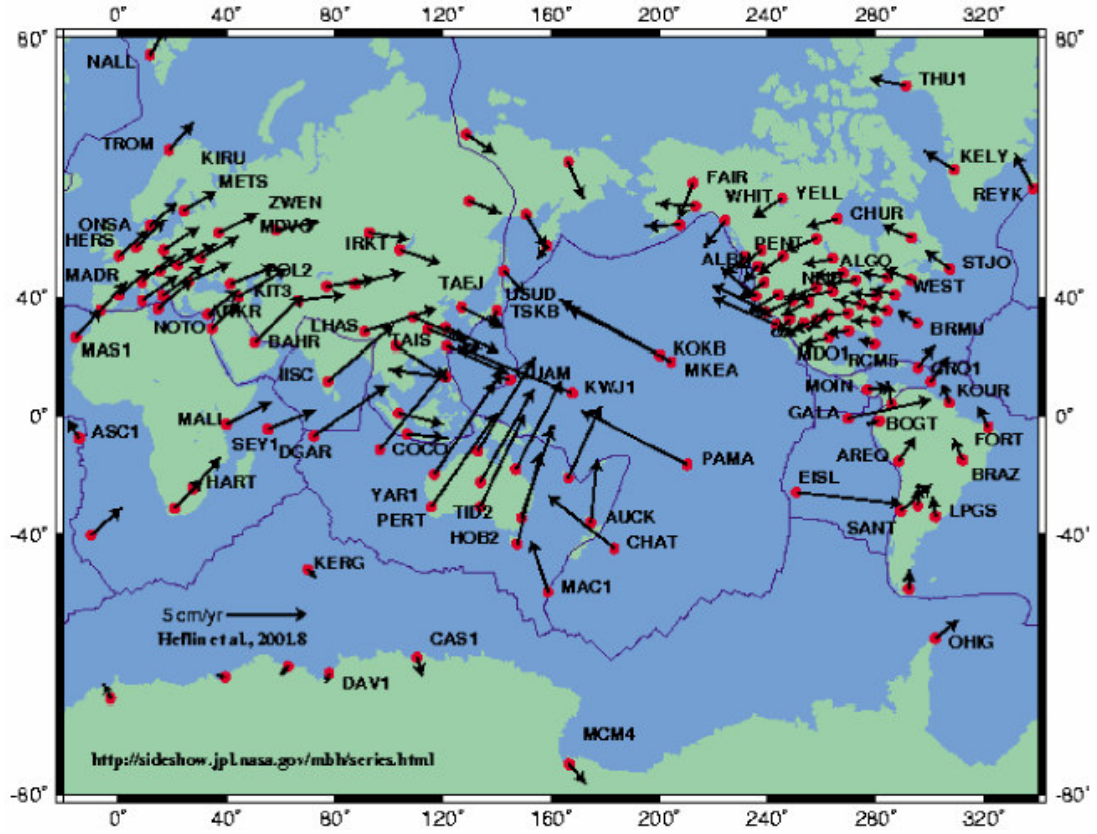


Şekil 6. Avrasya merkezli yatay GPS hızları (Mc Clusky ve diğ., 2000, Doglioni ve diğ., 2002)



Şekil 7. Anadolu merkezli yatay GPS hızları (Mc Clusky ve diğ., 2000, Doglioni ve diğ., 2002)

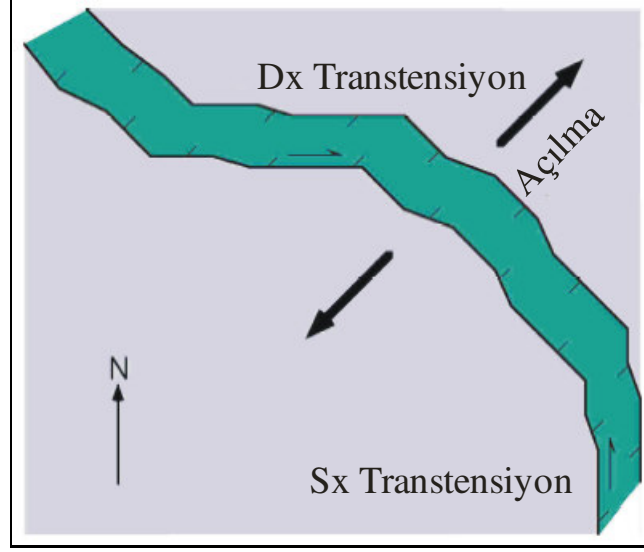
Bu durumda şekillerde gözlenen hareketler, Avrasya veya Anadolu'ya göre göreceli (Şekil 6 ve 7) ve dünyanın merkezine doğru mutlak (Şekil 8) hareketleri yansıtmaktadır.



Şekil 8. Dünyanın merkezi referans alınarak hazırlanmış güncel levha hareketlerinin GPS hız vektörleri hipotezi (ITF, Uluslararası Arazi Referans Çerçevesi) (Doglioni ve diğ., 2002)

Bu iki model karşılaştırıldığında; Şengör ve Dewey (1979)'in savunduğu model Anadolu'nun Yunan Plakası'na çarptığı yerde özel bir deprem kuşağının olmaması ve Ege Denizi'ndeki genişlemenin Anadolu'nun GB'ya kayması ile çelişkisi açısından sorunludur.

Doglioni ve diğ. (2002)'nin çalışmalarında ise GB'ya hareket, kıtaları KD'ya doğru iten Afrika Plakası diliminin üzerinde, göreceli bir geriye kayma olayıdır. Üstelik Yunanistan Anadolu'dan daha hızlı geri kaymaktadır.



Şekil 9. Batı Anadolu ve Ege'deki Miyosen-Kuvaterner faylarının tektonik anlamı ve ana hareket yönleri (Doglioni ve diğ., 2002)

Mutlak hareket KD'ya doğru olduğuna göre (dalan Afrika Plakası'nın itici gücü) esas genleşme buna dik yani KB yönlü olacaktır. Bu açılım yaklaşık DB ve KG yönlü yırtılmalarla (transtensiyon) dengelenir.

4.2.1. Tabakalanma, kıvrımlar

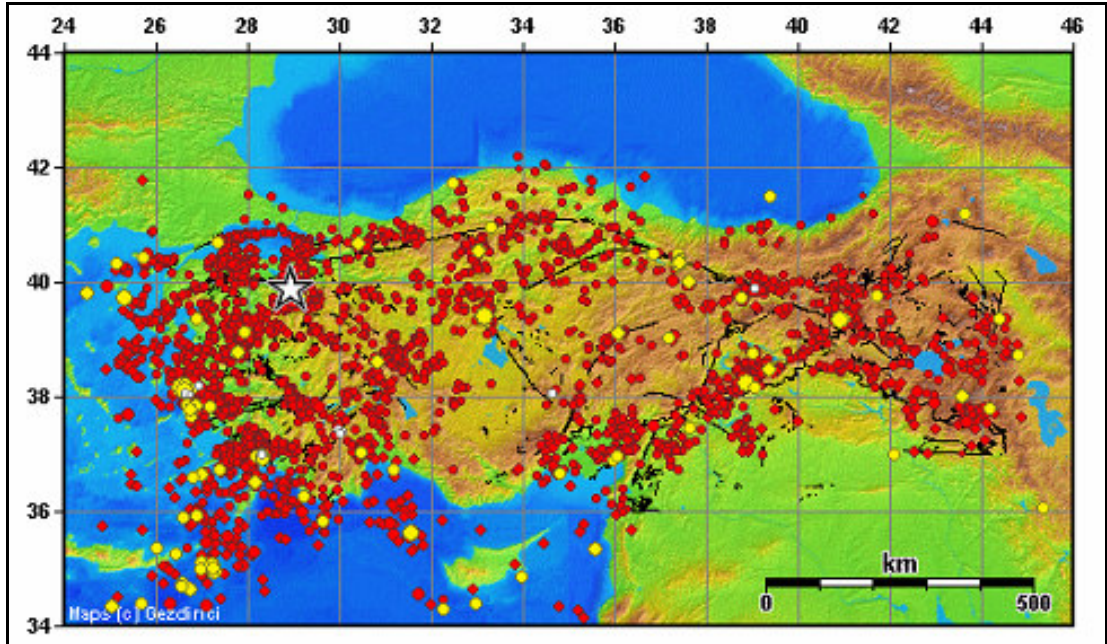
Çalışma alanında en yaygın birim olan İzmir Filişinin tabaka doğrultu ve eğimleri, birimin içyapısındaki düzensizliklerin ve tektonik olayların bir sonucu olarak çok değişkenlik göstermektedir ve birim oldukça kıvrımlı ve kırıklı bir yapıdadır. İzmir flişi biriminin kendi içerisinde bile çok fazla kıvrım ve kıvrımcıklar gözlenmektedir (Levha-3-Foto-5). Ayrıca birimin değişkenlik sunan doğrultu ve eğim yönleri de Menderes Masifi'nin yükselmesine bağlı olarak flişin KB yönünde kayması ile açıklanabilir (Sözbilir, 2005).

4.2.2. Faylar ve depremsellik

Jeotermal sistemlerin yükselerek yüzleklemesi, aktif faylar (neotektonik) ile ilişkili bir olay olduğundan, bu tür sıcak sular genellikle deprem bölgelerinde yer

alırlar. Son bir yıl içerisinde ülkemizde meydana gelen depremler Şekil 10'de, Ege Bölgesi'ndeki aktif faylar Şekil 11'de verilmektedir.

Agamemnon-I Fayı, önceki araştırmacıların da belirttiği gibi, bu etkilerin bir sonucudur ve jeotermal enerjinin yeryüzüne ulaşmasından en etkili tektonik yapıdır. Çalışma alanında gözlenen diğer faylar Agamemnon-II, Agamemnon-III Faylarıdır. Agamemnon-I Fayı üzerinde yapılan sondajların korelasyonu ile bu faya paralel kuzeye doğru gelişen basamak fayların da varlığı söz konusudur. Bu hareketlenmeye bağlı olarak da bölge 1. derece deprem riski taşıyan kuşak üzerinde yer almaktadır.



Şekil 10. Son bir yıl içerisinde ülkemizde meydana gelen depremler (Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2006)

Ege Bölgesi'nin tektonik yapısından dolayı burada oluşan depremlerin büyük bir çoğunluğunun merkez üssü Ege Denizi içerisinde yer almaktadır. Özellikle İzmir Körfezi güneyindeki İzmir fayı, Cumaovası-Doğanbey Burnu arasındaki Tuzla fayı ve Karaburun Yarımadası'ndaki Gülbahçe-Karaburun fayı Ege Bölgesi'nin aktif faylarıdır (Barka ve diğ., 2000).

Şekil 11. İzmir ve yakın çevresindeki tarihsel dönem depremlerinin diri fay haritası üzerindeki dağılımı. (Deprem lokasyonları ve büyüklükleri İDSDMP'dan alınmıştır) (MTA İzmir ve Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri Raporu, Jeoloji Etütleri Dairesi, 2005)

Tablo 2. Son bir yıl içerisinde İzmir ve civarında meydana gelen, büyüklüğü 4.0'ın üzerinde olan depremler (B.Ü. Kandilli Rasathanesi, 2006)

Tarih	Derinlik	Büyüklük	Yer
13.04.2006	15.4	4.2	Uzunkuyu-Urla-İzmir
09.03.2006	7.2	4.0	Ege Denizi
21.02.2006	13.0	4.0	Ege Denizi
16.11.2005	13.5	4.1	Ege Denizi
16.11.2005	26.9	4.2	Ege Denizi
31.10.2005	8.5	4.8	Ege Denizi
31.10.2005	8.4	4.8	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
29.10.2005	5.4	.41	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
29.10.2005	14.2	4.5	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
25.10.2005	15.6	4.0	Uzunkuyu-Urla-İzmir
21.10.2005	8.2	4.4	Ege Denizi
21.10.2005	5.0	4.0	Uzunkuyu-Urla-İzmir
21.10.2005	7.5	5.9	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
20.10.2005	11.4	4.2	Kuşadası Körfezi-İzmir
20.10.2005	4.8	4.0	Ege Denizi
19.10.2005	4.8	4.0	Ege Denizi
19.10.2005	17.1	4.6	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
19.10.2005	16.0	4.0	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
18.10.2005	14.6	4.4	Uzunkuyu-Urla-İzmir
18.10.2005	11.3	4.0	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
18.10.2005	87.6	4.5	Ege Denizi
17.10.2005	20.7	4.2	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
17.10.2005	17.3	4.4	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
17.10.2005	29.1	4.1	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
17.10.2005	12.8	4.1	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
17.10.2005	14.4	4.1	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
17.10.2005	20.7	5.2	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
17.10.2005	10.4	5.9	Uzunkuyu-Urla-İzmir
17.10.2005	15.2	4.7	Ege Denizi
17.10.2005	14.4	4.5	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
17.10.2005	7.1	4.3	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
17.10.2005	11.1	4.2	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
17.10.2005	20.5	4.1	Seferihisar Açıkları-İzmir (Ege Denizi)
17.10.2005	8.1	5.7	Ege Denizi
24.08.2005	36.0	5.1	Ege Denizi

17 Ekim 2005 tarihinde Karaburun Yarımadası merkez üssü olmak üzere meydana gelen, aletsel büyüklüğü 5.9 olan deprem de Ege Bölgesi'nde yapılan araştırmaları doğrulamış gibi görünmektedir (Tablo 2). Bu depremin ardından 28.10.2005 tarihinde bölgeye yapılan teknik gezide Demircili Köyü sahilinde KD doğrultulu açılmalar ve sahilden 20–30 metre kadar doğuda bu açılmaya bağlı sıvılaşmalar olduğu gözlenmiştir (Levha-3-Foto-6). Çalışma alanında da hissedilen bu depremi izleyen artçı depremler Balçova'da bazı konutlarda küçük çaplı hasara yol açmıştır.

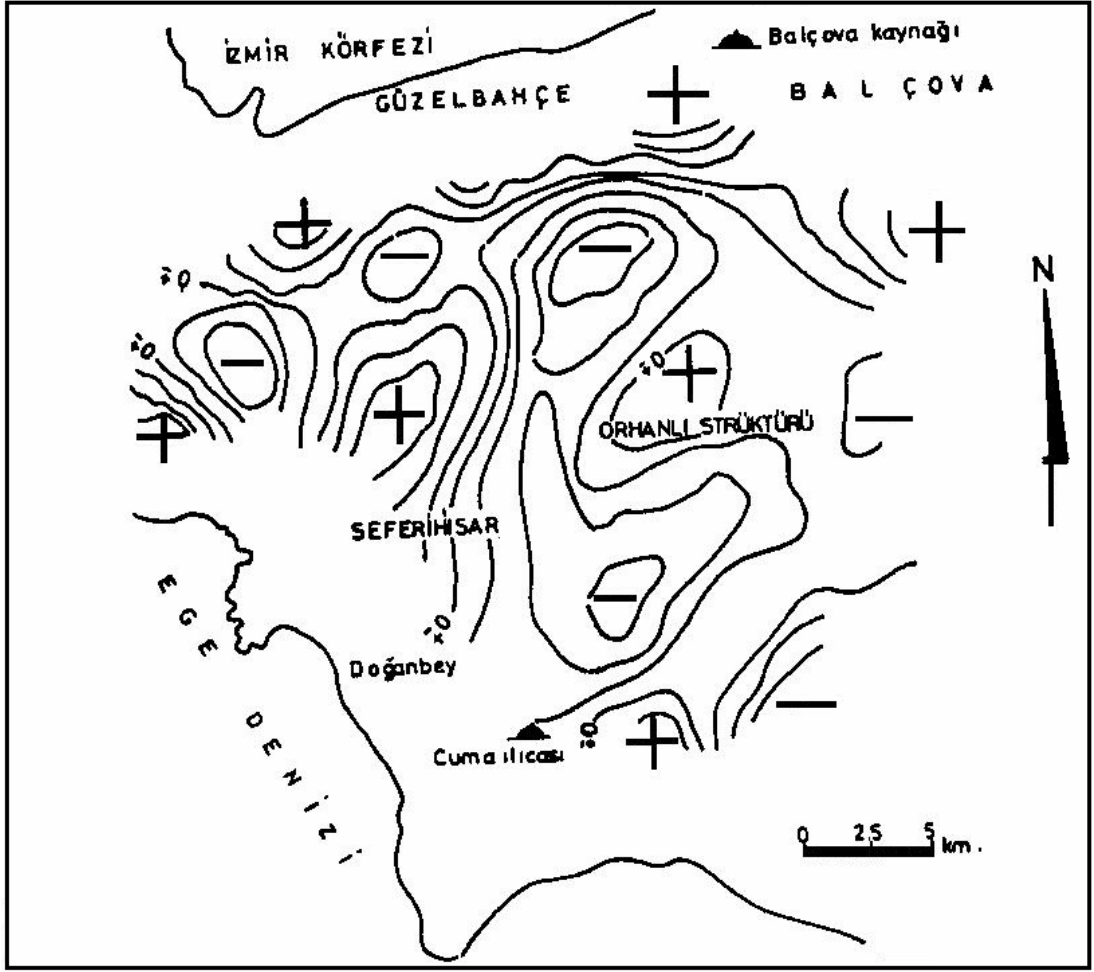
BÖLÜM BEŞ

JEOFİZİKSEL ÇALIŞMALAR

Jeotermal sistemlerin araştırılmasında, petrol, doğalgaz ve mineral aramalarında kullanılan değişik jeofizik yöntemler zaman içerisinde jeotermal araştırmalarda da kullanılır hale gelmiştir. Jeofiziksel çalışmalar, her ne kadar tek başına yeterli olmasa da çalışılan bölgenin yüzeyden daha derinlerdeki yapısal durumu, hidrojeolojik şartları, var ise örtü kayacın kalınlığı, jeofiziksel anomaliler ile ilgili veri elde etmemize yardımcı olur. Jeofiziksel anomali ile kast edilen sahada gözlenen herhangi bir parametre ile idealize edilmiş yer arasındaki farklılıktır. Gravite yöntemi, rezistivite yöntemi, doğal uçuşma (self-potential), termal metod, magnetik metod, son zamanlarda daha çok kullanılan magneto-tellürik metod gibi jeofiziksel yöntemler sahada mevcut fiziksel şartların araştırılmasında geliştirilen jeofiziksel yöntemlerdir. Bu metodlar ile saptanan anomalilerin kaynağı belirlenmeye çalışılır. Bu anomaliler, sıcak suyun varlığı, rezervuar kayacın fiziksel parametrelerindeki değişiklikler (yoğunluk, manyetik özellik gibi), yapısal özellikler ya da rezervuar kütleindeki değişimden kaynaklanabilir.

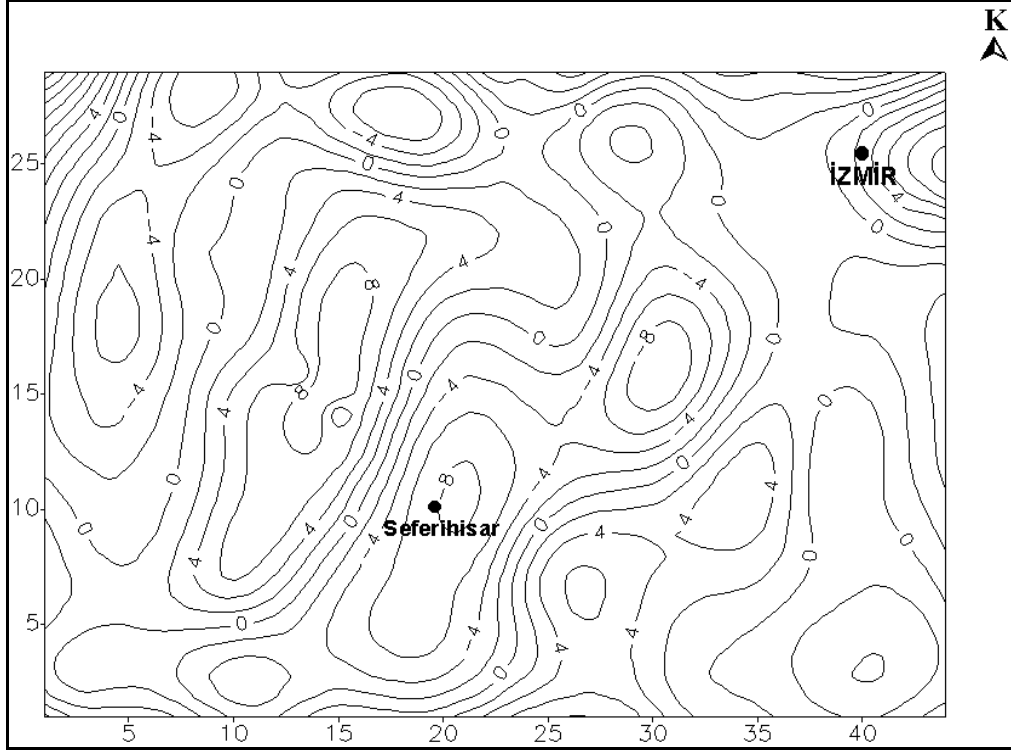
Gravite yönteminin ana prensibi çalışılan bölgeyi oluşturan birimlerin yoğunluk farkından yola çıkarak, değişen gravite değerleri ile birimler arasındaki sınırları, yeraltındaki süreksizlik hatlarını belirlemektir. Ekingen (1970)'in Balçova Jeotermal Sahası'nı da kapsayan gravite etüdü ikinci türev haritası aşağıda verilmektedir (Şekil 12).

Balçova Jeotermal Sahası'nda rezistivite metodunu uygulayan Tezcan (1963)'a göre ise, bölgede bulunan sıcak suyun Agamemnon-II Fayı ile yüzeye taşındığı belirtilmektedir. Ancak sahada yapılan jeolojik çalışmaların sonucunda sıcak suyun ana iletim yolunun Agamemnon-I Fayı olduğu, bununla birlikte diğer bir yükselim hattının da Agamemnon-II Fayı olduğu bilinmektedir.



Şekil 12. M.T.A. Genel Müdürlüğü Jeotermik Enerji Aramaları İzmir Urla- Seferihisar Bölgesi Gravite Etüdü- İkinci Türev Haritası (Ekingen, 1970)

Ekingen'ini haritasından da görülebileceği gibi, orta kısımlarda gözlenen sıfır eğrisi, sıfır konturundan başlayarak Doğanbey Burnu-İzmir Körfezi arasında uzanan bir kırık hattının olduğu yorumu yapılabilmektedir. Ekingen'e göre bu, olası bir fayın varlığına işaret etmektedir. Jeolojik araştırmalar ile de örtüşen bu veri, Seferihisar Horstu'nu kuzeybatıdan sınırlayan faya karşılık gelmektedir. Seferihisar bölgesinde doğal gerilim ve gravite çalışmaları yapan Drahor ve diğ. (1999), da bu tezi doğrulamış, Doğanbey civarından başlayan ve Agamemnon'a kadar uzanan sıfır kontur çizgisinin Çubukludağ Çöküntüsü ve Seferihisar yükseliminin sınırı olan ana fayla yaklaşık olarak uyumlu olduğu yorumunu getirmişlerdir (Şekil 13).



Şekil 13. Rezidüel Bouger Anomali Haritası (4. Derece Trend) (Drahor, M.G., Sarı, C. ve Şalk, M. (1999))

BÖLÜM ALTI

HİDROJEOLOJİ

6.1. Kayaçların hidrojeolojik özellikleri

Balçova Jeotermal Alanında İzmir Filişi, Yeniköy Formasyonu, Cumaovası Volkanitleri, yamaç molozu ve alüvyon birimleri gözlenmektedir. Burada, birimlerin hidrojeolojik özelliklerinden bahsedilecektir.

6.1.1. İzmir Filişi

Çalışma alanında temeli oluşturan birim İzmir filişidir. Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, hafif metamorfizmaya uğramış olan filiş birimi metakumtaşı, metasilttaşı, metakiltaşı ve bu üyelerin ardalanmasından ve yersel kireçtaşı merceklerinden meydana gelmekte olan filiş, aslında hidrojeolojik yönden geçirimsiz bir özellik sunar. Bir üyesi olan metakumtaşı çalışma alanında oldukça yaygın olarak gözlenmekte ve geçirdiği tektonizmanın da etkisi ile bol kırıklı ve çatlaklı bir yapı sunmaktadır. Yağışların etkisi ile oluşan yüzey suları bu çatlak ve kırık sistemleri boyunca aşağılara doğru süzülüp, bölgenin yeraltı sularının oluşumunu sağlarlar. Metakumtaşının içerdiği bu kırık, çatlak sistemleri, eklem yapıları ve faylardan etkilenecek ikincil permeabilite kazanan bölümleri aynı zamanda bölgedeki sıcak su kaynaklarının oluşumuna da olanak sağlamaktadır. Bu bölgeye düşen tüm yağışlar yeraltı suyuna katkıda bulunamaz, zira topoğrafik eğimin yüksek olduğu bölgelerde yüzeysel akış sunarlar. Çatalkaya civarında daha yoğun gözlenen kireçtaşı ise sahip olduğu kırık ve çatlaklar boyunca yağışların yeraltına süzülmesine yardımcı olmaktadır. Radar yolu tarafında gözlenen serpantinitletler ise oldukça fazla bozunmaya uğradıklarından yeraltı suyu yönünden fakirdirler. Dede Dağı'nın kuzey eteklerinde gözlenen bir soğuk su çıkışı olan Kabaoğlu Çeşmesi, filiş içerisinde mercekler şeklinde bulunan kireçtaşlarından süzülen yağış sularının yeryüzüne ulaştığı bir kaynaktır.

Çalışma alanında yaygın olarak gözlenen İzmir filişi ilksel olarak geçirimsiz bir birim de olsa, fay zonları boyunca gözlenen ikincil permeabilite özelliğinden

dolayı, özellikle sistemde sıcak suyu taşıyan ana hat olarak kabul edilebilecek olan Agamemnon-I fayı zonundan yüksek debili sıcak su çıkışına olanak sağlamaktadır.

6.1.2. Yeniköy Formasyonu

Çakıлтаşı, kumтаşı, kılтаşı, konglomera ve kireçтаşılarından oluşan formasyon kırıklı kumтаşı ve kötü boylanmalı Çakıлтаşı içeriğinden dolayı yer altı suyu içerebileceği düşünülebilir. Kılтаşları ise geçirimsizdir. Ayrıca içerisinde bulunan kireçтаşındaki değişken kil miktarı da toplam yeraltı suyu miktarını etkileyeceği için bu formasyonun verebileceği su miktarının da çok olması beklenmemelidir.

6.1.3. Cumaovası Volkanitleri

Andezit, aglomera, tuf, riylit üyelerinin oluşturduğu bu birim, kırık ve çatlaklı bir yapı sunduğu için yağışlara bağılı olarak su içermesi beklenebilir.

6.1.4. Yamaç Molozu ve Alüvyon

Balçova ilçesinde yerleşimin yoğun olduğu kesim alüvyondur ve bu birim denize kadar değişik kalınlıklarda uzanmaktadır. Daha çok Teleferik eteklerinde yani Agamemnon-I fayına yakın alanlarda gözlenen yamaç molozunda ise çakıllar ve fılışten türemiş okside elemanlar bulunmaktadır. Ayrıca yamaç molozu ve alüvyonda açılan sığ kuyulardan gerek sıcak su gerekse soğuk su elde edilebilmektedir.

6.2. Soğuk Su Kaynakları

Balçova ilçesi sınırları içerisinde özellikle güney taraflarında doğal su çıkışları gözlenmiştir. Bunlardan bazıları Kanlı Pınar, Tozlu Pınar, Mersin Pınarı, Radar Çeşmesidir, Orman Çeşmesi, Kabaoğlu Çeşmesi'dir (Levha-4-Foto7). Bu kaynaklar mevsimsel olarak akış göstermektedirler. MTA'dan alınan bilgilere göre (MTA, yayınlanmamış rapor, 2005) bu kaynakların Cl iyonu oranları 6.7 mg/l (Kanlı Pınar ve Tozlu Pınar) ile 27 mg/l (Mersin Pınarı) arasında değişim göstermektedir. Ayrıca

bölgede yaşayan halkın kendi kullanım ihtiyacını karşılamak amacı ile açılmış birçok soğuk su kuyusu bulunmaktadır. Ali Onbaşı Deresi, Ilıca Deresi, Hacı Ahmet Deresi, Yahya Deresi ve Sarıpınar Deresi de bölgenin akarsularını oluşturmaktadır. Ali Onbaşı Deresi, Ilıca Deresi ve Hacı Ahmet Deresi mevsimsel akış göstermektedir.

6.3. Çalışma Alanında Açılan Sıcak Su Kuyuları Hakkında Bilgi

Balçova jeotermal sahasında ilk sondaj çalışmalar 1963 yılında S-1, S-2 ve S-3 sondajlarının yapılması ile başlamıştır (Şamilgil, 1964). İzmir Valiliği Özel İdaresi'nin denetiminde ilk kez 29 Ekim 1996'da 5000 konut eşdeğeri ısıtma kapasitesi ile faaliyete geçen, geçen 10 yıllık süreçte önce Balçova Termal Turizm ve Özel Eğitim İşletmesi Ltd. Şti, daha sonrada İzmir Jeotermal Enerji San. Tic. A.Ş.'ye dönüşen şirket tarafından işletilen sıcak su kuyularına ilişkin genel bilgiler aşağıdaki tabloda verilmektedir. Şirketin şu anki kurulu kapasitesi 100MWt'dir (90 MWt Balçova Jeotermal Sistemi+10 MWt Narlıdere Jeotermal Sistemi).

Balçova Jeotermal Sahası'nda, derinlikleri 48 m ile 250 m arasında değişen 12 adet sığ kuyu ve derinlikleri 564 m ile 1100 m arasında değişen 10 adet derin kuyudan şu anda üretimde olan kuyu sayısı; 5 adet sığ ve 8 adet derin kuyulardan olmak üzere toplam 13'tür. 675592 m² Balçova ilçesinde, 320207 m² Narlıdere ilçesinde olmak üzere toplam 995799 m²'lik bir kapalı alan ısıtmasının gerçekleştirildiği jeotermal sahada, 2006 yılında 2 derin kuyu daha açılması planlanmaktadır. Balçova'da ısıtma döneminin başlaması ile birlikte kuyulardan su çekildikçe, tüm noktalarda birbirleri ile uyumlu olarak seviye düşümlerinin gözlenmesi, Balçova gibi farklı kırık ve fay hatlarından üretim yapan bir jeotermal saha için olağan karşılanması gereken bir durumdur. Tüm jeotermal sistemlerde, rezervuarın iç dengesini sağlamak, sahanın geleceğini korumak açısından re-enjeksiyon işlemi önemlidir.

Balçova Jeotermal Sahası; ısıtma amaçlı kullanımda ülkemizde bir ilktir ve bu nedenle Türkiye'de jeotermal enerji ile ısıtmada önemli bir görevi bulunmaktadır.

Tablo 3. Balçova Jeotermal Alanı'nda yer alan kuyularının özellikleri

No	Zaman	X	Y	Z	Derinlik (m)	Üretim Zonu (m)	Üretim Şekli	Sıc. (°C)	Debi (lt/s)
S1	1963	503165.41	4248990.14	40.01	40	124	Artezyen	124	27
S2	1963	503241.65	4249211.71	34.83	73.5	102	Artezyen	102	11
S3A	1963	502951.28	4249372.18	32.41	140	101	Artezyen	101	1.25
BD-1	1994	502994.64	4249063.2	35.22	430	350	Artezyen	135	40
BD-2	1995	503479.12	4249219.59	36.33	550	450	Artezyen	135	60
BD-3	1995	503706.2	4249187.48	43.72	750	450	Artezyen	133	25
BD-4	1998	503065.4	4249240.47	33.30	600	400–500	Artezyen	135	40
BD-5	1998	502599.07	4249492.45	23.48	1100	775	Artezyen	120	35
BD-6	1999	503265.05	4249252.6	34.34	606	470	Artezyen	135	25
BD-7	1999	502909.01	4249221.5	32.46	600	500	Artezyen	120	25
BD-8	2002	503907.99	4249225.4	54.89	630	540	Artezyen	135	40
BD-9	2003	504219	4249217	35.00	772	450-500	Artezyen	139	40
BD-10	2004	502718	4248975	42.00	750	210-350	Pompa	104	45
B-1	1982	503115.51	4248997.38	39.64	100	60–100	Artezyen	117	40
B-2	1983	503138.67	4249078.92	37.63	200	70	Artezyen	117	15
B-3	1983	503112.12	4249323.86	32.21	180				
B-4	1983	502941.74	4248979.81	35.36	125	60–100	Artezyen	111	40
B-5	1983	503069.69	4248996.9	38.51	125	60–100	Artezyen	106	40
B-6	1983	503348.03	4249172.85	35.91	150				
B-7	1983	503172.19	4249033.34	38.83	125	60–100	Artezyen	97	40
B-8	1983	503372.73	4249327.38	32.29	250		Artezyen	105	25
B-9	1983	502827.96	4248968.32	43.69	48	42	Artezyen	125	150
B-10	1989	502800.49	4249049.6	33.42	125	60–100	Artezyen	114	60
B-11	1989	502866.93	4249123.94	33.60	125	60–100	Artezyen	104	10
B-12	1982	503195.86	4249169.64	36.26	250		Artezyen	110	17
N-1	1996	502492.19	4249375.73	28.49	150	70	Pompa	95	2.5
ND-1	1997	502456.58	4249492.45	31.57	800	540	Pompa	102	4.5
BTF-1	1989	502669.99	4249435.9	24.42	121	100	Pompa	102	2
BTF-2	1990	502582.83	4249513.52	23.41	116	100	Pompa	80	2.5
BTF-3	1990	502773.11	4249231.25	29.67	100	100	Artezyen	115	11
BTF-4	1990	502902.57	4249225.6	31.53	112	100	Pompa	116	2

Ayrıca BD-11 kodlu derin jeotermal kuyusunun (x: 49234, y: 04500, z: 30) sondaj çalışmaları da devam etmektedir ancak sondaj noktasının yerleşim merkezinde olması çalışma zorluklarını da beraberinde getirmektedir (Levha -5 Foto-9 ve10) .

