

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ**

**GEDİZ KAPLICALARI'NIN (KÜTAHYA)  
HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**CIHAN GÜNEŞ**

**MART, 2006  
İZMİR**

**GEDİZ KAPLICALARI'NIN (KÜTAHYA)  
HİDROJEOLÖJİK VE HİDROJEOKİMYASAL  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı**

**Cihan GÜNEŞ**

**MART, 2006  
İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**Cihan GÜNEŞ**, tarafından **Doç.Dr. Gültekin TARCAN** yönetiminde hazırlanan “**GEDİZ KAPLICALARI’NIN (KÜTAHYA) HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Gültekin TARCAN

Yönetici

Doç.Dr. Ünsal GEMİCİ

Jüri Üyesi

Doç.Dr. Kadriye ERTEKİN

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmaları sırasında çalışmamın başlangıcından sonuçlandırılmasına kadar her türlü bilgi ve tecrübeleri, gösterdiği sabır ve anlayışla benden destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Gültekin TARCAN'a; çalışmalarım esnasında arazi, laboratuvar, teze her türlü kaynak ve fikirsel katkılarından dolayı Arş. Gör. Murat TOKCAER'e ve çalışmalarında yardımcı olan Arş. Gör. Ali BÜLBÜL'e, jeokimyasal analizlerde bana yardımcı olan çalışma arkadaşım Kim. Nedim TATARİ'ye, jeoloji ve haritalama işlemlerinde tartışmalarıyla bana destek olan Öğr. Gör. Mete ÇETİNKAPLAN'a, fikirleri ile bana destek olan Doç.Dr. Hasan SÖZBİLİR ve Yrd.Doç.Dr. Talip GÜNGÖR'e, farklı konularda yorum ve bilgileri ile katkıda bulunan tüm Jeoloji Mühendisliği Bölüm çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım esnasında çalışma alanında her türlü yardımlarını aldığım Gediz Belediyesi Termal Tesisleri Md. Ömer bey ve Gediz Belediyesi'ne teşekkür ederim.

Çalışmalarımın sonuçlanması aşamasında bilgisayarımın arızalanması sebebi ile kendi bilgisayarımı vererek büyük yardımcı olan kardeşim Mak. Müh. Zafer GÜNEŞ'e ve sabırlarından dolayı GÜNEŞ ve TOKGÖZ ailelerine teşekkür ederim.

Çalışmalarımın her türlü aşamasında büyük destekçilerim ve hayatımın en önemli iki insanı olan eşim Sevgi ve oğlum Azim Can'a göstermiş oldukları sabır ve yardımlardan dolayı çok teşekkür ederim.

Bu tezi oğlum Azim Can GÜNEŞ'e atfediyorum.

Cihan GÜNEŞ

# GEDİZ KAPLICALARI'NIN (KÜTAHYA) HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ

## ÖZ

Ilıca ve Muratdağı jeotermal alanları Simav grabeninin doğu ucunda yer almaktadır. Gediz Ilıca jeotermal alanında Paleozoik yaşlı metamorfikler (Menderes Masifi metamorfikleri) ve bunları kesen fay zonları rezervuar kayayı Senozoyik yaşlı sedimentler birimlerinin kil ve marn gibi geçirimsiz katmanları ise örtü birimleri oluşturur. Muratdağı'nda ise Jurasik yaşlı metasedimenter birimler ile Muratdağı karmaşığının ikincil permeabiliteli seviyeleri rezervuar kaya niteliğini taşırlar. Ilıca alanında 22 l/sn debi ile boşalım yapan kaynaklar Dağardı melanji ile Yeniköy formasyonu dokanağından boşalım yapmaktadırlar.

Ilıca ve Muratdağı alanında termal suların sıcaklıkları sırası ile 31,2°C-77°C ve 20,3°C-43°C arasında değişmektedir. Bu noktalardan periyodik olarak 4 kez örnekleme yapıp ölçüm ve analizleri ayrıntılı olarak tamamlanmıştır. Her iki jeotermal alan da meteorik yeraltı sularıyla beslenmektedir. Termal sular her iki alanda da buhar ısıtmalı sular olup Ilıca alanında sodyum sülfat Muratdağı alanında ise magnezyum sülfat tiptir. Ilıca termal suları %54-70 oranında sıcak su içeriği ile soğuk yeraltı suları ile karışmaktadır. Muratdağı termal suları ise özel bir karakter ile ana akışkanı barındırmayan buhar ısıtmalı sulardır. Ilıca jeotermal suları mevsimsel etkiler ile ısı ve Eh gibi ölçümlerde yüksek farklar göstermektedir. Termal sular aragonit, kalsit, kalseduan, hematit, illit, kaolinit ve kuvars gibi minerallerce doygundur. Jeotermal alanların yaklaşık rezervuar sıcaklıkları, Ilıca 162°C, Muratdağı ise 84°C'dir.

Ilıca jeotermal alanında Gediz Belediyesi tarafından bir ısıtma projesi yapılmaktadır. Her iki jeotermal alanda da termal turizm amaçlı tesisler bulunmaktadır ve kullanım suları direkt alıcı ortamlara verilmektedir. Suların özellikleri ısıtmacılık uygulamalarında yüksek kullanımdan dolayı çeşitli uygulama ve çevresel sorunlar oluşturmaya yatkındır.

Anahtar kelimeler: **Gediz, termal sular, jeotermal, hidrojeoloji, hidrojeokimya.**

# **HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL STUDY OF THE GEDIZ SPAS, KÜTAHYA, TURKEY**

## **ABSTRACT**

The Kütahya Gediz spas are located in the eastern part of the Simav Graben, which is one of the Western Turkey grabens. Gediz geothermal systems have been physically divided into two main groups; the Ilica and Muratdağı geothermal areas. A number of natural hot springs and four drilling wells are the major thermal sources in the areas. The reservoir rocks of the geothermal systems are Paleozoic metamorphic rocks in the Ilica area and Jurassic to Cretaceous Muratdağı Melange, which consists of marble, cherty limestones, schist, ultramafic rocks and their complexes, in the Muratdağı area. Since the clayey levels of the overlying Miocene - Pliocene sedimentary rocks, they are the cap rocks of the systems. The heat sources are the high geothermal gradient caused by graben tectonics of the area.

Thermal waters in the Ilica and Muratdağı areas are generally sodium, sulfate and bicarbonate and magnesium, sulfate types, respectively. Cold waters in the areas are mainly dominated by calcium, magnesium, sulfate, and bicarbonate ions. The results of mineral equilibrium modeling indicate that the thermal waters of the study area are oversaturated with respect to aragonite, calcite, chalcedony, dolomite, quartz, and undersaturated or oversaturated with respect to sepiolite, celestite, and rhodochrosite. Assessments of chemical geothermometers and mixing models applied to the thermal waters, which have measured discharge temperatures ranging from 31.2°C to 77°C in Ilica area and 20.3°C to 43°C in Muratdağı area, suggest that reservoir temperatures 162°C in Ilica area and 84°C in Muratdağı area. The important environmental problems in Ilica area are boron and TDS contaminations in cold aquifers and soils. To prevent these environmental impacts of thermal waters used for spas and district heating in the area, re-injection of produced thermal waters into the geothermal reservoirs is necessary.

**Keywords: Gediz, thermal liquids, geothermal, hydrogeology, hydrogeochemistry.**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ SONUÇ FORMU.....	İİİ
TEŞEKKÜR.....	İİİ
ÖZ .....	İV
ABSTRACT.....	V
<b>BÖLÜM BİR GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri .....	1
1.2 Çalışmanın Amacı.....	2
1.3. Araştırma Materyali ve Yöntemi .....	4
1.3.1 Arazi Yöntemleri .....	5
1.3.1.1 Güvenlik .....	7
1.3.1.2 Örnekleme .....	7
1.3.1.3 Fiziksel Ölçümler .....	8
1.3.1.4 Alkalinite ( $HCO_3-CO_3$ ) .....	8
1.3.2 Laboratuvar Metotları .....	8
1.3.2.1 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi Metodu (AAS) .....	9
1.3.2.2 Çöktürme (Gravimetri) .....	10
1.3.2.3 $Ag^+$ Çöktürme Titrasyonu (Arjentometrik titrasyon) .....	11
1.3.2.4 Toplam alkalinite analizi ( $HCO_3-CO_3$ ).....	11
1.3.2.5 Florür (F), Karbondioksit ( $CO_2$ ) analizi.....	13
1.3.2.6 Kalsiyum (Ca) Analizi.....	15
1.3.2.7 Magnezyum (Mg) Analizi.....	15
1.3.2.8 Bor (B) Analizi .....	16
<b>BÖLÜM İKİ JEOTERMAL ENERJİ .....</b>	<b>17</b>
2.1 Giriş.....	17
2.2 Plaka Tektoniği Teorisi .....	18
2.3 Dünyada Isı Transferi.....	21
2.4 Yerin Jeotermal Gradyanı ve Kayaların Termal İletkenliği.....	21
2.5 Jeotermal Gradyan ve Batı Anadolu .....	22
2.6 Jeotermal Kaynaklar.....	24

2.6.1 Genel Görüşler.....	24
2.6.2 Hidrotermal sistem.....	26
2.6.2.1 Su Baskın Alanlar.....	26
2.6.2.2 Buhar Baskın Alanlar.....	28
2.6.3 Jeotermal Akışkanın Kimyası.....	29
2.7 Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Durumu .....	30
2.8. Jeotermal Enerjinin Türkiye’deki Durumu .....	32
<b>BÖLÜM ÜÇ JEOLOJİK VE TEKTONİK TANITIM .....</b>	<b>34</b>
3.1 Giriş.....	34
3.2 Batı Anadolu’daki Paleotektonik Birimler.....	34
3.2.1 Sakarya Kitası.....	35
3.2.2 İzmir-Ankara Zonu:.....	37
3.2.3 Menderes Masifi.....	37
3.2.4 Likya Napları .....	39
3.3 Batı Anadolu’nun Neotektoniği .....	39
3.4 Magmatik Etkinlik ve Jeotermal Sistemler .....	42
3.5 Litolojik Birimlerin Tanıtımı .....	44
3.5.1 Gnays .....	45
3.5.2 Sarıcasu Formasyonu .....	45
3.5.3 Budağan Kireçtaşı.....	47
3.5.4 Muratdağı Melanji .....	50
3.5.5 Yeniköy Formasyonu.....	50
3.5.6 Volkanik Birimler.....	51
3.5.7 Hisarcık Formasyonu.....	52
3.5.8 Alüvyon ve Traverten .....	52
3.6 Tektonizma.....	52
<b>BÖLÜM DÖRT HİDROJEOLOJİ .....</b>	<b>54</b>
4.1 Giriş.....	54
4.2 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri .....	57
4.3 Su Örneklemeye Noktaları Tanımları, Ölçüm ve Analiz Sonuçları .....	59
4.3.1 Soğuk Sular .....	61



4.3.2	<i>Termal sular</i> .....	62
<b>BÖLÜM BEŞ HİDROJEOKİMYA .....</b>		<b>80</b>
5.1	Giriş.....	80
5.2	Ölçüm ve Analiz Metotlarının Değerlendirilmesi.....	80
5.2.1	<i>Silisyum Ayarlanması</i> .....	82
5.2.2	<i>CO<sub>2</sub>-HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub> Ölçüm ve Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi</i> .....	85
5.3	Suların Sınıflandırılması .....	89
5.4	Suların Kabuklaşma Özellikleri .....	97
<b>BÖLÜM ALTI SULARIN HAZNE SICAKLIKLARI VE KARIŞIM ORANLARI.....</b>		<b>103</b>
6.1	Giriş.....	103
6.2	Na-K-Mg <sup>1/2</sup> Üçgen Diyagramı .....	105
6.3	Si-Entalpi ve Cl-Entalpi Diyagramları.....	106
6.3.1	<i>SiO<sub>2</sub>-Entalpi Diyagramı</i> .....	108
6.3.2	<i>Cl-Entalpi Diyagramı</i> .....	112
6.4	Sularda Görülen Mevsimsel Değişiklikler.....	113
<b>BÖLÜM YEDİ JEOTERMAL SİSTEMİN ÇEVRESEL ETKİLERİ .....</b>		<b>115</b>
7.1.	Giriş.....	115
7.2.	Jeotermal Sistemlerin Çevresel Etkileri.....	116
7.2.1.	<i>Reenjeksiyonsuz Üretim</i> .....	116
7.2.2.	<i>Hava Kirliliği</i> .....	120
7.2.3.	<i>Su Kirliliği</i> .....	124
7.2.4.	<i>Zemin Çökmeleri ve Sismik Tehlike</i> .....	128
7.2.5.	<i>Sosyo-Ekonomik ve Kültürel Yapı ile İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri</i> ....	129
7.3	Ilıca ve Muratdağı Jeotermal Sahalarındaki Çevresel Etkiler.....	131
7.4.	İzleme Çalışmaları .....	137
<b>BÖLÜM SEKİZ SONUÇLAR.....</b>		<b>139</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>		<b>146</b>

## **BÖLÜM BİR**

### **GİRİŞ**

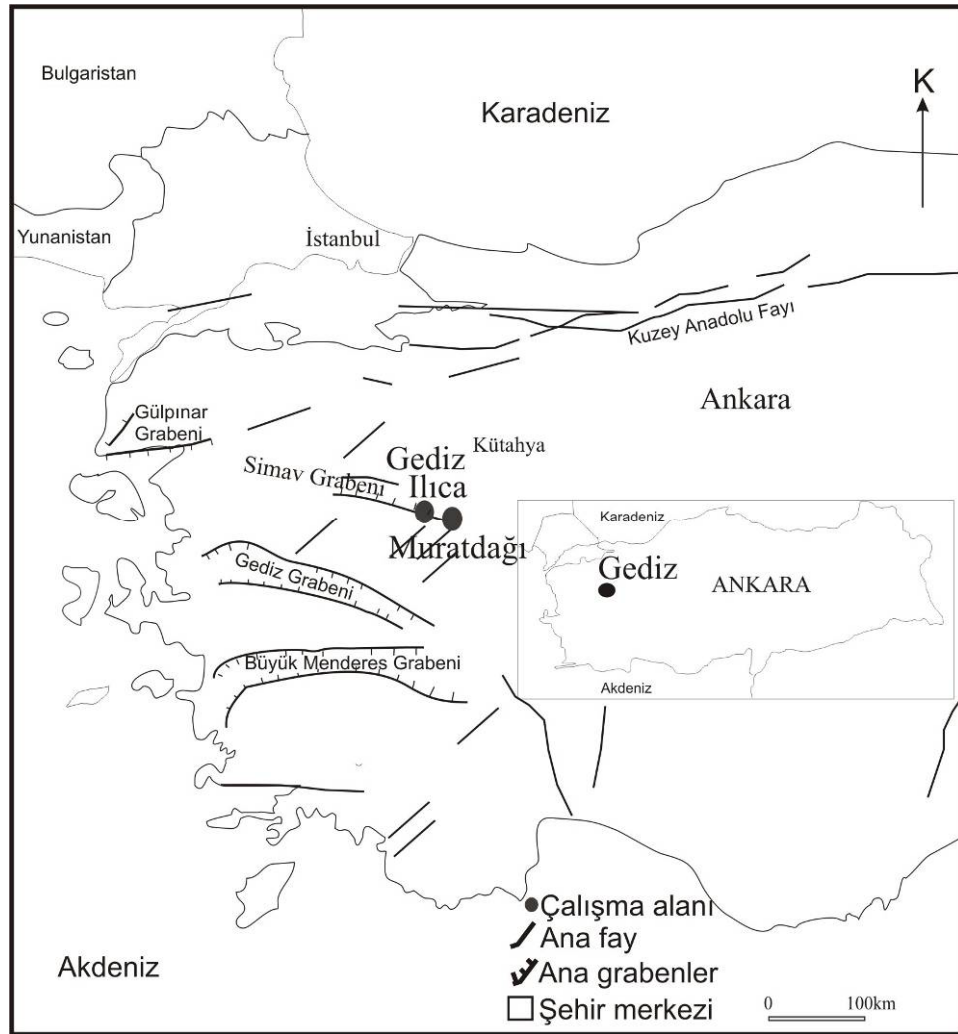
Bu bölümde; çalışma alanının yeri, coğrafik özellikleri, çalışmanın amacı, konusu ve çalışmada izlenen yöntemlerle ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır.

#### **1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri**

Kütahya İli'nin 91 km güneydoğusunda yer alan Gediz İlçesi, Türkiye'nin önemli maden ve jeotermal enerji potansiyeline sahip yerlerinden birisidir. Sıcak ve mineralli kaynaklar açısından da Türkiye'nin şanslı ilçelerinden birisi olup, coğrafik olarak Ilıca kaplıcaları ve Muratdağı kaplıcaları olmak üzere iki ayrı alanda toplanmaktadır. Gediz İlçesi, ortalama 1100-1200 m yükseltide dalgalı bir plato üzerinde yer alır. İlçenin denizden yüksekliği 736 m ve yüzölçümü ise 1468 km<sup>2</sup>'dir. Gediz jeotermal alanları, doğudan Muratdağı (Kartaltepe Zirvesi 2312 m), kuzeyde Şaphane Dağı (Ulugedik Zirvesi 2120 m) ile çevrilidir. Muratdağı, Kütahya'nın birinci ve Ege Bölgesi'nin dördüncü en yüksek noktasıdır. İlçenin; kuzeydoğusunda Balca, kuzeybatısında Çinge, güneyinde Erdoğan ve Abide ovaları yer almaktadır. Gediz Nehri ilçenin güneyinde bulunmaktadır.

Gediz İlçesi, Ege Bölgesi'nin önemli akarsu kaynaklarının membalarının bulunduğu bir bölgede yer almaktadır. Muratdağı kaynakları; Sakarya Nehri, Büyük Menderes Nehri, Gediz Nehri ve Kemalpaşa Çayı'nı beslemektedir. Gediz'in kurulduğu alan çevresine göre daha düşük yükseltide bulunduğundan, Akdeniz İklimi ile karasal iklimin arasında ılıman bir iklim hâkimdir. Yarı kurak ve nemli bir karaktere sahip iklimiyle Gediz'deki ortalama sıcaklık 13°C civarındadır. Gediz'de çam ve meşe türlerinin ağırlıklı olarak bulunduğu ormanlık alanlar temel bitki örtüsünü oluşturmaktadır. 2000 yılı itibariyle, Gediz'in ilçe merkez nüfusu 20521 kişidir. Gediz'in ekonomisinde tarım ilk sırayı almaktadır. Gediz'i Termal Su ile Isıtma Projesi'nin bir parçası olan seracılık ise, su kaynağının çıkış noktasında kurulan birkaç serayla sınırlı kalmıştır.

İlıca jeotermal alanı, Gediz-Simav karayolu üzerinde Gediz İlçe Merkezi'ne 18 km uzaklıktadır. Muratdağı ise, Gediz İlçesi'nin doğusunda ve ilçe merkezine 30 km uzaklıktadır. Gür bir orman örtüsü ile kaplı olan dağ, hem tarih araştırmacıları, hem de doğa bilimcileri ve meraklıları için gerçek bir araştırma alanıdır. Gediz Belediyesi'nce işletilen villa ve kamping tipi konaklama ve sosyal tesisleri, 1450 m yükseklikteki jeotermal alanda hizmet vermektedir. Jeotermal alanlar, Simav Grabeni içinde ve ana fay üzerindedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası (Tarcan, 2004'den uyarlanmıştır).

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Kütahya Gediz jeotermal alanları ile ilgili literatürde güncel bir çalışma olmaması ve jeotermal enerjinin bölgedeki tahmini potansiyelinin yüksek olduğu düşüncesi bu

çalışmanın ana çıkış kaynağını oluşturmaktadır. Bölgedeki jeolojik çalışmalar, MTA verileri ile kısıtlıdır. Ilıca jeotermal alanında turizm amaçlı olarak kullanılan tesislerde, MTA tarafından 1995 tarihinde açılıp, 76°C sıcaklığa sahip yüksek debide sıcak su çıkması nedeniyle terk edilen 6 m derinlikli kuyu (GI-1) ve çevresindeki kaynaklar kullanılmaktadır. Tüm yıl boyunca özellikle yerli turizmin yararlandığı tesislerin kullandığı ve GI-1 kuyusundan akan kullanım fazlası termal sular Derbent Deresi'ne boşaltılmaktadır.

Jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı ekonomik gibi görünmesine rağmen, jeokimyasal içeriğinden kaynaklanan çevresel yükler bulunmaktadır. Reenjeksiyonun olmaması ve üretim sonucunda oluşan jeotermal atıksular; yüzeysel akiferler, nehir, kuru dere gibi alıcı ortamlara deşarjlarıyla; rezervuar basıncında düşme, alıcı ortamın hidrotermal yüklenmesi ve hidrojeokimyasal olarak  $B^{+3}$ ,  $As^{+3}$ ,  $As^{+5}$ , F, ağır metaller, S türleri ve yüksek alkalilerin çevrede yer alan flora ve faunaya karşı tehlikeli etkileri sözkonusu olmaktadır. Ayrıca, hidrotermal suların beslediği yüzey ve yeraltı suları ise, insanlar üzerinde ek bir risk oluşturmaktadır. Termal sularda ve termal gaz içeriğinde bulunan radyoaktif izotoplar da çevrenin radyoaktif yükünü arttırmaktadır. Nehir gibi alıcı ortamlarda özellikle yaz aylarında düşük akımlar söz konusudur. Bu aylarda hidrotermal atıksuların deşarjında ekolojinin tolerans değerleri aşılmaktadır. Böylesi bir durumda, mansap kesiminde kalitesi bozulan nehrin suyundan tarımsal sulama ya da proses suyu amaçlı kullanımlar sözkonusu olamayacaktır. Buna rağmen, tarımsal sulama amaçlı kullanım gerçekleştirildiğinde ise ürün verimliliği ve toprak kalitesinde düşme meydana gelecektir. Nihayetinde, arazi yönetim planlarında zorunlu değişikliklerin yapılması gerekecektir. Endüstriyel proses suyu amaçlı kullanımlarda ise, çoğunlukla ön bir arıtmanın uygulanması kaçınılmaz olacaktır.

Çevresel etkilerin önlenmesine yönelik gerçekleştirilecek çalışmalar yöre için yaşamsal öneme sahiptir. Günümüze kadarki kullanımın yarattığı çevresel problemlerin hiçbir tanımlaması olmadığı gibi bu durumu engellemeye yönelik herhangi bir girişim de bulunmamaktadır. Jeotermal alanlar çevresinde özel girişimcilerin işletmekte olduğu seraların ve tarım alanlarının kullanım sularının bir bölümü Derbent deresi'nden karşılanmaktadır. Derenin nihai aşamada Gediz

Nehri'ni beslediği düşünöldüğünde ise, oluşarı zarar ÷lke ekonomisi açısından son derece sağlıksız sonuçlar doğurmaktadır.

Reenjeksiyon uygulanmasına ilk olarak ileride oluşacak kabuklaşma sorununun hesaplanmasıyla karar verilir. Bu çalışmada, çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik olarak reenjeksiyon uygulamasının gerekliliği oluşturacağı teknik sorunlar ve doğal sistemlere etkisi konularına ilişkin olarak verilecektir. Gediz Belediyesi, İller Bankası aracılığı ile Ilıca alanından Gediz İlçesi'nde ilk aşamada 3500 konutun ısıtılmasına yönelik bir proje başlatmıştır. Bu çalışma ile eş zamanlı olarak sürdürölen çalışma proje aşamasındadır. Yapılan çalışmanın bu projeye de katkı sağlayacağı kuşkusuzdur.

Bu çalışma kapsamında, jeotermal alanların ve çevresinin literatürden yararlanarak yerel ve bölgesel olarak jeolojik ve tektonik açıdan incelenip jeotermal sahalarla olan ilişkilerinin, soğuk, sıcak ve mineralli su kaynaklarının belirlenerek, hidrojeolojik açıdan incelenmesi, kullanım amaçlarına yönelik hidrojeokimyasal özelliklerinin ve çevresel etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Suların hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemesinde mevsimsel bazda bir izleme çalışması için belirlenen su noktalarından periyodik olarak örnekleme yapılarak analizlenmesi çalışma kapsamına alınmıştır. Jeotermal kaynakların ısıtma ve diğer uygulamalarına yönelik belirli bir kullanım planlaması ve ayrıca kullanım amaçlarına göre planlama ve işletim sırasında olabilecek sorunlar da ele alınacaktır.

### **1.3. Araştırma Materyali ve Yöntemi**

Bu kısımda çalışma alanından elde edilen suların fiziksel ve kimyasal analizlerinin yapılmasında kullanılan analitik araştırma yöntemleriyle ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada arazi çalışmalarına ek olarak, DEÜ Jeoloji Mühendisliği-Jeokimya Laboratuvarı'nda kimyasal analiz laboratuvar çalışması yapılmıştır. Bir kısım su örneğinin de karşılaştırmak amacıyla ACME Analitik Laboratuvarları LTD'de (Kanada) ayrıntılı kimya analizi (72 element) yaptırılmıştır. Jeokimyasal araştırmalarda dikkat edilmesi gereken en önemli konu, kullanılan analitik metotlar ve kaynaklarla ilişkilendirilebilecek hataların tanımlanabilmesidir.