Balçova'nın iklim koşullarına bağlı olarak merkezi ısıtma sistemi ekim-mayıs ayları arasında konut ısıtmasında kullanılmaktadır. Bu dönem içerisinde mevsimsel sıcaklığa bağlı olarak kuyular dönüşümlü bir şekilde ısıtma sistemine dâhil edilmektedir.

Tablo 4. Balçova jeotermal alanında ısıtılan konutlar

Konutlar	Abone Sayısı	Konut Eşdeğeri
Balçova	5716	6782
Narlıdere	2429	2755
Resmi kurumlar (Okul, belediye, vs)		211
Prences Otel (Isınma+sıcak su eldesi+termal kullanım)		571
Balçova Termal Otel (Isınma+sıcak su+havuzlar+kür merkezi)		653
DEÜ Hastanesi (Isınma+ sıcak su eldesi)		2459
Ekonomi Üniversitesi (Isınma+ sıcak su eldesi)		273
Çağlayan Sitesi (Isınma+ sıcak su eldesi)		200
Özdilek Alışveriş Merkezi ve Oteli (Isınma+sıcak su eldesi+termal kullanım)		729
DEÜ Güzel Sanatlar Fakültesi ve Konservatuarı (Isınma)		540
İnciraltı Kredi ve Yurtlar Kurumu (Isınma)		528
Toplam	8145	15701

Tablo 5. Balçova Jeotermal Alanı'nda şu anda üretim yapılan kuyulara ait genel bilgiler (MTA, 2005)

Kuyu	Debi (m ³ /saat)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Kuyu	Debi (m ³ /saat)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)
B-1	99	104	104	BD-3	95	133	750
B-4	57	105	125	BD-4	193	138	624
B-5	125	108	108	BD-5	91	123	1100
B-7	80	98	120	BD-6	114	139	606
B-10	114	105	125	BD-7	80	122	700
BD-1	68	121	564	BD-9	300	139	772
BD-2	163	135	677				

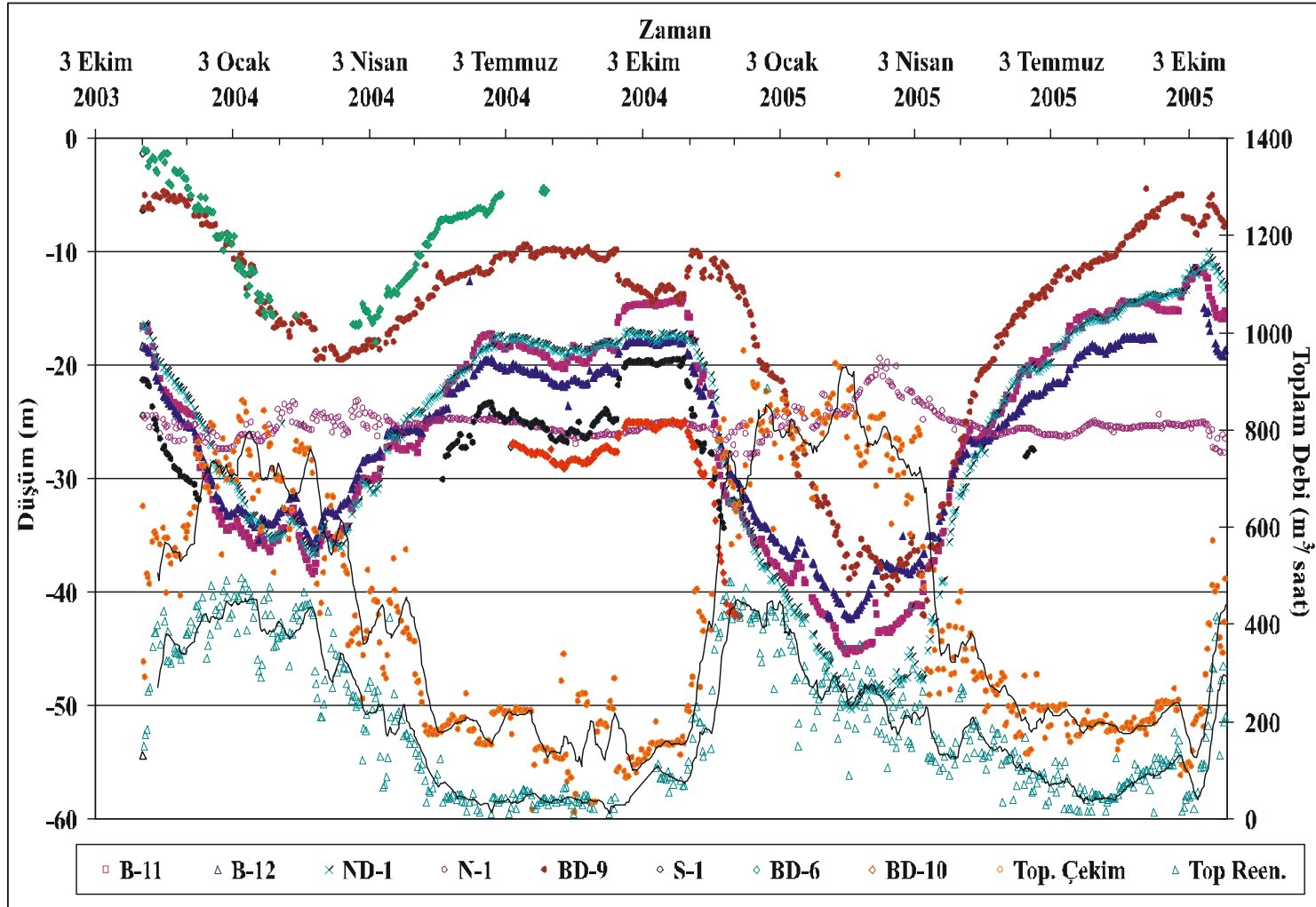
Üstteki çizelgeye bakıldığı zaman, sahadan 1579 m³/saat yani, 439 l/s debi ile üretim yapıldığı görülmektedir.

Tablo 6.Balçova Jeotermal A.Ş.'den sağlanan 3 Kasım 2003–27 Ekim 2005 tarihleri arasındaki verilere göre jeotermal sahadaki üretim kuyularına ait minimum ve maksimum sıcaklık değerleri (MTA, 2005)

Kuyu No	T _(min)	T(maks)	Veri Sayısı	Kuyu No	T(min)	T(maks)	Veri Sayısı
B-1	93.2	104.7	332	BD-2	124	134.3	309
B-4	91.6	103.4	211	BD-3	115	133.7	269
B-5	96	107.8	316	BD-4	121	137.7	292
B-7	80.4	106.6	211	BD-5	100.6	126.1	332
B-10	85.7	106.5	396	BD-6	128	137.2	125
B-11	90	101	40	BD-7	114.9	124.4	285
BD-1	90.3	121.4	328				

Tablo 7. Balçova Jeotermal A.Ş.'den sağlanan 3 Kasım 2003–27 Ekim 2005 tarihleri arasındaki verilere göre jeotermal sahadaki üretim kuyularına ait minimum ve maksimum su seviyesi değerleri (MTA, 2005)

Kuyu No	h _(maks)	h _(min)	Veri Sayısı	Kuyu No	h _(maks)	h _(min)	Veri Sayısı
B-2	24.13	13.7	605	BD-2	13.77	6.12	13
B-11	45.53	13.31	608	BD-5	19.7	13.28	32
B-12	42.36	16.25	574	S-1	34.36	19.43	193
ND-1	50.33	9.97	608	BD-6	17.93	1.06	157
N-1	28.19	25.82	600	BD-10	42.15	24.95	129
BD-9	42.08	5.99	600				



Şekil 14. Balçova jeotermal sahasındaki bazı kuyuların su seviyelerinin zamanla değişimi (MTA, 2005)

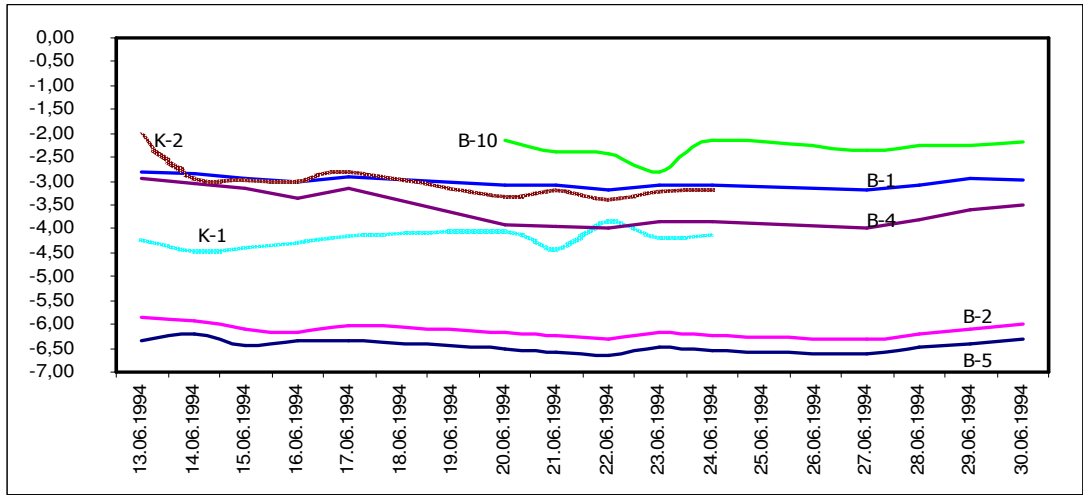
Bu durumda, Şekil 14'deki grafiği yorumlayacak olur isek, yıllık ortalama 222 l/s'lik sıcak akışkan elde edilen sahanın en batısındaki N-1 kuyusundaki yeraltı suyu seviyesindeki yükselimin nedeni de 450 m kadar uzağında yer alan BD-10 kuyusuna yapılan re-enjeksiyondan kaynaklanabilir. Grafikten okunabilecek bir diğer seviye değişimi ise 2003-2004 yılları arasında meydana gelen 20 m civarı meydana gelen düşümdür. Bir sonraki ısıtma döneminde çekim süresinin ikiye katlanması ve çekim miktarının aynı kalmasından dolayı bu düşüm 35 m civarına ulaşmıştır. Bu değerlendirmeler 2 yıllık veriler göz önünde bulundurularak yapılmıştır.

Jeotermal sahalarda kuyuların üretim ve re-enjeksiyon miktarları, sıcaklık ve basınçları, su seviyesi, sahanın işletimi esnasında jeotermal akışkanın kimyasında meydana gelebilecek değişimlerin izlenmesi ve bu izlenimlerin değerlendirilmesine “monitoring” gözlem adı verilmektedir.

Tablo 8. BD-1 Kuyusunda yapılan pompa testlerine göre sahanın bazı kuyularında gözlenen seviye düşümleri (Yılmazer, S., 1994)

TARİH	B-5	B-2	B-1	K-1	B-4	K-2	B-10
13.06.1994	-6,35	-5,85	-2,80	-4,22	-2,96	- 2,08	
14.06.1994	-6,20	-5,94	-2,85	-4,46	-3,06	- 2,94	
15.06.1994	-6,45	-6,09	-2,95	-4,41	-3,15	- 2,98	
16.06.1994	-6,35	-6,18	-3,03	-4,30	-3,37	- 3,03	
17.06.1994	-6,33	-6,03	-2,90	-4,15	-3,14	- 2,82	
20.06.1994	-6,50	-6,17	-3,09	-4,07	-3,90	-3,34	-2,15
21.06.1994	-6,57	-6,23	-3,10	-4,45	-3,95	-3,19	-2,40
22.06.1994	-6,66	-6,30	-3,20	-3,84	-3,98	-3,40	-2,42
23.06.1994	-6,47	-6,16	-3,09	-4,20	-3,84	-3,21	-2,82
24.06.1994	-6,55	-6,23	-3,09	-4,14	-3,83	-3,18	-2,15
27.06.1994	-6,63	-6,31	-3,20		-4,00		-2,37
28.06.1994	-6,49	-6,20	-3,07		-3,82		-2,25
29.06.1994	-6,40	-6,10	-2,96		-3,61		-2,26
30.06.1994	-6,32	-6,01	-2,97		-3,50		-2,17

Bu verilerden, BD-1 kuyusundan üretim yapılırken kuyulardaki su seviyelerinin düştüğünü görmekteyiz (Şekil 15). Şu anda çok önemsiz gibi görünse de, jeotermal sahanın daha uzun süreli işletiminde göz önünde bulundurulması gereken bir noktadır.



Şekil 15. BD-1 kuyusunda yapılan pompa testlerine göre sahanın bazı kuyularında gözlenen seviye düşümleri (Yılmaz, S., 1994)

BÖLÜM YEDİ

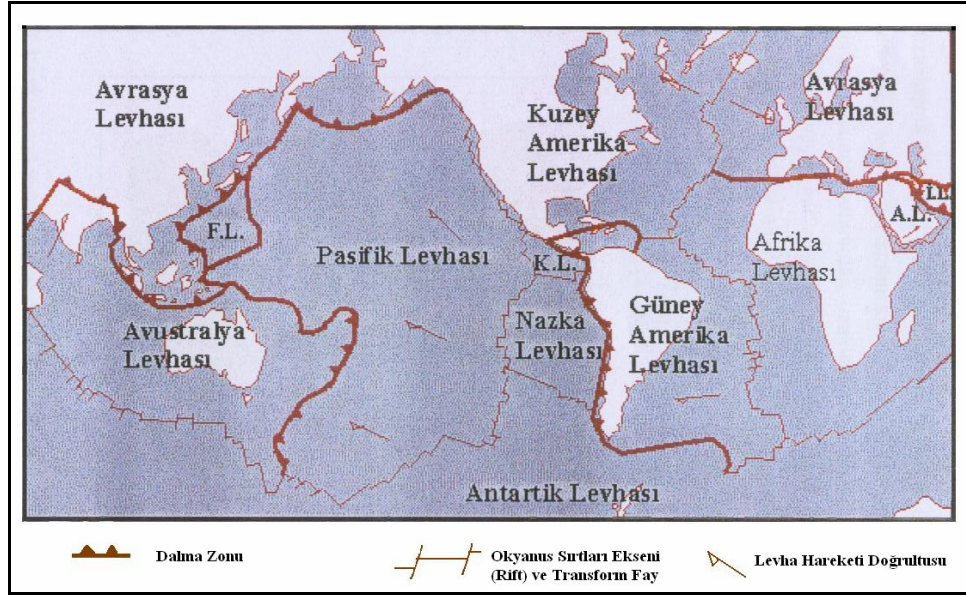
JEOTERMAL ENERJİ

7.1. Giriş

Tanım: Yenilenebilir enerji kaynakları dendiğinde ilk akla gelen enerji türü olan jeotermal enerji tarihin ilk çağlarından itibaren insanoğlu tarafından ısıtma, ısınma ve tedavi amaçlı kullanılmıştır. Hatta diğer canlı türleri bile yaşama alanlarını bu sıcak bölgelerde seçmişler ve jeotermal gradyandan değişik şekillerde faydalanmışlardır (Şekil 16). Jeotermal enerjinin açığa çıktığı alanlar genellikle levha sınırları ve volkanik bölgelerdir (Şekil 17) Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyada 7., bu enerjiyi verimli bir şekilde kullanım açısından ise 5. sırada yer almaktadır (Tablo 9). Günümüzde gelişen teknoloji ve artan nüfus ile birlikte enerji açığı da giderek büyümektedir. Yeni enerji kaynaklarının aranması, bulunması ve işletilme yöntemlerinin geliştirilmesinde, uzun yıllardan beri kullanılan fosil kaynaklı enerji kaynaklarının tükenebilirliğinin yanında, çevre kirliliğine de neden olması etkili olmuştur. Jeotermal enerji, bu tür olumsuzlukları içermeyen enerjilerden biri olmasının yanı sıra, kontrollü kullanıldığı takdirde, kendini yenileyebilen, ihmal edilebilir düzeyde çevre kirliliği yaratan, döviz gerektirmeyen, ekonomik olan ve akışkan sıcaklığına göre çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olan bir enerji türü olması nedeni ile ayrı bir önem taşımaktadır.



Şekil 16. Tonga-Malau Kuşu (Belki de jeotermal enerjiyi ilk doğrudan kullanan canlılardan biri)

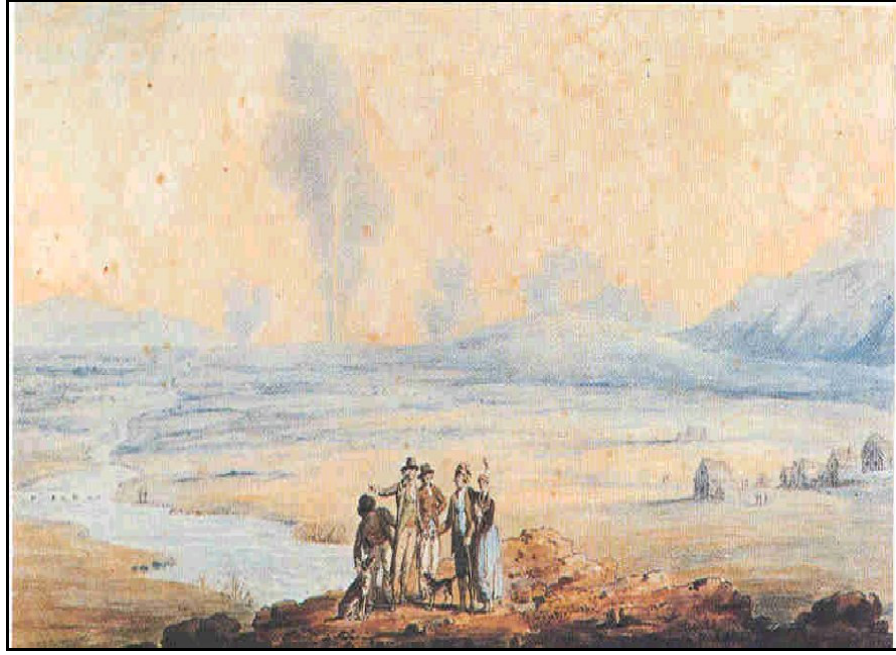


Şekil 17. Litosferi oluşturan levhalar (Maden yatakları ve Levha Tektoniği Yüksek Lisans Kurs Notları, 2002)

Levha sınırlarında (Şekil 17), levhaların birbirlerine göre göreceli hareketleri sonucunda, çeşitli jeolojik yapılar oluşur. Bu tektonik hareketlilik sonucu oluşan fay hatları ve süreksizlikler gibi jeolojik yapılar, yer içindeki ısıнын yeryüzüne iletebilmesi açısından uygun yollara dönüşürler.

7.2. Dünyada Jeotermal Enerji

Dünyadaki jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisinin üretimi 20. yy'ın başlarına rastlamaktadır. Amerika Kaliforniya'da "The Geyser" 1860 yılında (Şekil 18), İtalya Larderello'da 1904 yılında, Yeni Zelanda Wairaki'de 1958 yılında faaliyete geçirilen jeotermal sahalardan sonra, 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi ile, fosil kaynaklı yakıtlardan ziyade alternatif enerji kaynaklarının arayışları hızlanmış ve jeotermal enerjiye ilgi de doğal olarak artmıştır. Günümüzde jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülkeyi Amerika, Filipinler, Meksika, Endonezya ve İtalya oluşturmaktadır.



Şekil 18. 1790 yılında E. Dayes tarafından resmedilen İzlanda “The Great Geyser” (Türkiye Jeotermal Derneği, 2005).

Tablo 9. Jeotermal enerjiyi doğrudan kullanan ilk 7 sıradaki ülke (Lund ve diğ., 2005)

Ülke	Kapasite (MWt)	Kullanım (TJ/y)	Kullanım (GWh/y)
Amerika	7814.4	31.239	8678.2
Çin	3687	45373	12.604.6
İsveç	3840	36000	10000.8
İzlanda	1791	23.813	6615.3
Türkiye	1177	19623.1	5451.3
Danimarka	821.2	4360	1211.2
Macaristan	694.2	7939.8	2205.7

7.3. Türkiye’de Jeotermal Enerji

Türkiye jeotermal enerji potansiyeli açısından dünya sıralamasında ilk yediye girmektedir ve özellikle de Anadolu plakasının aktif bir jeolojik yapıya sahip olması, Türkiye’de jeotermal potansiyelin zenginliğini arttıran bir öğedir. Anadolu’daki neotektonik kuşaklar boyunca gözlenen zengin jeotermal etkinlik, Ege bölgesinde daha ayrı bir öneme sahiptir. Ülkemizde bulunan jeotermal sistemlerin tümü de

sınının etken olduğu jeotermal sistemlerdir. İnceleme alanı olan Balçova Jeotermal Alanı da İzmir ili sınırları içinde ve Batı Anadolu'nun önemli jeotermal alanlarından biridir. Bu alan, 1960'lı yıllardan beri MTA tarafından yapılan jeoloji, jeokimya, jeofizik ve derin sondaj çalışmalarıyla tanımlanmaya çalışılmıştır ve bu çalışmalar sonucunda da birçok önemli bulgu elde edilmiştir.

Tablo 10. Ülkemizdeki jeotermal enerji kullanım kapasitesi (Şimşek ve diğ, 2005)

Kullanım	Kapasite
Isıtma amaçlı	750 Mwt
Balneolojik (195 spa)	327 Mwt
Toplam Doğrudan Kullanım	1077 Mwt
Elektrik Üretimi	20.4 Mwe
CO ₂ Üretimi	120.000 t/y

Batı Anadolu'da bulunan başlıca jeotermal alanlar şu şekilde sıralanabilir:

- **Denizli-Kızıldere Jeotermal Alanı:** Ege Bölgesi'nde Büyük Menderes Grabeni'nin doğusunda yer alan jeotermal sahada çalışmalar 1968 yılında başlamıştır. 1984 yılında devreye giren elektrik santrali Türkiye'nin halen ilk jeotermal elektrik santrali özelliğinde olup, yıllık 20.4 MWe gücündedir. Sahada bulunan kuyuların derinlikleri 550 m ile 2260 m arasında değişmektedir. Ortalama sıcaklığın 240⁰C olduğu sahada 120.000 ton CO₂ üretimi yapılmaktadır.

- **Aydın-Ömerbeyli-Germencik Jeotermal Alanı:** 1982 yılında çalışılmaya başlanılan saha, Büyük Menderes Grabeni'nin batısında bulunmaktadır. 203⁰C-232⁰C arasında sıcaklığa sahip toplam 9 adet kuyunun bulunduğu sahada 25.2 MW kurulu güçte elektrik üretimi yapılması planlanmaktadır. Kuyuların derinliği 285 m ile 2398 m arasında değişmektedir.

- **Çanakkale-Tuzla Jeotermal Alanı:** Çanakkale'nin 80 km güneyinde bulunan sahada 814 m derinliğinde 173⁰C sıcaklık elde edilmiştir. Bu sahada 7.5 MW kurulu güce sahip bir santral kurulması planlanmaktadır.

- **İzmir-Seferihisar Jeotermal Alanı:** MTA tarafından açılmış olan 8 adet kuyu bulunan sahada sıcaklık 72°C - 153°C arasında değişmektedir. Jeotermal sistemin denize yakın oluşu deniz suyu girişimini sonuçlamakta ve suyun tuzluluk oranını arttırmaktadır. Bu bölgenin sıcak suları yer yer aşırı Cl içermekte, yer yer kabuklaşma özelliği taşımaktadır (Şekil 19 a-b).



a



b

Şekil 19 a ve b Seferihisar Jeotermal Sahasından kuyu başı görüntüleri (Mart, 2005).

Kuyu başları uğradıkları korozyondan dolayı hayli kötü durumdadır. Halen jeotermal enerji bakımından balneolojik kullanım dışında herhangi bir yarar sağlanamamaktadır.

- **Balçova-Narlidere Jeotermal Alanı:** Toplam 10 adet derin sıcak su kuyusu bulunan sahada ölçülen en yüksek sıcaklık 140°C 'dir. 1983 yılında Türkiye'de ilk kuyuiçi eşanjörlü ısıtmanın yapıldığı sahada, ayrıca ilk kez 1996'da da frekans konventörlü (atmosferik hava sıcaklığına bağlı olarak jeotermal ve şebeke suyun debisini ayarlayıcı sistem) jeotermal sistem uygulaması yapılmıştır.

Anılan sahalarda sıcaklıklar elektrik üretimine uygun durumdadır. Dünya Jeotermal Kongresi 2005'de yapılan açıklamalara göre, dünyada elektrik üretimi için toplam kurulu gücün 8274 MWe olduğu bilinmekte ve ülkemizde ancak 20.4 MWe ile Denizli Kızıldere sahasında elektrik üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

MTA'nın yaptığı araştırmaların sonucuna göre, ülkemiz elektrik üretimine elverişli 4500 MWe, doğrudan kullanıma yönelik 31500 MWt potansiyeline sahiptir (MTA,1989). Bu da ülkemizde sıcak su kaynaklarının zenginliği ve jeotermal potansiyeli göz önüne alındığında bir hayli düşük bir kapasitedir (Şekil 20). Kongrede öne sürülen 2010 yılı için hedeflenen jeotermal enerjiden elektrik üretimi 500 MWe, 2020 yılı içinse 1000 MWe'tir. 765 MWe jeotermal enerji kapasitesinin 20.4'ünü elektrik enerjisine çevirebildiğimiz düşünülür ise; % 2.67'lik bir gerçek kullanım söz konusu olmaktadır.



Şekil 20. Türkiye'deki ana tektonik hatlar ve sıcak suların dağılımı (Şimşek ve diğ. WGC, 2005)

7.4. Çalışma Alanında Sıcak Suların Oluşumu

Ülkemiz ekonomisi bakımından gün geçtikçe önemi artan jeotermal enerjinin olabileceği sahaların iyi araştırılması, yeryüzüne ulaştırılarak işletilmesinin de profesyonelce yapılması gerekmektedir. Balçova'da profesyonel çalışmalar başlayana değin civarda yaşayan halk sıcak sulardan çeşitli şekillerde faydalanmıştır (Şekil 21). Balçova Jeotermal Sahası 1963 yılında sıcaklıkları 80°C-140°C arasında ve derinlikleri de 48.5 m ile 1100 m arasında değişen sıcak su kuyuları açılmıştır (Şamilgil, 1964). Bu saha için Yilmazer (1989) tarafından bir oluşum modeli geliştirilmiştir. Bu model daha sonradan pek çok araştırmacı tarafından da desteklenmiştir (Şekil 22). Araştırmacıya göre:

Bir jeotermal sistemde ısı kaynağı, sıcak suyun toplandığı ve elde edildiği hazne kaya ya da rezervuar kaya ve geçirimsiz özellikte örtü kaya bulunur.



Şekil 21. MTA çalışma alanında incelemelere başlamadan önce sıcak su ile çamaşır yıkayan yöre halkı (Fotoğraf S. Yılmaz'ın'dan alınmıştır.)

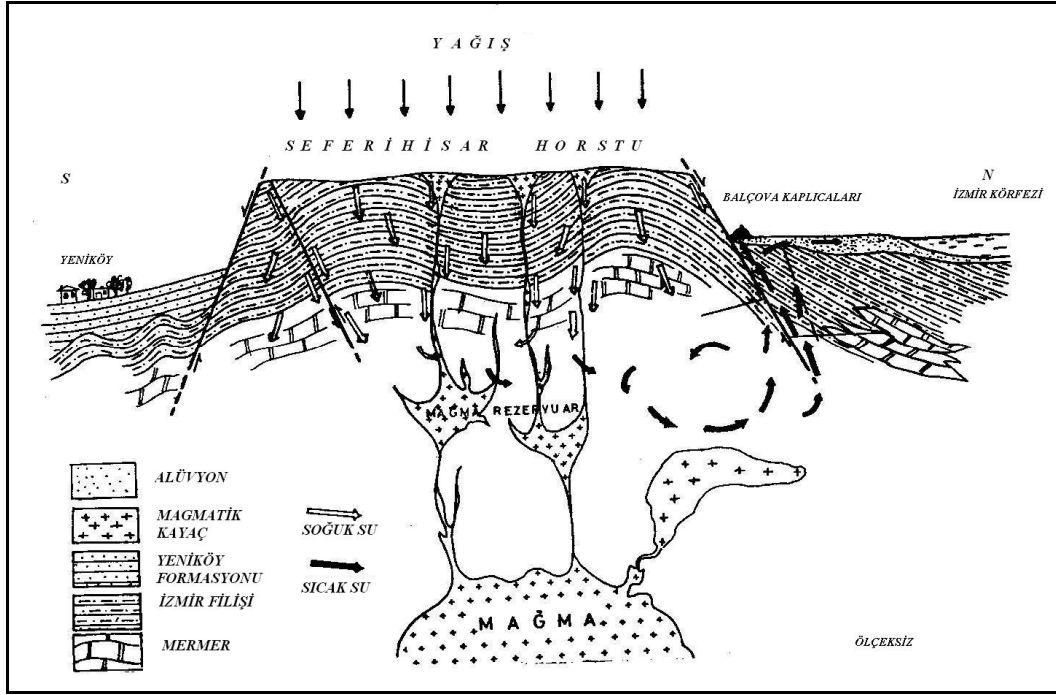
Isı kaynağı: Yerkabuğundaki ekzotermik tepkimeler, yerkabuğunun bileşiminde bulunan radyoaktif maddelerin parçalanması, tektonik etkinlikler ve bunlara ek olarak magmatik faaliyetler sonucu oluşan ısı enerjisi, jeotermal alanlarda yoğunlaşır. Bu tür alanlarda jeotermal gradyan önem kazanır. Jeotermal gradyan her 33 m'de yerkabuğu sıcaklığının 1°C artmasını tanımlayan bir terimdir. Kıtasal kabuğun tektonik etkinlikler sonucu incelendiği ve manto üzerine gelen gravite etkisinin zayıflaması sonucu kalınlaşarak yükselmiş olan bu noktalarda, yeryüzüne yakınlaşan ve magmatik etkinlikler nedeni ile yüksek jeotermal gradyana sahip bölgeler ısı kaynağı oluşturur. Çoğunlukla deprem kuşaklarında, volkanik adalarda, okyanus ortası sırtlarda ve ada yaylarında jeotermal gradyan yüksektir. Balçova jeotermal alanı, İzmir körfezinin güneyinde, Agamemnon-I ve Agamemnon-II faylarının kesişim noktasında boşalım göstermektedir. Bu alanda kuzey-güney yönlü çekim kuvvetlerinin etkisi ile graben oluşmakta, genişleme beraberinde kıtasal kabukta

incelmeyi getirmektedir. İncelen kıtasal kabukta bulunan fay zonları ve diğer süreksizlik yüzeyleri boyunca da jeotermal akışkan yükselerek yeryüzüne ulaşmaktadır (*).

Kristalen Temel: Bu kavram, ısı kaynağından alınan ısının daha yukarılarda bulunan hazne kayaya doğru, kondüktivite ile iletimini sağlayan, geçirimsiz, sıcak suyun daha derinlere gitmesini önleyen katman ya da katmanlar için kullanılır. Balçova jeotermal sahasında bu katmanın en altta bulunduğu düşünülen Menderes Masifi metamorfitleri ile temsil edilebilir.

Hazne kaya ya da rezervuar kaya: Gözeneklilik ve geçirgenlik yönünden oldukça iyi, bol kırık ve çatlaklı bir yapıya sahip, bünyesinde akışkan içerebilecek kayalardır. Kırıklı ve çatlaklı yapısı konveksiyon ısı akımlarının gelişimine de olanak tanıyacağından kayadan üretilecek olan ısının da yenilenmesini sağlar. Bir jeotermal sistemde sadece bir tek rezervuar kaya olacak diye bir kesinlik bulunmamaktadır. Denizli-Kızıldere örneğinde olduğu gibi birbirine düşey yönde hidrolik olarak bağlantılı, birden fazla rezervuar kaya da bulunabilir. Seferihisar jeotermal sisteminde gözlemlendiği gibi, sıcak suyun elde edildiği rezervuar diye tanımlanabilecek jeolojik oluşum denize çok yakın olması nedeni ile deniz suyu girişiminin etkisiyle, mevcut jeotermal sistem denizden besleniyormuş gibi davranabilir ve suyunun tuzluluk oranı da oldukça yüksek olabilir.

* Araştırmacının bu modeli oluşturduğu dönemde, Batı Anadolu'nun tektonik genişleme yapısı ile ilgili bir başka model (örneğin Doglioni ve diğ.,2002) yoktu.



Şekil 22. Balçova Jeotermal Sisteminin oluşum modeli (Yılmaz, 1989)

Örtü kaya: Rezervuar ya da hazne kaya olarak kabul edilen ve sıcak suyun elde edilebileceği kaya biriminin üzerinde, geçirimsiz, konveksiyon akımlarının oluşmadığı katman örtü kayadır. Bu tür bir örtü yapısından Balçova jeotermal alanında bahsetmek zordur. Burada ısı kaynağının üzerinde alüvyon bulunmaktadır. Ancak geçtiğimiz yıllarda İnciraltı bölgesinde açılan 350 m derinliğinde özel bir sondajda, 175 m alüvyon kesildikten sonra, Pliyosen çakıllarına girildiği belirtilmiştir. Bu da, İzmir Körfezi'nde bulunan çamur tabakasının altında kalın Neojen çökellerin varlığına işaret etmektedir (Çetiner, 2004).

Balçova jeotermal sahasına düşen yağmur suları, yüzeyde bulunan kırık ve çatlak sistemleri boyunca aşağılara süzülerek modelde belirtilen magma rezervuarına yaklaşır ve yaklaştıkça da ısınmaya başlarlar. Sistemin yer aldığı alanda örtü kaya bulunmadığı için de; rezervuar kaya gibi davranan filişin kırık ve çatlaklarında bulunan bu sıcak akışkan, fay zonları boyunca yükselerek yeryüzüne ulaşır. Bu prensibe göre de MTA tarafından açılan tüm sıcak su sondajlarında fay zonunun kesilmesi hedeflenerek, bu zon geçildikten sonra sondaja son verilmiştir.

7.5. Sıcak Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri

Jeotermal akışkanlarda çözünmüş madde miktarı yüksektir. Su kimyası verileri jeotermal sistemin sıcaklığı, beslenme ve boşalım bölgeleri, soğuk sular ve diğer sularla karşılaştırılmaları bakımından oldukça yararlıdır.