Bir araştırmada, örnekleme tekniklerinden kaynaklanan analitik hataların düzeltilebilmesi maliyet ve zaman kaybına neden olacaktır.

rnek, alınan noktayı tam olarak temsil ediyor ve kirlenmemiş ise laboratuvar hataları veya yanlışlıkları, örneğın tekrarlanan analizleri ile belli oranda düzeltilebilir. Burada kullanılan analitik metotların yeterli hassasiyette olması gerektiğı de unutulmamalıdır. Bütün bu durumların en az hata ile sonuçlanması önemli bir standartlaşmayı gerektirir. Standart donanım kullanımı ve araziye çıkmadan önce doğru olarak hazırlık yapmak analiz sonuçlarının hassasiyetini doğrudan etkilemektedir. Normal olarak bir ölümde tanımlı (sistematik) ve tanımsız (belirsiz) hata olarak iki tür hata vardır. Tanımlı hatalar; cihaz kaynaklı eksikliklerden, standartların kirliliğinden, personel ve metot hataları gibi nedenlerden ortaya çıkmaktadır. Tanımsız hatalar ise ki bunlar her ölümde bulunmaktadır, kalıcı olmayan nedenlerden oluşan ve kaynağı belirtilemeyen hatalardır. Bu kısımda, jeokimyasal çalışmaların temelini oluşturan, arazi ve laboratuvar uygulamalarının kısa tanıtımları yapılacaktır.

### ***1.3.1 Arazi Yöntemleri***

Bu bölümde arazi çalışmaları için;

- Saha ile ilgili önceki çalışmalarda yapılmış örnekleme noktaları,
- Sahanın yeri, ulaşım, konaklama, sahada örnek numunelerin ve çalışanların güvenliğı,
- Sahanın genel jeolojik ve jeotektonik durumu,
- Ölüm noktalarında yersel ve analitik hata farklılıklarını önlemek için kullanılan cihaz ve donanımların düzenli olarak ayarlamaları ve belirlenen ölüm teknikleri korunarak tüm örnek noktalarında durağanlığın sağlanması,
  - Su rneklemesi için uygun şişe seçimi ve temizliğı,
  - Su rneklerinin alınması, saklanması ve korunması için gerekli teknik altyapı,
- Sahada yapılacak su kimyası analizleri,
- Laboratuvarında yapılacak su kimyası analizleri için koruma yöntemleri,

- Tüm örneklerin tarih, yer, örnek no ve isim gibi bilgilerinin kaydı için uygun arazi defteri, gibi çalışmalar önceden planlanmıştır.

Su analizi sonuçlarında oluşan hataların en büyük kısmı, arazi çalışmaları sırasında örneklerde ortaya çıkan değişimlerden kaynaklanır. Bu değişimler su içeriğinde bulunan çözünmüş bileşenlerden, örnekleme sırasında yapılan hatalardan ve kirlenmelerden kaynaklanır. Bu durumları ortadan kaldırmak için, önceden planlandığı gibi; su içeriğindeki bileşenlerin tahmini miktarları göz önünde bulundurularak;

- Su, örnek kaplarına minimum atmosfer teması ile alınarak araziden analizin yapılacağı laboratuara olası en kısa sürede ulaştırılmaya çalışılmıştır,
- Örneğin korunması için eklenen kimyasalların, örnekle reaksiyonundan ortaya çıkan gazların yüksek basınç yaratarak örnek kabında oluşacak tehlikeli durumların ortadan kaldırılması gerekebilir. Bunun için, analiz edilecek bileşenler göz önünde bulundurularak gaz kaçışına izin verilmelidir,
- Alınacak örnek miktarı toplamda 2 litre ve 5 ayrı temizlenmiş polietilen kapta;
  - ilk 2 kapta derişik HNO<sub>3</sub> ile asitlendirme,
  - sonraki iki kaba hiçbir kimyasal koruma yöntemi uygulanmadan,
  - son olarak tek kaba su içeriğindeki tahmini bileşenler göz önünde bulundurularak çeşitli oranlarda seyreltmeler uygulanmıştır.
- Koruma sınıflandırması uygulanarak kapların üzerine, arazi defterine numaralandırma not edilmiş ve örnek noktasının fotoğraf ve krokisi, ayırt edici özellikleri işlenmiştir.

### 1.3.1.1 Güvenlik

Jeotermal alan çalışmalarında suların ısı ve karakterinden, arazi yapısı da göz önünde bulundurularak önemli tehlikeler ortaya çıkabilir. Örnek alma ve ölçüm amaçlı olan çalışmalarda en az 2 kişi ile çalışmak gereklidir. Örnek alanı çeşitli kesimlerde (Ilıca alanında olduğu gibi); bataklık, sıcak su ve litoloji ile bağlantılı olarak kaygan ıslak alanlar içerebilmektedir. Ayrıca, kaynaklar etrafındaki çökelim alanları güvenli zeminler değildir. Ilıca alanı etrafında 20-30 l/s debi ve 75°C değerine varan sıcaklık ile jeotermal akışkan doğal kanallardan akmaktadır. Buradaki sulara dokunmak çok tehlikelidir. Su örnekleme sırasında oluşabilecek tehlikelere karşı çalışan ve örneklerin güvenliği açısından, su örnekleri alınırken eldiven kullanılmış ve mümkün olan noktalarda direkt örnekleme kabına diğer durumlarda ise yardımcı kova kullanımı ile elle temas olmadan örnekleme yapılmıştır.

### 1.3.1.2 Örnekleme

Sıcak ve soğuk suların örneklemeinde polietilen 500 ml hacimli örnekleme kapları kullanılmıştır. Bu kaplar, önceden laboratuarda temizlenmiştir ve kullanım sırasında alınacak örnek su ile en az 3 kez çalkalanmıştır.

- Katyon örnekleri (örnek tipi K); derişik yüksek saflıktaki (ultrapure) HNO<sub>3</sub> ile numune pH 2–3 aralığına gelebilecek şekilde arazide uygulaması yapılarak 1,5 ml HNO<sub>3</sub>/500 ml örnek olmak üzere eklenmiştir.
- Anyon analizleri için (örnek tipi A); hiçbir kimyasal koruma yapılmamış ve örnek mümkün olan en kısa sürede şişesine konarak gaz kaçıışı engellenmeye çalışılmıştır.
- Tüm örnekler polietilen kaplarda hava kalmayacak şekilde doldurulmuştur.
- Katyon analizi için eklenen HNO<sub>3</sub> ortamda gaz çıkışı oluşturduğundan örnekleme kabının kapağı gazın çıkması sağlandıktan sonra kapatılmıştır.



### 1.3.1.3 Fiziksel Ölçümler

Sulardaki fiziksel parametreler korunamadığından arazi cihazları ile yerinde ölçümlenmiştir.

- Sıcaklık ( WTW 340i ve özel sıcaklık ölçer ile),
- Çözünmüş oksijen içeriği (WTW Oksi),
- pH, elektriksel iletkenlik, Eh (Ag/AgCl elektrot redoks potansiyeli) WTW 340i cihazı ile,
- Gözle görünür bulanıklık, gaz çıkışı, kabuklaşma durumları gibi farklılıklar not edilmiştir.

Her analiz sonrası cihazların elektrotları saf su ile temizlenmiştir. Cihaz elektrotları sıcaklığa duyarlıdır ve belirli sıcaklık aralıklarında çalışabilirler. Bu durum göz önünde bulundurularak, bazı ölçümler (örneğin çözünmüş oksijen) sıcak suların soğutma uygulamasında değişime uğradığından yapılamamıştır. Gün içinde cihazların ayarlamaları (kalibrasyon) süreye ve ölçüm sıklığına bağlı olarak yapılmıştır.

### 1.3.1.4 Alkalinite ( $HCO_3-CO_3$ )

Alkalinite ölçümü, 0.1 Molar HCL (hidroklorik asit) ile 50 ml örnek numunesinde indikatör olarak pH metre (pH elektrodu) kullanılarak yapılmıştır. Numune 50 ml hacimde otomatik büret ile alınmış ve cam beherde, otomatik dijital göstergeli büret kullanılarak titrasyon yapılmıştır. Bu tür bir düzenek araç yakınlarında oldukça verimli çalışmaktadır. Deney, laboratuvar ortamında da farklı reaktifler ile tekrarlanmıştır. Laboratuvarda yapılan deney yöntemi bölüm 1.3.2.3 kısmında ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

### 1.3.2 Laboratuvar Metotları

Aşağıdaki kimyasal bileşenler laboratuvar ortamında analizlenmiştir:

- Katyonlar: Na, K, Ca, Mg, Si, Al, As, B, Ba, Co, Cr, Cu Fe Li, Mn, Ni, Pb, Sb, Sr ve Zn.

- Anyonlar:  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCO}_3$  ve  $\text{CO}_3$ .

### 1.3.2.1 Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi Metodu (AAS)

Katyonlar için bir ölçüm metodudur. Bir elementin atomlar halinde buhar fazında kendine özgü belirli dalga boylarında radyasyon absorplamasına Atomik Absorpsiyon denir. Metal kationları içeren bir çözelti, uygun bir alev içine püskürtüldüğünde, genelde ilgilenilen elementin atomik buharı oluşur. Bazı metal atomları, sürüm (emisyon) yapmaya yetecek bir üst enerji konumuna yükseltilirse de, alev bölgesindeki metal atomlarının çoğunluğu, emisyon yapmayan kararlı konumda kalırlar. Bu kararlı konumdaki atomlar, karakteristik tınlaşım (rezonans) dalga boylarındaki bir radyasyona uğratılırlarsa, bu ışığı absorplarlar. Ölçülen absorbans değeri, alevdeki atomların varlık yoğunluğu ile orantılıdır.

AAS tekniğinde analiz edilen element, uygun bir alevle veya elektrotermal yolla atom buharına dönüştürülür ve bir oyuk katot lambası gibi çizgisel bir ışık kaynağından çıkan belirli dalga boylarındaki radyasyon, atom buharı tarafından absorblanır. Absorbsiyon sonrası bir monokromatörden geçirilen ışık, şiddeti zayıflamış olarak dedektöre ulaşır. Böylece, absorpsiyon ölçülerek madde konsantrasyonuna geçilir. Madde konsantrasyonu, aynı şartlarda standart çözeltilerden alınan absorbans değerlerinden elde edilir.

En yüksek absorbansı elde etmek ve girişimleri önlemek için tayin edilecek elemente göre alev seçimi önemlidir. Dokuz Eylül Üniv. Jeokimya Laboratuvarında bulunan AAS cihazı ile aşağıdaki gaz karışımları kullanılmıştır:

- Hava-Asetilen: Elementlerin büyük bir kısmının tayininde bu alev kullanılır. Ortalama olarak sıcaklığı  $2300^\circ\text{C}$ 'dir. Yüksek sıcaklığından dolayı, alkali ve bazı toprak alkali metallerinin iyonlaşmasına sebep olur. Bunu önlemek için hava-asetilen ile bu elementleri tayin ederken çözeltiliye iyonlaşma potansiyeli düşük elementler ilave edilir.

- Azot Oksidül-Asetilen: Alev sıcaklığı oldukça yüksek olduğundan (2955°C), bu alev kolayca ayrılmayan dayanıklı oksitler meydana getiren elementlerin ( Ca, Si, B, Al gibi) tayininde kullanılır.

Dokuz Eylül Üniversitesi Jeokimya Laboratuvarında bulunan AAS cihazı ile ölçüm aralığında olan elementler direkt olarak ölçülmüştür. Bulma sınırının altında olanelementler için, Standart Metotlara (APHA-AWWA-WPCF, 1985) göre derişik HNO<sub>3</sub> ekleyerek kurutmadan 500 ml örnek 50 mililitreye kadar buharlaştırılarak deriştirme, ölçüm sınırının üzerinde bulunan elementler için ise seyreltme yöntemleri uygulanarak ölçümler yapılmıştır.

#### 1.3.2.2 Çöktürme (Gravimetri)

Çöktürme ile sülfat analizi diğer sülfat (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) tayin metotlarına göre, ölçüm hassasiyeti açısından yüksek güvenilirliğe sahiptir. Bu çalışmadaki örneklerde yüksek tuzluluk ve organik kirlilik olmadığından tek dezavantajı analiz süresinin uzunluğu ve Silisyum girişimi olmuştur. Örneğin SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> içeriğine göre minimum 50-100 ml numune kullanılır. Deneyin esası, baryum sülfat'ın (BaSO<sub>4</sub>) düşük çözünürlüğünden yararlanarak çözelti içindeki kükürt türevlerini SO<sub>4</sub>'a yükseltgeyip çözeltiye BaCl<sub>2</sub> ekleyerek çöktürme esasına dayanır.

1 mg BaSO<sub>4</sub>'da, 0.4115 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> vardır. Dolayısıyla, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\text{mg/l SO}_4 = 0.4115 \times 1000 \times \text{mg BaSO}_4 / \text{ml olarak alınan numune hacmi} \quad (1.1)$$

Gravimetrik sülfat metodunun relatif standart sapması %4.7 ve relatif hatası ise %1.9'dur.

### 1.3.2.3 $Ag^+$ Çöktürme Titrasyonu (Arjentometrik titrasyon)

Klorür analizinde kullanılan standart titrasyon metodudur. 50 ml su numunesi 100 ml'lik bir erlene alınır. 2–3 damla potasyum kromat çözeltisi damlatılır ve gümüş nitrat çözeltisi ile renk sarıdan kiremit kırmızısı rengine dönene kadar titre edilir.