Sıcak su sondajları oldukça pahalı bir işlem olduğu için, sondaj yapılacak yerin iyi belirlenmesi, işletmecileri zaman ve yatırım kaybına uğramaktan koruyabilir. Jeotermal sistemlerde sahadan alınabilecek her türlü verinin çok iyi bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle sıcak suyun kimyası bu açıdan dikkatlice incelenmesi durumunda araştırmacıya pek çok veri sağlayabilecek niteliktedir. Bu açıdan çözünmüş madde miktarı yüksek olan jeotermal suların bileşimlerinde yer alan anyonlara göre yapılan (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) sınıflama 3 ana başlık altında aşağıda verilmektedir (Simmons, NZ Jeotermal Enerji Teknolojisi Kursu, Jeokimya Dersi Notları, 2002).

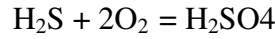
7.5.1. Klorürlü sular

Pek çok jeotermal rezervardaki baskın ve elektrik enerjisi üretimi için buharından faydalanılan, duru mavi renkte bir sıcak su türüdür. Özellikle doğrudan doğruya rezervardan yükselerek boşalım gösteren gayzer ya da sıcak su kaynaklarından elde edilen klorürlü sular rezervuar ortamını doğruya en yakın bir şekilde yorumlayabilme açısından en güzel verilere sahiptir. Jeotermal araştırma çalışmalarında esas hedef klorürlü sulardır. Klorürlü suların kimyasal bileşimini suyun orijini, magmatik uçucuların varlığı, akışkan-mineral dengesi ve kaynama-seyrelme olayları etkiler. Klorürlü suların ana anyonu olan Cl^- içeriği ağırlıkça %0.1-1.0 wt arasında değişmektedir. Diğer önemli bileşenleri Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} kanyonlarıdır. Ayrıca SiO_2 'ce de zengindirler. SO_4^{2-} , HCO_3^- diğer minör bileşenleridir. Sulu sülfür H_2S veya HS^- atmosferik ortama bağlı olarak değişken miktarlarda bulunmaktadır ve Cl/SO_4 oranı, sıcak su kaynaklarında bulunan birkaç yüz ppm'lik sülfat içeriğinden dolayı, oldukça yüksektir. Karakteristik olarak nötre yakın bir pH'a sahiptirler, ancak yüzeye yaklaştıkça buharlaşma ve CO_2 kaybının da

etkisi ile hafifçe asidik ve alkalın olabilirler. Oksidasyon-redüksiyon gibi bir dizi reaksiyona uğrarlar. Su amorf silikaca doymun olduğu için, boşalım gösteren sıcak su kaynaklarının etrafında silika halkaları (sinterleri) şeklinde çökelim oluşturabilir. Diğer sıcak su türlerinden olan asit- sülfatlı sular ve bikarbonatlı sular, yükselim (upflow) zonlarından yükselen klorürlü sular ile karışabilirler.

7.5.2. Asit-sülfatlı sular:

Klor içeriği bakımından daha fakirdir ve volkanik jeotermal sahalarda buharın yüzey sularına yoğunlaşması sonucu oluşur. Sülfat içeriği oldukça değişkendir ve jeotermal sahalarda H₂S'in yeraltı su tablasının hemen altındaki vadoz zonunda oksidasyonu sonucu açığa çıkmaktadır.

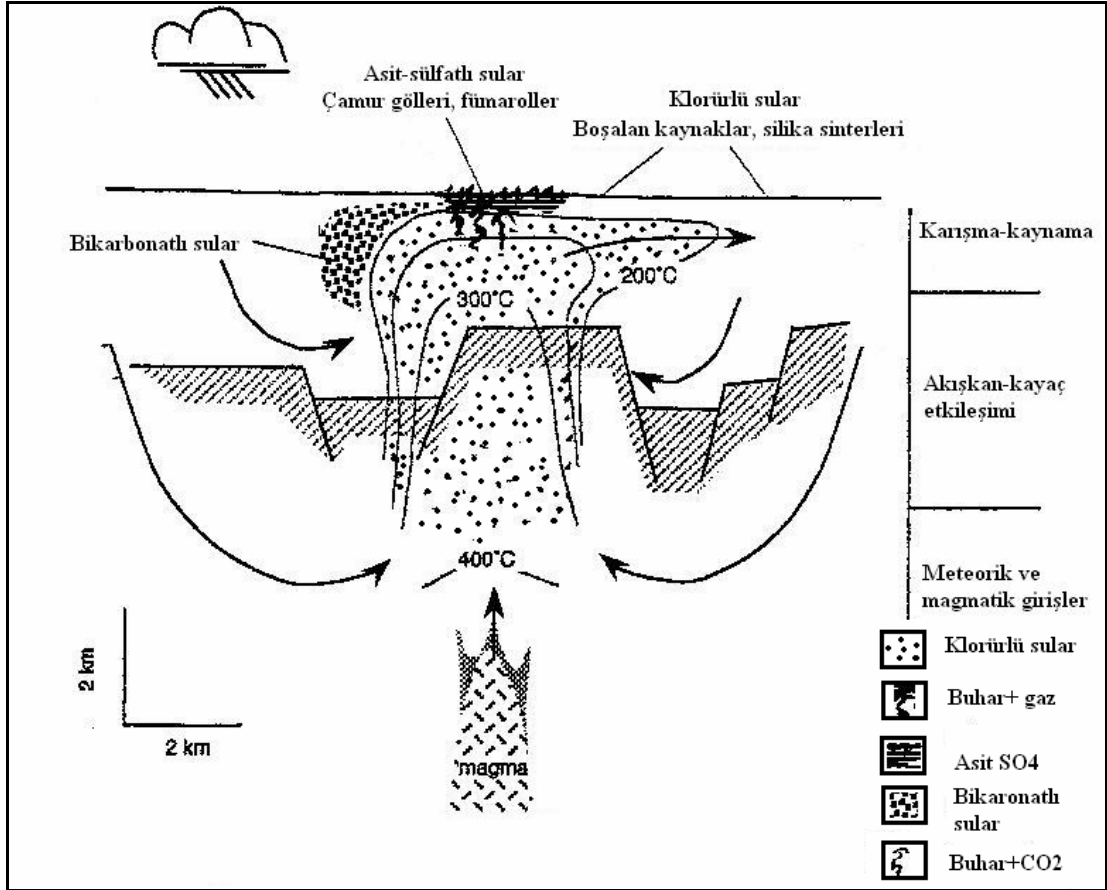


reaksiyonu sonucu, açığa çıkan sülfürik asit, ayrıca bulunduğu jeotermal saha için koroziv bir tehlikeyi işaret etmektedir.

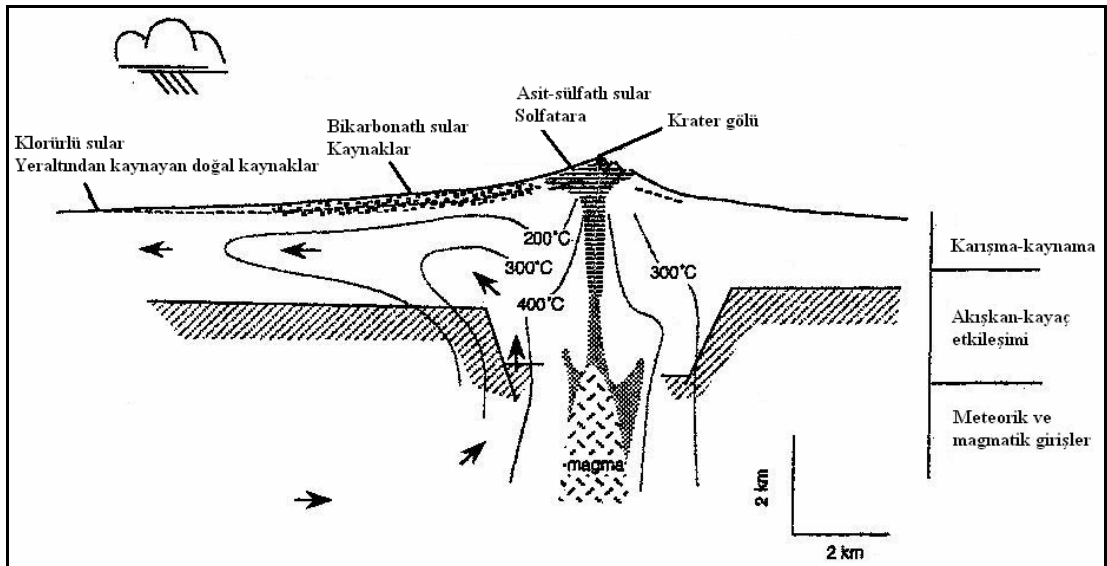
7.5.3. Bikarbonatlı sular:

CO₂'ce zengin, nötr sulardır. Ana anyonu oluşturan CO₃⁻'ün yanında düşük miktarda da Cl⁻ içermektedirler. Volkanik kayaçların egemen olduğu bir sistemde, CO₂ gazının soğurulduğu ve buharın soğuk yeraltı sularında yoğunlaştığı marjinlerde ve sığ yeraltı bölgelerinde oluşurlar. Kalsit (CaCO₃) pek çözülmediği ve Mg ile K killerde bağlı olmasından dolayı, Na⁺ genellikle ana katyondur. Asit-sülfatlı suların aksine, bikarbonatlı sular, yeraltı su tablasının hemen altında hafifçe asidik oldukları bir ortamda oluşurlar. Bazı jeotermal sistemlerde, karbonatlı kayaçların varlığı da bu tür suların oluşumunda etkindir.

Aşağıdaki şekillerde (Şekil 23 ve 24) şematik olarak yüksek sıcaklıktaki, yüksek ve düşük rölyefe sahip jeotermal sistemlerde jeotermal suların dağılımı gösterilmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı gibi klorürlü sular yükselim zonlarında hâkim su tipidir.



Şekil 23. Yüksek sıcaklıklı, düşük rölyefli topoğrafyaya sahip jeotermal sistemlerde sıcak su tiplerinin dağılımı (NZ GETC Notları, 2002)



Şekil 24. Yüksek sıcaklıklı, yüksek rölyefli topoğrafyaya sahip jeotermal sistemlerde sıcak su tiplerinin dağılımı (NZ GETC Notları, 2002)

7.6. Balçova Jeotermal Alanında bulunan suların kimyasal özellikleri ve sınıflandırılmaları

Balçova jeotermal sisteminde dolaşan sıcak akışkanın kimyasal özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmektedir. Bu analizler Kimya Mühendisi Nazım Yıldırım ile birlikte “Balçova Jeotermal Alanı Koruma Alanları Etüt Raporu, 2005” projesi kapsamında arazide yapılmıştır (Levha -4-Foto-8).

Balçova jeotermal alanında bulunan sıcak sular çok yüksek mineralli değildir. Kuyulardan elde edilen verilere göre, sular birbiri ile benzerlik göstermektedirler. Çalışmada kullanılan analizler ekler bölümünde verilmektedir. Sıcak sularda genellikle egemen olan katyon Na^+ , anyon ise HCO_3^- ’tür. Aşağıdaki tabloyu (Tablo 11) incelediğimizde; 1100 m derinliğindeki BD-5 kuyusu ve 600 m derinliğindeki BD-4 kuyusu aynı oranda yüksek bikarbonat içermektedirler. Ayrıca sığ alüvyondan elde edilen sularda Mg^{+2} ve Ca^{+2} oranının diğerlerine göre daha yüksek olduğunu görürüz. Bu da soğuk sularda bulunan minerallerin bolluğu açısından irdelendiğinde doğal karşılanmalıdır. Eldeki verilere göre BD-9 kodlu kuyu toplam mineralizasyon içeriği bakımından 1591.18 mg/l ile en yüksek değere sahip olan kuyudur. Ayrıca sığ kuyulardan olan 125 m derinliğindeki B-10 kodlu sığ kuyu da Ca^{+2} ve Mg^{+2} içeriği bakımından en zengin kuyu olarak (sırası ile 21.6 mg/l ve 6.2 mg/l) gözlenmektedir.

Tablo 11. Balçova jeotermal sahasındaki bazı kuyuların su kimyası çalışmasına ait 2005 yılında yapılmış olan analizler

ADI	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Tuz. (ppt)	TDS (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	CO ₃ ⁻² (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)
BD-2	129	7.8	1432	0.8	1074	13.6	2.4	150	671	<10	185
BD-5	117	7.79	1706	0.9	1280	16.1	2.4	147	732	<10	220
BD-4	133	7.98	1840	1.0	1380	16.1	2.4	152	732	<10	250
B-10	105	7.27	1490	0.8	1118	21.6	6.2	139	671	<10	170
B-1	96.6	7.1	1415	0.7	1060	18.0	6.0	121	610	<10	190
BD-6	139	7.88	1440	0.8	1080	16.1	6.0	156	671	<10	170
BD-9	98.7	8.37	3900	0.9	1591.18	6.0	1.9	156	557	68.4	190
BD-7	115	7.45	1350	0.8	1015	13.1	5.0	145	610	60	130
BD-1	121	7.38	1400	0.8	1050	16.8	4.6	132	549	<10	130
BD-3	115	7.75	1760	1.0	1320	18.4	2.2	123	640	<10	220
B-4	105	7.38	1320	0.7	1000	18.2	22	134	449	<10	165
Termal Apt	120	7.78	1375	0.7	1032	24.7	7.9	127	670	<10	160
Oto yıkama 1	30	7.7	976	0.5	732	44.1	8.4	62	457	<10	80
Koç Oto Yık.	37.5	7.9	950	0.5	713	24.0	6.7	67	427	<10	85
Baraj	12.2	8.3	332	0.2	250	44.1	18.9	12	158	20	10
Ağlayan kaya	14.1	8.1	411	0.2	310	36.0	28.8	17	150	30	9
Kabaoğlu Çeşmesi	23	7.96	183	0.1	140	10.0	4.6	11	60	<10	152

Oto yıkama 1 ve Koç oto yıkamadan alınan su örneklerinin toplam mineralizasyonu ise sırası ile 732 mg/l ve 713 mg/l'dir. Bu da bize sahada kuzeye gidildikçe toplam mineralizasyonun azaldığını göstermektedir.

Tablo 12. Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Hidrojeoloji Ana Bilim Dalı Su Kimyası Laboratuvarı Analiz Sonuçları (MTA, 2005)

	BD₄		BD₁		Koç Oto Yıkama	
T	139		121		37.1	
EC	1840		1415		950	
PH	8.3		8.4		8.1	
Fr (Sertlik)	4.61		5.73		8.79	
	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l	mg/l	meq/l
Na⁺	384.45	16.73	291.25	12.67	151.52	6.59
K⁺	29.75	0.74	17.35	0.44	12.78	0.33
NH₄⁺	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ca⁺²	15.24	0.76	15.8	0.79	25.6	1.27
Mg⁺²	1.97	0.16	4.3	0.35	7.79	0.64
Li⁺	1.176	0.169	0.898	0.129	0.486	0.07
Sr⁺²	0.0		0.0		0.0	
Toplam Katyon	18.558		14.395		8.911	
SO₄⁻²	235.95	4.91	187.75	3.909	129.28	2.691
CO₃⁻²	19.811	0.66	22.642	0.75	5.66	0.188
HCO₃⁻	394.2	6.46	284.86	4.67	187.03	3.07
Cl⁻	252.7	7.13	162.29	5.14	78.29	2.22
F⁻	11.24	0.59	10.1	0.53	7.33	0.38
Br⁻	0.0		0.0		0.0	
NO₂⁻	0.0		0.0		0.0	
NO₃⁻	2.56	0.04	0.0	0.0	14.19	0.23
PO₄⁻³	0.0		0.0		0.0	
Toplam Anyon	19.797		15.008		8.786	19.797

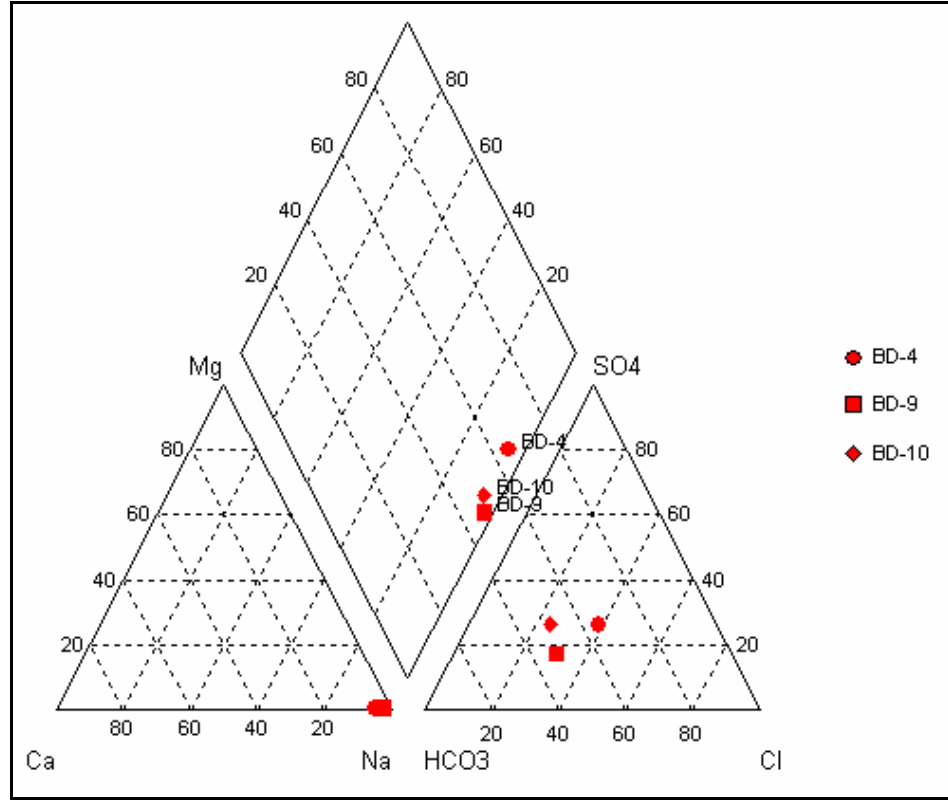
Suların sınıflamasında kullanılan çeşitli sınıflamalar vardır. Bu çeşitlilik suların doğasından gelen farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerden dolayı meydana gelmiştir. Suları içerdikleri mineralizasyon ve iletkenlik bakımından, tuzluluk oranına göre, içilebilme özelliğine göre, tarımda kullanıma elverişlilik yönünden sınıflamak mümkündür. Günümüzde suların sınıflaması ile ilgili bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu çalışmada analiz sonuçlarının Aquachem 3.70 adlı bilgisayar programı ile çalışılması sonucu elde edilen grafikler aşağıda verilmektedir. Analizleri yapılan tüm örnekler 2005 yılına ait örneklerdir.

Tablo 13. İçme sularının fiziksel ve kimyasal özellikleri (Şahinci, 1991, TSE, TS 266'dan)

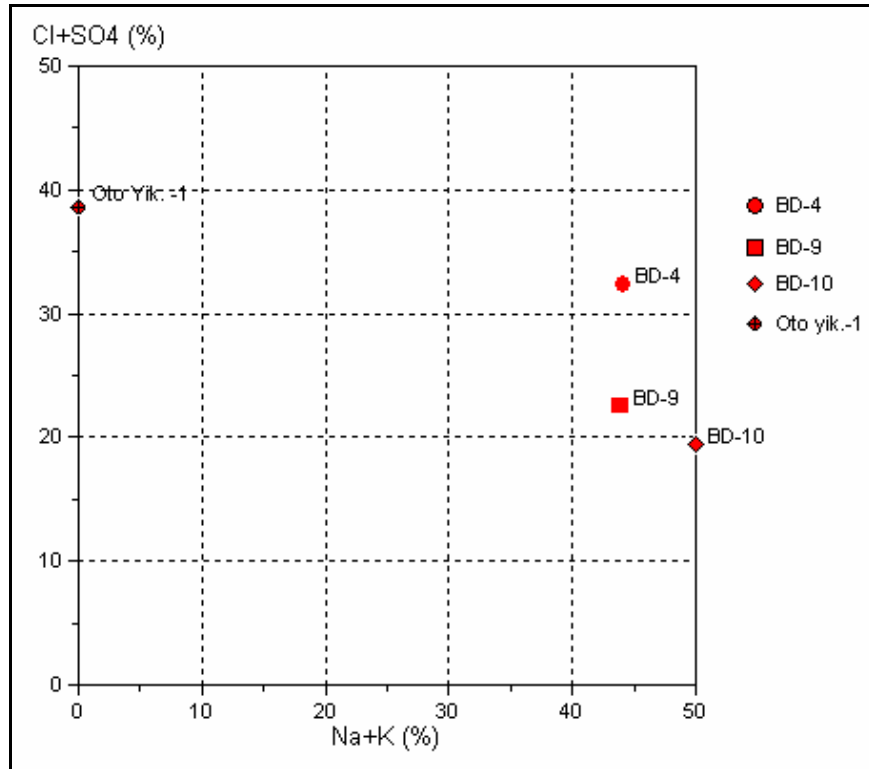
Madde ismi ve simgesi		Müsaade edilebilen değer	Maksimum değer (mg/l)
Zehirli Maddeler	Kurşun (Pb)	---	0.05
	Selenyum (Se)	----	0.01
	Arsenik (As)	---	0.05
	Krom (Cr ⁺⁶)	---	0.2
	Siyanür (Cn)	---	0.01
Sağlığa etki eden maddeler	Florür (F)	1.0 mg/l	1.5
	Nitrat (NO ₂)	---	45
İçilebilme özelliğine etki eden maddeler	Renk	5 birim	---
	Bulanıklık	5 birim	---
	Koku ve tad	kokusuz	kokusuz
	Buharlaştırma kalıntısı	500 mg/l	1500 mg/l
	Demir (Fe)	0.3 mg/l	1.0 mg/l
	Mangan (Mn)	0.1 mg/l	0.5 mg/l
	Bakır (Cu)	1.0 mg/l	1.5 mg/l
	Çinko (Zn)	5.0 mg/l	15 mg/l
	Kalsiyum (Ca)	75 mg/l	200 mg/l
	Magnezyum (Mg)	50 mg/l	150 mg/l
	Sülfat (SO ₄)	200 mg/l	400 mg/l
	Klorür (Cl)	200 mg/l	600 mg/l
	pH	7.0-8.5	6.5-9.2
	Bakiye klor	0.6 mg/l	0.5 mg/l
	Fenolik maddeler	---	0.002mg/l
	Alkil benzil sülfonat	0.5 mg/l	1.0 mg/l
	Mg+Na ₂ SO ₄	500 mg/l	1000 mg/l
Diğerleri	Toplam organik maddeler	3.5 mg/l (x)	---
	Nitrik	---	---
	Amonyak	---	---

(x): Suda toplam organik madde 3.5 mg/l'yi geçtiğinde bakteriyolojik analiz yapılması gerekmektedir.

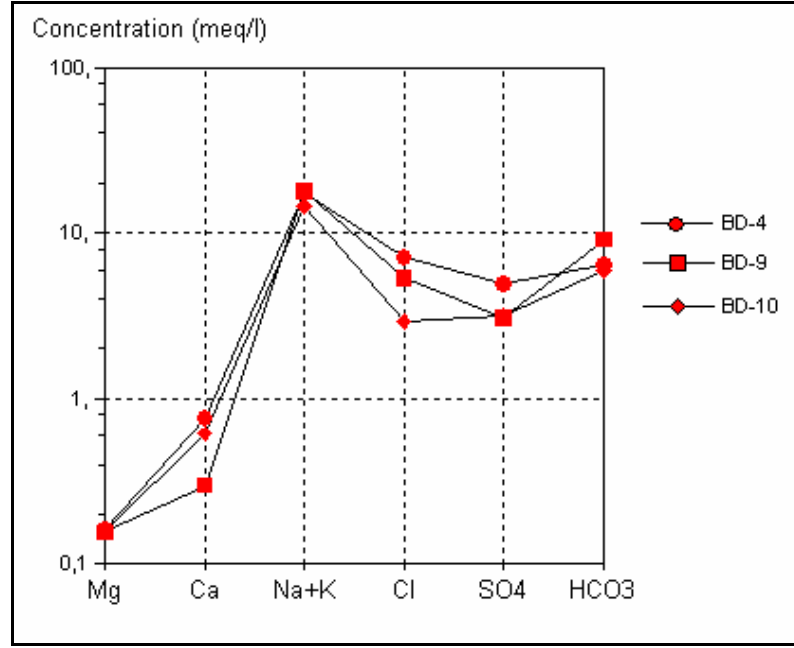
Üçgen diyagramın değerlendirilmesinde, analizi yapılan BD-4, BD-9 ve BD-10 kodlu kuyuların su örneklerine göre anyonlarına göre, sülfat ve klor içeren bikarbonatlı sular, katyonlarına göre, sodyum ve potasyum içeren sular sınıfına girmektedirler (Şekil 25). Ayrıca Na⁺ değerinin yüksek olması kil minerallerine (ilerleyen bölümlerde anılacağı gibi), HCO₃⁻ değerinin yüksek oluşu ise karbonatlı kayaçların erimesine bağlı olabilir. Ayrıca bu su örnekleri “sodyum bikarbonatlı, mineralce zengin termal su” sınıfına girmektedirler.



Şekil 25. BD-4, BD-9 ve BD-10 kuyulardan alınan örneklerin üçgen diyagramı



Şekil 26. BD-4, BD-9 ve BD-10 kuyularından alınan örneklerin Langelier-Ludwig diyagramı



Şekil 27. BD-4, BD-9 ve BD-10 Kodlu kuyularından alınan örneklerin içilebilirlik diyagramı (H. Schoeller)

BD-4, BD-9 ve BD-10 kodlu kuyuların sularının Langelier-Ludwig denge diyagramına bakıldığında (Şekil 26) zayıf da olsa kabuk yapıcı özellikte oldukları söylenebilir.

Örneklerin İçilebilirlik Diyagramında 3. kalite, orta içilebilir sular sınıfına girdiklerini görmekteyiz (Şekil 27). İçilebilirlik diyagramında birbirlerine benzer bir şekilde sahip oldukları tepe noktalarına bakılacak olursa, bu suların kökenlerinin, hazne kayalarlarının ve beslenme alanlarının aynı olduklarını söyleyebiliriz.

Sulama suları için önemli bir özellik olan ve fazla miktarda bulunması durumunda sulama sonrasında toprak üzerine kaymak şeklinde bir tabakaya neden olan sudaki sodyum miktarı yani Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)'na göre sulama sularının sınıflandırılması aşağıdaki tabloda verilmektedir (Şahinci, 1991).

Tablo 14. SAR'a göre sulama sularının sınıflandırılması(Şahinci, 1991).

Suyun Niteliği	SAR(%)	Örnek
Çok iyi özellikte sulama suları	<10	Koç oto yıkama
İyi özellikte sulama suları	10-18	BD-1
Orta özellikte sulama suları	18-26	BD-4, BD-10
Kötü özellikte sulama suları	>26	BD-9

Bu tabloya göre; BD-1 %16.26, BD-4 %24.62 orta özellikte sulama suları sınıfına, BD-9 %34.17 SAR oranı ile kötü özellikte sulama suları sınıfına girmektedirler. Koç oto yıkama noktasındaki su örneği ise, yüzey sularının etkisi altındadır ve daha çok yüzey suyu özellikleri baskındır.

Suların içme kalitesini sahip oldukları sertlik dereceleri de etkiler. Suların sertlikleri içerdikleri Ca ve Mg bileşiklerinden gelen bir özelliktir. Bu bileşiklerin çoğu bikarbonatlar, sülfatlar, klorürler ve nitratlardır. Pratik olarak kalıcı sertlik Ca ve Mg iyonlarının toplamı ile gösterilir. Ülkemizde de geçerli olan Fransız sertliğine göre;

Toplam sertlik=5 [Ca (mek/l) + Mg (mek/l)] şeklinde ifade edilmektedir (Şahinci, 1991). Suların sertlik sınıflaması ve örneklerin sertlikleri aşağıda verilmektedir.

Tablo 15. Suların sertliklerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991)

Fransız sertliği	Alman Sertliği	İngiliz Sertliği	Suyun Sınıfı
0.0-7.2	0.00-4.00	0.00-5.04	Çok yumuşak
7.2-14.5	4.00-8.12	5.04-10.15	Yumuşak
14.5-21.5	8.12-12.04	10.15-15.05	Az sert
21.5-32.5	12.04-18.20	15.05-22.75	Oldukça sert
32.5-54.0	18.20-30.24	22.75-37.80	Sert
54'den fazla	30.24'den fazla	37.80'den fazla	Çok sert

Tablo 16. Örneklerin sertliklerine göre sınıflandırılması

Kuyu Adı	Sertlik (Fr)	Suyun Sınıfı
B-1	6.96	Çok yumuşak
B-4	13.59	Yumuşak
B-10	7.94	Yumuşak
BD-1	5.71	Çok yumuşak
BD-2	4.38	Çok yumuşak
BD-3	5.50	Çok yumuşak
BD-4	4.61	Çok yumuşak
BD-5	5.00	Çok yumuşak
BD-6	6.49	Çok yumuşak
BD-7	5.33	Çok yumuşak
BD-9	2.28	Çok yumuşak
BD-10	3.85	Çok yumuşak
Termal Apt.	9.41	Yumuşak
Koç Oto Yık.	8.74	Yumuşak
Oto Yık. 1	14.46	Yumuşak

Çalışma alanında bulunan sıcak su kuyularının genelinde birbirine yakın kimyasal bileşimlerin görüldüğü göz önüne alınır ise, genel anlamda sahadaki sıcak suların sodyum bikarbonatlı klorürlü, zayıf kabuk yapıcı nitelikli, iletkenliği yüksek, dolayısı ile sulama suyuna uygun olmayan, orta içilebilir sular olduğu yorumu yapılabilir.

7.7. Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması

Jeotermal kaynakların sınıflandırılması, kullanılan parametrelere göre değişim sunar. Jeotermal kaynaklar ısı yayan ve ısı yayamayan sistemler olarak basitçe ikiye ayrılabilir. Isı yayan (konvektif) sistemler; akışkan hareketi ile yeryüzüne ısı iletiminin gerçekleştiği sistemler, ısı yaymayan sistemler ise ısıyı iletecek akışkanın hareketinin mümkün olmadığı sistemlerdir. Bunlardan ayrı olarak, neredeyse tüm ısının içerisinde depolandığı, kısmen akışkanca doygun veya hemen hemen

geçirimsiz denebilecek sıcak kuru kaya sistemi vardır (NZ Jeotermal Enerji Teknolojisi Kursu, Jeotermal Kaynaklar ve Kullanımları Dersi Notları, 2002).

Jeotermal kaynaklar sıcaklıklarına göre;

- Düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklar ($T < 125^{\circ}\text{C}$)
- Ortaç sıcaklıklı jeotermal kaynaklar ($125^{\circ}\text{C} < T < 225^{\circ}\text{C}$)
- Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaklar ($T > 225^{\circ}\text{C}$)

şeklinde sınıflandırılırlar.

Ayrıca sistemin fiziki durumuna göre de;

- Sıvının etkin olduğu jeotermal sistemler
- İki fazlı jeotermal sistemler
- Buharın etkin olduğu jeotermal sistemler

olarak 3 ana başlık altında da toplanabilir.

Balçova Jeotermal Sahası konvektif, düşük sıcaklıklı, sıvının etkin olduğu bir jeotermal sistemdir.

BÖLÜM SEKİZ

JEOTERMOMETRELER

8.1. Giriş

Jeotermal sistemlerde sıcak akışkan ile kayaçlar arasında çözünürlük ya da iyon değişimi gibi kimyasal reaksiyonlar, dengeye ulaşmaları sıcaklığın bir fonksiyonu olarak gelişen olaylardır. Sığ derinliklerde (1 km'den az derinliklerde) akışkanın bileşimi kaynama ve karışım işlemlerinden, daha ortaç derinliklerde (1–5 km) akışkan-kayaç tepkimelerinden etkilenir. Jeotermometreler bu etkileşimlere bağlı olarak da rezervuar sıcaklığı hakkında bir tahminde bulunmak amacı ile kullanılırlar. Rezervuarın sıcaklığını tahmin edebilmek için çözünürlüğe ve iyon değişimine bağlı olarak değişik jeotermometreler geliştirilmiştir. Sıcak akışkan, yüzeye ulaşana değin kat ettiği mesafe boyunca derinlerdeki sıcaklığını koruyamaz, önemli ölçüde soğur, soğuk sularla değişik oranlarda karışır ve yüzeye ulaşır. Sıcak suların sıcaklık dereceleri kullanım alanlarının belirlenmesinde, araştırmanın yönlendirilmesinde çok önemlidir. Sondaj işleminin maliyeti göz önünde bulundurulur ise, su kimyasına dayalı ön çalışmaların önemi de ortaya çıkar. Bu anlamda daha önceki bölümde bahsedilen alterasyon mineralleri ve bu bölümde incelenecek olan jeotermometre yöntemleri araştırmacılara ışık tutmaktadır. Ayrıca bu bölümün hazırlanmasında Yeni Zelanda Jeotermal Enerji Teknolojisi Kursu Hidrojeokimya Dersi Notları'ndan yararlanılmıştır ve metin içerisinde atıflarda (YZ KN, 2002) şeklinde anılacaktır.

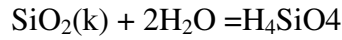
8.2. Kimyasal Jeotermometreler

Kimyasal analizler ucuz ve daha çabuk sonuç veren yöntemler olduğu için, jeotermal sistemlerin rezervuar sıcaklığının tahmin edilmesi açısından kimyasal jeotermometreler çok yarar sağlamaktadır. İncelenen jeotermal sahada veya laboratuarda yapılan soğuk ve sıcak suların analizlerine dayalıdır. Kimyasal jeotermometreler niteliksel ve sayısal olmak üzere iki değişik türde değerlendirilmektedir (Şahinci, 1991). Niteliksel jeotermometreler, sıcak akışkanlarda bulunan uçucu maddelerin zeminde dağılımına, sıcak akışkanın geride bıraktığı çökellere, sıcak akışkanın içerdiği iz elementlere bağlı

olarak jeotermal sistem hakkında bilgi vermektedir. Sayısal jeotermometrelerde ise bazı önkabuller yapılmaktadır. Bu önkabullerden en önemlileri ve her jeotermometre türü için geçerli olanları, derinlerde mineral-akışkan dengesinin sağlanmış olduğu ve kimyasal tepkimelerin sıcaklığa bağlı olarak gerçekleştiği önkabulleridir. Bu çalışmada çözünürlüğe, iyon değişimine ve iyon etkinliğine bağlı olarak üçe ayrılan jeotermometre yöntemlerinden çözünürlüğe ve iyon değişimine bağlı olan jeotermometreler kullanılmıştır. Bu jeotermometrelerden silis ve Na/K jeotermometreleri eldeki su analizlerine uygulanmış ve sonuçları verilmiştir.