1 ml 0.0141 N  $AgNO_3$  çözeltisi 0.5 gr Cl'e karşılık geldiğine göre, klorür miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$mg\ Cl = 1000 \times AgNO_3\ sarfiyatı \times 0.5 / ml\ alınan\ örnek \quad (1.2)$$

Örnek çok fazla klorür içeriyorsa, içinde 1-10 mg klorür olacak şekilde 50 veya 100 ml'ye seyreltilmiş numune alınır. Örnek renkli ise, bir miktar örneğe 3 ml  $AlOH$  süspansiyonu ilave edilip renk giderilir. İyice karıştırılıp 5 dakika sonra süzülür ve süzülen ilk kısım atılır. Örnekte kükürt varsa; 1 ml hidrojen peroksit çözeltisi konur, karıştırılır ve fenolftalein konarak tam renksiz hale gelinceye kadar sülfürik asit veya sodyum hidroksit çözeltisi katılır ve deneye bu noktadan sonra devam edilir.

### 1.3.2.4 Toplam alkalinite analizi ( $HCO_3^-CO_3$ )

Arazide yapılan analizin laboratuardaki tekrarıdır. Araziden laboratuara gelene kadar örnekteki konsantrasyon değişimini tanımlamak amacı ile yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 3.1'de verilmektedir. Suyun alkaliliği; hidroksil ( $OH^-$ ), karbonat ( $CO_3^{2-}$ ) ve bikarbonat ( $HCO_3^-$ ) iyonlarından ileri gelir. Bu üç çeşit alkalinite, fenolftalein ve metiloranj indikatörleri yardımı ile ve 0.02 N Sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ) ile titre edilerek tayin edilebilir. Su hidroksit veya karbonat içerdiği zaman, fenolftalein pembe renk verir. Asit ile titrasyonda pembeden renksiz hale geçtiği anda  $pH=8.2-8.3$  değerindedir.

Metiloranj, bu üç alkaliteden birinin bulunması halinde sarı renk verir, asit mevcudiyetinde ise kırmızıya döner. Bu anda  $pH=4.4$ 'dür. Normal karbonat alkalinitesi, hidroksil veya bikarbonat alkalinitelerinden biri ile birlikte bulunabilir. Ancak, hidroksil ve bikarbonat alkalinitesi aynı örnekte birlikte bulunamaz. Örnekte fenolftalein alkalinitesi varsa, hidroksil veya normal karbonattan biri veya her ikisi

de bulunabilir. Örnekte sadece metiloranj alkalinitesi varsa; bu üç alkaliniteden herhangi biri bulunabilir veya hidroksil ve karbonat birlikte veya karbonat ve bikarbonat birlikte bulunabilir. Herhangi bir örnekte 5 değişik durum da olabilir. Bunlar; yalnız hidroksil, hidroksil ve karbonat, yalnız karbonat, karbonat ve bikarbonat ve yalnız bikarbonattır. Bu iyonların miktarları 0.02 N sülfürik asit ile titre edilerek bulunabilir. Amerikan literatürüne göre, fenolftalein alkalinitesi (P); metiloranj alkalinitesi (M); toplam alkalinite de (T) harfleri ile gösterilmektedir.

0.02 N Sülfürik Asit Çözeltisinin Ayarlanması: 10 ml 0.02 N Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> çözeltisi alınır, 3–4 damla metiloranj indikatör çözeltisinden damlatılır ve 0.02 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile titre edilir. Rengin sarıdan pembeye döndüğü andaki asit sarfiyatı kaydedilir ve faktör aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$F_1 \times S_1 = F_2 \times S_2 \text{ 'den} \qquad F_{1(H_2SO_4)} = F_2 \times S_2 / S_1 \qquad (1.3)$$

Burada;  $F_1 = 0.02$  N sülfürik asidin faktörü,  $S_1 =$  titrasyonda sarf edilen sülfürik asidin miktarı (ml),  $F_2 = 0.02$  N sodyum karbonat çözeltisinin faktörü ve  $S_2 =$  alınmış olan sodyum karbonat çözeltisinin ml olarak miktarıdır. Sodyum karbonat çözeltisi standart olarak hazırlandığından,  $F_2$  faktörü 1 olarak kabul edilip hesaplanır.

Deneyin Yapılışı: 50 ml su örneği alınır, 3 damla fenolftalein çözeltisi konur eğer pembe renk oluyorsa, renk gidinceye kadar 0.02 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile titre edilir. Dönüm anına kadar sarf edilen asit miktarı kaydedilir. Aynı örneğe, 3 damla metiloranj çözeltisi konularak tekrar 0.02 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile titre edilir ve sarf edilen asit miktarı kaydedilir. Deney hassasiyetini arttırmak bakımından aynı miktar metiloranj damlatılmış 100 ml damıtık su ile şahit bir deney ile dönüm noktası saptanmalıdır. Toplam alkalinite, fenolftalein alkalinitesi ve metiloranj alkalinitesi arasındaki bağıntıdan istifade edilerek bir suyun kapsadığı karbonat, bikarbonat ve hidroksil iyonlarının miktarları hesaplanabilir.

Kullanılan 0.02 N sülfürik asidin 1 ml'si = 1 mg CaCO<sub>3</sub>'a eşdeğerdir. Zira, sülfürik asidin eşdeğer ağırlığı = 49.04 gr ve kalsiyum karbonatın eşdeğer ağırlığı =

50.05 gr'dır. 1 litre 0.02 N sülfürik asit  $49.04 \times 0.02 = 0.9808$  gr sülfürik asit içerir. 0.02 N sülfürik asit çözeltisinin 1 ml'si ise, 0,9808 mg Sülfürik asit içerir.

1 ml 0.02 N Sülfürik asit ise  $50.05 \times 0.9808 / 49.04 = 1.00$  mg  $\text{CaCO}_3$ 'a eşdeğerdir.  $\text{CaCO}_3$ 'ün formül ağırlığı 100 gr, eşdeğer ağırlığı 50 gr'dır. Bikarbonatın formül ağırlığı 61 gr, eşdeğer ağırlığı 61 gr'dır. Dolayısıyla, 50 ml numune için fenolftalein alkalinitesi ve toplam alkalinite aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\underline{P = 0 \text{ ise:}} \quad \text{mg/l HCO}_3^- = 24.4 \times T \quad (1.4)$$

$$\underline{P < 1/2T \text{ ise:}} \quad \text{mg/l CO}_3^{2-} = P \times 24 \quad \text{ve} \quad \text{mg/l HCO}_3^- = (T - 2P) \times 24.4 \quad (1.5)$$

**T** = titrasyonda ikinci dönüm noktası sonuna kadar ( fenolftalein + metiloranj) kullanılan toplam asidin ml olarak miktarı,

**P** = fenolftalein ile yapılan titrasyonda fenolftaleinin dönümüne kadar harcanan asidin ml olarak miktarı,

**M** = metiloranj ile yapılan titrasyonda metiloranjin dönümüne kadar harcanan asidin ml olarak miktarı.

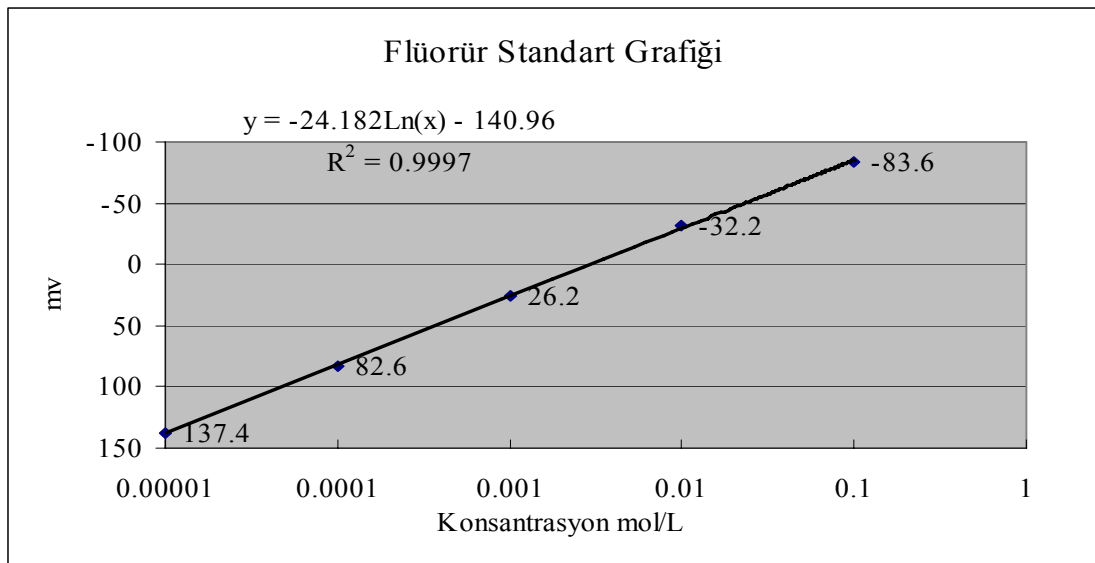
#### 1.3.2.5 Florür (F), Karbondioksit ( $\text{CO}_2$ ) analizi

İyon metre cihazları ile iyon seçimli elektrotlar kullanılarak ölçümler yapılır. Örnekten ölçülerek alınan mili volt (mv) değerinin, önceden belirli derişimlerde hazırlanarak mv değerleri alınmış standartlarla karşılaştırarak, örneğin konsantrasyonunu bulma kuralına dayanan bir ölçümdür.

- Standart çözeltiler aletin ölçüm limitleri dahilinde kullanılacak ölçüme göre hazırlanır. Örneğin, florür analizi için 0,1 ile 0,00001 mol/l arasında 5 adet standart çözelti hazırlanmıştır.
- Standartlar ile örnek çözelti aynı sıcaklıkta ve ortamsal şartlarda olmalıdır.

Metler Toledo marka MA-130 iyon metre cihazı ile önce arazide ölçüm yapılmaya çalışılmış fakat istenilen ortamların oluşturulamamasından dolayı (su sıcaklığının cihazın elektrotlarının ölçüm limitlerinin üstünde olması ve standartlar ile numune sıcaklığının aynı sıcaklıkta ölçümü gerektiğinden) analiz laboratuvar ortamında yapılmıştır.

Flüorür analizinde toplam ve serbest flüorür'e bakılmıştır. Ancak, ölçümlerde serbest flüorür toplam flüorür'e eşit çıktığından sonuçlar flüorür olarak verilmiştir. Şekil 1.2'de standart olarak hazırlanan NaF çözeltisinden alınan mv değerlerine karşılık mol/l değerleri örnek olarak verilmektedir. Regresyon katsayısı ( $R^2$ ), x değerinin y değerine olan bağımlılığını ifade etmektedir. Flüorür çözeltisinin konsantrasyonu ile çözeltinin elektriksel potansiyeli arasında uygulanan doğrusal regresyon sonucunda, elde edilen korelasyon katsayısının 0,9997 gibi yüksek bir değerde olması flüorür çözelti konsantrasyonunun çözeltinin elektriksel potansiyelini temsil etme yeteneğinin yüksek olduğunun bir göstergesidir. Karbondioksit miktarı da flüorür analizinde olduğu gibi aynı temelde sadece farklı standart çözelti ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ve proplar ile yapılmıştır. Ölçümlerin sonuçları Tablo 4.5'de verilmektedir. Alkalinite analizi sonuçları ile karşılaştırılması, Bölüm 5.2.2'de verilmektedir.



Şekil 1.2. Flüorür ölçümlerinde kullanılan standart grafiklerden ilk ölçüm sonuçları. Milivolt iyon seçimli elektrot ile iyonmetre cihazından ölçülen potansiyeldir. Mv değerine karşılık mol/l doğrusunun denklemi ve regresyon katsayısı şekil içinde belirtilmektedir.

### 1.3.2.6 Kalsiyum (Ca) Analizi

50 ml su örneğinin 0,01 N Etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) çözeltisi ve indikatör yardımı ile renk pembeden mora dönene kadar titre edilir. B= titre edilen sarfiyat miktarı olmak üzere, 50 ml su numunesi alınması halinde kalsiyum miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\text{mg Ca}^{+2}/\text{l} = B \times 4 \quad (1.6)$$

### 1.3.2.7 Magnezyum (Mg) Analizi

Magnezyum; karbonat, oksit magnezit ve dolomit mineralleri halinde yaygın halde bulunduğu gibi mikalar ve birçok silikat minerallerinin de önemli bileşenlerinden biridir. Karbondioksitli sular bunlar üzerine etki ederek magnezyum bikarbonat halinde çözerler. Magnezyum analizi de, EDTA kompleksimetrik metoduna göre yapılır. Bu metot ile toplam sertlik de hesap edilebilir.

50 ml su örneği 1 ml tampon I ve spatül ucu ile indikatör ilave edilir. 0.01 N EDTA çözeltisi ile renk kırmızıdan maviye dönene kadar titre edilir. EDTA ve tuzları alkali metal katyonları ile kompleks teşkil ederler. Tampon çözeltisinin ilavesinden sonra titrasyon 5 dakikalık bir süre içerisinde yapılmış olmalıdır. Toplam sarfiyattan Ca tayininde yapılan sarfiyat çıkarılarak Mg için sarfiyat bulunur. Zira, metotta Ca+Mg olarak toplam miktarın analizi yapılır, başlangıçta Ca sarfiyatı bakıldığından Mg hesap ile bulunmuş olur.

$$\text{mg/l Mg}^{+2} = 1000 \times B \times 2.43 / 20 \times A. \quad (1.7)$$

Burada; A= Deney için alınan 50 ml su numunesi miktarı ve B = Mg için sarfedilen ml EDTA miktarıdır. Mg<sup>+2</sup> miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\text{mg/l Mg}^{+2} = B \times 2.43 \quad (1.8)$$



### *1.3.2.8 Bor (B) Analizi*

Önemli bir bitki beslenme elementi olan bor, sulama suyunda 2.0 mg/l'den fazla olması halinde bitkilere zarar verir. Bazı bitkiler, 1.0 mg/l'den daha düşük konsantrasyonlara dahi duyarlıdır. İçme sularında 1.0 mg/l'nin üzerindeki konsantrasyonlara nadiren rastlanır. Deniz suyunun bor içeriği 5 mg/l mertebelerindedir. Büyük miktarda borun vücuda alınması halinde merkezi sinir sistemi etkilenir, bor alınmaya devam edilirse borizm olarak bilinen klinik sendrom görülür (Şengül ve Türkman, 1998). İnsanlar meyve ve sebzelerden olmak üzere yiyecek ve içecekler yoluyla günde 10–20 mg boru vücuda alabilmektedir. Su ve yiyecekler yoluyla alınan bor kısa sürede ve tamamen vücut tarafından soğurulmakta ancak, vücutta birikmeden idrar yoluyla atılmaktadır.

Örnekler, polietilen şişelerde veya borsuz cam kaplarda saklanmalıdır. Bor varlığında, derişik sülfürik asitle karmin yada karmin asit çözeltisi parlak kırmızıdan maviye renk değiştirmektedir. Değişen renk değeri standart ve örneklerde spektrofotometre yardımı ile ölçülür. Bu metotta suda bulunan iyonlar girişim yapmazlar. Reaktifler taze hazırlanmalıdır. Hataların engellenebilmesi için, okuma sırasında hava kabarcığı bulunmamasına ve reaktiflerin iyi karışmasına özen gösterilmelidir. Karmin reaktifi bozulmaya uğradığı için kalibrasyon eğrisi her ölçümde gün bazında yeniden çizilmelidir.

## **BÖLÜM İKİ**

### **JEOTERMAL ENERJİ**

#### **2.1 Giriş**

Bu bölümde, jeotermal enerji ve Batı Anadolu'daki jeotermal alanların yapı ve özellikleri ile ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Jeotermal sistemlerin sınıflandırılmasında Barbier (2002) temel alınmış ve Batı Anadolu ile ilgili temel bazı bilgilerde Giesse'den (1997) yararlanılmıştır. Jeotermal enerji ile ilgili dünya ve Türkiye ölçeğindeki ekonomik-sayısal bilgiler güncelleştirilerek verilmiştir.

Jeotermal enerji, yeryüzünün iç kısımlarında ısı olarak tutulmaktadır ve bu ısı kaynağı, dünyanın içsel yapısı ve bu yapıdaki fiziksel süreçler ile bağlantılıdır. Jeotermal ısı, pratik olarak yer kabuğunda tükenmez miktarda, düzensiz dağılımlı, nadiren yoğun ve çoğu kez endüstriyel kullanımlar için oldukça büyük derinliklerde dir. Jeotermal ısı yeryüzünün iç kısımlarından, yüzeye doğru dağılarak düşük hızda hareket etmektedir. Bu yavaş akıma rağmen, yeryüvarı ısısından, yıllık bazda  $250 \times 10^{15}$  Kcal kadarını bu yolla kaybetmektedir. Jeotermal gradyan ortalamalarının  $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ -derinlik olduğu ispatlanmasına rağmen, yerkabuğunda sondajla ulaşılabilir ve bu ortalamanın oldukça üzerinde gradyana sahip alanlar da bulunmaktadır. Bu durum, yüzeyden birkaç km'den fazla uzakta olmayan soğumaya başlamış mağma kısımlarının, halen bir akışkan durumunda ya da katılaşma sürecinde olması ve ısının serbest kaldığı zamanlarda oluşmaktadır. Mağmatik aktivitenin oluşmadığı diğer alanlarda, ısı birikimi yerkabuğunun özel jeolojik şartlarına bağlıdır ve bu alanlardaki jeotermal gradyan anormal derecede büyük değerlere sahiptir.

Jeotermal ısının yeryüzüne transferinde; kondüksiyon ve konveksiyon süreçleri çalışmakta ve jeotermal akışkan taşıyıcı olmaktadır. Jeotermal akışkan, beslenme alanlarından yerkabuğunun içine penetre olmuş, sıcak kayalar ile temas sonucunda ısınmış, akiferlerde birikmiş ve zaman zaman yüksek basınçlarda ve  $300^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklarda olan yağmur suyundan oluşmaktadır.

Çoğunlukla geçirimsiz kayalar ile kaplanan rezervuarda, sıcak akışkan basınç altında tutulmaktadır. Kızgın buhar, buhar-su ya da sadece sıcak suyun endüstriyel üretiminde; sıcaklık, basınç ve hidrojeolojik konum önem kazanmaktadır. Akışkan, ısı ve akışkanın sürekli olarak dolaşımında olduğu jeotermal alanlarda rezervuara beslenme zonlarından girmekte ve boşalım alanları boyunca ayrılmaktadır. Jeotermal akışkanın kullanımından sonra oluşan atık termal akışkanın rezervuara reenjeksiyonu, üretim ile çıkarılan akışkanın en azından bir kısmını dengeleyebilmekte, jeotermal alanın ekonomik ömrünü önemli derecede uzatmakta ve çevresel etkileri azaltmaktadır.

Global ölçekte uygulanan etkin politikalar jeotermal enerji gelişimini teşvik etmektedir. Sıcak kuru kaya/sıcak ıslak kaya sistemlerinin kullanımı, mağma kitleleri ve jeobasınçlı rezervuarlar jeotermal enerji kullanımında gelişmiş teknolojilerdir. Sıcak kuru kaya teknolojisinin uygulanabilirliği ispatlanmıştır. Ancak, diğer iki kaynak için araştırma ve geliştirmeye halen gereksinim duyulmaktadır (Barbier, 2002).

## 2.2 Plaka Tektoniği Teorisi

Genel kabul gören teori, ilişkisiz gibi görünen pek çok jeolojik olay hakkında bilgi vermektedir. Teoriye göre; litosfer plakaları dünya yüzeyine karşıt bir şekilde, yılda birkaç cm hızda birbirlerinden uzaklaşarak veya birbirleri üzerinde kayarak ya da birbirlerine doğru hareket etmektedirler. Plakalar arasındaki sınırlar üç tiptir:

- Iraksak plaka sınırları: Mağmanın okyanus kabuğuna katkısıyla, yeni okyanusal kabuk oluşumu söz konusudur. Deniz seviyesinin üzerine nadiren yükselmektedirler ve orta-deniz tepeleri olarak adlandırılırlar (Örnek, İzlanda).
- Yakınsak plaka sınırları: İki plakanın yakınsayarak çarpışması sonucunda, plakalardan biri kayarak diğerinin altına dalar. Sonunda, tekrar mantonun içine çekilerek yok olur. Yakınsama, bir plakanın

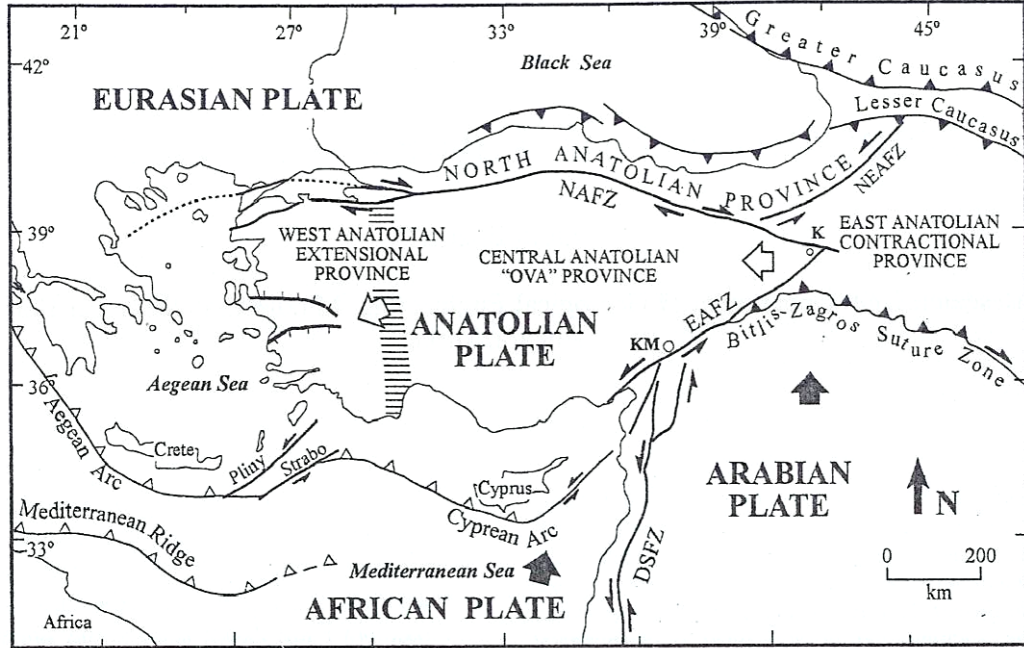
okyanus kabuğundan ve diğer plakanın da kıta kabuğundan meydana gelmesi durumunda ortaya çıkar.

- İlimli plaka sınırları: İki plaka birbiri üzerinden kayıp geçer ve bu yüzden litosfer ne yaratılır ne de yok olur. Bu durumda, iki plakanın bağıl hareketinin doğrultusu kırığa paraleldir. İlimli plaka sınırları, okyanus ve kıta litosferinin ikisinde de bulunmaktadır. Ancak, en çok karşılaşılan ilimli plaka sınırları okyanus değişim kırıklarıdır. Kaliforniya'daki San Andreas Fayı ve bu fay boyunca depremler plaka hareketinin bir sonucudur.

Plaka sınırlarının farklı tipleri, kendi depremlerinin jeografik dağılımlarına dayalı olarak özgün bir biçimde ayırt edilmiştir. Depremler genellikle plaka sınırlarında ve ancak bazen de plakanın ortasında meydana gelmektedir. Plaka sınırları ile deprem kuşakları arasında yakın bir benzerlik vardır (Barbier, 2002). Global jeotermal sistemlerin önemli bir kısmı, aktif plaka sınırlarındaki jeotektonik olaylarla sınırlıdır. Batı Anadolu Bölgesi, yakınsak plaka sınırları üzerinde bulunan çöküntü havzalarına ve Marmara Bölgesi de, açılma (pull apart) havzalarına örnek olarak verilebilir (Giese, 1997).

Anadolu'nun Batı kısmı, Afrika-Avrasya dalma-batma zonunun çöküntü bölgesidir. Afrika ve Avrasya çarpışmasının sonucu olarak, Afrika deniz kabuğu, Anadolu mikro plakasını zorlamaktadır. Dewey ve Şengör (1979), Anadolu'nun batıya hareketinin, Yunan makaslama zonu tarafından durdurulması ile bölgede doğu-batı (DB) yönlü bir sıkışma olduğunu ve bu sıkışmanın burada kuzey-güney (KG) yönlü açılma ile karşılandığını bunun sonucunda ise, Batı Anadolu'daki grabenlerin geliştiğini savunmaktadır. Anadolu'nun batıya kaçış modelinin temelini oluşturan sadeleştirilmiş tektonik harita Şekil 2.1'de verilmektedir (Şengör, Görür ve Şaroğlu, 1985). Üst Miyosen'den alt Pliyosene kadar gerilme rejimi, kuzey kuzeydoğu-güney güneybatı (KKD-GGB) yönünde idi. Bu durum Pliyosen'de KG ve Kuvaterner'de ise kuzeydoğu-güneybatı (KD-GB) yönünde değişmiştir. Günümüzde bu gerilimin halen bu doğrultuda olduğu kabul edilmektedir (Giese, 1997).

Bu gerilime bağlı olarak, manto ve kabukta pek çok reaksiyon söz konusudur.



Şekil 2.1 Anadolu'nun batıya kaçış modelinin temelini oluşturmuş sadeleştirilmiş tektonik harita (Şengör ve diğer., 1985)

Örneğin;

- yerkabuğunun kırılması ve incilmesi gibi birincil süreçler,
- bunlara bağlantılı olarak gelişen; çökme, basınç azalması ve mantonun ergimesi, magma sokulumu, jeotermal gradyanın yükselmesi ve jeotermal sistemlerin oluşumu gibi ikincil süreçler.