8.2.1. Silis Jeotermometreleri

Sıcaklığı 100⁰C'nin üzerindeki sularda uygulamaları en iyi sonuçları vermektedir. Silis jeotermometrelerinin kullanım prensibi, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak silika türlerinin sudaki çözünürlüğüne dayanmaktadır. Silika mineralinin temel çözülme tepkimesi



şeklinde (k), katı faz anlamındadır. 120⁰C-180⁰C arasındaki sıcaklıklardaki jeotermal sistemlerde çok yaygın bir alterasyon minerali olan kuvarsin çözünürlüğü sulu silika tarafından kontrol edilmektedir. 180⁰C'nin altında kristalleşen, kuvarstan daha düzensiz bir kristal yapısına sahip olan kalsedon, opal, kristobalit gibi silika amorfı kuvarstan daha yüksek bir çözünürlüğe sahiptir ve yüksek sıcaklık sistemlerinin sığ kesimlerinde ve marjinlerinde (uç kesimlerinde) bulunmaktadır. Silika jeotermometre bağıntıları, sıcak suyun yukarıya doğru yükselirken soğumasına veya kimyasal tepkimeye giren rezervuarın sıcaklığına bağlı olarak hazırlanmıştır. Silisyumun çözünürlüğü sıcaklık ile artar (Şekil 28). Tablo 17'de bazı kimyasal jeotermometre bağıntıları verilmektedir (Jeotermal Su Kimyası, G. Tarcan, 2002). Bu tabloda verilenlerden ayrıca, silisin değişik koşullarda soğumasına bağlı olarak geliştirilen rezervuar kayacın sıcaklığının hesaplanmasında kullanılan, aşağıda verilen bağıntılar da bulunmaktadır (Şahinci, 1991).

$$t^{\circ}\text{C} = [1533.5 / (5.768 - \log \text{SiO}_2)] - 273.15$$

Kuvarsın adiyabatik (maksimum buhar kaybı) soğuması (125⁰C-275⁰C arası)

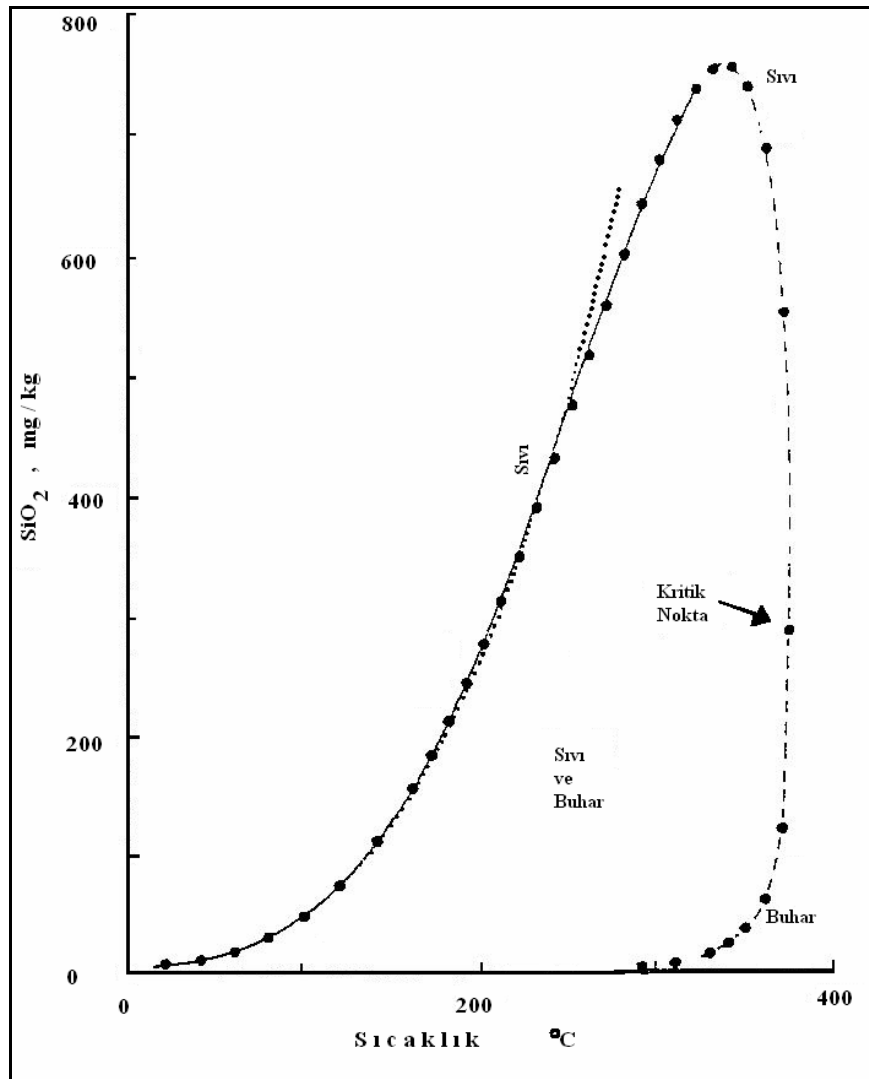
$$t^{\circ}\text{C} = [1315 / (5.205 - \log \text{SiO}_2)] - 273.15$$

Kuvarsın kondüktiv soğuması (125⁰C-275⁰C arası)

$$t^{\circ}\text{C} = [1015 / (4.655 - \log \text{SiO}_2)] - 273.15$$

Kalsedonun kondüktiv soğuması

Yukarıya doğru yükselen sıcak akışkanda hızlanan silis çökelimi, bu jeotermometrenin kullanım aralığını belirler. 225⁰C'nin üzerinde sıcaklığa sahip olan rezervuarlarda kuvars jeotermometreleri gerçek sıcaklığı yansıtmayabilir.



Şekil 28. Kuvarsın sudaki çözünürlüğü (YZ KN, 2002)

Bu çalışmada gerek flišin bileşenlerinden biri oluşu, gerekse analizler sonucu oldukça yaygın bir hidrotermal alterasyon minerali olduğu gözlenen kuvarsın varlığı, silis jeotermometrelerinin kullanımının daha uygun olacağını, bu jeotermometrelerden alınacak sonuçların yanılması daha az olacağını göstermektedir.

8.2.2. Na/K, Na/Li, K/Mg, K/Ca, Na-Ca Jeotermometreleri

İyon değişimine bağlı jeotermometrelerdir. Yükselen sıcaklığın Na ve K iyonlarına olan etkisi prensibine dayalı olarak geliştirilen jeotermometre bağıntıları tabloda verilmiştir. Bu jeotermometreler deniz suyu karışımının olmadığı düşünülen sistemlerde gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir.

Tablo 17. Sayısal Değerlendirmede Bazı Kimyasal Jeotermometre Bağlıtları (mg/l)

Uygulanan Jeotermometre	Bağıntı	Değinilen Belgeler	Kullanılanlar
SiO ₂ (Amorf Silis)	$t=731 / (4.52-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977a	*
SiO ₂ (α Kristobalit)	$t=1000 / (4.78-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977a	*
SiO ₂ (β Kristobalit)	$t=781 / (4.51-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977a	*
SiO ₂ (Kalsedon)	$t=1032 / (4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977a	*
SiO ₂ (Kuars)	$t=1309 / (5.19-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977a	*
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1522 / (5.75-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, 1977a	*
SiO ₂ (Kalsedon, kondüktiv soğuma)	$t=1112 / (4.91-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., 1983	
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1264 / (5.31-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., 1983	
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1021 / (4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., 1983	
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1164 / (4.9-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., 1983	
SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1498 / (5.7-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., 1983	
Na/K	$t=933 / (0.933+\log \text{Na/K})-273.15$	Arnorsson vd., 1983	
Na/K	$t=1319 / (1.699+\log \text{Na/K})-273.15$	Arnorsson vd., 1983	
Na/K	$t=777 / (0.70+\log \text{Na/K})-273.15$	Arnorsson vd., 1983	*
Na/K	$t=856 / (0.857+\log \text{Na/K})-273.15$	Truesdell, 1976	*
Na/K	$t=1217 / (1.483+\log \text{Na/K})-273.15$	Fournier, 1979a	*
Na/K	$t=1178 / (1.470+\log \text{Na/K})-273.15$	Nieva ve Nieva, 1987	
Na/K	$t=1390 / (1.750+\log \text{Na/K})-273.15$	Giggenbach, vd., 1983	
Na/K (mmol)	$t=908 / (0.692+\log \text{Na/K})-273.15$	Fournier, 1979a	
SiO ₂ (Kalsedon) (mmol)	$t=1101 / (0.11+\log \text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., 1983	
K/Mg	$t=4410 / (13.95+\log \text{K}^2/\text{Mg})-273.15$	Giggenbach vd., 1983	*
Na-K-Ca (mmol)	$t=1647 / (\log \text{Na/K} + \beta \log \sqrt{\text{a/Na}+2.24})-273.15$	Fournier ve Truesdell, 1973	
Na-K-Ca (R) (mek/l) (Magnezyum düzeltmeli)	$R=(\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Ca}+\text{K})\times 100$	Fournier ve Potter, 1979	*
Li/Mg	$t=2200 / [5.470-\log (\text{Li}/\text{Mg}^{0.5})]-273.15$	Kharaka ve Mariner, 1989	*
Na/Li	$t=1590 / [0.779-\log (\text{Na}/\text{Li})]-273.15$	Kharaka vd., 1982	*
Na/Li (mmol) Cl<0.3	$t=1000 / [0.389-\log (\text{Na}/\text{Li})]-273.15$	Fouillac ve Michard, 1981	*
Na/Li (mmol) Cl>0.3	$t=1195 / [0.130-\log (\text{Na}/\text{Li}^{0.5})]-273.15$	Fouillac ve Michard, 1981	*
Na/Ca	$t=1096 / [3.08-\log (\text{Na}/\text{Ca}^{0.5})]-273.15$	Tonani, 1980	
K/Ca	$t=1930 / [3.861-\log (\text{K}/\text{Ca}^{0.5})]-273.15$	Tonani, 1980	

8.2.2.1. Balçova Jeotermal Sahasında Jeotermometre Uygulamaları

Tablo 18. Çalışma sahasındaki kuyuların jeotermometre ile hesaplanan sıcaklıkları

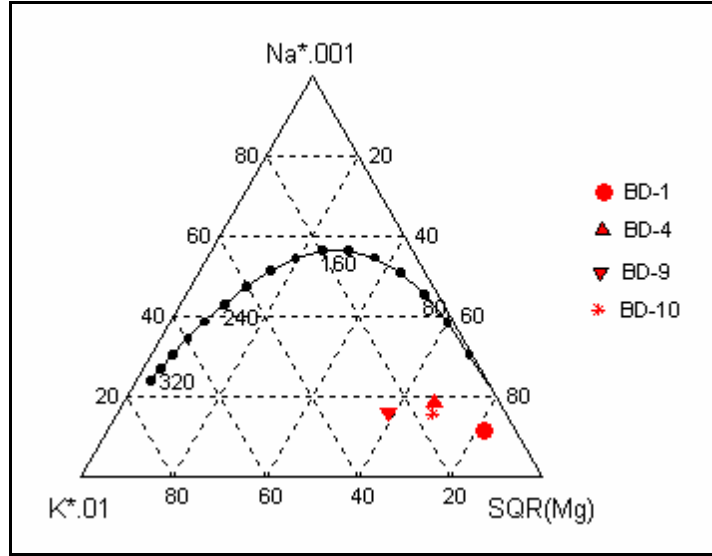
Kuyu No	t^0C_1	t^0C_2	t^0C_3	t^0C_4	t^0C_5	t^0C_6
B-1	142.97	148.02	121.49			
B-4	148.03	154.09	128.4			
B-10	149.88	156.3	130.95			
BD-1	147.28	153.18	127.37	137.74	176.26	130.49
BD-2	153.78	160.9	136.34			
BD-4	154.46	161.82	132.29	161.46	195.94	155.81
BD-5	152.74	159.74	134.9			
BD-7	152.03	158.89	133.92			
BD-9	155.81	163.45	139.17	243.49	260.20	245.69
BD-10	133.82	137.15	109.19	188.88	218.06	185.38
Termal Apt.	145.35	150.87	124.74			
Koç Oto.Y.	115	116.02	85.67	169.88	202.80	164.86
Oto Yık.1	112.57	112.18	81.45			
Baraj	53.9	45.57	10.72			
A. Kaya	64.8	57.7	23.26			

$$t^0C_1 = [1533.5 / (5.768 - \log SiO_2)] - 273.15, t^0C_2 = [1315 / (5.205 - \log SiO_2)] - 273.15,$$

$$t^0C_3 = [1015 / (4.655 - \log SiO_2)] - 273.15, t^0C_4 = [855.6 / \log(Na/K) + 0.8573] - 273.15, t^0C_5 = [1217 / \log(Na/K) + 1.483] - 273.15,$$

$$t^0C_6 = \{777 / [(\log(Na/K) + 0.7)]\} - 273.15$$

Yukarıda verilen tabloda, uygulanan jeotermometreler sonucunda, sıcak su kuyularında en yüksek sıcaklığı BD-9 sıcak su kuyusu vermektedir. Silis jeotermometrelerinde en düşük sıcaklık ise BD-10 kuyusundan elde edilmiştir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanması sonucunda en yüksek sıcaklığı yine BD-9, en düşük sıcaklığı ise BD-1 kodlu kuyu vermektedir. Bu durumda sahada BD-9'un örnekleme yapılan kuyular arasında en doğuda olduğu göz önünde bulundurulur ise, doğuya doğru ilerledikçe, rezervuarda bir sıcaklık artışının beklenmesi söz konusu olmaktadır.



Şekil 29. BD-4, BD-9 ve BD-10 kodlu kuyuların Na-K-Mg Jeotermometre Diyagramı

Yukarıdaki diyagrama göre (Şekil 29) bu sular su- kayaç ilişkisine göre, tam olarak dengeye ulaşmamış, ham sular bölgesinde bulunmaktadır ve bu sulardan alınacak örneklerin rezervuar sıcaklığı tahmininde katyon jeotermometresi uygulamasını yanıltıcı olabilir (Giggenbach 1988).

Aşağıda Aquachem 3.7 bilgisayar programı ile hesaplanmış olan jeotermometre hesapları toplu halde verilmektedir.

Silis (Kuars) Fournier, 1977a ve Silis (Buhar kaybı) Forunier, 1977a kuvars jeotermometreleri B-1, B-4, B-10, BD-1, BD-2, BD-3, BD-4, BD-5, BD-6, BD-7, BD-9, BD-10, Termal Apt. su örneklerinde 133⁰C ve 164⁰C arasında değişen sıcaklıklar vermişlerdir (Tablo 19). Aynı örneklerin Silis (kalsedon) Fournier 1977a jeotermometre sonuçları da 123⁰C ile 140⁰C arasında değişmektedir. Her iki sıcaklık aralığında da BD-6 en yüksek sıcaklığı vermektedir. Bu sonuçlara göre, burada silikanın çözünürlüğünün kalsedon tarafından kontrol edildiğini söyleyebiliriz. BD-4 kodlu derin kuyunun örneği ise kalsedon jeotermometresinde daha düşük bir sıcaklık vermektedir.

Tablo 19. Örneklere uygulanan jeotermometreler ve sonuçları

Örnek Adı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Değerlendirilen Belgeler	Araştırma	Uyg.
Örnek Sıcaklığı (°C)	96.6	105	105	121	139	115	139	117	139	115	98.7	104	37.5	30	120	122			
Uygulanan Jeotermometre																			
SiO ₂ (Amorf Silis)	22	28	30	27	34	23	35	33	34	32	34	12	-4	-9	25	-44	Förmann, 1977a	0-250	
SiO ₂ (α Kristobalit)	98	104	104	103	111	96	112	110	113	109	113	84	65	61	100	-3	Förmann, 1977a	0-250	
SiO ₂ (β Kristobalit)	49	55	57	54	61	49	62	60	64	59	64	38	18	14	51	-44	Förmann, 1977a	0-250	
SiO ₂ (Kalseden)	123	129	132	128	137	124	138	136	140	135	140	110	87	83	126	13	Förmann, 1977a	0-250	
SiO ₂ (Kuvaz)	140	154	156	153	161	149	162	160	164	159	164	137	116	112	151	45	Förmann, 1977a	0-250	•
SiO ₂ (Kuvaz buhar kaybı)	142	147	149	146	153	143	153	152	155	151	155	133	115	111	144	53	Förmann, 1977a	0-250	•
Ra/K				138			162				244	189					Truesdell, 1974	100-275	•
Ra/K				176			196				260	218					Förmann, 1979a	100-275	•
K/Mg				29			17				11	14					Giggenbach vd., 1983		
Ra-K-Ca (R) (mek/l)				165			140				181	145					Förmann ve Potter, 1979	0-350	•
Li/Mg				104			127				137	129					Kharaka ve Mariner, 1989	0-350	
Ra/Li				210			210				119	224					Kharaka vd., 1982	0-350	•
Ra/Li (nme l) Cl=0.3				104			104				121	117					Förmann ve Michard, 1981		
Ra/Li (nme l) Cl=0.3				105			104				119	116					Förmann ve Michard, 1981		

1: B-1, 2: B-4, 3: B-10, 4: BD-1, 5: BD-2, 6: BD-3, 7: BD-4, 8: BD-5, 9: BD-6, 10: BD-7, 11: BD-9, 12: BD-10, 13: Eğ Öte Yık., 14: Öte Yık.-1, 15: Termal Apt., 16: Baraj

Bu tabloyu yorumlayacak olur isek, uygulanabilirlik sütununda (Uyg.) yanlarına (*) işareti konmuş olan jeotermometre uygulamaları, yani SiO_2 (kalsedon), SiO_2 (kuvars), SiO_2 (kuvars buhar kaybı), Na/K (Truesdell, 1976 ve Fournier, 1979a), Na-K-Ca (Fournier ve Potter, 1979) ve Na/Li (Kharaha ve Mariner, 1989), gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Na-K-Ca (Fournier, 1979 ve Potter, 1979) Ca konsantrasyonu yüksek sularda daha iyi sonuçlar vermektedir. Buradaki örneklerde de Ca oranı yüksektir. Bu jeotermometrenin uygulanabilmesi için gerekli olan kalsit çökelimi de, ilerleyen bölümlerde görüleceği gibi, X-Ray analiz sonuçlarında da desteklendiği için, doğruya yakın sonuç vermesi normaldir. Bu bölgenin suları genelde sodyum bikarbonatlı olduğundan, K-Mg jeotermometresi sonuçlarına pek önem verilmemelidir. Zira bu jeotermometrenin kullanımı daha çok klorürlü sularda uygundur.

BÖLÜM DOKUZ

HİDROTHERMAL ALTERASYON

9.1. Giriş

Jeotermal sistemlerdeki termal sular ile yan kayaç arasındaki reaksiyonlar birtakım ikincil minerallerin oluşumuna neden olur. Alterasyon kayacın mineralojik yapısında meydana gelen değişimdir. Sıcak suların etkisi ile oluşan alterasyonlar hidrotermal alterasyonlardır. Sıcak suların etkisi ile meydana gelen bu ikincil minerallerin oluşumu ve bollukları genellikle ortamın daha önceki fiziksel ve kimyasal koşullarına bağlıdır. Jeotermal sistemlerdeki sondaj kırıntılarından yola çıkarak gözlenen bu tür minerallerin çalışılması ile rezervuar koşullarına ilişkin bilgi elde edilebilir, hatta bazı koşullarda rezervuardaki değişimler ile ilgili yorumlara gidilebilir.

Hidrotermal alterasyon çalışmalarında, arazi aşamasında lup, laboratuarda binoküler mikroskop, karotlar, petrografik kesitlerin incelenmesi ve X-Ray difraktometre yöntemleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada BD-6, BD-8, BD-9 ve BD-10 kodlu derin kuyuların karotlarının çeşitli seviyelerden örnekler alınmış ve alterasyon minerallerinin varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca BD-8, BD-9 ve BD-10 kodlu sık kuyulardan sırasıyla 541m, 726m ve 751 m kuyu sonu karotlarından ince kesit yaptırılarak Olympus Bx50F4 mikroskopta incelenmiştir.

Çeşitli seviyelerden toplam 25 örnek X-Ray difraktometre yöntemiyle, 7 adet değişik noktalardan alınan ince kesit de mikroskopta incelenmiştir

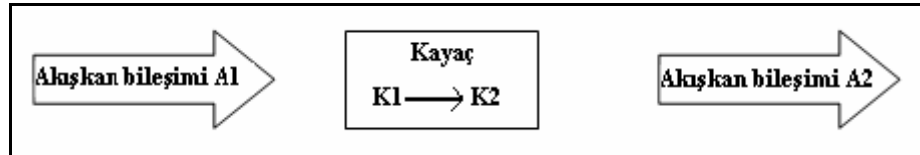
Çalışma alanında bulunan jeotermal kuyulardan kuyu loglarında yapılan incelemeler sonucu alterasyon olabileceği tahmin edilen seviyeler belirlenerek BD-10 kodlu derin kuyu için sondaj aşamasında örnek alımı gerçekleştirilmiş, diğer kuyuların örneklemeleri için MTA Ankara Genel Müdürlüğü Karot Bankası'na başvurulmuştur. Bu bölümün hazırlanmasında Yeni Zelanda Jeotermal Enerji

Teknolojisi Kursu Hidrotermal Alterasyon Dersi Notları'ndan yararlanılmıştır ve metin içerisinde atıflarda (YZ KN, 2002) şeklinde anılacaktır.

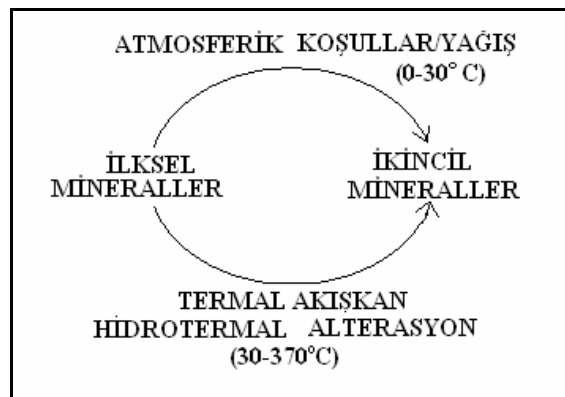
9.2 Hidrotermal Alterasyonun Oluşumu ve Neden Olan Etmenler

Hidrotermal alterasyonun ya da reaksiyonun sahadaki dağılımı, alterasyon gözlenen sahanın daha önceki sıcaklığına, alterasyon oluşum aralığına bağlıdır. Alterasyonun, özellikle hidrotermal alterasyonun yoğunluğu ve tipi rezervuar kayacın oluşumunu sağlayan ortamı da yansıtır. Buna bağlı olarak da, volkanik kayalar, volkanik ve jeotermal ortamlar arasındaki büyük farklılıklardan dolayı, daha çabuk alterasyona uğrarlar, düşük dereceli metamorfik kayalar ise sadece nötrale yakın pH'ye sahip, alkalın klorit sular ile hafifçe reaksiyona girerler.

Hidrotermal alterasyona neden olan etmenleri fiziksel ve kimyasal etmenler olarak iki başlık altında toplayabiliriz. Fiziksel etmenler tektonik yapıya bağlı olarak gelişen, kimyasal etmenler ise sıvıların, özellikle hidrotermal suların etkisi ile gelişen reaksiyonlar tanımlanmaya çalışılmaktadır.



Bu işlemler sırasında hem akışkanın kimyası hem de kayacın kimyası değişime uğramaktadır.



Alterasyon, çoğunlukla metamorfizma ile karıştırılsa da, metamorfizmada kayacın kimyasal bileşiminde bir değişiklik olmamasına karşın, mineralojik bileşiminde bir değişiklik söz konusudur. Oysa alterasyonda, değişen sıcaklık ve basınç koşulları altında duraylı mineral üreten kayacın hem kimyasındaki hem de mineralojik bileşimindeki değişikliklerden bahsedilir. Bu da her iki olay arasındaki en göze çarpıcı farklılıklardandır.

9.3. Hidrotermal Alterasyon Mineralleri:

Aktif jeotermal sahalarda oldukça fazla hidrotermal alterasyon minerali ayıklanmıştır. Bunlardan bazıları buddingtonit, öjirin, lepidolit gibi oldukça nadir hatta beklenmeyen minerallerdir. Oldukça sık rastlanan diğer mineraller ise Tablo 20’de verilmektedir.

Tablo 20. Sık rastlanan hidrotermal alterasyon mineralleri (Browne, 1984, YZ KN, 2002)

Mineral Grubu		Mineral Adı	Mineralin Bileşimi	Yaygın gözlemlendiği aktif jeo.sis.	
Karbonat Grubu		Kalsit	CaCO ₃	Y. Zelanda Volkanik S.	
		Aragonit	CaCO ₃	Filipinler J. S.	
		Siderit	FeCO ₃	El Tatio, Şili	
Sülfat Grubu		Anhidrit	CaSO ₄	Matsukawa, Japonya	
		Alunit	KAl ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂	Gayser, Kaliforniya	
		Natroalunit	NaAl ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂	Gayser, Kaliforniya	
		Barit	BaSO ₄	Yeni Z. Volkanik S.	
		Jarosit	(Fe)Al ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂		
		Jips	CaSO ₄ .2H ₂ O		
Sülfür Grubu		Pirit	FeS ₂	Cerro Prieto, Meksika	
		Pirotit	FeS	Matsukawa, Japonya	
		Markazit	FeS ₂	Filipin Sahaları	
		Sfalerit	ZnS ₂		
		Galen	PbS ₂		
		Kalkopirit	CuFeS ₂		
Oksit Grubu		Hematit	Fe ₂ O ₃	Kawah, Kamojang, Jawa	
		Magnetit	Fe ₃ O ₄	Olkarya, Kenya	
		Lökosen	TiO ₂	Pazetsk, Kamçatka	
		Diyaspor	Al ₂ O(OH)	Yellowstone, Wyoming	
Fosfat Grubu		Apatit	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,F,Cl)	Tonganon, Endonezya	
Halit Grubu		Florit	CaF ₂	Olkarya, Kenya	
Silikat Grubu		Orto ve Halkalı S.	Titanit (Sfen)	CaTiOSiO ₄	El Tatio, Şili
			Garnet	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	Filipin S.
			Epidot	Ca ₂ Fe ⁺³ Al ₂ O ₇ .[Si ₂ O ₇][SiO ₄].OH	Otake, Japonya
		Zincir S.	Tremolit	Ca ₂ (Mg,Fe ⁺²) ₅ [Si ₈ O ₂₂](OH) ₂	Cerro Prieto, Meksika
			Aktinolit	Ca ₂ (Mg,Fe ⁺²) ₅ [Si ₈ O ₂₂](OH) ₂	Darajat, Endonezya
		Tabakalı S.	İllit	KAl ₄₂ (Si ₃ AlO ₁₀)(OH) ₂	Otake, Japonya
			Biyotit	K ₂ (Mg,Fe ⁺²) ₃ AlSiO ₃ O ₁₀ (OH,O,F) ₂	Y. Zelanda Volkanik S.
			Pirofillit	Al ₂ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₂	Otake, Japonya
			Klorit	(Mg,Al,Fe) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Larderello, İtalya
			Kaolin Grubu (Kaolinit, dikt, halloysit)	Al ₄ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈	Kawah Kamojang, Jawa
			Montmorillonit	Ca(Al,Mg,Fe) ₄ (Si,Al) ₈ O ₂₀ (OH) ₄ .nH ₂ O	Darajat, Endonezya
			Prehnit	Ca ₂ (Al ₂ Si ₃ O ₁₀)(OH) ₂	↑T, İzlanda
		Çatı S:	Adularya	KAlSi ₃ O ₈	Larderello, İtalya
			Albit	NaAl Si ₃ O ₈	↑T, İzlanda
			Kuvars	SiO ₂	↓T,↑T, İzlanda
			Kristobalit	SiO ₂	El Tatio, Şili
			Mordenit	(Na ₂ K ₂ Ca)Al ₂ Si ₁₀ O ₂₄ .7H ₂ O	↓T,↑T, İzlanda
			Lömantit	CaAl ₂ Si ₄ O ₁₂ .4H ₂ O	↓T,↑T, İzlanda
			Vairakit	CaAl ₂ Si ₄ O ₁₂ .2H ₂ O	Filipin S.

9.4. Hidrotermal Alterasyonun yoğunluğu ve derecesi:

Bu iki terim birbirinden farklı anlamlar taşırlar. Bir alterasyonun yoğunluğu, I_a , kayacın ne kadarının yeni bir mineral (hidrotermal mineral) üretmeye geçtiğinin bir ölçümüdür. Örneğin; hiç alterasyona uğramamış bir birim hacim kayacın alterasyon yoğunluğu sıfır iken ($I_a=0$), tüm ilksel fazları değişime uğramış olan bir kayacın ise %100'dür ($I_a=1.00$). Alterasyon yoğunluğu mikroskopik ya da X-ray difraktometre ile belirlenebilir ancak gözden kaçırılmaması gereken konu, yoğunluğun yeni minerallerin belirlenmesi ile değil, bu minerallerin kayadaki toplam bollukları ile ilgili oluşudur.



Alterasyon derecesi ise; yeni minerallerin belirlenmesi prensibine dayanır ancak alterasyon yoğunluğundan daha deneysel ve göreceli bir parametredir. X-ray difraktometre, diferansiyel ısı analiz ve diğer teknikler ile desteklenen makroskopik ve mikroskopik çalışmalara dayanır. Örneğin, adularya geçirgenlik göz önüne alındığında yüksek bir derecesi vardır (YZ KN, 2002).

9.5. Hidrotermal Alterasyon Oluşum Türleri

9.5.1. Doğrudan Çökelme

Bu tip alterasyon oldukça yaygındır ve pek çok hidrotermal mineral jeotermal sahalarda doğrudan doğruya akışkandan çökelmiş bir durumda bulunmaktadır. Bunun olabilmesi için, rezervuar kayacın içerisinde akışkanın hareket edeceği kırık, çatlak, eklem takımları, faylar, hidrolik çatlaklar, uyumsuzluklar, gözenekler, boşluklar ve damarlar gibi yapıların bulunması gerekmektedir.

Kuvars, kalsit ve anhidrit damarlar oluştururlar ve boşlukları doldururlar, ayrıca klorit, illit, adularya, pirit, pirotit, hematit, vairakit, florit, lömantit, mordenit, prehnit ve epidot mineralleri direk olarak akışkandan çökelirler. Sondaj borularında ve boşaltım kanallarında da çökelmeler kalsit, aragonit ve silika şeklindedir, demir içeren mineraller ise kabuklaşmaya yol açar.

9.5.2. Ornatım (Yer Değıştirme)

Pek çok kayaç, jeotermal ortamda duraylılığını koruyamayan ilksel mineraller içermektedir ve bu mineraller değışen ortam koşulları altında yeni mineraller ile yer değıştirme eğilimindedirler veya en azından yeni koşullar altında yarı duraylı davranırlar. Bazı yaygın ornatım ürünü mineraller aşağıdaki tabloda verilmiştir. Ornatım yolu ile alterasyon oranı oldukça değışkendir ve geçirgenliğe dayanır. Örneğin, aktif bir volkanın andezit külleri bir yıl içerisinde tamamen altere volkanik cama dönüşebilir (Yeni Zelanda, Bay of Plenty, White Island). Bu durumda alterasyon yoğunluğu 1.0 olmaktadır. Bunun aksi olarak da, geçirimsiz bir ortamda örneğin Yeni Zelanda, Ohaaki-Broadland Jeotermal sahasında olduğu gibi, 205⁰C sıcaklıkta kaynak ıgnimbiritlerin 300.000 yıldan fazla süre geçmesine rağmen hala 0.1'den fazla alterasyon yoğunluğuna ulaşmadığı gibi örnekler de bulunmaktadır. Ornatımın tamamlanmadığı durumlarda (yoğunluğun 1.00'dan az olduğu zaman), örneğin akışkan/mineral dengesinin sağlanmadığı durumlarda, reaksiyon nüvede saklanır ya da donar. Volkanik kökenli rezervuar kayaçlarda ilksel ve hidrotermal (ikincil) minerallerin ayırt edilmesi daha kolaydır ancak sedimanter kökenli ya da düşük dereceli metamorfik kayaçlarda, Larderello, Kızıldere, Ngawha örneklerinde olduğu gibi, durum daha farklıdır. Nedeni ise, bu kayaçların içerdığı kuvars, kalsit, feldspat, illit gibi minerallerin alkali klorürlü suların mevcut bulunduğu jeotermal ortamda da duraylılıklarını sürdürmeleridir.

9.5.3. Kimyasal Çözündürme (Leaching)

Bu tür alterasyon genellikle jeotermal sahaların uç sınırlarında gözlenir ve bu yüzden de sondaj kırıntılarında, karotlarda izine pek rastlanmaz. H₂S'nin

oksidasyonu ile asitlenen yoğunlaşmış buhar kayalarla etkileşime girerek, ornatım olmaksızın ilksel mineralleri eriterek meydana gelir.

9.5.4. Püskürmeler

Bazen, sondaj ilk açıldığı anda, sondaj boyunca geçilen çatlak ve kırıklardan kuvars, vairaikit ve diğer mineraller dışarıya püskürtülürler. Bazı durumlarda bu mineral, keskin kenarlı, özşekilli, herhangi bir şekilde kayalar yüzeyine tutunamayan kalsit minerali bile olabilir.