Miyosen'den bu yana Batı Anadolu kabuğu K-G doğrultusunda 270 km'den 400 km'ye genişlemiştir (Giesse, 1997). Bu sonuç, Şengör'ün verileri ile uyum sağlamaktadır. Şengör ve diğer. (1985) göre, Batı Anadolu kabuğu aynı zaman aralığında ortalama 53 km'den 35 km'ye incelmıştır. Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz graben sistemleri Batı Anadolu'da bulunan başlıca graben sistemlerindedir. Bu grabenler, Menderes Masifi'ni dar ve uzun graben ve horstlara bölmüştür. Menderes Masifi'nde, kabuğun düşey yönde hareketi olmaktadır. Erken Tersiyer'de orojenik olayların neden olduğu, Menderes Masifi'nin orojenik yükselmesi olmuştur. Tersiyer'den bugüne 800-1000 m'lik bir yükselme vardır (Giesse, 1997).

### 2.3 Dünyada Isı Transferi

Dünyanın iletken ısı akısı, jeotermal gradyan üretimi ve kayaların termal iletiminden oluşmaktadır. Jeotermal gradyan sığ deliklerde ölçülürken, kayaların termal iletkenliği laboratuarda, cores olarak adlandırılan ve gradyanın ölçüldüğü kuyulardan alınan örnekler üzerinde, en iyi biçimde ölçülmektedir. Isı transferinin iki formu; kondüksiyon ve konveksiyondur. Kondüksiyon, tüm maddenin transferi olmaksızın moleküller arasındaki rasgele kinetik enerjinin transferini kapsamaktadır. Hareket eden moleküller yakın moleküllere vurarak hızlı vibrasyona neden olur ve bu yüzden ısı enerjisi transfer olur. Kondüksiyon, katıların başlıca ısı transfer tarzıdır. Metaller çok iyi ısı iletkenleridir oysa kayaların çoğunluğu bağıl olarak zayıf iletkenlerdir. Konveksiyon ise, sıvı ve gazların yaygın ısı transfer sürecidir ve bir yerden diğer bir yere sıcak akışkanın (sıvı veya gaz) hareketinden meydana gelmektedir. Madde hareketi meydana geldiğinden, konveksiyon kondüksiyondan çok daha fazla verime sahip ısı transfer tipidir.

### 2.4 Yerin Jeotermal Gradyanı ve Kayaların Termal İletkenliği

Yerin termal davranışı çalışmaları, sıcaklık değişimlerinin derinlikle nasıl saptanacağını ve bazı sıcaklık değişimlerinin jeolojik zaman süresince nasıl değişebileceğini ifade etmektedir. Yüzeğe yakın birkaç km'de ortalama gradyan yaklaşık 30°C'dir. Ancak, değerler eski kıtasal kabukta 10°C kadar düşük bulunmuştur. >100°C gibi oldukça yüksek değerler ise, aktif volkanik alanlarda saptanmıştır. Gradyan bir kez ölçüldüğünde, ısı akım oranının hesabında kullanılabilir. Bu oranda, yer kabuğunun belirli bir kısmı boyunca ısı yukarı doğru hareket etmektedir.

Katı geçirimsiz kayalardan ısı genellikle yukarıya doğru hareket ettiği için, ısı transferinin başlıca mekanizması kondüksiyondur. Kondüksiyon ile akan ısının miktarı 1 m<sup>2</sup>'lik katı kayanın birim alanı boyunca verilen, birim zamandaki jeotermal gradyan ile orantılı olmaktadır ve buna ısı akım oranı denmektedir. Kayaların termal iletkenliği, saniyede 1 m<sup>2</sup>'lik birim alan boyunca, ki bu alanda sıcaklık gradyanı düşeyde 1°C/m'dir, nakledilen ısı miktarı olarak tanımlanan

sabit bir orantıdır. Termal iletkenliğin birimi  $W/m.K$  ya da  $W/m^{\circ}C$ 'dir. Gradyan kuyularda, platinyum rezistanslı elektrikli termometreler ile ölçülmektedir. Günlük ölçüm hızlı ve ucuzdur. Kuyu dibi metotları güvenilir olmadığı için kaya örneklerinin termal iletkenliğinin laboratuarda ölçümü en iyisidir. Gradyan  $^{\circ}C/km$  ve iletkenlik  $W/m.^{\circ}C$  ile ifade edilirse, ısı akışı  $mW/m^2$  olacaktır (Barbier, 2002).

## 2.5 Jeotermal Gradyan ve Batı Anadolu

Giesse'ye (1997) göre, jeotermal sistemlerdeki yüksek ısı akı oranının kaynağı olarak, çoğunlukla yüksek jeotermal gradyan verilir. Bir bölgede 50 km veya daha fazla kabuk kalınlığı ve normal bir ısı iletkenliği varken, ısı kaynağını anormal yüksek ısı akışı oranı ile açıklamak mümkün değildir. Bu durumda, iki ana problem vardır ve düşük bir mesafede yüksek ısı farkı ve iletken kayaların yüksek özgül ısı iletkenliği gibi varsayımları gerektirir. Sıcaklık ile ısı iletkenliği arasında ters orantı vardır. Sıcaklık farkı düşük olan iki birimde ısı iletkenliği yüksek olacaktır. Ancak, jeotermal gradyan düşecektir. Bu durumda en uygun varsayımlar aşağıda verilmektedir;

- Çok düşük kıtasal kabuk kalınlığı (ör, 25-30 km),
- Moho süreksizliği yakınında çok yüksek sıcaklık ( $>800^{\circ}C$ ),
- Çok yüksek özgül ısı iletkenliğine sahip kayaların varlığı.

Bölgesel yüksek ısı akı oranını açıklamak, genellikle olanaksız ya da çok zordur. Ancak, yüksek derinliklerde sıcak kaya zonunun içinde ıslaklık olduğu varsayılırsa ısı iletkenliğinin yükselmesi gibi bir olasılık vardır. Bununla birlikte, kaynaktan uçucular aracılığıyla enerji transferi oldukça fazla olabilecektir. Ancak genellikle, rezervuar suyunda düşük miktarda juvenil su gelişecektir ki bu durumda, uçucularla ısı transfer oranı yüksek olamaz. En iyi koşulların varsayımıyla, uçucular tarafından transfer edilen enerji toplam ısı akısının %5–10 oranını geçemez. Yüksek jeotermal gradyan; yüzey altındaki plütonik, subvolkanik sokulum veya volkanik mağma odaları gibi magmatik yapılara da dayandırılabilir. Mağmanın sokulum ve püskürme gibi karakteristikleri; mafik ve

lökokratik gibi magma jeokimyasına ve örtü tabakasının ve tektonik hatların varlığı gibi çevresel jeolojiye bağlıdır.

Jeotermal ısı akımları ve jeotermal sistemler küresel ölçekte değerlendirildiğinde, çoğu kez yakın geçmiş ve yeni aktif volkanizma ile ilişkilendirilmektedir. Ancak, Batı Anadolu'daki jeotermal sistemler için, Kula yöresi hariç böylesi bir ilişki söz konusu değildir. Bu yöredeki jeotermal sistemler derindeki sokulumlara bağlı gibi görünmektedir. Bunun nedenleri;

- yüksek ısı akım oranları,
- rezervuar suyunda magma yapısına ait kimyasal izlerin yokluğu,
- yakın bölgede volkanizmanın yokluğu,
- manto gazlarından yüksek arınma oranı,
- rezervuar suyunda manto ya da plütoniklerden türemiş B, NH<sub>3</sub> ya da H<sub>2</sub>S gibi çözünmüş uçucuların varlığıdır.

Bu sokulum orijin manto mağmasının, mafik magmaya dönüşümü nedeniyle olabilir. Batı Anadolu'daki genç volkanizmanın oluşumu, yakın geçmişteki volkanik dönemde sadece düşük bir miktarda magma asimilasyonunu meydana getirmesiyle gelişmiştir. Giesse (1997), jeofiziksel kanıt bulunamadığından, Batı Anadolu için yeryüzüne çıkmış kaya sularından alınan bilgilere göre jeotermal sistemin yapısı için bir teori geliştirmiştir. Bu teoriye göre aşağıdaki fikirler ileri sürülmektedir;

- ısı kaynağı olarak bir plütonik kaya sokulumu,
- düşük ısı transfer tabakası olarak bir sıcak kuru kaya zonu,
- üst ısı transfer tabakası olarak iletken bir hücre.

Senaryo aşağıdaki şekilde tanımlanabilir: Bir plütonik sokulum, grabenin altında yer almaktadır. Isı, sıcak kuru kaya zonundan üstte bulunan iletken hücreye konduksiyon yoluyla transfer edilmektedir. Hücre tabanının altında düşük geçirgenliğin neden olabileceği, sıvı akışkan dolaşımı yoktur. Sadece yüksek



kritik seviyedeki akışkanların yükselmesi gözlenebilir. Termal akışkan, bir hücre içinde sıcak besleme zonu (denge rezervuarı) ve daha soğuk kaynak zonu (depo rezervuarı) arasında sirküle olmaktadır. Bir kısım akışkan, yeryüzüne doğal çıkış kanallarıyla (ya da üretim kuyularıyla) gazlardan arınma süreçlerine bağlı olarak, ısının potansiyel enerjiye dönüşmesiyle yukarıya çıkmaktadır.

## 2.6 Jeotermal Kaynaklar

### 2.6.1 Genel Görüşler

Muffler ve Cataldi'nin (1978) verdiği tanımlamaya göre; jeotermal kaynaklar yakın bir gelecekte diğer enerji formları ile rekabet edebilecek maliyette çıkarılabilecek termal enerjidir. Jeotermal kaynaklar genellikle yerkaşu alanları ile sınırlandırılmışlardır. Bu alanlardaki ısı akımı, etrafındaki alanlardan daha fazladır. Etrafındaki alanlarda, su içeren geçirgen kayalar (rezervuar) bulunmaktadır. Bu kaynaklar yüksek enerji potansiyelleri ile, esasen görünür jeotermal aktivitelerin sık sık oluştuğu plaka sınırları arasında yoğunlaşmıştır. Jeotermal aktivite ile; sıcak kaynaklar, gaz çıkışları olan volkanik kraterler (fumerol), buhar çıkışları ve gayzerler ifade edilmektedir. Aktif yanardağlar da özellikle ve daha çok görülmeye değer büyük ölçekte bir çeşit jeotermal aktivitedir.

Bir alandaki jeotermal aktivitede kesinlikle ilk belirleyici, bu alanlardaki normalden daha sıcak olan yüzeyaltı kayalarıdır. Jeotermal sistemlerin ısı kaynakları; dinamik ve statik sistemler olmak üzere iki grupta toplanabilir. Bunlar Giesse (1997)'ye göre:

Dinamik sistemler;

- plütonik sokulumlar,
- subvolkanik ve volkanik mağma odaları,
- genç volkanların çevresi,

- kabuğun incelmeye bağlı yüksek jeotermal gradyan (mantodan kondüktif ısı transferi) ve sıcak çekirdeğin tektonik yükselmesine bağlı yüksek ısı gradyanıdır.

Statik sistemler ise;

- derin tortul su havzası formasyonları,
- jeobasınçlı sulardır.

Bununla birlikte, verimli bir jeotermal kaynağa sahip olmak için termal anomaliden daha fazlasına ihtiyaç vardır. Sondaj ile ulaşılabılır bir derinlikte, geçirgen kayalardan oluşan bir rezervuara da ihtiyaç bulunmaktadır. Bu kaya gövdesi, ısıyı yukarıya taşımak için büyük miktarlarda akışkan su ya da buhar içermelidir. Rezervuar, kırıklar ve çatlaklar ile sıcak rezervuara hidrolik olarak bağlanmış serin kayalar ile sınırlanmıştır. Kırıklar ve çatlaklar yağmur suyunun yeraltına sızması için kanal görevini üstlenmektedir. Termal sular ve buhar, esasen yağmursuyudur. Yağmursuyu yüzeyden beslenme alanlarından sızarak derinlere ilerler ve rezervuarın sıcak kayaları ile temas ettiğinde sıcaklığı yükselir.

Su, rezervuarın içerisine konveksiyon ile hareket eder. Sıcaklık nedeniyle yoğunluk değişimlerine bağlı olarak, rezervuarın daha alt kısımlarından daha üst kısımlarına doğru ısı transferi olur. Konveksiyon sonucu; rezervuarın yüksek kısımlarındaki sıcaklık, daha derin kısımların sıcaklığından daha alçak değildir. Bu yüzden, jeotermal gradyanın düşük değerleri gerçekte rezervuarın içerisinde bulunmaktadır. Konveksiyon, maddenin gerçek transferini ifade etmektedir ki bu yüzden diğer düşük geçirgenlikli kayaların tipik ısı transfer mekanizması olan kondüksiyondan daha iyi bir ısı transfer sürecidir. Isı, kondüksiyon ile mağma gövdesinden geçirgen rezervuar kayalara kondüksiyon ile iletilir. Burada, rezervuar su ile doldurulmuştur. Sıcak akışkan, sık sık rezervuardan kaçır ve yüzeye ulaşır.