Alkali klorürlü sular içeren bazı jeotermal sistemlerdeki tipik ornatım alterasyonu ürünleri Tablo 21’de verilmektedir.

Tablo 21. Alkali klorürlü sular içeren bazı jeotermal sistemlerdeki tipik ornatım alterasyonu ürünü mineraller (Geology Lecture Notes, 665.603, Geothermal Institute, The University of Auckland, 2002, P.R.L. Browne’dan).

İlksel mineral	Ornatım ürünü
Volkanik cam	Zeolitler (mordenit, lömantit gibi), kristobalit, kuvars, kalsit, killer (montmorillonit gibi)
Magnetit/ilmenit/titanomagnetit	Pirit, lökosen, Titanit, pirotit, hematit
Piroksen/amfibol/olivin/biyotit	Klorit, illit, kuvars, pirit, kalsit, anhidrit
Kalsik plajiyoklas	Kalsit, albit, adularya, vairaikit, kuvars, anhidrit, klorit, illit, kaolin, montmorillonit, epidot, prehnit
Anortoklas/sanidin/ortoklas	Adularya, illit

9.6. Hidrotermal Alterasyonun Ana Kayalar Etkisi

Hidrotermal alterasyonlar ana kayaların özelliklerinde değişim meydana getirirler.

9.6.1. Kimyasal değişimler

Ornatım, sızma ve çökelme şeklinde oluşan alterasyonlar kapsamı ve doğası oldukça değişken ancak mineralojinin bir fonksiyonu olarak meydana gelen kimyasal değişimlere neden olurlar (Tablo 22).

Bazı yerlerde, en azından lokal ölçekte, hidrotermal alterasyon nadiren isokimyasal olarak gelişir, genellikle bileşenler rezervuara eklenir ya da rezervuardan uzaklaşır. Tablo 23’de nötre yakın pH’a sahip, alkali klorürlü sular içeren bir jeotermal rezervuarındaki hidrotermal alterasyon oluşumu sırasında majör oksit elementlerin olağan davranışları gösterilmektedir.

Tablo 22. Bazı ilksel minerallerin alterasyona karşı göreceli duraylılıkları (Browne, 2002)

Nötrale yakın Alkali Klorürlü Sular		Asitli sular	
Mineral adı	En duraylı	Mineral adı	En duraylı
Apatit		Apatit	
Hornblend		Piroksen	
Plajiolklas		Plajiolklas	
Aujit		Hornblend	
Hipersten		Fe-Ti oksitleri	
Magnetit			
İlmenit			
Cam			
	En az duraylı		En az duraylı

Tablo 23. Majör oksit elementlerin hidrotermal alterasyon sırasında olağan davranışları (Geology Lecture Notes, 665.603, Geothermal Institute, The University of Auckland, 2002, P.R.L. Browne’den)

Oksit	Olağan davranış	Bu oksidi ya da bileşeni içeren hidrotermal mineraller
SiO ₂	Eklenme ve uzaklaşma	Kuvars, kristobalit, silikatlar
TiO ₂	Değişim yok	Titanit, lökosen
Al ₂ O ₃	Eklenme ve uzaklaşma	Pek çok silikatlar
Fe ₂ O ₃ FeO	Eklenme ve uzaklaşma	Klorit, pirit, pirotit Siderit, epidot, hematit
MnO	Değişim yok	
MgO	Uzaklaşma	Klorit, dolomit
CaO	Eklenme ve uzaklaşma	Kalsit, vairakit, epidot, prehnit, anhidrit, montmorillonit, titanit, florit
Na ₂ O	Eklenme ve uzaklaşma	Albit
K ₂ O	Eklenme	Adularya, illit, alunite
CO ₂	Eklenme	Kalsit, siderit
S, SO ₃	Eklenme	Anhidrit, alunite, pirit, pirotit, barit
H ₂ O	Eklenme	Tüm killler, epidot, prehnit, tüm zeolitler
P ₂ O ₅	Değişim yok	Apatit
Cl	Uzaklaşma	

9.6.2. Fiziksel değişimler

Alterasyona uğrayan kayacın kimyası olduğu kadar fiziksel özelliklerinde de bir takım değişimler meydana gelir.

9.6.2.1. Yoğunluk

Alterasyona uğrayan kayalarda, özellikle doğrudan çökelim yolu ile hidrotermal minerallerin çökmesinden dolayı toplam yoğunlukta bir artış gözlenir. Bu sadece kimyasal çözündürmenin (leaching) gerçekleştiği kayalarda tam tersi yoğunluk düşüşüne neden olur. %50 gözenekliliğe sahip bir pomza breşinin silifisiye olduğu düşünülür ise, $1.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 'ten $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 'e yükselmesi normal karşılanmalıdır. Bu durumda özellikle yüksek gözenekliliğe sahip rezervuar kayalarda hidrotermal alterasyona bağlı yoğunluk artışı açık bir şekilde göze çarparken, ilksel gözenekliliği %5'den az olan kayalarda bu yoğunluk artışı daha zor ayırt edilebilir. Ancak, her hidrotermal alterasyon yoğunluğu arttıracak diye kesin bir kural da koymak çok doğru olmayabilir. Örneğin, andezin mineralinin yoğunluğu daha düşük olan vairakit minerali ile ornatımı sonucu, yoğunlukta azalma olabilir.

9.6.2.2. Gözeneklilik ve Geçirgenlik

Gözeneklilik, bilindiği gibi kayacın akışkan depolama kapasitesini gösterir bir ölçüdür. Geçirgenlik ise bundan farklı olarak kayacın akışkanı iletebilme yeteneğidir. Kimyasal çözündürmenin (leaching) gerçekleştiği hidrotermal alterasyonlar hariç, alterasyonun rezervuarın geçirgenliğine etkisi oldukça karmaşıktır çünkü jeotermal sistemin doğasında seriler halinde meydana gelen küçük, düzenli ve güçlü değişimler de olmaktadır. Buna rağmen durağan bir jeotermal sistemden bahsedersek, kimyasal çözündürme yolu ile çökelen minerallerin çoğunluğuna bağlı olarak kayacın geçirgenlik özelliği kaçınılmaz bir şekilde azalacaktır.

9.6.2.3. Mıknatıs Özelliği

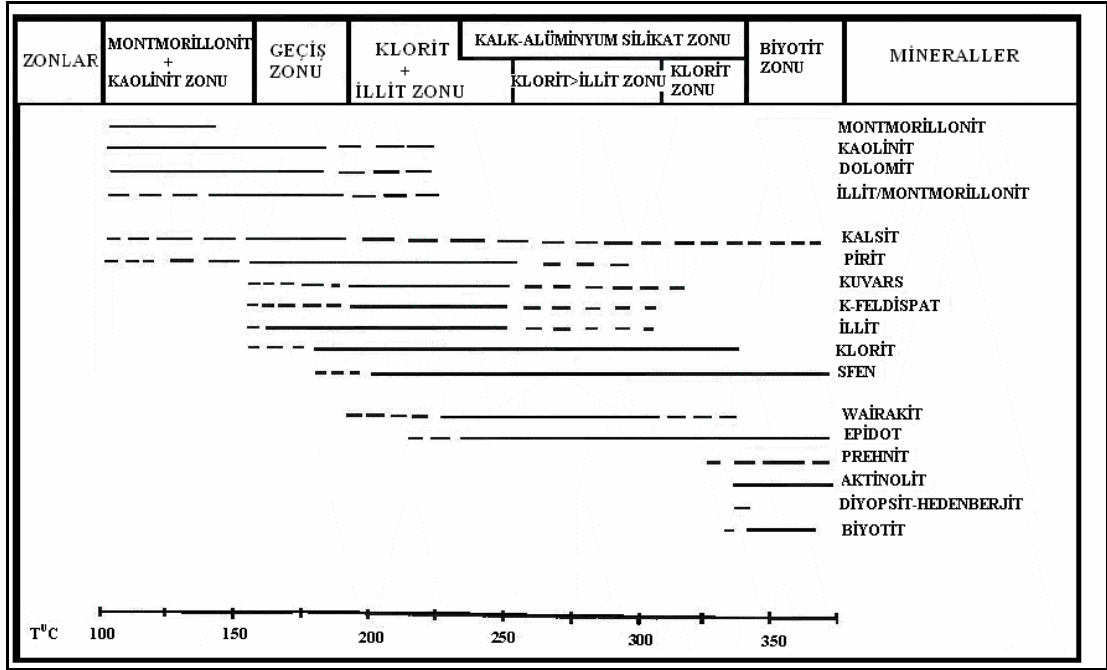
Genellikle jeotermal sistemlerde genelde demagnetizasyon (mıknatıs özelliğinin azalması) yönünde etkilidir. Taze volkanik kayalara mıknatıs özelliği kazandıran manyetit (Fe_3O_4), titanomanyetit gibi mineraller içerirler. Bu mineraller daha az mıknatıs özelliği taşıyan hematit (Fe_2O_3), pirit (FeS_2), gibi daha az manyetik ya da bazen pirotit (Fe_9S_{10}) gibi mıknatıs özelliği daha fazla olan minerallere altere olurlar.

9.6.2.4. Direnç

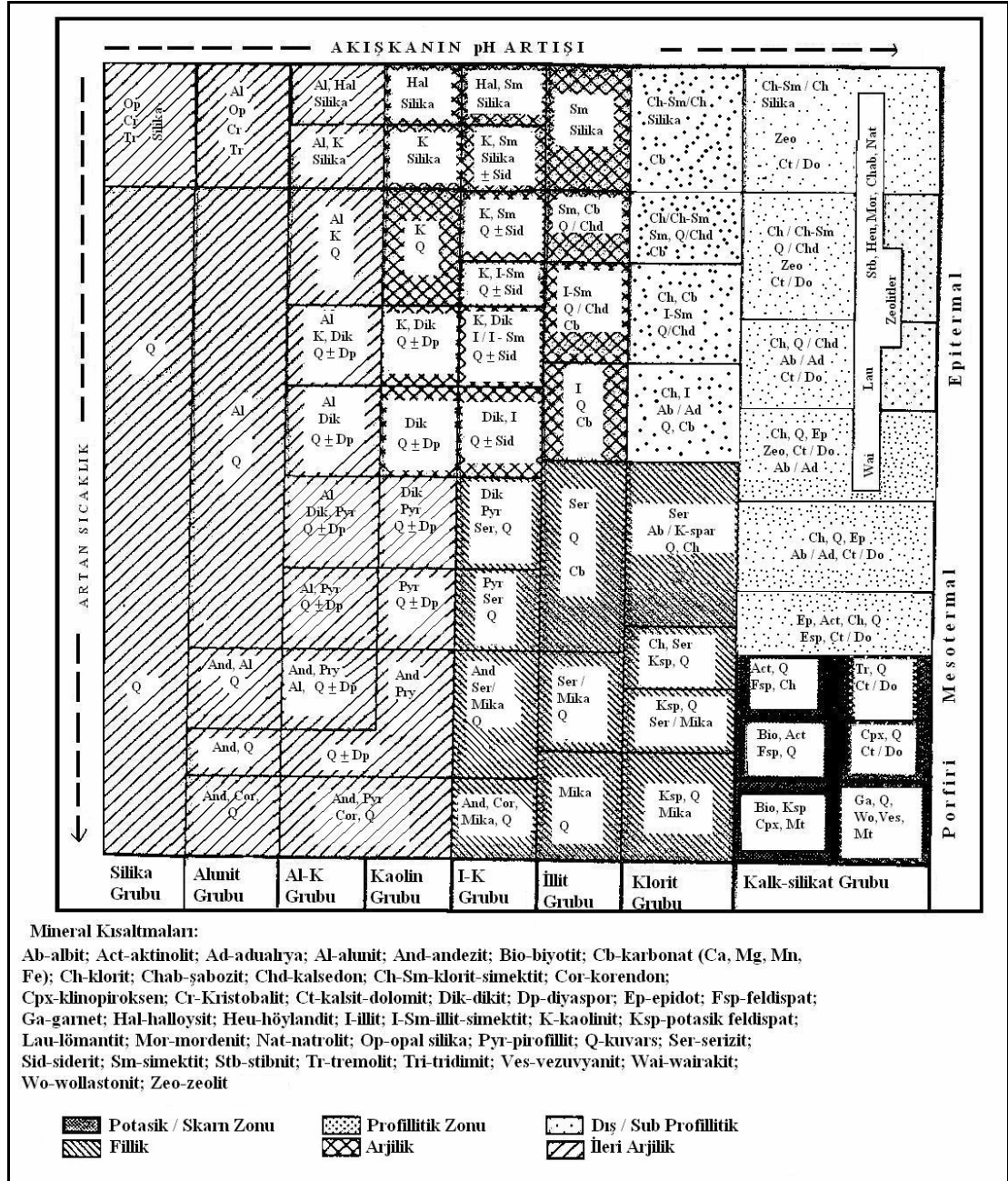
Rezervuar kayacın iletkenliği, sadece sıcak akışkanın elektrolitik yoğunluğuna bağlı olarak değil ama kayacın matriksinde bulunan iletken kil ve zeolit minerallerine bağlı olarak da etkilenmektedir. Bu durumda formasyonda bulunan kil ve zeolitler direncin düşmesine neden olurlar.

9.6.2.5. Mineralojik Değişimler

Alterasyona bağlı olarak kayacın mineralojisinde meydana gelen değişimler sıcaklık, basınç, ana kayacın türü, akışkan kimyası ve aktivitenin süresine bağlıdır (Browne, 1978, YZ KN, 2002). Kayacın geçirdiği mineralojik değişimlere göre oluşan alterasyon zonları aşağıda verilmektedir. Bu zonlar, çeşitli yöntemler ile belirlenen alterasyon mineralleri, rezervuarın geçmiş ortamına, sıcaklığına, basıncına ve pH'ına yönelik yorumlar yapmamıza yardımcı olmaktadır (Şekil 30 ve 31).



Şekil 30. Hidrotermal alterasyon zonları ve karakteristik mineral parajenezleri (Gevrek-Şener, 1986, Yılmaz, 1989)



Şekil 31. Hidrotermal sistemlerde yaygın gözlenen alterasyon mineralojisi (Browne, 2002)

9.7. Alterasyon Minerallerinin Saptanmasında Kullanılan Yöntemler

Jeotermal sistemlerde akışkan-kayaç ilişkisinden kaynaklanan hidrotermal alterasyon ve buna bağlı oluşan hidrotermal alterasyon mineralleri, jeotermal sahaların geçmiş koşullarına ışık tuttuğu ve gelecek senaryolarının yazılmasında işletmecilere fikir verebileceği için, jeotermal sistemin rezervuarına ilişkin diğer parametrelerin yanında oldukça önemli bir yer tutar. Bu yöntemler X-Ray difraktometre (X-RD), diferansiyel termal analiz (DTA), infrared spektrometre ve sıvı kapanım jeotermometre yöntemleridir. Bu çalışmada X-RD yönteminin kullanıldığı araştırmaların sonucu verilmektedir.

Bu zonların ayırtlanmasında öncelikle kuyu karotlarından alınan örneklerden binoküler mikroskopta hidrotermal minerallerin varlığı belirlendi. Daha sonra alterasyon mineralinin var olduğu düşünülen seviyelerden alınan kırıntılı örnekler öğütülerek X-Ray difraktometre aygıtında difraksiyon ölçümüne tabii tutuldu. Bu ölçümlerden elde edilen veriler grafik haline getirilerek sistem ve alterasyon mineralojisi ile ilgili yorumlar aşağıda verilmektedir.

9.7.1. X-Ray Difraktometre Cihazının Çalışma Prensipleri

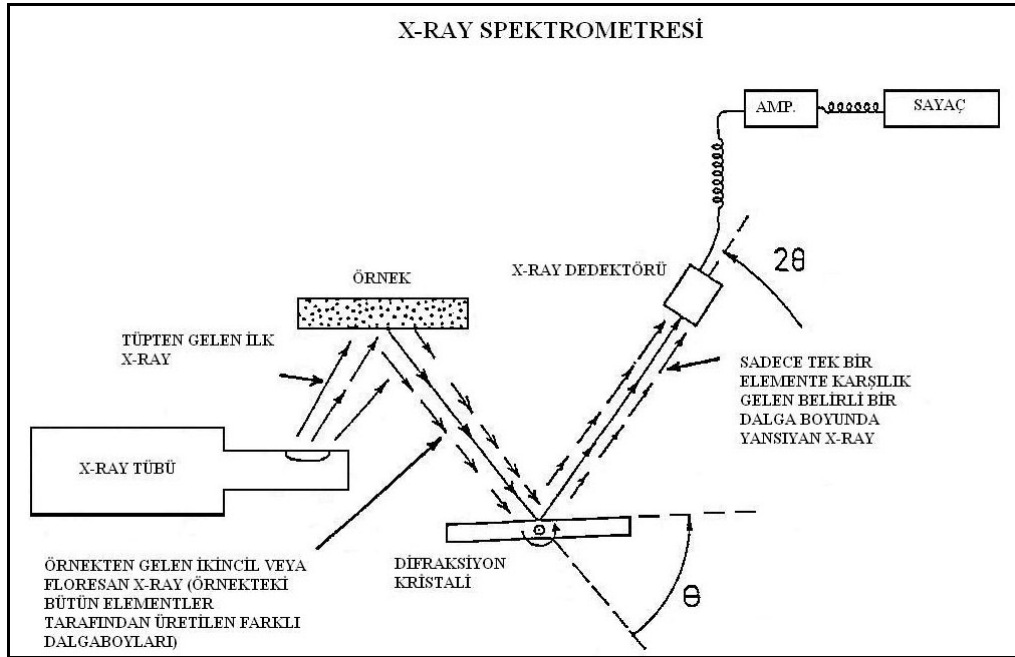
Işımaya tabii tutulan örneklerde, ışıma sırasında difraksiyonun olabilmesi için saçılım merkezlerinin arasındaki uzaklığın dalga boyu ile λ aynı olması gerekmektedir. Bu durum; Bragg'ın

$$n\lambda=2d\sin\theta$$

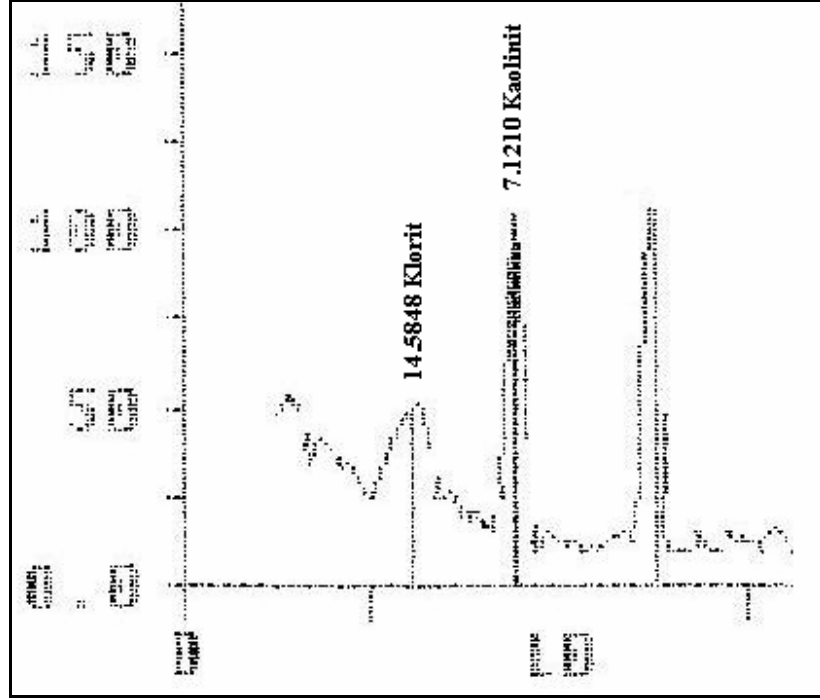
formülü ile ifade edilir (Moore ve Reynolds, Kil Mineralojisi Ders Notları, 1989). Minerallerdeki tipik düzlemsel aralık (spacing) birkaç Å'dur. Angström birimi (Å), mineral kristalografisinde kullanılan ve 10^{-8} cm'e karşılık gelen bir birimdir. Çok iyi öğütülmüş olan örnek bu cihazda sabit dalga boyunda X ışınlarına tabii tutulduğunda, atoma çarpan ışınlar elektronlar tarafından aynı dalga boyunda ve her yönde saçılırlar. Yansıyan ışın ve yoğunluğu goniometre ile kaydedilir (Şekil 32).

Kaydedilmiş olan yansıma açısı atomlar arası aralık hesaplamasında kullanılır. Işımanın yoğunluğu ise değişik aralıkları (d-spacing) elemek için kullanılır. Elde edilen aralıklar mineral tablosunda değerlendirilir. X ışınlarının dalga boyları 0.5 ile 10 Å arasında değişmektedir. Ayrıca X-Ray difraktogramları tepe noktası, tepe yoğunluğu ve tepenin oluşum şekli (sivri, yayvan, vs) açısından da mineral tayininde kullanılır. Örneğin killerdeki kuvars mineralleri iyi kristalize oldukları için, difraktogramda daha keskin tepe noktasına sahip olurlar.

Bazı durumlarda, X-Ray sonuçlarından şüphe duyulabilir ve örneğin sadece kuru toz analizine bağlı kalınmaz. Örneğin klorit ve kaolinit mineralinin karşılaştırılması gibi durumlarda, örnekler ısıtma işlemine tabii tutulurlar. 550⁰C'ye kadar ısıtılan kaolinit, kaybolan su içeriği ile 7 Å'luk bir düşüş gösterir. Klorit ise yoğunluk bakımından 14 Å artar. Bu sıcaklıkta demirce zengin klorit dehidrolize olabilir. Aşağıdaki difraktogramda da gösterildiği gibi (Şekil 33), klorit daha yayvan-oval, kaolinit daha sivri tepe noktasına sahiptir.



Şekil 32. X-Ray difraktometre cihazının çalışma prensibi (YZ KN,2002)



Şekil 33. BD-8, 139–140 m arasındaki örneğe ait difraktogramdan bir alıntı.

9.7.2. Balçova Jeotermal alanında daha önce yapılan hidrotermal alterasyon çalışmaları

Balçova jeotermal sahası oldukça önemli bir jeotermal sistem olup, daha önce pek çok araştırmacı tarafından çeşitli konularda irdelenmiştir. Yılmaz ve Gevrek (1989)'in önceki çalışmaları ile bu çalışmanın ürünleri bir bütün haline getirilmiştir.

Araştırmacılar, çalışmalarında alanında bulunan B-4, B-5, B-2 ve B-7 kodlu sığ derinlikteki kuyuların çeşitli seviyelerinden aldıkları örneklerin X-Ray difraktometre çekimlerini yaptırmışlar ve sonuçlara göre alanda 3 adet alterasyon zonu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada önceki çalışmalara ek olarak alanda bulunan derin kuyulardan alınan örnekler ile yüzeyden alınan örneklerden elde edilen X-Ray difraktometre sonuçları kullanılarak, öncekiler ile birlikte değerlendirilmiştir. Amaç, yüzeydeki, sığdaki ve derindeki alterasyon minerallerinin karşılaştırılarak, jeotermal rezervuarın sıcaklığının derinlikle değişim gösterip göstermediği araştırılmasıdır.

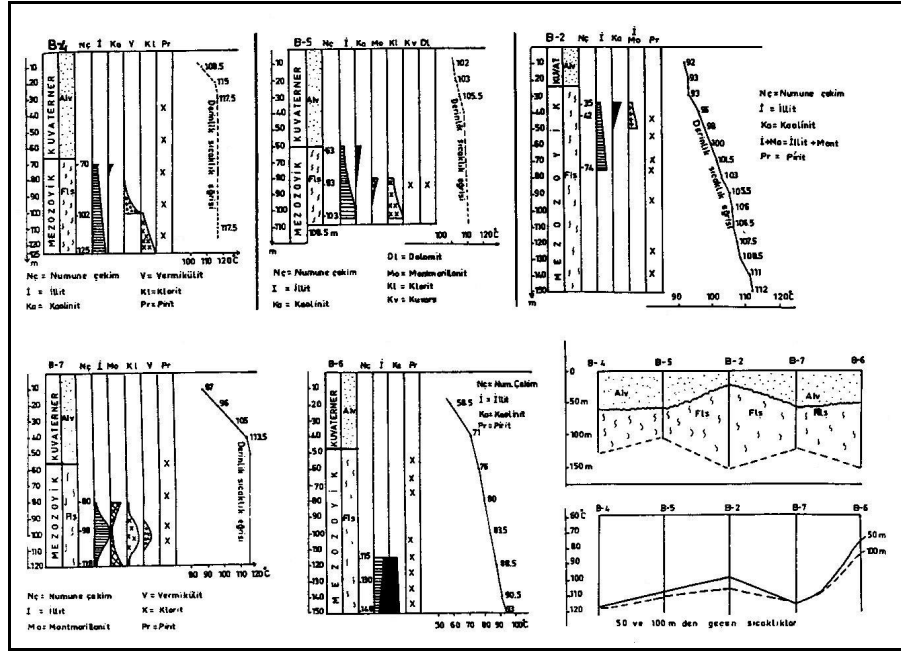
Jeotermal akışkan ve hidrotermal alterasyon sonucu oluşan alterasyon mineralleri arasında mutlak bir ilişki vardır. Bu ilişkiye göre minerallerin parajenezleri aşağıdaki gibidir (Browne, 1978, YZ KN,2002):

- Montmorillonit kaolinit zonu (150°C - 160°C)
- Geçiş zonu (160°C - 180°C)
- Klorit-illit zonu (180°C - 230°C)
- Kalk-alüminyum silikat zonu (230°C - 330°C)
- Biyotit zonu (330°C 'nin üzerinde)

Gevrek ve Yılmazer çalışmalarında jeotermal alanda bulunan B-4, B-5, B-2 ve B-7 kodlu sığ derinlikteki kuyuların çeşitli seviyelerinden aldıkları örneklerin X-Ray difraktometre çekimlerini yaptırmışlar ve sonuçlara göre alanda 3 adet zon belirlemişlerdir. Bunlar aşağıdaki gibidir.

- Birinci Zon : Kaolinit+montmorillonit (90°C - 98°C)
- İkinci Zon : İllit+montmorillonit+vermikülit (100°C - 180°C)
- Üçüncü Zon : İllit+klorit (180°C - 230°C)

Bu zonlara ait karakteristik mineraller şekil 34'de verilmektedir. Gevrek, Yılmazer ve Şahinci (1989), Balçova jeotermal sistemi için klorit-illit zonuna denk geldiği yorumunu yapmıştır.



Şekil 34. Balçova jeotermal kuyularında gözlenen kil mineralleri ve sıcaklık ilişkileri (Gevrek-Yılmaz-Şahinci, 1989)

9.7.3. Yapılan hidrotermal alterasyon çalışmaları

Alterasyon araştırmalarına yönelik olarak araziden alınan örnekler, konumları ve çalışılma biçimleri Tablo 25’de toplu halde verilmektedir.

Tablo 24. Örnek alım yerleri

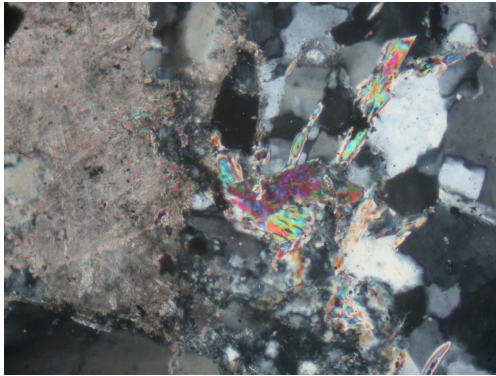
Örnek alım yeri	Kuyu Derinliği (m)	Örnek alım derinliği (m)	Analiz türü
BD-6	606	340-360	X-RD
		530-550	X-RD
BD-8	630	139-140	X-RD
		321-322	X-RD
		415-416	X-RD
		454-456	X-RD
		498-500	X-RD
		530-532	X-RD
		535-536	X-RD
		539-540	X-RD
		541	X-RD, Petrografik
BD-9	772	292	X-RD
		320	X-RD
		380	X-RD
		426	X-RD
		486	X-RD
		540	X-RD
		550	X-RD
		725-726	Petrografik
BD-10	750	75	X-RD
		80	X-RD
		125	X-RD
		219	X-RD
		220	X-RD
		751	Petrografik
BARAJ YOLU (X=503183 Y=4248444 Z=101 m)	Yüzlek	Yüzlek	X-RD
Radar yolu arkası (X=503011 Y=4240488 Z=853)	Yüzlek	Yüzlek	Petrografik
Kumtaşı	Yüzlek	Yüzlek	Petrografik
Kumtaşı-1	Yüzlek	Yüzlek	Petrografik
Kumtaşı-2	Yüzlek	Yüzlek	Petrografik
Şeyl	Yüzlek	Yüzlek	Petrografik

Bu çalışmada BD-6, BD-8, BD-9 Ve BD-10 kodlu derin kuyulardan çeşitli seviyelerden kırıntı örnekler alınmış ve alterasyon minerallerinin varlığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Tüm analizlerin difraktogram sonuçları ekler bölümünde yer almaktadır.

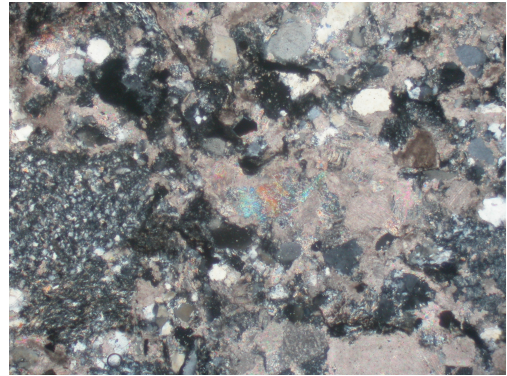
9.7.4. Çalışma Alanından Alınan Örneklerin Petrografik Analiz Sonuçları

Çalışma alanında, BD-8, BD-9 ve BD-10 kodlu sıcak su kuyularının karotlarından sırası ile 630 m, 726 m ve 751 m'lerinden ve arazinin değişik noktalarındaki alterasyon geçirmiş kayaç örneklerinden sağlanan optik mineraloji sonuçları fotoğrafları ile birlikte aşağıdadır.

BD-8 (630 m): Oksitlenme ürünü levhacıklar, karbonat dolgu içerisinde gözlenmekte, pirit, kalsit ve kuvars mineralleri dolgudan ziyade levhacıklar şeklinde görülmektedirler. Matriks karbonatlı minerallerden oluşmaktadır. Matrikste bir miktar klorit, serizit ve silis de gözlenmektedir. Matrikste yeni yapraklanma yüzeyleri boyunca rekristalize/polikristalen kuvarslar mevcut. Bu yüzeylerde demir oksitler de gözlenmektedir. Volkanik kaya kırıntıları da vardır (Şekil 35. a-b).



a (40x0,65)

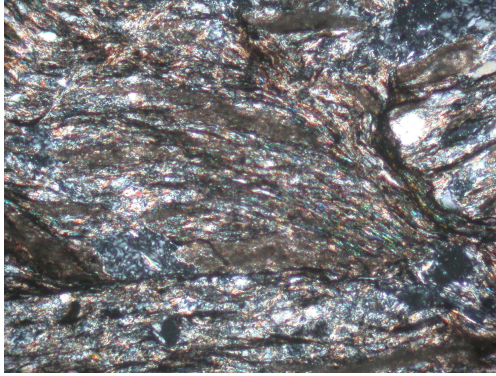


b (4x0,10)

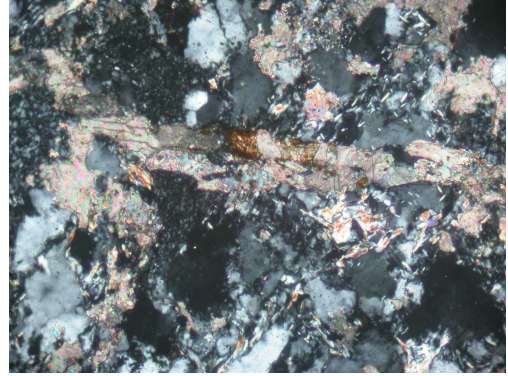
Şekil 35. a-b. BD-8 kodlu kuyunun ince kesit fotoğrafları

BD-9 (726 m): Kuvars ve kalsit dolgulu matrikste oksit levhacıklar gözlenmekte. Bir miktar kristal pirit de mevcut. Çimentoyu silisli ve karbonatlı bir malzeme oluşturmaktadır. Makro ölçekte el numunesinde bile kalsit ve kuvars dolgu damarları barizdir.

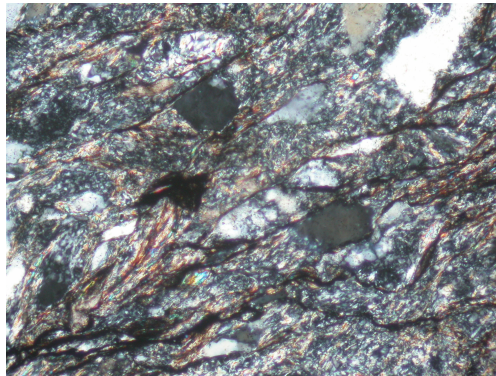
BD-10 (751 m): Bariz şistozitenin ve yönlenmenin olduğu ve düşük derecede bir metamorfizmanın bir izi olarak lepidoblastik dokunun egemen olduğu ince kesitte, ara dolgular kuvars ve karbonatlı olarak gözlenmektedir. Muskovitli, biyotitli, bol serizitleşme mevcut. Kloritleşme mevcut. Karbonat dolgulu ve kuvars minerali bol miktarda gözlenmektedir. Mikro kırıklar, atımlar ve tektonik kaymalar gözlenmektedir. Serizit, muskovit, kuvars minerallerinin yanı sıra, eser miktarda pirit minerali opak olarak gözlenmektedir (Şekil 36. a-b-c).



a (10x0,22)



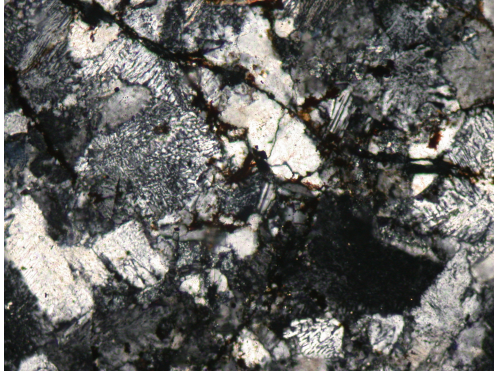
b (4x0,10)



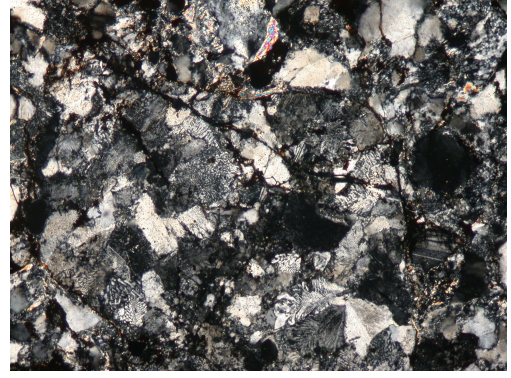
c (40x0,65)

Şekil 36. a-b ve c. BD-10 Kodlu kuyunun ince kesit fotoğrafları

Kumtaşı 1 no'lu ince kesit: Yüzeyden alınan gri renkli kumtaşı örneğinin ince kesitinde, kuvarsça zengin, bol kalsit dolgusu ve kloritleşmiş biyotitler, plajioklaslar gözlenmektedir. Yönlenmenin gözleendiği dokuda, aralarda muskovit ve serizitik oluşumlar da belirlenmiştir (Şekil 37.a-b).



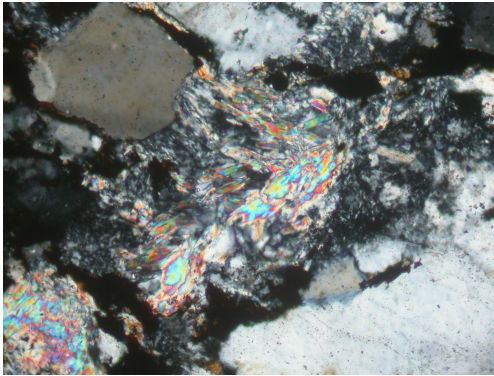
a (10x0,22)



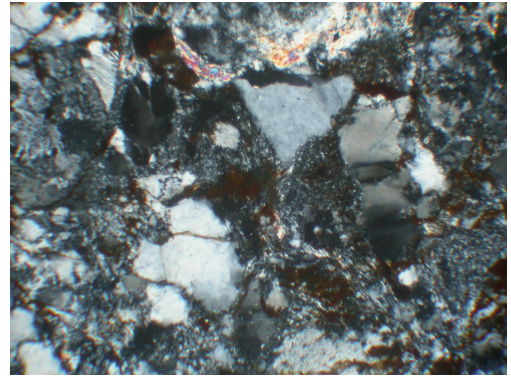
b (4x0,10)

Şekil 37. a-b. Kumtaşı 1 no'lu örneğin ince kesit fotoğrafları

Kumtaşı-2 no'lu ince kesit: Yüzeyden alınan kahve renkli kumtaşı örneğinin ince kesitinde, daneleri birbirine bağlayan malzeme silisli ve kuvarslıdır. Bu örnekte yönlenme, 1 no'lu kumtaşı örneğine göre daha azdır. Kalsit dolguların yanı sıra, serizitik yapılar da gözlenmektedir. Bol plajioloklas, feldispat, kuvars ve bunların daha küçük parçalarından oluşan matrikse sahiptir. Yer yer oksit damarları ile kesilmiştir. Örnekte “**Grafik intergrowth**” olarak adlandırılan yüksek sıcaklık ve basınç gerektiren bir doku oluşumu gözlenmektedir (Şekil 38.a-b).



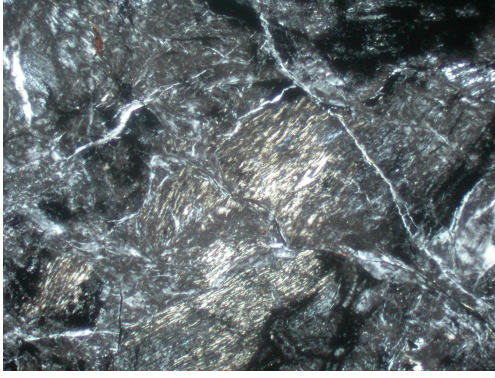
a (10x0,22)



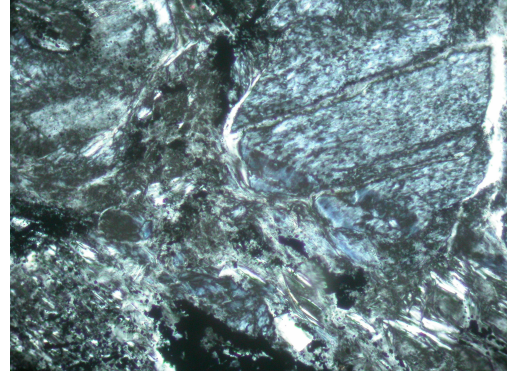
b (4x0,10)

Şekil 38. a-b. Kumtaşı 2 no'lu örneğin ince kesit fotoğrafları

Serpantinit: Antigorit tipi ayrışmanın gözlemlendiği ince kesitte, talklaşma ve bunun yanında da silisler belirlenmiştir. Ayrıca kromit parçaları da mevcuttur (Şekil 39.a-b).



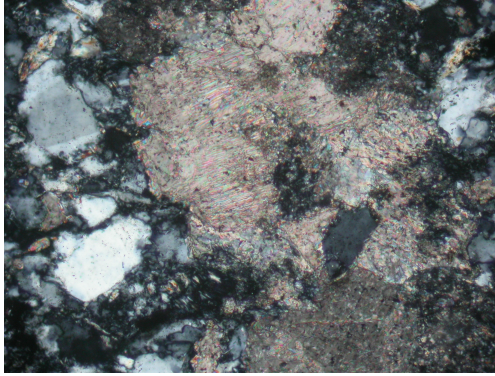
a (4x0,10)



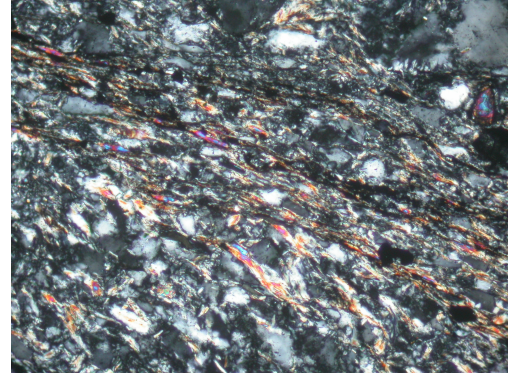
b (4x0,10)

Şekil 39. a-b. Serpantinit ince kesit fotoğrafları

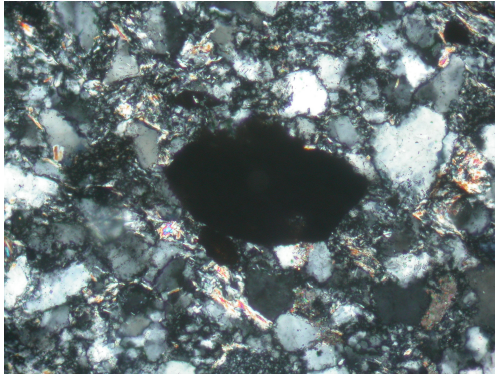
Şeyl: Yönlenmenin gözlendiği ince kesitte serizitik yapıların arasında bol miktarda bulunan kuvarsların etrafında kloritleşme gözlenmektedir. Matriks yeşil amfibol parçalarından meydana gelmektedir. Ayrıca kloritleşmiş ya da biyotitten dönüşmüş mika parçaları mevcuttur. Bir miktar opak mineral de belirlenmiştir (Şekil 40.a-b-c-d).



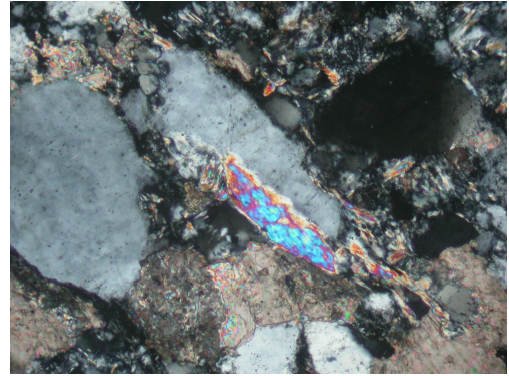
a (4x0,10)



b (2,5x0,07)



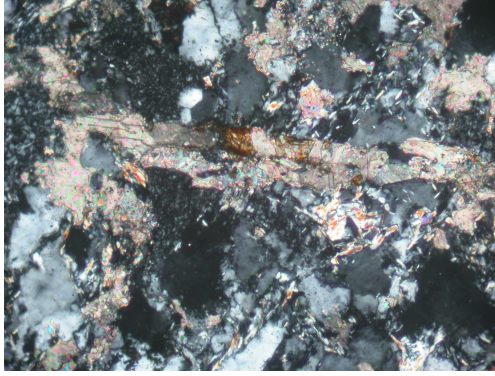
c (4x0,10)



d (10x0,22)

Şekil 40. a-b-c-d. Şeylden alınan örneğin ince kesit fotoğrafları

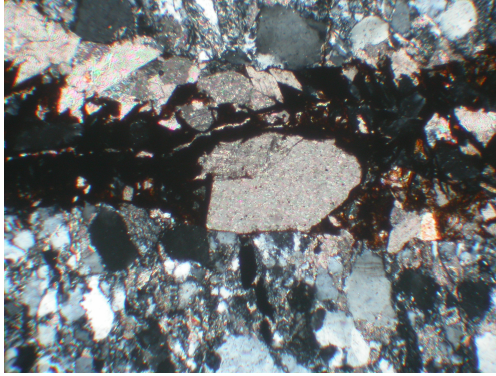
Kumtaşı (Yüzeyden): Muskovit oluşumunun yanında kalsit dolgular gözlenmektedir. Plajioloklas, feldispat, kuvars ve bunların parçalarından oluşan bir matrikse sahiptir (Şekil 41.a-b-c-d).



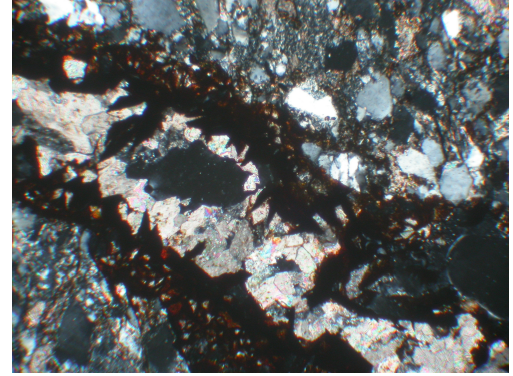
a (4x0,10)



b (10x0,22)



c (40x0,65)



d (40x0,65)

Şekil 41.a-b-c-d. Yüzeyden alınan kumtaşı örneğinin ince kesit fotoğrafları

9.7.5. Çalışma Alanından Alınan Örneklerin X-Ray Difraktometre Analiz Sonuçları

X-Ray difraktometre sonuçlarından elde edilen mineraller aşağıda tablo halinde verilmektedir. Yanında soru işareti (?) bulunan minerallerin ise varlığı şüpheli olarak yorumlanmıştır.

Tablo 26. X-ray sonuçlarına göre belirlenen örneklerde gözlenen mineraller

Örnek No	Derinlik	Mineraller	Ölçülen sıcaklık
BD-6	340-360 m	Kuvars, Kaolinit, Muskovit, İllit, Siderit	~73 ⁰ C*
	530-550 m	Kuvars, Siderit, İllit, Kaolinit, Dolomit (ferroan)	~38 ⁰ C*
BD-8	139-140 m	Kuvars, İllit/mika, Siderit, Feldispat, Klorit, Kaolinit	~59 ⁰ C**
	321-322 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Feldispat, Siderit, Dolomit	~79.3 ⁰ C**
	415-416 m	Kuvars, İllit/mika, Siderit, Kaolinit, Dolomit, Feldispat?	~93.9 ⁰ C**
	454-456 m	Kuvars, İllit/mika, Siderit, Kaolinit, Feldispat? Dolomit	~99.7 ⁰ C**
	498-500 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Klorit, Kalsit Dolomit Siderit, Feldispat?	~104.4 ⁰ C**
	530-532 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Dolomit, Feldispat? Siderit?	~115.7 ⁰ C*
	535-536 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Feldispat? Klorit, Dolomit, Siderit	~115.7 ⁰ C*
	539-540 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Feldispat? Dolomit?	~115.7 ⁰ C*
	541 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Feldispat? Dolomit? Siderit?, Hematit?	~122 ⁰ C*
BD-9	292 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Siderit	~116 ⁰ C***
	320 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Siderit	~119 ⁰ C***
	380 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Dolomit, Siderit, Feldispat?	~121 ⁰ C***
	426 m	Kuvars, İllit/mika, Kaolinit, Feldispat? Siderit? Dolomit?	~125 ⁰ C***
	486 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Feldispat? Siderit? Dolomit?	~134.5 ⁰ C***
	540 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Feldispat? Siderit? Dolomit?	~134.5 ⁰ C***
	550 m	Kuvars, Kaolinit, İllit/mika, Feldispat? Siderit? Dolomit?	~134 ⁰ C***
BD-10	75 m	Kaolinit, Kuvars, Siderit, Kalsit	~84 ⁰ C****
	80 m	Kuvars, Siderit, Dolomit, Kaolinit, Eastonit (mika)	~86 ⁰ C****
	125 m	Kaolinit, Siderit, Kuvars, İllit, Kalsit	~92 ⁰ C****
	219 m	Muskovit, Kuvars, Kaolinit	~100 ⁰ C****
	220 m	Muskovit, Kuvars, Kaolinit	~100 ⁰ C****
	320 m	Kuvars, Muskovit, Kaolinit, Dolomit (ferroan)	~86 ⁰ C****
Baraj Yolu	---	Hekzahidrit, Jips, Kaolinit? İllit/mika?	

* BD-6 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Çalışması sırasında amerada ölçüm aleti arızalandığı için, kuyu içi statik sıcaklık ölçümü alınamamış, burada da çamur çıkış sıcaklıkları alınmıştır.

** Kuyu içi statik sıcaklıklarda, MTA İzmir-Balçova BD-8 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu, sayfa 23'deki, 14.02.2202-15.02.2002 tarihleri arasında yapılan gidiş ve dönüş sıcaklıklarının ortalaması alınmıştır.

*** Kuyu içi statik sıcaklıklarda, MTA İzmir-Balçova BD-9 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu, sayfa 28'deki statik sıcaklıklar alınmıştır.

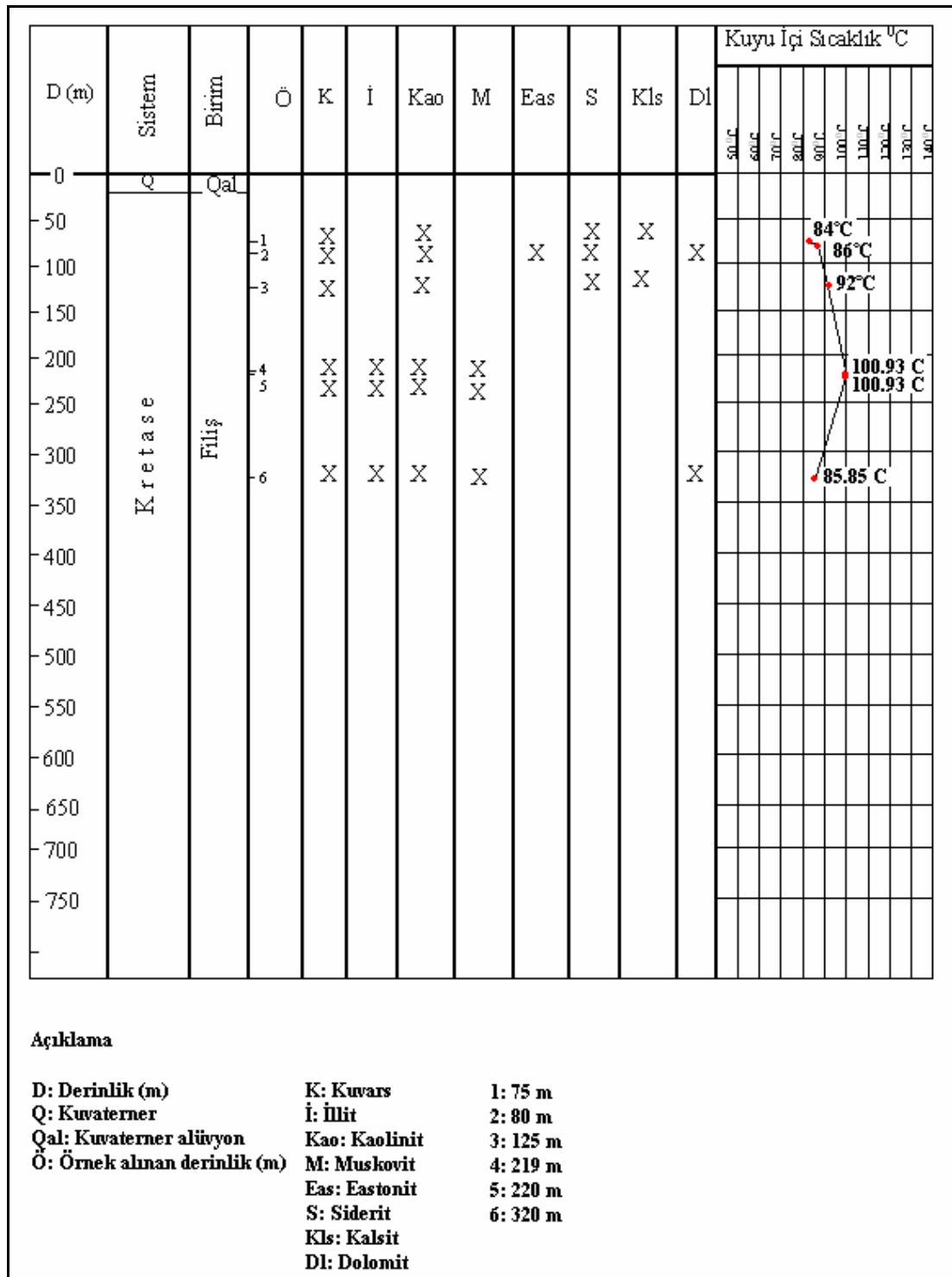
**** Kuyu içi statik sıcaklıklarda MTA İzmir-Balçova BD-10 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu, sayfa 26'daki, 21.06.2004 tarihinde yapılan statik sıcaklık ölçüm testleri alınmıştır.

BD-6 Jeotermal Kuyusu: BD-6 sıcak su kuyusunun MTA İzmir Bölge Müdürlüğünce yapılan kuyu temizliği aşamasında alınan kırıntılardan yapılan X-Ray analizine göre, 340-360 m civarından alınan örnekte kuvars minerali baskın olmak üzere, kaolinit, muskovit, illit ve siderit mineralleri gözlenmektedir. 530-550 m'de ise, kuvars mineraline siderit, illit, kaolinit ve dolomit eşlik etmektedir (Şekil 42).

BD-8 Jeotermal Kuyusu: BD-8 sıcak su kuyusunun analiz sonuçlarına göre, üst seviyelerde kuvars minerali baskın olmak üzere, klorit, illit/mika, feldispat, siderit, kaolinit ve dolomit gözlenmektedir. 140, 500 ve 536 m'den alınan örnekte kuvars ve klorit gözlenmekte, daha alt seviyelerde bunlara ilave olarak kaolinit, illit/mika, siderit ve dolomit mineralleri de belirlemektedir. Ancak genel olarak kuvars-kaolinit-illit/mika şeklinde bir mineral parajenezi gözlenmektedir (Şekil 43).

BD-9 Jeotermal Kuyusu: BD-9 sıcak su kuyusunda 292-320 m arasında yoğun olarak kuvars minerali gözlenmekte, daha derinlere gidildikçe, kuvarsa ek olarak kaolinit, illit/mika ve dolomit mineralleri belirlemektedir. 540-550m arasındaki örnekte de siderit minerali az miktarda da olsa bulunmaktadır. Siderit, demir karbonatlı bir alterasyon minerali olarak daha düşük sıcaklıkları işaret ettiğinden dolayı, bu metrelerden sonra sıcaklıkta artış beklenmemesi daha uygun olmaktadır. Zira, kuyunun logu incelendiğinde; 134.5⁰C olan sıcaklık 550m'de çok az bir düşüş 134⁰C, 550m seviyelerinden sonra ise, 130⁰C'ye kadar düşüş göstermektedir (Şekil 44).

BD-10 Jeotermal Kuyusu: BD-10 sıcak su kuyusunun sondaj aşamasında alterasyon şüphesi duyulan ve kaçak gözlenen 75, 80, 125, 219, 220 ve 320 m'lerden örnekler alınmıştır. Üst seviyelerdeki analiz sonuçlarında, kaolinit, kuvars-alfa, siderit ve kalsit, 80 m civarında bunlara ek olarak dolomit ve mika (eastonit) belirir iken, kalsit gözlenememiştir. 125 m'de ise kaolinit, siderit ve kuvars-alfa ile birlikte illit ve tekrar kalsit minerali gözlenmektedir. 220 m civarında muskovit gözlenmekte ve bu mika mineraline bol kuvars ve kaolinit eşlik etmektedir. 320 m'de ise kuvarsin miktarı artarak, muskovit ve kaolinite ek olarak 125m'den sonra yok olan dolomit gelmektedir. Bu durumda bu kuyu için derinlere gidildikçe sıcaklıkta fazla artış



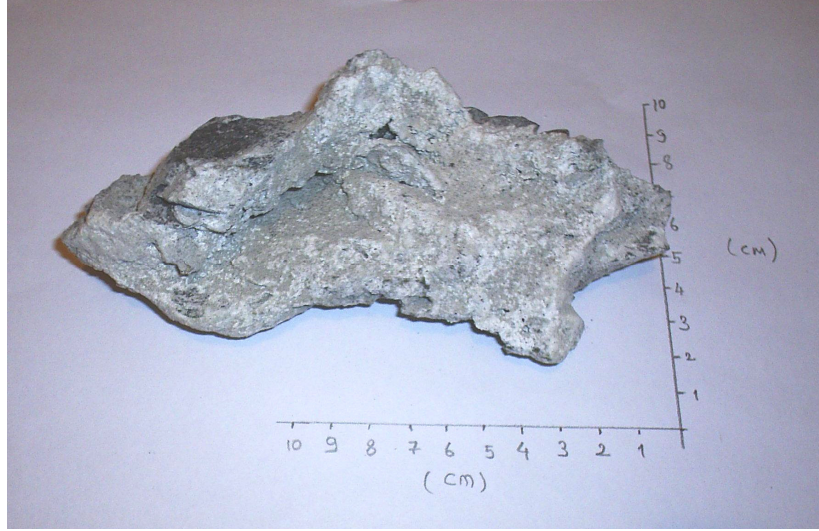
Şekil 45. BD-10 kodlu kuyunun alterasyon mineralleri ile derinlik ve sıcaklık ilişkileri

Anılan kuyular hemen hemen aynı alterasyon minerallerine sahiptirler. Bu verilerde göre belirlenen hidrotermal alterasyon zonları aşağıda verilmektedir:

Zon I:	Montmorillonit + Kaolinit Zonu	(100-200 ⁰ C)
Zon II:	Geçiş Zonu	(150-200 ⁰ C)
Zon III:	Klorit + İllit Zonu	(200-250 ⁰ C)

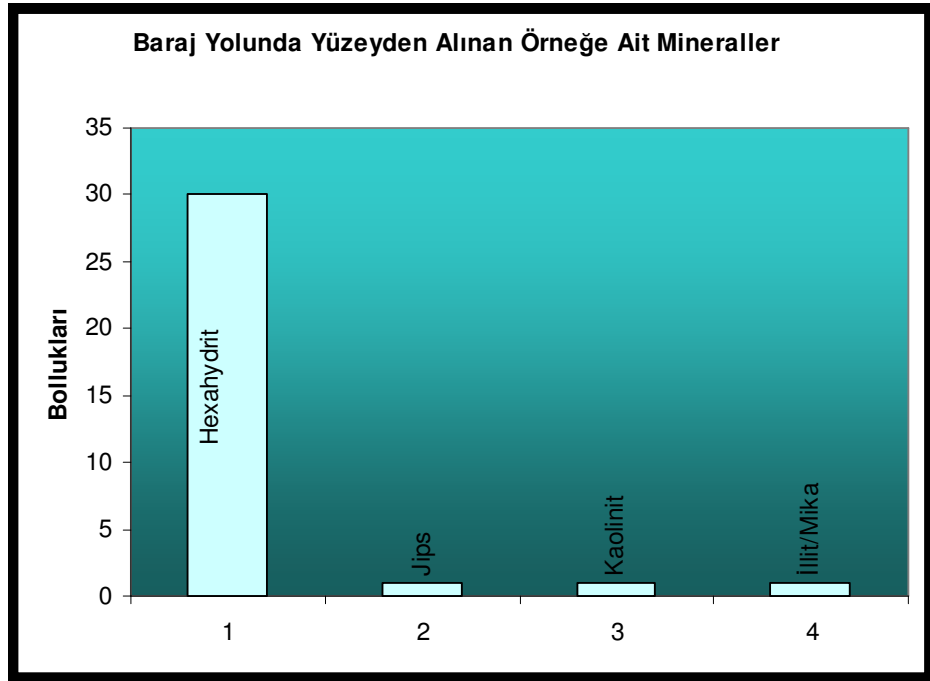
Belirlenen bu zonlar daha önce sığ kuyulara yönelik yapılan hidrotermal alterasyon çalışmaları ile de uyum göstermektedir.

Baraj yolu üzerinde gözlenen yüzlekten alınan örnek ise tüm bunlardan çok farklı bir alterasyon mineralinin varlığını ortaya koymuştur (Levha-6-Foto 11). Hekzahidrit minerali ($MgSO_4 \cdot 6(H_2O)$) şeklinde bir formüle sahiptir (Şekil 46). Mg katyonu daha çok yüzey sularının egemen katyonlarındanıdır. Ayrıca fliş içerisinde yer yer gözlenen kireçtaşı merceklerinde bulunabilecek dolomitleşmiş seviyeler, sahada hakim olan fay zonları boyunca yukarılara sıcak akışkanı taşımış olabilir. Taşınan bu sıcak akışkan da dolomit seviyeleri ile karşılaştığında onlarla reaksiyona girerek bu mineralin çökmesine neden olmuş olabilir. Fliş birimi, çalışma alanının tamamında oldukça yaygın olarak gözlenen birim olmasına rağmen, bu minerale sahanın diğer bölgelerinde hiç rastlanmamış olunması, bu savı güçlendirmektedir. Arazide gözlendiği bölgede yanma ürünü hissini veren bir görünüm sunmaktadır (Levha-6-Foto-12). Nadiren evaporitleşme ürünü olarak gözlenen bu mineral literatürde yaygın olarak Kanada'da Bonaparte Nehri boyunca, Clinton Bölgesi'nde, Almanya'da Wathlingen'de, Polonya Bolesław'da, Türkiye'de Büyük Konya Havzası'nda gözlenmektedir. Bu sahada adı ilk kez bu çalışma ile anılmaktadır (Mineralogy Database-Minerals, Locations, Mineral Photos and Data internet sayfası, 2006).



Şekil 46. Araziden alınan hekzahidrit mineraline ait el örneği

Örneğin difraktogramından yaklaşık olarak çıkarılan, difraktogramda gözlenen minerallerin bolluklarına göre hazırlanan grafik aşağıda verilmektedir (Şekil 47).

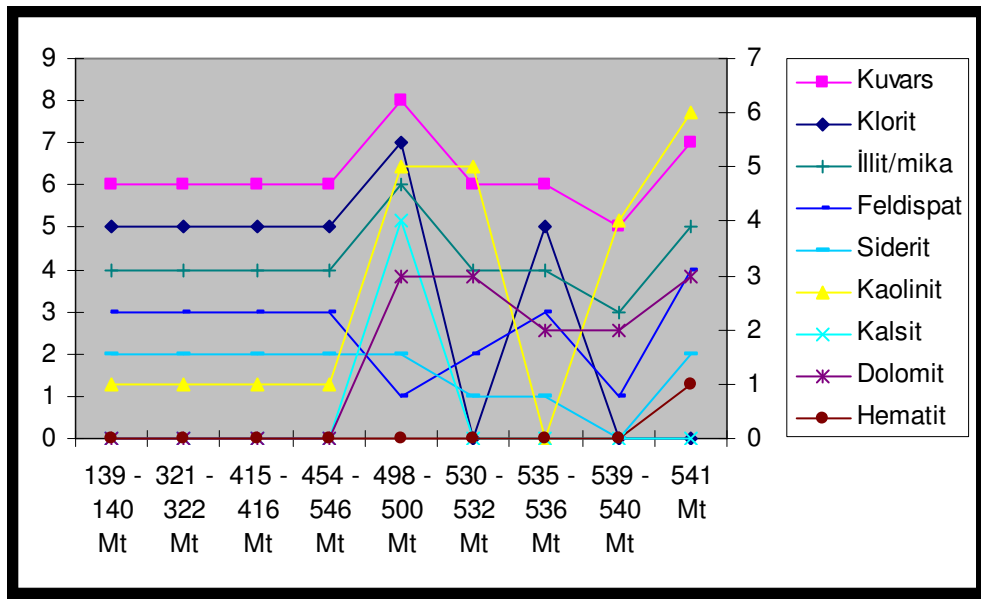


Şekil 47. Baraj yolundan alınan hekzahidrit mineralinin bolluk grafiği

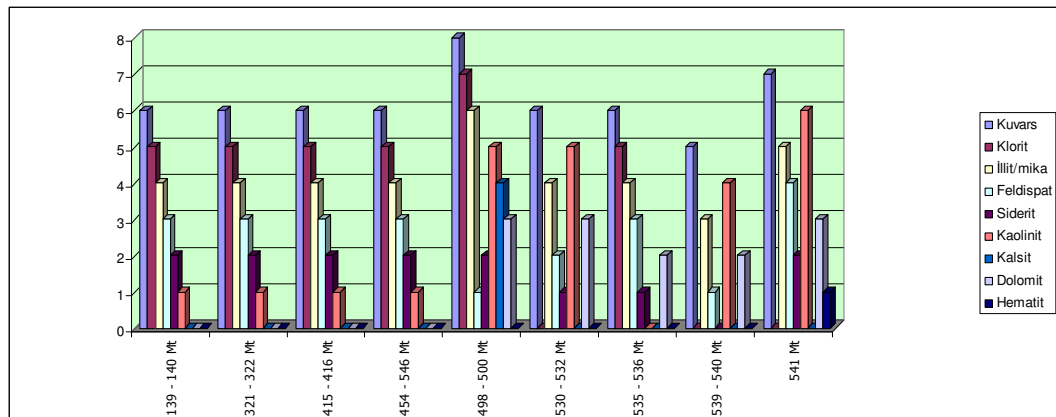
Yukarıdaki grafikten de görülebileceği gibi, hekzahidrit minerali baskın olmak üzere, az miktarda jips, kaolinit ve illit/mika gözlenmektedir. Jipsin ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) evaporasyon sırasında ilk çökelen mineral olduğu bilinmektedir. Fliş içerisinde

bulunan piritli seviyelerdeki piritlerin oksidasyonu sonucu türemiş olabileceğini söylemek mümkündür.

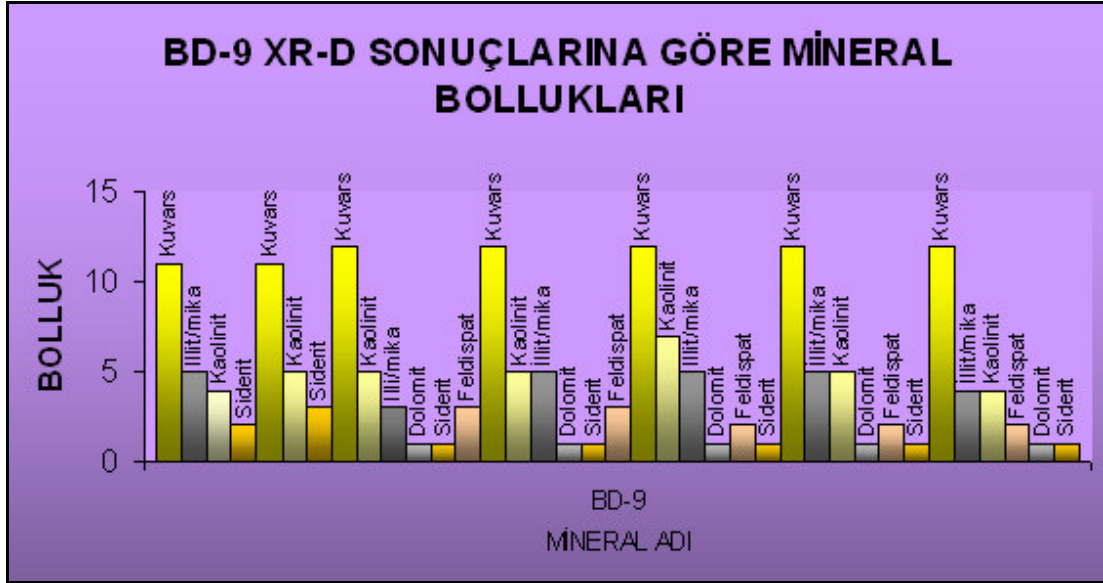
BD-8 ve BD-9 kodlu derin kuyuların örneklerinin difraktogramlarında gözlenen mineral bolluklarının yaklaşık olarak belirlenmesi ile elde edilen grafikler aşağıda verilmektedir (Şekil 48, 49, 50 ve 51). Bu grafiklerde minerallerin dağılımı daha göze çarpıcı bir şekilde görülmektedir. Özellikle kuvars mineralinin yaygın oluşu ve illit-kaolinit minerallerinin araldanması belirgindir.