### 2.6.2 Hidrotermal sistem

Isı kaynağı, rezervuar, beslenme alanı ve bağlantı yolları, soğuk yüzeysel suyun sızdığı rezervuar ve pek çok durumda yüzeye kaçışlar hidrotermal sistemi oluşturmaktadır. Jeotermal sistemin tipi, ekonomik jeotermal enerji gelişmelerini desteklemektedir. Kabukta magmatik sokulumların yeterince yüksek olduğu ve yeraltı suyunun termal iletken sirkülasyonunun olduğu yerlerde, elektrik üretimi bu duruma örnek olarak verilebilir. Bunlar, volkanik aktivite ile ilişkili olabilir ya da olmayabilir. Hidrotermal sistemlerden ısı çıkışı zaman içinde değişir. Bunlar zonların yapısal zayıflığının bulunduğu tekrarlayan mağmatizmanın beklendiği yerlerde bulunur. Dünyada 4 tip jeotermal sistem bulunmaktadır. Bunlar;

- hidrotermal sistem,
- sıcak kuru kayalar,
- jeobasinçlı sistemler
- mağmatik sistemlerdir.

Günümüzde, jeotermal sistem türlerinden sadece hidrotermal sistemlerden yararlanılmaktadır. Diğer sistemlerden günümüz teknolojileri ile yararlanma henüz ekonomik değildir. Hidrotermal sistem, su baskın alanlar ve buhar baskın alanlar olarak ikiye ayrılır.

#### 2.6.2.1 Su Baskın Alanlar

Sıcak su alanları ve ıslak buhar alanları olmak üzere iki tipi vardır Sıcak su alanlarında, yüzeyden 100°C'ye kadar sıcak su üretimi yapılabilir. Rezervuarda sıvı fazı su olan, düşük sıcaklıklı jeotermal alanlardır. Rezervuar üstünde geçirimsiz örtü kayalar bulunmayabilir, bununla beraber bu termal akiferlerden bazıları basınç altındaki sıcak su katmanlarından oluşur. Rezervuarda sıcaklık herhangi bir basınçta kaynama noktasının altındadır, zira ısı kaynağı yeterince büyük değildir. Bu alanların bazılarında su kaynama noktasına yakın bulunabilir. Sıcak su alanları eğer, rezervuar yüzeyin 2 km altında, suyun tuz içeriği 60 g/kg'dan düşük ve maksimum debi 150 l/saat'in üzerinde ise ekonomik olabilir. Bu duruma uygun en iyi örnekler; Macaristan'daki Pannonian havzası,

Fransa'daki Paris Aquitanian havzaları, Rusya'daki jeotermal alanların çoğu, İtalya'daki Po Nehri vadisi ve Amerika'daki Oregon Klamath Çağlayanı'dır (Barbier, 2002).

Islak buhar alanlar; basınçlı su içeren, sıcaklığı 100°C'yi geçen, az miktarlarda buhar içeriği olan yüzeysel ve düşük basınçlı rezervuarlardır. Rezervuardaki baskın faz birincil olarak sıvıdır ve bu faz rezervuar içindeki basınçla kontrol edilir. Buhar, akışkan su tarafından çevrilmiş kabarcıklar şeklindedir. Homojen bir dağılım sunmaz ve akışkan basıncının etkisine bağlı değildir. Genellikle, sıvının yüzeye kaçmasını önleyen geçirimsiz örtü kayalar vardır. Bu durum geneldir ama koşul değildir. Gerçekte su tablası altında herhangi bir derinlikte kendi hidrostatik basıncı altındadır. Sıvı yüzeye gelirken, büyük parça kalıntılı kaynamalar gösterir. Düşük basıncın sonucu, suyun parçalı buharlaşması ile su baskın fazlı, su-buhar karışımıdır. Su-buhar karışım oranı, alandan alana ve aynı alanda yeni açılan kuyudan kuyuya dahi değişim göstermektedir. Elektrik üretiminde çoğunlukla, sadece buhar kullanılır bu durumda akışkan su ayırıcılar ile uzaklaştırılmalıdır.

Islak buhar alanların yüzeysel belirtileri kaynayan kaynaklar ve gayzerlerdir. Isı kaynağı büyük ve mağmatik kökenlidir. Üretilen su, çoğunlukla yüksek miktarda 1–100 g/kg, bazı alanlarda ise 350 g/kg'ın üzerinde kimyasal içermektedir. Bu kimyasallar, kuyular ve bitkilerde çeşitli problemlere yol açar. Kimyasalların ana bileşenleri; silis, flüoritler, boratlar, sülfatlar, bikarbonatlar ve klorürlerdir. Hidrotermal rezervuarların %90'ından fazlasında endüstriyel yararlanma, ıslak buhar tiptir. Elektrik üretimi en uygun yararlanma şeklidir. Islak buhar alanlarının en önemli ekonomik yönü, buhar ve suyun çok yüksek miktarlarda (Meksika Prieto Cerro, 6600 ton/saat) kullanıma izin vermesidir. Bu durumlara bağlı olarak suyun yüksek kimyasal içeriği reenjeksiyonu zorunlu kılmaktadır. Kızıldere (Türkiye), Milos (Yunanistan), Latera (İtalya), Azores (Portekiz), Krafla (İzlanda), Kakkonda, Hatchobaru ve Mori (Japonya), Pauhetskaya ve Mutnovsky (Rusya), Mak-Ban, Tiwi, Tongonan, Palinpinon ve Bac Man (Filipinler), Cerro Prieto, Los Azufres ve Los Humeros (Meksika), Wairakei, Ohaaki ve Kaw-erua (Yeni Zelanda), Soda Lake, Steamboat ve Brady Hot Springs (Nevada), Cove Fort (Utah) Salton Sea, Coso ve Casa Diablo

(Kaliforniya) ıslak buhar jeotermal alanlardan elektrik üretilen sahalara örnek olarak verilebilir (Barbier, 2002).

#### 2.6.2.2 Buhar Baskın Alanlar

Buhar baskın alanlar, atmosferik basıncın biraz üzerinde veya kuru doygun üretimli rezervuarlardır. Jeolojik olarak ıslak buhar alanlara benzer. Ancak, ısı transferi çok daha yüksektir. Araştırmalara göre, iletim değerleri ıslak buhar alanlara göre daha düşük ve örtü kaya bulunması önemli ve temel öğedir. Su ve buhar birarada bulunur ancak, rezervuar içindeki basınç düzeninde (rezervuar boyunca basınç büyük değişiklik göstermez) buhar devamlı baskın fazdadır. Bu alanlar kuru veya süper sıcak alanlar olarak isimlendirilir. Üretilen buhar genellikle süper ısınmıştır ve içeriğinde, gazın ana bileşeni olan CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S'in dışında az miktarlarda diğer gazlar bulunur.

Bu alanlardaki üretim kontrolü mekanizmalarının oluşumuna ilişkin kabul şöyledir; alanda bir kuyu açarak üretime başlandığında kuyu dibinde düşük basınçlı bir zon şekillenir. Bu düşük basınç, çevre kayalar içindeki akışkan suyun kaynamasını ve buharlaşmasını sağlar. Bir kuru alanda, örneğin susuz bir zon içine buhar akımıyla kuyu dibi yakınında bir şekillenme olur. Kuru alandan buhara geçiş serinleme ve genişlemeyi başlatır. Ancak, çevre kayalardan eklenen ısı ile bu noktadaki basınç değeri buharlaşma sıcaklığı üzerinde kalır. Sonuç olarak, kuyu basıncı 5-10 bar iken çıkan buharın sıcaklığı 200°C'den yüksektir. Yüzeysel jeotermal aktivite ile ilgili buhar baskın alanlar, (kuru veya süper ısınmış) ıslak buhar alanları ile etkinlikleri açısından benzerdir. Dünyadaki jeotermal elektrik üretiminin yarısı 6 adet buhar baskın alandan sağlanmaktadır. Bunlar; Larderello (İtalya), Mt. Amiata, (İtalya), The Geysers (Kaliforniya), Matsukawa (Japonya) ve Kamojang ile Darajat (Endonezya)'dır (Barbier, 2002). Yaklaşık 100 hidrotermal sistemde yapılan ve halen devam eden incelemelerde bu alanların; %10'dan azının buhar baskın alanlar, %60'ının ıslak buharlı alanlar (su baskın) ve %30'unun ise sıcak su üretimli alanlar olduğu saptanmıştır (Hochstein, 1990). Kullanımda olan bazı jeotermal alanlardaki ortalama buhar kompozisyonu Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1: Bazı jeotermal alanların buhar içerikleri (Barbier, 2002)

Bileşenler (g/kg)	Gayser Amerika	Larderello İtalya	Matsukawa Japonya	Wairakei Y.Zelanda	Cerro Prieto Meksika
H <sub>2</sub> O	995.9	953.2	986.3	997.5	984.3
CO <sub>2</sub>	3.3	45.2	12.4	2.3	14.1
H <sub>2</sub> S	0.2	0.8	1.2	0.1	1.5
NH <sub>3</sub>	0.2	0.2			0.1
CH <sub>4</sub> +H <sub>2</sub>	0.2	0.3			
Diğerleri	0.2	0.3	0.1	0.1	

Jeotermal buhar çoğunlukla alandan alana değişen bir içerikle; CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HCl, HF, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub> gibi gazları içermektedir. Bu gazlar üretimle, zamana bağlı olarak azalır.

### 2.6.3 Jeotermal Akışkanın Kimyası

Mineral ile termal akışkan arasındaki denge, akışkanın boşalım dengesinin kimyasal dağılımında önemli rol oynamaktadır. Reaksiyon; sıcaklık, basınç, tuzluluk ve jeotermal sistemin kaya topluluklarının bir fonksiyonudur. Mineral ile termal akışkan arasındaki reaksiyon ürünleri ise, alterasyon mineralleridir. Jeotermal suların içindeki çözünenlerin miktarı çok büyüktür ve bu farklılık; karışım (örneğin deniz suyu ile), hidrotermal sistemin yaşı, permeabilite, kaya tipi, ısı kaynağı, gaz içeriği ve sıcaklık değişimi gibi parametrelerin bir fonksiyonudur.

En genel anlatım ile jeotermal suların içeriğinde anyon olarak; Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup> ve I<sup>-</sup>; kation olarak, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Rb<sup>+</sup>, Cs<sup>+</sup>, Mn<sup>+2</sup> ve Fe<sup>+2</sup> ve nötral olarak SiO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, As, B ve soy gazlar bulunmaktadır. Su baskın jeotermal sistemlerde derinlerde bulunan en genel akışkan tipi (birincil tip); temel gaz içeriği CO<sub>2</sub> olan, nötr pH'a yakın ve sodyum klorürlü tuzlu sudur (1000–10.000 mg/kg klorür). Genellikle, meteorik suların yüksek derinliklere ulaştığı ve mağmatik uçucuları (HCl, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S) absorbe ettiği kabul edilir (Barbier, 2002).

## 2.7 Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Durumu

Bu bölümde verilen verilerde, Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli (2003)'den faydalanılmıştır. 1999 yılı itibariyle, dünyadaki 6 milyar insanın enerji tüketim hızı, yılda 420 EJ'ü (Exa Joule=10<sup>18</sup> J) aşmıştır. Bu tüketimin; %68'i, dünya nüfusunun %15'ini oluşturan sanayileşmiş ülkelerin 0,9 milyar insanı; kalan %32'si ise, dünya nüfusunun %85'ini oluşturan gelişmekte olan ülkelerin 5,1 milyar insanı tarafından gerçekleştirilmiştir. Dolayısıyla, kişi başına ortalama tüketim, 63 GJ kadardır. Ancak bu rakam, gelişmiş ülkeler için 250, dünya nüfusunun %5'lik payıyla enerji tüketiminde %25 paya sahip olan ABD için de 400 GJ'ü bulmaktadır. Sonuç olarak, dünya nüfusunun %85'i, kişi başına yılda ortalama sadece 25 GJ (Türkiye'de 54) tüketmektedir. 1999 yılı itibariyle 8,58 milyar ton petrol eşdeğeri enerji tüketilmiş ve bu tüketimin %75'i fosil yakıtlardan sağlanmıştır. Petrol, doğalgaz ve kömürün payları sırasıyla %39,4, %23 ve %22,4'dür. Hidro, nükleer ve diğer kaynaklardan üretilen elektrik, birincil enerji üretimi içinde %7,1, %6,6 ve %0,7'lik paylarla dördüncü, beşinci ve altıncı sırada gelmektedir.