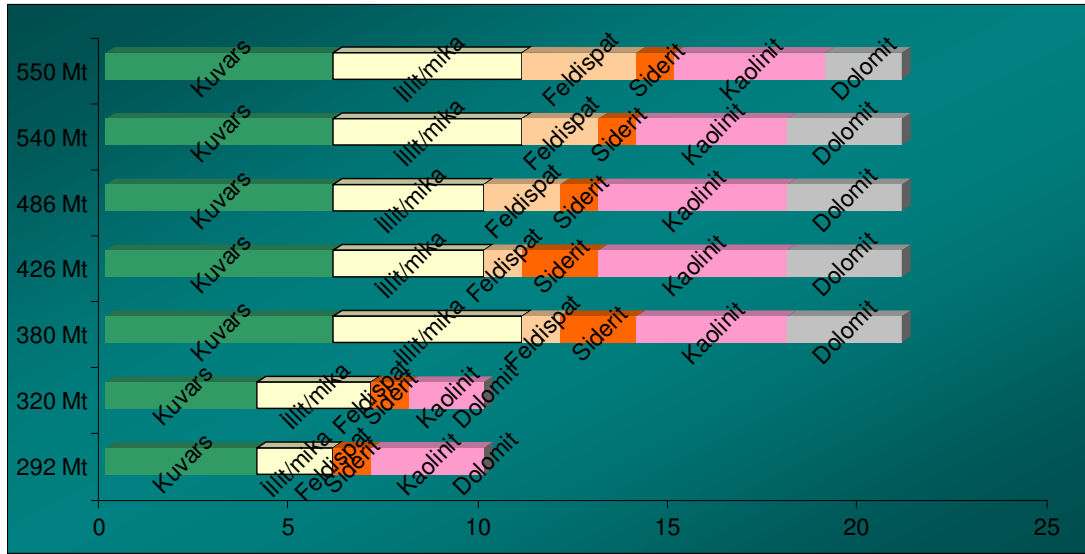
Şekil 48. BD- 8 kodlu kuyunun difraktogramından elde edilen yaklaşık olarak mineral bolluğu ve derinlik arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.



Şekil 49. BD- 8 kodlu kuyunun difraktogramından elde edilen yaklaşık olarak mineral bolluğu ve derinlik arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.

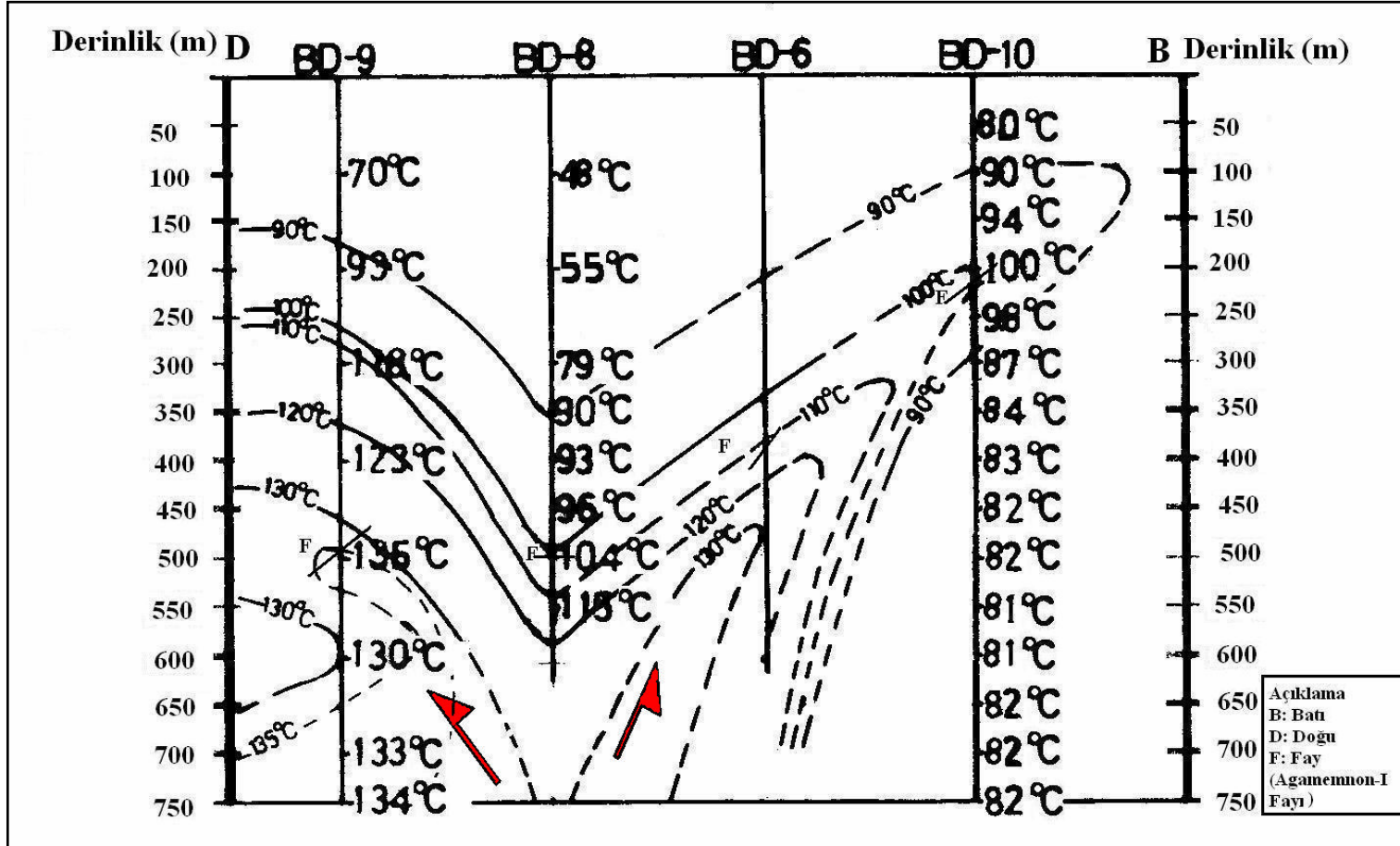


Şekil 50. BD- 9 kodlu kuyunun difraktogramından elde edilen yaklaşık olarak mineral bolluğu ve derinlik arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.



Şekil 51. BD- 9 kodlu kuyunun difraktogramından elde edilen yaklaşık olarak mineral bolluğu ve derinlik arasındaki ilişkiyi gösterir grafik.

Çalışma alanında bulunan kuyu logları incelenerek, bir yaklaşım olarak sahanın hidro-isoterm haritası çizilmiştir (Şekil 52).



Şekil 52. BD-6, BD-8, BD-9 ve BD-10 kodlu sıcak su kuyuları arasındaki sıcaklık-derinlik ilişkisini gösterir hidro-isoterm haritası

Yukarıdaki hidro-isoterm (sıvı-eşsıcaklık) haritasını incelediğimizde (Şekil 52), derin sıcak su kuyularında statik kuyu içi sıcaklıklar, sondaj esnasında saha için ana üretim zonu kabul edilen Agamemnon-I Fayı'na girildiği anda, en yüksek değerleri vermektedir. Bu haritada çizilen sıcaklık eğrileri de bunu doğrulamaktadır. BD-8 kodlu derin sıcak su kuyusunda, 498-500 metrelerde girilen Agamemnon-I Fayı'nın geçildiği metreler boyunca, ölçülen kuyu içi statik sıcaklık 115°C 'yi göstermektedir. BD-9 kodlu derin sıcak su kuyusunda ise, 490-550 metrelerde Agamemnon-I Fayı'na girilmekte, bu seviyelerde akışkan sıcaklığı da maksimum değeri olan 135°C 'ye varmaktadır. BD-10 kodlu derin sıcak su kuyusunda ise, 212-225 metrelerde bu faya girilmekte, kuyudan ölçülen en yüksek sıcaklık da 101°C olarak bu seviyelerden elde edilmektedir. BD-6 kodlu derin sıcak su kuyusunun sondaj aşamasında elde edilen kuyu içi statik sıcaklıkları elde olmadığı için, bu kuyuya ilişkin sıcaklıkla ilgili kestirimler, ancak bu haritadan yola çıkılarak yapılabilir. Buna göre de; BD-6'dan alınabilecek en yüksek sıcaklık 110°C - 120°C civarında tahmin edilebilir. Ayrıca haritanın bütününe bakıldığında ise; BD-9 ve BD-10 arasında bir yükselim “upflow” zonu belirlemektedir. Ancak bu zonun sıcaklığı doğuya doğru gidildikçe artış göstermektedir. Zira, ölçeksiz hazırlanan kesitte doğuya doğru gidildikçe eşsıcaklık eğrileri de yükselen değerler göstermektedirler. Haritada BD-9 ve BD-10 kodlu derin kuyular eldeki verilere göre sistemin batı ve doğu yönlerindeki sınırları gibi durmakla birlikte, bu sınırları sistemde daha doğuda yeni açılması planlanan gradyan sondajlarının sonuçlarına göre yeniden yorumlamak gerekmektedir.

9.7.6. Önceki yapılan sığ kuyu alterasyon verileri ile bu çalışmada yapılan derin kuyu alterasyon verilerinin irdelenmesi:

Arazi çalışmalarında, pek çoğu kaolinite altere olan kayaçların daha asidik (granit, kuvars, diyorit) olduklarını, Ca ve Na'ca zengin kayaçların ise montmorillonite dönüştükleri belirlenmiştir (An Introduction to the Rock Forming Minerals, Deer ve diğ.,1966). Bu durumda, daha önce sığ kuyulardan örnek alınarak gerçekleştirilen alterasyon çalışmalarında gözlenen montmorillonit $[(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{nH}_2\text{O}]$ üst seviyelerdeki Ca ve Na miktarının daha yüksek olduğunu, derinlere gidildikçe değişen ortam şartlarına bağlı olarak montmorillonitin

illite $[(K_{1-1,5}Al_4(Si_{7-6,5}Al_{1-1,5}O_{20})(OH)_4]$ dönüştüğünü söylemek mümkündür. Zira derinlere gidildikçe değişen ortamın şartlarına bağlı olarak montmorillonitin yerine, hakim olan kil minerali illit ve kaolinitir. Bu durumda, Al ve K'ca zengin, alkalın bir ortam göstergesi olan illitin, montmorillonitin alterasyonu sonucu oluştuğu söylenebilir.

Özetlemek gerekirse; sistemde asidik ve alkalın bir denge söz konusudur. Yer yer artan illit miktarı, asidik karakterli su girişi ihtimalini de işaret etmektedir. Bu çalışmada gözlenen kil mineralleri düzenli karışık tabakalı kil mineralleri dizilimi olarak tanımlanabilir (Kil Mineralleri Ders Notları, Baykal, 2006).

BÖLÜM ON

SONUÇLAR

Balçova Jeotermal Sahası'nda yürütülen bu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

1) Balçova Jeotermal Alanı'nda jeotermal sistemin araştırılması açısından ilçe sınırlarının tamamı olan 29 km²'lik alan ve civarı araştırılmıştır.

2) Alanda daha önceden yapılmış olan çalışmalara yönelik literatür taraması yapılmıştır.

3) Arazi çalışmalarında daha önceden hazırlanmış olan jeoloji haritasına yeni kuyu yerleri işlenmiş, önemli sayılabilecek noktalardan fotoğraf çekimi gerçekleştirilmiş, arazide bulunan çeşitli soğuk ve sıcak su kaynaklarından örnekleri, kayaç örnekleri ve eski karotlardan kırıntı örnekleri alınmıştır.

4) Arazide laboratuvar çalışması yapılarak, soğuk ve sıcak su kaynaklarından alınan örneklerin anyon, katyon, elektriksel iletkenlik ve pH ölçümleri yapılmıştır. Buna göre; BD-9 kodlu derin sıcak su kuyusundan alınan su örneğinin 1591.6 mg/l ile en yüksek toplam mineralizasyona sahip olduğu belirlenmiştir.

5) Balçova Jeotermal Alanı'nda bulunan suların kimyasal ve hidrojeokimyasal açıdan incelenmeleri sonucunda, bu sahaya ait suların sodyum bikarbonatlı mineralce zengin termal sular sınıfına girdiği, hafif kabuk yapıcı özellikte oldukları, sulama suyu açısından ise Koç Oto Yıkama'dan alınan örneğin çok iyi özellikte sulama suyu, diğer örneklerin ise sulama suyu olarak kullanıma pek uygun olmadıkları görülmüştür.

6) Balçova Jeotermal Sahası konvektif, düşük sıcaklıklı, sıvının etkin olduğu bir jeotermal sistem olarak kabul edilmiştir.

7) Derin kodlu kuyularda yapılan jeotermometre çalışmalarında, silis jeotermometre hesaplamalarında BD–9 kodlu derin sıcak su kuyusu en yüksek sıcaklığı, BD–10 kodlu derin kuyu ise en düşük sıcaklığı vermiştir.

8) Ayrıca kuyulardan alınan örneklerin Aquachem 3.70 adlı bilgisayar programında jeotermometre hesabı yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre, jeotermometre uygulamalarında 240°C , silis jeotermometreleri uygulaması sonucunda da örneklerden 123°C - 140°C arasında değişen sıcaklıklar elde edilmiştir.

9) Literatür taramasında sahada bulunan sıcak su kuyularının incelenen kuyu loglarında alterasyon minerallerine rastlanabileceği düşünülen seviyelerden 25 kırıntı, 8 adet karot ve el örneği alınmıştır.

10) Karotlardan ve el örneklerinden Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde ince kesit hazırlanmış, bu kesitlerin petrografik analizleri sonucunda yüzeyden alınan filişe ait üyelerde hafif metamorfizma izlerine rastlanmış, derinden alınan örneklerin petrografik analizlerinde ise, bol miktarda kalsit ve kuvars dolgu yapıları saptanmıştır.

11) Kuyuların çeşitli seviyelerinde alınan 25 kırıntı örneğin İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezi’nde X-Ray difraktometre çekimleri yaptırılmıştır.

12) Örneklerin difraktometre çekimleri analitik ve grafik yöntemlerle yorumlanmıştır. Örneklerde genel hidrotermal alterasyon mineralojisinin yerinde çökelme türünde bir hidrotermal alterasyon oluşumu sonucu oluştuğu düşünülmektedir.

13) Difraktometre çekimlerinde değişen miktarlarda kuvars, illit/mika, kaolinit, klorit, feldispat, dolomit ve siderit mineralleri saptanmıştır.

14) Difraktometre sonuçlarına göre; saptanan alterasyon minerallerinde kuvars mineralinin oldukça yoğun bir şekilde bulunması, burada filişin kazandığı ikincil permeabilitenin yüksek olduğunun bir göstergesi olabilir. Kuvarsa ilave olarak illitin de oldukça fazla oluşu da yine iyi permeabilite göstergelerinden birisi olarak kabul edilebilir. Ayrıca illit minerali sıcaklık anlamında da 210⁰C civarını işaret eder ve daha çok nötral pH ortamında bulunma eğilimi gösteren bir kil mineralidir. Bu durumda illitin bulunduğu seviyelerde nötrale yakın bir pH'a sahip sıcak suyun bulunduğu söylenebilir. Kaolinit mineralinin illitten daha düşük bir sıcaklıkta, yaklaşık olarak 120⁰C'de bulunduğu göz önünde bulundurulur ise, bu mineralin gözleendiği seviyelerde bir soğumanın olduğu söylenebilir. Ayrıca sürekli birlikte gözlenmeleri de bunu doğrulamaktadır.

15) Ayrıca bu sonuçlar klorit-illit zonuna denk gelmektedirler, bu da 200-250 ⁰C'lik bir sıcaklık aralığına düşmektedir. Yani şu anda kuyulardan elde edilen sıcaklık ölçümleri göz önüne alındığında, sahada soğumanın gözleendiği söylenebilir.

16) Önceki çalışmalarda saptanan montmorillonit, derinlere gidildikçe illite altere olmuştur. Sığ seviyelerdeki Na ve Ca miktarı daha yüksek, derinlere gidildikçe azaldığını göstermektedir.

17) Kuvars çökeliminin yaygın olması, sistemin soğuma sıcaklığının 325⁰C'nin altında gerçekleştiğini işaret etmektedir.

18) Difraktometre çekimlerine göre, dönüşümlü olarak artış gösteren illit ve kaolinit mineralleri, sistemde asidik ve alkalın bir denge olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca bu sahada bulunan sıcak suların hidrojeokimyasal analizleri de korole edildiğinde suların nötrale yakın bir pH değerine sahip oldukları görülmektedir.

19) Bu çalışmada gözlenen kil mineralleri düzenli karışık tabakalı kil mineralleri dizilimi sunmaktadırlar.

20) Montmorillonit + kaolinit zonu ($100-200^{\circ}\text{C}$), geçiş zonu ($150-200^{\circ}\text{C}$) ve klorit + illit zonu ($200-250^{\circ}\text{C}$) olmak üzere üç hidrotermal alterasyon zonu belirlenmiştir. Bu sonuçlar önceki çalışmalar ile uyum göstermektedir.

21) Hekzahidrit minerali sahada bu çalışma ile ilk kez anılan bir alterasyon mineralidir. Bu mineralin oluşumu ile ilgili daha ayrıntılı bir çalışma yapılabilir.

22) Çalışma alanında bulunan BD-6, BD-8, BD-9 ve BD-10 kodlu derin kuyuların verilerine dayanarak sahanın hidro-isoterm (sıvı-eşsıcaklık) haritası çizilmiştir. Bu haritaya göre; sahanın şu anda en doğusunda bulunan BD-9 ve en batısında BD-10 kodlu derin kuyular her iki yönde sınırını oluşturur gibi görünmektedir ancak, bu sınırları sistemde daha doğuda yeni açılması planlanan gradyan sondajlarının sonuçlarına göre yeniden yorumlamak gerekmektedir.

23) Balçova Jeotermal Alanı'nın doğu sınırını kesinleştirmek amacı ile yapılacak olan gradyan sondajları, bu kesimlerde yerleşimin yoğun olması nedeni ile, BD-11 sıcak su sondajında olduğu gibi, birtakım çalışma zorluklarını da beraberinde getirmektedir.

24) Balçova jeotermal sistemi için de sahanın işletmeye vereceği tepkilerin daha sağlıklı olarak yorumlanabilmesi, hatta sahanın geleceği ile ilgili işletim senaryolarının yazılabilmesi için, jeotermal sahada bulunan sıcak su kuyularına yönelik veri takibinin daha uzun süreli yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akartuna, M. (1962). *İzmir-Torbalı ve Seferihisar Bölgesi'nin jeolojisi*. MTA Dergisi 59, MTA Rapor No: 2624. Ankara.
- Akçığ, Z., Pınar, R., Koca, M. Y., Yılmaz, R., M. A., Danışman, Akyol, N., Özyalın, Ş., Eskişar, T., Kıncal, C. (2002). *Universiade yerleşim alanı jeoteknik raporu*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü. İzmir.
- Akçığ, Z., Pınar, R., Koca, M. Y., Yılmaz, R., Akgün, M., Özden, G., Özyalın, Ş., Kıncal, C., Erhan, Z. (2005). *Kabaoğlu Heyelan Sahası (Balçova-İzmir) Jeolojik ve Jeoteknik Etüd Raporu*. Dokuz Eylül Üniversitesi Vakfı İktisadi İşletmeleri. İzmir.
- Aksoy, N. (2001). *Balçova-Narlıdere Jeotermal Sistemi'nin izleyiciler ile incelenmesi* (Doktora tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İzmir.
- Alacalı, M. (2002). *Geological assessment of the Te Puia Thermal Area, East Cost*, (Project for Diploma in Geothermal Energy Technology), The University of Auckland Geothermal Institute, 2002. New Zealand.
- Barka, A., Relienger, R., Emre, Ö. (2000). *Orta Batı Anadolu transform/ridge/transform üçlü eklemi*, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu Bildiriler .s:39.
- Baykal, A. (2005). *Kil mineralleri ders notları*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi. İzmir.
- Browne, P.R.L. (2002). *Hydrothermal alteration, Geotherm 611 Lecture Notes*, The University of Auckland Geothermal Institute, New Zealand.

- Browne, P.R.L. (1978). Hydrothermal alteration in active geothermal fields. *Ann. Rev. Earth Planet Sci. Vol.6.* p: 228-250.
- Çetiner, L., Pekatan, R., Taşkiran, A., İldem F. (2000). *İzmir-Güzelbahçe ve Gülbahçe jeotermal enerji arama projesi final raporu.* JT: 183. MTA Ege Bölge Müdürlüğü. İzmir.
- Çetiner, L. (2004). *İzmir-Balçova BD-8 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu*, Yayınlanmamış, Enerji Hammadde Arama Dairesi. Ankara.
- Deer, W.A., Howie, R.A., & Zussman, J. (1966). *An introduction to the rock forming minerals.* Longman Group Limited. London.
- Devlet Planlama Teşkilatı, *Uzun vadeli strateji ve sekizinci kalkınma planı 2001-2005*, ([hppt://www.dpt.gov.tr](http://www.dpt.gov.tr))
- Dewey, J.F. ve Şengör, A.M.C. (1979). Aegean and surrounding regions complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone: *Geol. Soc. Am. Bül.*, 90, 84-92.
- Dictionary of Geological Terms, (1960), Anchor Books, Anchor Press/Doubleday, Garden City, New York. USA.
- DSİ, II: Bölge Müdürlüğü, İzmir, (<http://www.dsi.gov.tr/bolge/dsi2/izmir.htm>)
- Doglioni, C., Agostini, S., Crespi, M., Innocenti, F., Manetti, P., Riguzzi, F., Savaşçın M. Y. (2002). "On The Extension In Western Anatolia And The Aegean Sea" *Journal of the Virtual Explorer*, 8, 169-183.
- Dora, Ö., Erdoğan, B., Nakoman, E. (1985). *Esentepe Taş Ocağı çevresi yerleşim alanının temel jeolojik ve jeoteknik etüdü.* Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi. İzmir.

- Drahor, M.G. (1983). *Doğal uçlaşma yöntemi ve İzmir-Agatemnon sıcak su alanında doğal uçlaşma çalışmaları* (Diploma Çalışması), Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi. İzmir.
- Drahor, M.G., Sarı, C., Şalk, M. (1999). Seferihisar jeotermal alanında doğal gerilim (SP) ve gravite çalışmaları. Dokuz Eylül Üniversitesi. *Fen Bilimleri Mühendislik Dergisi*. Cilt: 1 Sayı: 3. Sf:97-112. Ekim 1999.
- Emre, Ö., ve Barka, A. (2000). *Gediz Grabeni-Ege Denizi arasının (İzmir Yöresi) Aktif Fayları*, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu.s:131-132.
- Erkan, Y. (1994). *Kayaç oluşturan önemli minerallerin mikroskopta incelenmeleri*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No: 42.
- Erkan, Y. (2002). *Metamorfik Petrografi*. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No: 28.
- Eşder, T. ve Şimşek, Ş. (1975). *İzmir-Seferihisar Alanı Çubukludağ Grabeni ile dolayının jeolojisi ve jeotermal olanakları*, MTA Rapor No: 5842. Ankara.
- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C., Göktaş, F. (2005). *İzmir ve Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri Raporu*, MTA No: 10754, Jeoloji Etütleri Dairesi, 2005. Ankara.(<http://www.mta.gov.tr/deprem/izmir/izmir-raporfinal.pdf>)
- Ekingen, K. (1970). *İzmir-Urla-Seferihisar gravite etüdü*. MTA Rapor No: 4312. Ankara.
- Fournier, R.O., & Rowe, J.J. (1966). Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot spring and wet-steam wells. *Am. Jour. Sci.*, v. 264, p.685-697

- Fournier, R.O., & Truesdell, A.H. (1972). An empirical Na-K-Ca geothermometry for natural waters. *U.S. Geological Survey Menlo Park, California*. New York.
- Fournier, R.O. (1973). *Silica in thermal waters. Laboratory and field investigation* (proc. in symp. on hydrogeo-chemistry and biogeochemistry, Japan, 1970), 1, J.W. Clarke, Washington. D.S.122-139
- Fournier, R.O., & Truesdell, A.H. (1974). "Chemical indicators of subsurface and fraction of hot water mixed with cold water". *Journal Research U.S., Geol. Survey*, Vol.2, No: 3
- Fournier, R.O., (1977), Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, vol. S, pp.41-50. Pergamon Press, 1977. Great Britain.
- Gevrek, A.İ. (1999). Water/rock interaction in the Kızılcahamam geothermal field, Galatian volcanik province (Türkiye): a modelling study of a geothermal system for re-injection well locations. *Elsevier, Journal of Volcanology and Geothermal Research* 96 (2000) 207-213.
- Henley, R.W., Truesdell, A. H., & others. (1984). *Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems*. Reviews in Economic Geology. Vol.1. University of Texas at El Paso. USA.
- Karahan, Ç., Yıldız, S., Manav, E., İldem, F. (2004). *İzmir-Balçova BD-8 Jeotermal Enerji Arama Sondaj Kuyusu Bitirme Raporu*, Yayınlanmamış, Enerji Hammadde Arama Dairesi. Ankara.

- Keskin, M. (2003). Magma generation by steepening and break off beneath a subduction –accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters*, Vol. 30 No: 24, 8046. The Eastern Turkey Seismic Experiment. TUR. 9-1 to 9-5.
- Koçak, A. (1994). Jeotermal enerji, *Türkiye Enerji Bülteni*, Ocak, 1994, Cilt:1 Sayı: 1, TMMOB-Jeoloji Mühendisler Odası Yayını. Ankara.
- KOERI: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Merkezi (<http://koeri.boun.edu.tr>)
- Lund, W. J., Derek, H.F., Tonya, L.B. (2005). *World-wide direct uses of geothermal energy 2005*. Proceedings World Geothermal Congress, 2005. P: 0007Antalya.
- Maden Yatakları ve Levha Tektoniği Yüksek Lisans Kurs Notları*, 2002, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi. İzmir.
- Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, (<http://www.meteor.gov.tr/index.aspx>)
- Mineralogy Database, Minerals, Location, Mineral Photos and Data, <http://www.mindat.org/index>.
- Moore & Reynolds. (1989). *Clay mineralogy lecture notes*.
- Öngür, T. (1972). *İzmir-Urla jeotermal araştırma sahasına ilişkin jeolojik rapor*. MTA Dergisi, 4835. Ankara.
- Özküçük, H. ve Acar, B. (1981). *Kabaoğlu Mevkii jeolojik etüd raporu*. İmar ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Etüt ve Araştırma Dairesi. Ankara.
- Rodgers, K.A., Spörli, K.B., Cotterall, L., Prebble, W.M., Browne, P.R.L., Campbell, K.A. & Augustinus, P.C. (2001). *Field Geology, A Handbook of Basic Techniques*

- & *Safety Practice*, Department of Geology & Geothermal Institute The University of Auckland. New Zealand.
- Savaşçın. Y. & diğ. (2005). *Geothermal geochemistry and some new geothermal approaches*. Reviewed Course Book. Ankara.
- Satman. A., Serpen, Ü., Onur, M. (2002). *İzmir Balçova-Narlıdere jeotermal sahasının rezervuar ve üretim performansı projesi*. İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü. İstanbul.
- Serruya, S. (1962). *Agamemnon Ilıcaları*. MTA Rapor No: 3206. Ankara.
- Simmons, S.F. (2002). *Geochemistry Lecture Notes 2002, Semester I, Geotherm 601, 602, 603*, Geothermal Energy Technology Course, Geothermal Institute, University of Auckland. New Zealand.
- Soengkono, S.S. (2002). *World-wide setting and occurrence of geothermal resources*, Geothermal Institute. Geotherm 601- Geothermal resources and their use.
- Şhinci, A. (1991). *Doğal suların jeokimyası*. İzmir
- Şahinci, A. (1991). *Jeotermal sistemler ve jeokimyasal özellikleri*. İzmir.
- Şamilgil, E. (1964). *İzmir Agamemnon Kaplıcası bölgesinde sıcaksu sondajları ve hidrojeolojik neticeler hakkında rapor*. MTA Rapor No: 3324. Ankara.
- Şaroğlu, F., &Yılmaz, Y. (1987). Geological evolution and basin models during neotectonic episode in the Eastern Anatolia. *Bull. Min. Res. Ezp.* 107, 74-94.
- Şengör, A.M.C., & Dewey, J.F. (1979). Aegean and surrounding regions complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone: *Geol. Soc. Am. Bül.*, 90, 84-92.

- Şimşek, Ş., Mertoğlu, O., Bakır, N., Akkuş, İ., Aydoğdu, Ö. (2005). *Geothermal energy utilization, development and projections- Country update report (2000-2004) of Türkiye*. Proceedings World Geothermal Congress 2005. P:0126. Antalya.
- Tarcan, G. (2002). *Jeotermalde yerbilimsel uygulamalar. Jeotermal su kimyası, JenarumYaz Okulu 2002 Ders Notları*. Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir.
- Tamgaç, Ö. F., Yıldırım, N., Güner, N. (2005). *Balçova jeotermal sahası koruma alanları etüt raporu* (derlenmemiş). Ankara.
- Tezcan, K.. (1962). *İzmir Agamemnon Jeofizik Etüdlerinin Jeotermik Enerji Bakımından Değerlendirilmesi*. MTA Rapor No: 98/3072. İzmir.
- YEKSEM, II. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 15-18 Ekim 2003. İzmir.
- Yıldız, S., Manav, E., Sevim, F. (2005). *İzmir-Balçova Jeotermal Sondajı BD-10 Kuyu Bitirme Raporu*, Yayınlanmamış, Enerji Hammadde Arama Dairesi, ANKARA
- Yılmazer, S., Şimşek, Ş.,Gümüş, H.. (1977). *İzmir Agamemnon sahasının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları*. MTA Rapor No: 6133. Ankara.
- Yılmazer, S. (1981). *Balçova Kaplıcalarının termal kapasitesi ve bunlardan yararlanma*. MTA Raporu. MTA Ege Bölge Kütüphanesi. JE/8.
- Yılmazer, S. (1989). *Balçova Kaplıcaları'nın (İzmir) jeokimyasal özellikleri ve alanın jeotermal enerji olanakları* (Doktora Tezi). Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.

- Yilmazer, S., Gevrek, A. İ., Şahinci, A. (1989). *Clay mineralogy and hydrothermal alteration studies of İzmir-Balçova Geothermal Field, Türkiye*. Proceedings 11th New Zealand Geothermal Workshop. New Zealand.
- Yilmazer, S. ve Büyükoğtar, S. (1989). *Balçova Jeotermal Sahasının Hidrojeolojisi ve Koruma Alanları Raporu*. MTA Raporu. MTA Ege Bölge Müdürlüğü.
- Yilmazer, S. ve Yakabağ, A.(1994). *İzmir-Balçova Derin Araştırma Kuyusu (BD-1) Kuyu Bitirme Raporu*. MTA Rapor No: 9983. Ankara.
- Yılmaz, Y. (2000). *Ege Bölgesinin Aktif tektoniği*, Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı. s: 3-14.
- Yilmazer, S. (2001). *Kıyı Ege ve İzmir ilindeki jeotermal kaynakların değerlendirilmesi*. 1. Çevre ve Jeoloji Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 21-23 Mart 2001. İzmir. s: 371-379.
- Yilmazer, S. (2001). İzmir ili jeotermal enerji kaynaklarının önemi, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni*, Yıl: 2001, Sayı: 01/1-2. İzmir.
- Yilmazer, S., & Alacalı, M. (2005). *Distribution of hot water resources and potentials of İzmir province*; Proceedings, World Geothermal Congress, 2005. Antalya.

LEVHALAR

LEVHA-1



Foto-1 Fliş içerisindeki kumtaşındaki bulunan özşekilli piritli seviyeler

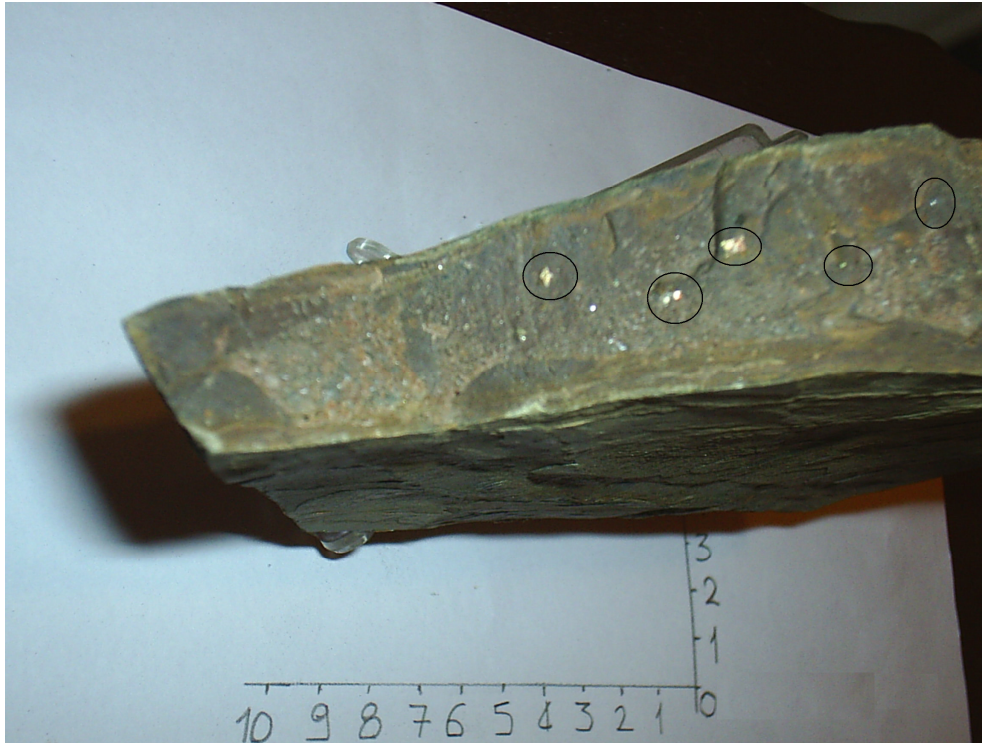


Foto-2 Fliş içerisindeki kumtaşındaki bulunan özşekilli piritler

LEVHA-2



Foto-3 Yüzeyde gözlenen alterasyon ürünlerinden bir görünüm

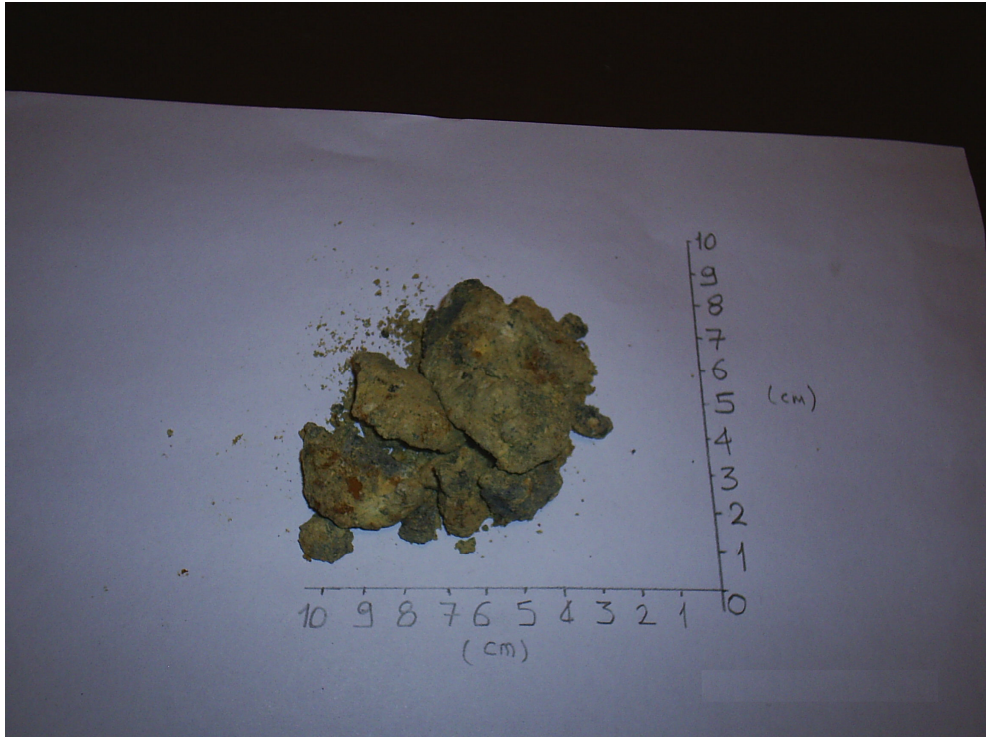


Foto-4. Ilıca Deresi civarından oksitlenmeye uğramış kayaktan alınan el örneği

LEVHA-3



Foto-5 İzmir Flişinin kendi içerisindeki kıvrımlar



Foto-6 Demircili Köyü Sahili'nde gözlenen açılma

LEVHA-4



Foto-7 Radar Çeşmesi'nden örnek alımı



Foto-8 BD-5 Kodlu derin kuyudan örnek alımı

LEVHA-5



Foto-9 BD-11 Sıcak Su Kuyusu Sondajı



Foto-10 Yerleşim merkezindeki BD-11 sıcak su kuyusu sondaj kampı

LEVHA-6



Foto-11 Hekzahidrit mineralinin gözlendiği yüzeyler



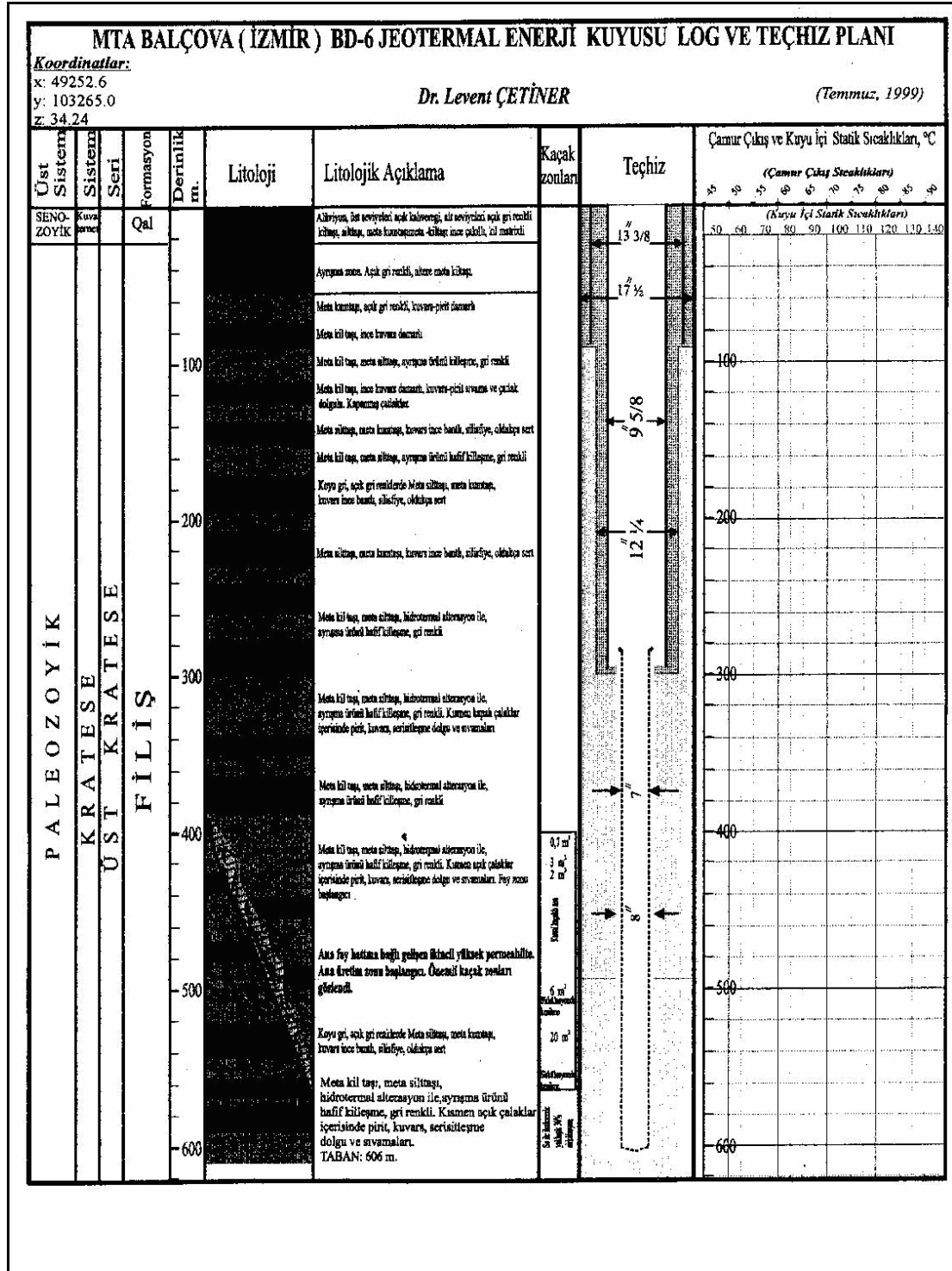
Foto-12 Yanma ürünü hissini veren Hekzahidrit minerali

EKLER

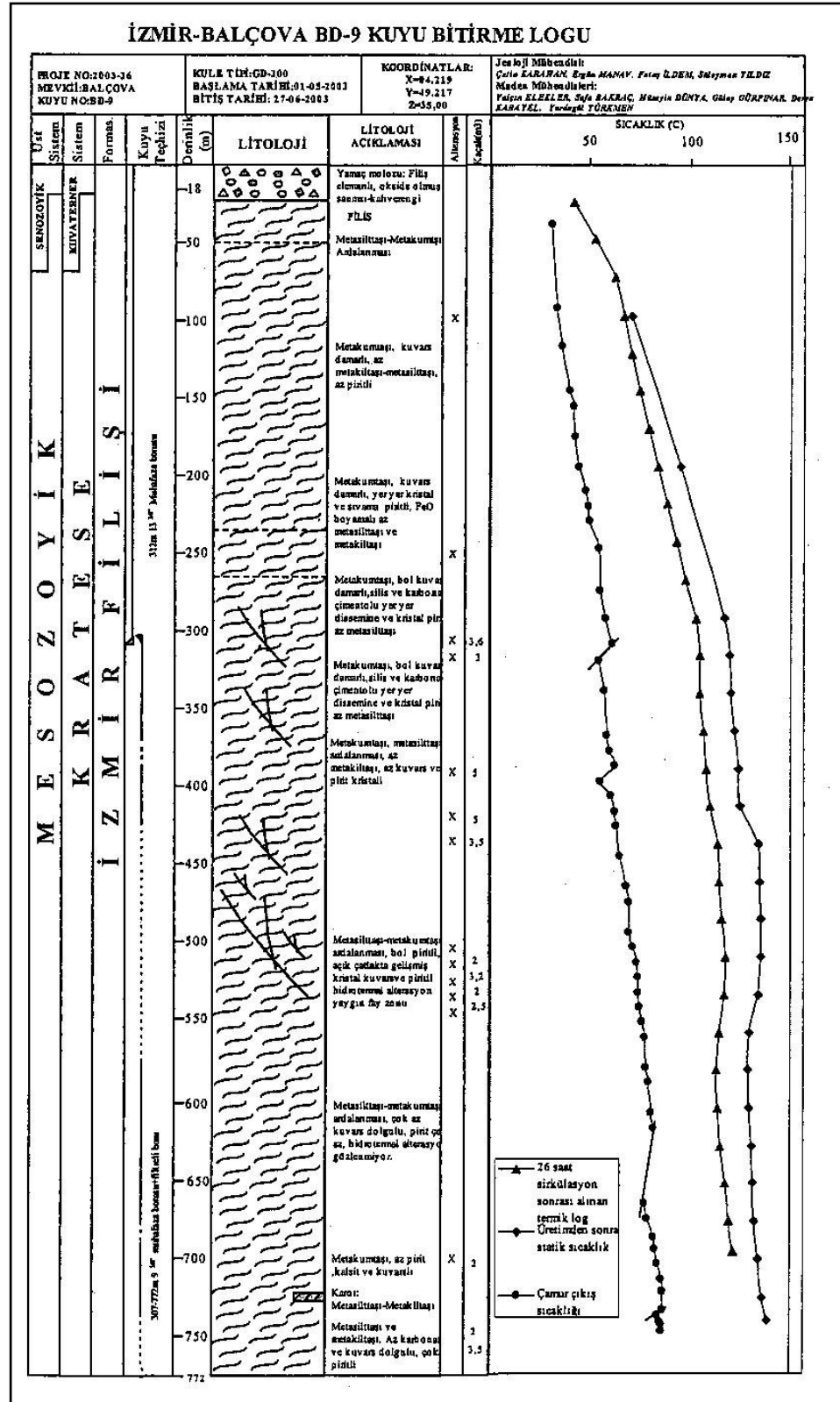
(Çetiner, 1999, 2004, MTA; Karahan, 2004, MTA'dan derlenmiştir.)

EK-1
KUYU LOGLARI

EK.1-A. BD-6 Kodlu kuyunun logu



EK.1-D. BD-9 Kodlu kuyu logu



EK-2
KUYULARIN SICAKSU VE MADEN SUYU
ANALİZ FORMLARI

(Karahan, MTA, 2003; Yıldız, 2005, MTA'dan derlenmiştir.)

EK.2-A. BD-9 kodlu kuyunun kimyasal analiz sonuçları

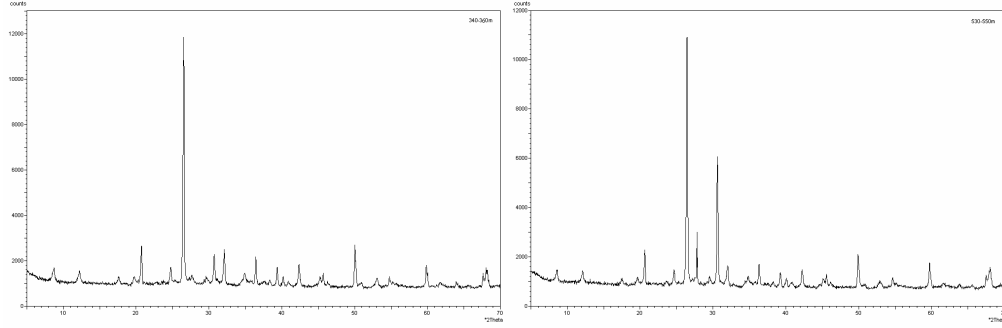
T.C. MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ				SICAKSU VE MADENSUYU ANALİZ FORMU				
GÖNDEREN DAİRE		PROJE NO:	PROJE ADI		NUMUNEYİ ALAN			
En.Ham.Et.ve Arama		2003-36	İzmir-Balçova-BD-9		Çetin KARAHAN			
Numune No: 1	Lab.No: D-60157	Rapor No: 1991	Rapor Tarihi: 26.08.2003		Analizde Analoji Yapan Dr. B. GÜNEHİ			
NUMUNENİN ALINDIĞI	Tarih	27.06.2003		SUYUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	Debi	49 l/s		
	Kaynak Adı	BD-9-Balçova			Sıcaklık	Su	98.7 °C	
	İlçe	İzmir				Hava	36.3 °C	
	Köy, Mevki	Balçova			Koku	Kükürcü Koku		
		Salih Dede			Tad	Acımsız		
		Lisesi Yanı			Renk	Renksiz		
Parta Numarası ve Koordinatı	İzmir-L-18 A-1 Y:04 219 X:49 217 Z:35			Sıcaklık Bulanlığı	Az Bulan			
				SUYUN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ (kaynak başlangıçta tespit edilenler)	Spesifik Kondüktivite	3900 µS/cm		
					pH	8.37		
					NH ₄ ⁺	mval/l		
					Ca ⁺⁺	mval/l		
					Mg ⁺⁺	mval/l		
					HCO ₃ ⁻	mval/l		
					SiO ₂	mg/l		
					CO ₂ (Serbest)	%vol		
					H ₂ S (Serbest)	mg/l		
					Cl ⁻	mg/l		
				Tuzluluk	0.9 ppt			
KATYONLAR	mg/l	mval/l	% mval	ANYONLAR	mg/l	mval/l	% mval	
K ⁺	59.6	1.52	8.31	HCO ₃ ⁻	557	9.12	46.04	
Na ⁺	375	16.30	89.17	CO ₃ ⁺⁺	68.4	2.28	11.5	
NH ₄ ⁺	1.4			SO ₄ ⁺⁺	147	3.05	15.39	
Ca ⁺⁺	6.0	0.30	1.64	Cl ⁻	190	5.36	27.0	
Mg ⁺⁺	1.9	0.16	0.88	I ⁻				
Fe (Total)	0.5			F ⁻	9.1			
As (Total)				S (Titrasyonla)				
Rb ⁺				OH ⁻				
Ce ⁺								
B (Total)	13.9							
Li ⁺	1.5			Br ⁻	0.1			
Mn (Total)	0.1			NO ₃ ⁻	0.1			
Hg				NO ₂ ⁻	0.6			
Ba ⁺⁺				PO ₄ (Total)	0.1			
Al ⁺⁺⁺								
TOPLAM	459.8	18.28	100.00	TOPLAM	972.1	19.8	100.00	
ESER HALİNDE BULUNANLAR mg/l				TOPLAM MINERALİZASYON				
Pb	Cr	Pt		Kasyonlar : 459.8				
Zn	Mo	U		Anyonlar : 972.1				
Cu	Sr	Th		Diğer Elementler : 156.0				
Ni	Ag	W		Eser halinde bulunanlar : 3.28				
Sn	Au	Ti		TOPLAM : 1591.18 mg/l				
Cs	TOPLAM							
SUYUN SINIFLANDIRILMASI AİH Sınıflamasına göre bor ve silis içeren, sodyumlu bikarbonatlı, klorlu sıcaksu.								
Form No : S-72/9				SERVİS ŞEFİNİN İMZASI		DAİRE BAŞKANIN İMZASI		

EK.2-B. BD-10 kodlu kuyunun kimyasal analiz sonuçları

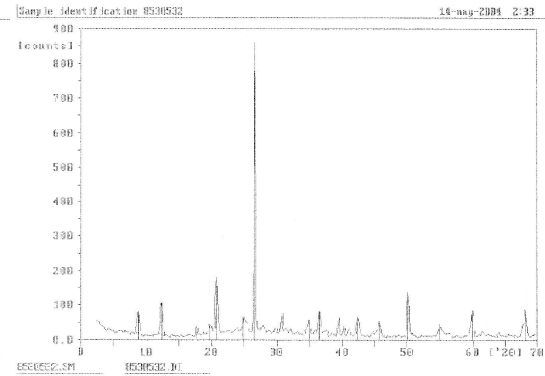
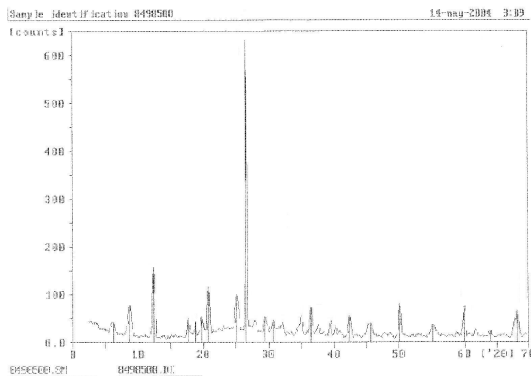
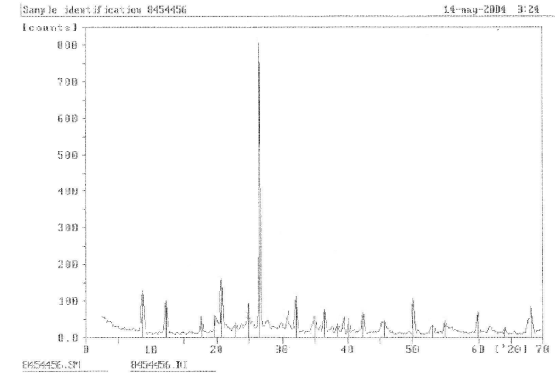
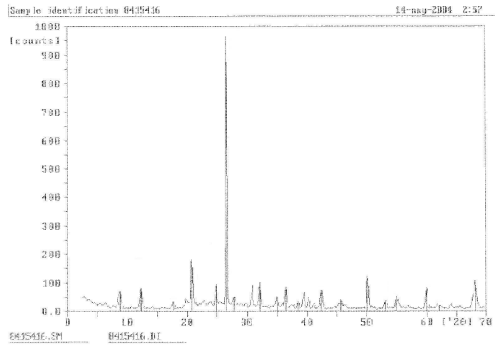
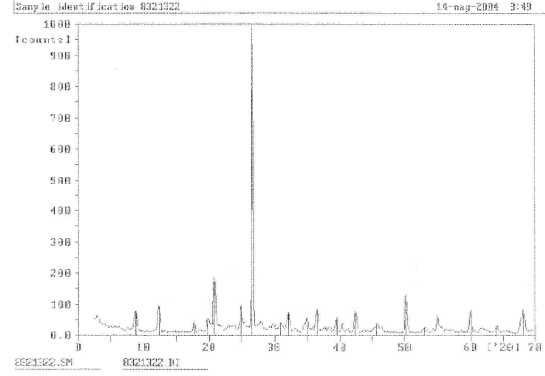
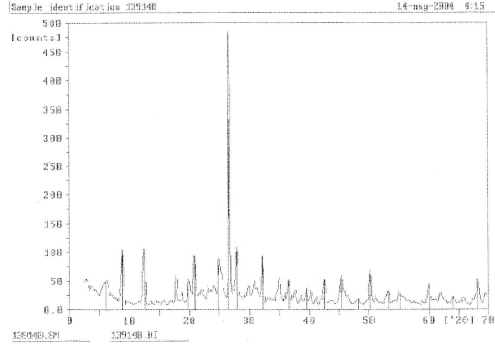
T.C. MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ				SICAKSU VE MADENSUYU ANALİZ FORMU							
GÖNDEREN DAİRE				PROJE NO.		PROJE ADI		NUMUNEYİ ALAN			
Enerji Hem.Ft.ve Arama Dairesi B.Ş.K.				2004 -33		Balçova (BD-10) Jeotermal Sondaj		Süleyman YILDIZ			
Numune No : 165		Lab.No : D-67287		Rapor No : 2205		Rapor Tarihi : 30.07.2004		Arazide Analizi Yapan :			
NUMUNENİN ALINDIĞI	Tarih	30.06.2004		SUYUN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	Debi		45 l/s		SUYUN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ (Kaynak başında tespit edilenler)	Spesifik Kondüktivite	µS/cm
	Kaynak Adı	BD-10 Kuyusu			Sıcaklık	Su	104 °C			pH	
	İl	İzmir				Hava	32 °C			NH ₄ ⁺	mval/l
	İlçe	Balçova			Koku	Kokulu		Ca ⁺⁺		mval/l	
	Köy, Mevki				Tad	Acı		Mg ⁺⁺		mval/l	
	Pafta Numarası ve Koordinatı	L 18 a1 X = 02718 Y = 48975 Z = 42 m.			Renk	Renksiz		HCO ₃ ⁻		mval/l	
				Berraklık	Berrak		SiO ₂	mg/l	CO ₂ (Serbest)	%/vol	
								H ₂ S (Serbest)	mg/l	Cl ⁻	mg/l
									Tuzluluk	ppt	
KATYONLAR	mg/l	mval/l	% mval	ANYONLAR	mg/l	mval/l	% mval	DİĞER ELEMANLAR			
K ⁺	32.0	0.82	5.4	HCO ₃ ⁻	361	5.92	41.7	SiO ₂	100	mg/l	
Na ⁺	316	13.74	89.6	CO ₃ ⁻⁻	65.5	2.18	15.4	O ₂ (suda erimiş)		mg/l	
NH ₄ ⁺	1.2			SO ₄ ⁻⁻	153	3.19	22.5	CO ₂ (suda erimiş)	1.0	mg/l	
Ca ⁺⁺	12.3	0.61	4.0	Cl ⁻	103	2.90	20.4	Rn ²²² (1Eman=10 ⁻¹⁰ Cur)		Eman/l	
Mg ⁺⁺	1.9	0.16	1.0	I ⁻				pH (25 °C)	8.7		
Fe (Total)	0.3			F ⁻	6.8			Spesifik Kondüktivite (25 °C)	1535	µS/cm	
As (Total)				S ⁻⁻⁻ (Titrasyonla)				Spesifik Gravite (25 °C)		gr/cm ³	
Rb ⁺				OH ⁻				Buharlaşma Kalıntısı (180 °C)		mg/l	
Cs ⁺											
B (Total)	8.5										
Li ⁺	1.2			Br ⁻	0.1			SERTLİK			
Mn (Total)	0.03			NO ₂ ⁻	0.1			Toplam	2.2	dH°	
Hg				NO ₃ ⁻	0.7			Geçici	2.2	dH°	
Ba ⁺⁺				PO ₄ (Total)	0.1			Kalıcı	0.0	dH°	
Al ⁺⁺⁺											
TOPLAM	373.4	15.33	100.00	TOPLAM	690.0	14.19	100.00				
ESER HALİNDE BULUNANLAR mg/l				TOPLAM MİNERALİZASYON				JEOLOJİK-HİDROJEOLOJİK BİLGİ			
Pb		Cr		Pt		Kasyonlar : 373.4					
Zn		Mo		U		Anyonlar : 690.0					
Cu		Sr		Th		Diğer Elemanlar : 101.0					
Ni		Ag		W		Eser halinde bulunanlar :					
Sn		Au		Ti		+ _____					
Co		TOPLAM				1164 mg/l					
SUYUN SINIFLANDIRILMASI Florür,Bor ve silisil asit içeren sodyumlu,bikarbonatlı,sülfatlı,klorünlü sıcak su.											
Form No : S-72/9				SERVİS ŞEFİNİN İMZASI				DAİRE BAŞKANIN İMZASI			

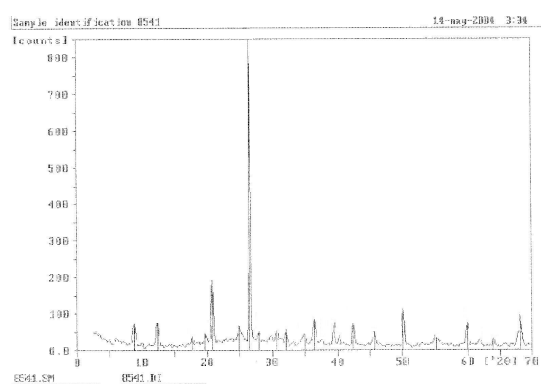
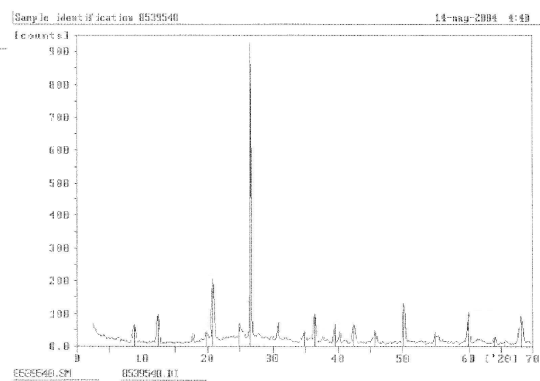
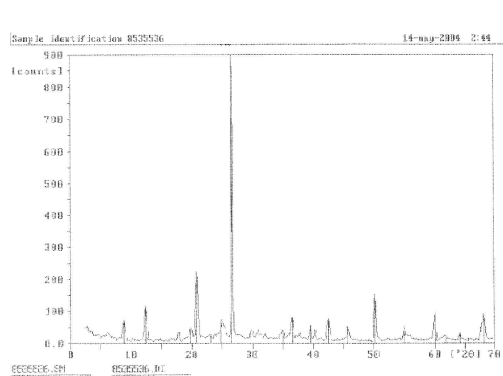
EK-3
X-RAY DİFRAKTOMETRE ANALİZ
SONUÇLARI

EK.3-A. BD-6 kodlu kuyunun 340-360 m ve 530-550 m'den alınan örneklerin X-Ray Difraktogramları

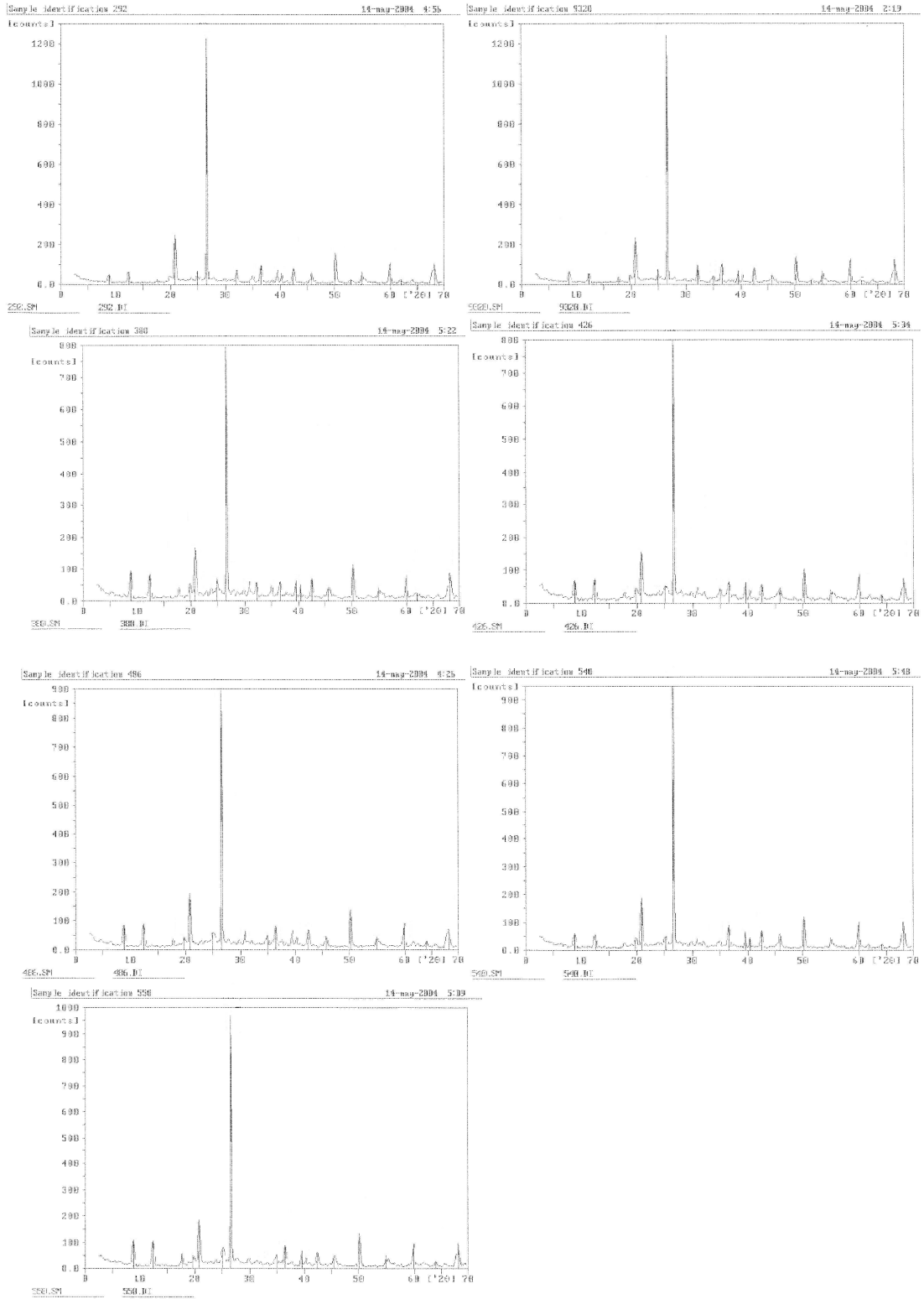


EK.3-B. BD-8 kodlu kuyunun sırasıyla 139-140m, 321-322m, 415-416m, 454-456m, 498-500m, 530-532m, 535-536m, 539-540m, 541m'den alınan örneklerin X-Ray Difraktogramları

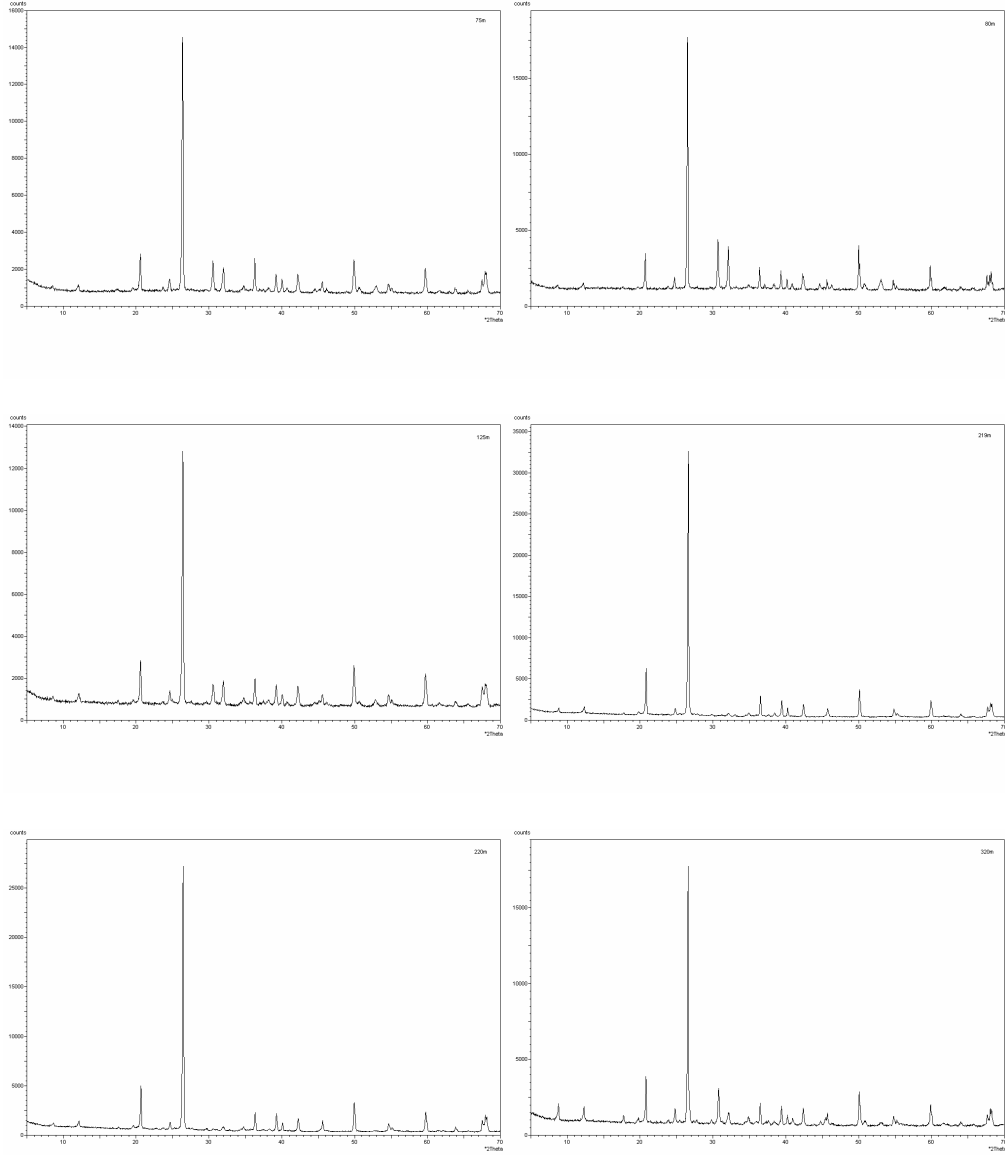




EK.3-C. BD-9 kodlu kuyunun 292m, 320m, 380m, 426m, 486m, 540m ve 550m’den alınan örneklerin X-Ray Difraktogramları



EK.3-D. BD-10 kodlu kuyunun 75m, 80m, 125m, 219m, 220m, 320m'den alınan örneklerin X-Ray Difraktogramları



EK.3-E. Baraj Yolu üzerinden alınan örneğe ait X-Ray Difraktogramı