Birincil enerji üretiminin, yaklaşık %30'u elektrik üretiminde kullanılmış ve üretilen 12,5 trilyon kWh elektriğin yaklaşık %80'i, %15 nüfus payına sahip olan sanayileşmiş ülkelerde, %28'i ise %5 nüfus payına sahip olan ABD'de tüketilmiştir. Tüketilen birincil enerjinin %25 kadarı, petrolünse yarıdan fazlası dış ticarete konu teşkil ederken, fosil yakıt olarak yılda yaklaşık 5,1 milyar ton kömür, 3,1 milyar ton petrol, 2,4 trilyon metreküp doğalgaz tüketilmektedir. Bu üç fosil yakıt halen, dünya birincil enerji tüketiminin %85'ini, ticaretinin de %90'ını sağlamaktadır. Özetle dünya, sanayi devrimiyle birlikte ve 1850'li yıllardan itibaren girmiş bulunduğu fosil yakıt çağı'nda ilerlemektedir. 20. yüzyılda, daha önceki tüm zamanlarda tükettiğinin 10 katı kadar daha fazla enerji tüketmiştir.

Dünya enerji talebine ilişkin pek çok senaryo geliştirilmektedir. Bunların arasında en gerçekçi görüneni ise; dünya ekonomisinin yılda ortalama %3 büyüdüğü, ekonomilerin enerji yoğunluğunun yılda ortalama %1 azaldığı varsayımıyla, dünya enerji talebinin 2023 yılına kadar %54 kadar artarak, 650

EJ'a ulaşması şeklindedir. Bu artışın, % 60'dan fazlası, geçmiş 150 yıldakinden farklı olarak, Asya, Afrika ve Güney Amerika'nın gelişmekte olan ülkelerinde yer alacaktır. Bu ülkeler sanayileşmelerini, fosil yakıtlara dayandırmayı planlamaktadır. 1960'larda hakim olan 'kaynaklar tükeniyor' endişesi azalmış durumdadır. Zira, dünyanın ekonomik rezerv olarak şimdiki tüketim hızlarıyla; yaklaşık 200 yıl yetecek kadar 1 trilyon ton kömürünün, 80 yıl yetecek kadar 250-350 milyar ton (2-3 trilyon varil) petrolünün, 70-80 yıl yetecek kadar 150 trilyon metreküp doğal gazının olduğu tahmin edilmektedir. Bu rakamlar kesin olmamakla birlikte, daha iyimser veya daha kötümser olanları da vardır. Ancak, geçmişte olduğu gibi gelecekte de, bir yandan yeni rezervlerin bulunması, diğer yandan yükselen enerji fiyatları karşısında yeni teknolojilerin devreye sokulması sayesinde bilinen rezervlerin zamanla artacağı kesindir.

Hidro ve diğer yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik üretiminin, 2020'lere kadar her yıl %2 artması, buna rağmen bu kaynakların toplam enerji tüketimi içindeki payının şimdiki %9'dan %8'e, hatta bazı tahminlere göre %4'e inmesi beklenmektedir. Bu eğilim ancak, kamu müdahalesi ve sübvansiyonlar aracılığıyla değiştirilebilir nitelikte olup; bu durumda da, 2020 yılında payları %12'ye kadar çıkartılabilecektir. Bu değer, Türkiye için halihazırda %13'dür.

Dünya elektrik tüketiminin yılda ortalama %2,4 artarak, 2030 yılına kadar iki misline katlanması, toplam enerji tüketimi içindeki payının %18'den %22'ye ulaşması beklenmektedir. Hidrolik dışındaki diğer yenilenebilir kaynaklar, maliyet açısından ve nitelikleri itibarıyla, alternatifleriyle rekabette zorlanmaktadır. Bu kaynaklardan orta vadede gelişme potansiyeli taşıyanlar; rüzgar enerjisiyle, başta fotovoltaikler ve yakıt hücreleri olmak üzere çeşitli formlarıyla güneş enerjisidir. Jeotermal enerji ve biyokütle enerjisine ihtiyaç ise, daha zor şartları gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji, dünya birincil enerji kaynakları arasında giderek artan bir rol üstlenecektir. Hidro olmayan yenilenebilir enerjiler, diğer birincil enerji kaynaklarından daha hızlı büyüyecektir. Bu büyüme 2000-2030 periyodunda senelik ortalama %3,3 olacaktır. Ancak, hidro olmayan yenilenebilir enerji kaynakları çok düşük düzeyden başladıklarından dolayı 2030 yılı global enerji talebinde hala küçük bir paya sahip olacaktır (World Energy Outlook, 2002).



## 2.8. Jeotermal Enerjinin Türkiye'deki Durumu

Bu bölümde verilen verilerde, Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli (2003)'den faydalanılmıştır. Türkiye, dünyadaki jeotermal ısı kullanımı ve kaplıca uygulamalarında, Çin, Japonya, ABD ve İzlanda'nın ardından 5. sırada gelmektedir. İspatlanmış termal kapasitesi 3,173 MWt, muhtemel potansiyeli ise 31.500 MWt dolayındadır. Türkiye'deki jeotermal enerji kullanımı halen; şehir, konut, termal tesis, sera vb. uygulamalardaki toplam 665 MWt'lık 61.000 konut eşdeğeri merkezi ısıtma ve, 327 MWt'lık 195 adet kaplıca kullanımı olmak üzere, toplam 992 MWt doğrudan ısı kullanımı ve 17,5 MWe'lik elektrik üretimi şeklindedir.

Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) artışıyla birlikte, toplam birincil enerji arzı (TBEA) 1973-95 arasında yılda %4,4, 1990-2000 arasında %4,4 artarak (IEA Avrupa ortalaması %0,8), 1990'da 53 Mtep'den (milyon ton petrol eşdeğeri), 2001'de 76 Mtep'e ulaşmıştır. 2001 yılındaki talebin en büyük kısmını, 30,9 Mtep ve %40,7 payla petrol karşılamış; 1970'e kadar var olmayan doğal gaz 2001 yılında, 14,87 Mtep ile %19,6 oranına ulaşmıştır. Talebin kalan %15,7' lik kısmı linyit, %9,3'ü taşkömürü, %8,2'si ticari olmayan ve %3,8'i diğer yakıtlardan, %2,7'si de hidroelektrik kaynaklardan karşılanmıştır. Nüfus artışı ve ekonomik büyüme eğilimleri göz önünde bulundurulduğunda, TBEA'nın 2010'da 154 Mtep'e ulaşması beklenmektedir. Kişi başına enerji tüketimi 1990'da 945 kep'den, 2000' de 1,199 kep'e yükselmiştir. Türkiye bu durumuyla, dünya nüfusunda %1,1'lik, enerji tüketiminde ise %0,86'lık bir paya sahip. Dolayısıyla kişi başına dünya ortalamasının dörtte üçü kadar (54 GJ) enerji tüketmekte ve bu açıdan AB üyeleri, hatta daha geniş kapsamda Avrupa ülkeleri ve OECD üyeleri arasında sonuncu sırada yer almaktadır.

Enerji üretimi 1990'da 25,48 Mtep düzeyinde iken, 2001 yılında 25,17 Mtep olarak gerçekleşmiştir. Petrol ve doğal gaz üretimi nispeten az olup, esas yerli enerji kaynağını, çoğu linyit olmak üzere, kömür oluşturmaktadır. Linyit üretimi 1980'lerin başlarında arttarak, 1999 yılında 12,24 Mtep (65Mt) ile en yüksek seviyesine ulaştıktan sonra, 2001 yılında 11,61 Mtep'e (59,5 Mt) gerilemiştir. Mevcut öngörüler, linyit üretiminin artık bir dengeye ulaştığı yönündedir.

Taşkömüründe ise, 1990'da 2,7 milyon ton olan üretim, 2001'de 2,4 milyon tona gerilemiştir. 2001 yılındaki birincil enerji üretiminin %51,1'i kömürden, %11,7'si petrol ve doğal gazdan, %8,2'si hidrojen, %24,7'si de ticari olmayan kaynaklardan sağlanmıştır. 2001'de, hidroelektrik hariç yenilenebilir enerji üretimi 7,27 Mtep'i bulmuştur. Bunun esas kısmı olan 4,88 Mtep'i odun, 1,33 Mtep'i hayvan ve bitki artıkları, 0,76 Mtep'i jeotermal, kalan 0,29 Mtep'i de güneş enerjisi oluşturmuştur.

1990-2000 yılları arasında, yenilenebilir enerji üretiminin toplam enerji üretimi içindeki payı, yaklaşık %40'la aynı kalırken, toplam arz içindeki payı %18,23'den %12,42'ye gerilemiştir. 2010 yılında hidroelektriğin 6,7 Mtep'e ulaşması beklenirken, jeotermal ısı enerjisi için 5,7 Mtep hedeflenmektedir.

2000 yılı itibariyle yılda tükettiği yaklaşık 80 milyon ton kömürün % 85'ini kendi üretirken, 31 milyon ton ham petrolün % 91'ini, 15,1 milyar metreküp doğal gazın % 96'sını ithal etmiştir. Keza, tükettiği 128 TWh'lık elektriğin 3 TWh'ını Bulgaristan ve Gürcistan gibi komşularından sağlamıştır. Konut/hizmet sektöründe enerji tüketimi 1990-2000 arasında ortalama %2,7 büyümüş ve miktar olarak 1990'da 16,09 Mtep'den 2000'de 20,98 Mtep'e yükselirken, TNT içindeki pay %38'den %34'e düşmüştür. Sektördeki elektrik ve doğal gaz tüketimi hızla artmıştır. Elektriğin payı 1990'da %9,3'den, 2001'de %22,8'e, doğal gazınki ise, 1990'da %0,3'den, 2001'de %14,7'ye yükselmiştir. Bu sektördeki tüketim içerisinde yenilenebilir enerji kaynakları hala %39,4 ile başta gelmekte ve bu kalemin; % 34,6'sı biyokütle, hayvan ve bitki atıklarından, %0,9'u güneş, %0,4'ü de jeotermal enerjiden oluşmaktadır. Mevcut resmi tahminler nihai tüketimde, esas olarak sanayi tüketiminden kaynaklanan, hızlı bir artışa işaret etmektedir.

Öte yandan; 2001 yılı itibariyle kurulu güç 28,332 MW olup, bu gücün %41,2'si hidroelektrik ve % 58,7'si termik iken, %0,1'i jeotermal ve rüzgara dayalıdır. Kişi başına yıllık elektrik tüketimi 2001 yılı itibariyle 1850 kWh'a ulaşmış iken, dünya ortalaması 2300kWh'ı geçmektedir. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda (2002), enerji kaynakları açısından halen %62 düzeyinde bulunan dışa bağımlılığın, tüketim gelişirken zaman içinde artacağı vurgulanmaktadır.

## **BÖLÜM ÜÇ**

### **JEOLOJİK VE TEKTONİK TANITIM**

#### **3.1 Giriş**

Bu bölümde, Batı Anadolu ve Gediz jeotermal alanları çevresinin jeolojik özellikleri ve tektonik evrimi ile ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Batı Anadolu'da oluşan tektonik olaylar önceki çalışmalardan yararlanılarak, Gediz jeotermal alanları ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Çalışmalar sırasında bölgenin uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Batı Anadolu'daki Paleotektonik ve Neotektonik birimler, bilgiler doğrultusunda özet olarak ele alınmıştır. Gediz çevresinin Neojen stratigrafisi ve bu birimlerin dağılımı literatür ve MTA verilerinden derlenmiştir. Çalışma alanında güncel ayrıntılı jeolojik çalışma bulunmamaktadır. Önceki çalışmalar göz önüne alınarak, çalışma alanı yakınlarındaki jeolojik veriler ile MTA'nın hazırlamış olduğu jeolojik haritalar arasında uyumluluk sağlanmaya çalışılmıştır. Jeotermal alanlar ve yakın çevresinde jeolojik verilerin yetersizliği ciddi çalışmaların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Derlenen haritalardan bazı uyumsuz veriler elde edilmişse de, bu veriler bazı makaleler temel alınarak (Akdeniz ve Konak, 1979a,1979b; Bingöl, 1977; Hasözbeke, 2003; Kaya, 1972; Minareci, 2005; Oygür, 1997; Yılmaz, 1997) yeniden düzenlenmiş ve birimlerin dağılımlarına anlam kazandırılmaya çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında, çalışma alanının jeoloji haritası bölgesel ve yöresel olarak iki şekilde düzenlenmiştir. Bölgesel ölçekte olan, Gediz jeotermal alanlarını içine alarak Muratdağı'ndan Simav'a kadar uzanan bir alanı kapsamaktadır. Yöresel ölçekteki jeoloji haritaları ise, Gediz Ilıca ve Muratdağı jeotermal alanlarını kapsamaktadır.

#### **3.2 Batı Anadolu'daki Paleotektonik Birimler**

Menderes Masifi, özgün jeoloji geçmişi ile ülkemizin en yüksek ısı akısına sahip yöresini oluşturmaktadır (Öngür, 2005). Masif, yakın zamanda D-B uzanımlı grabenleri oluşturan derin yapısal süreksizliklerle kesilmiştir. Bu bölgede, bir yandan metamorfikleri etkilemiş olan sıyrılmaya fayları ve bir yandan da üst Miyosen'de

oluşmuş, bugünlere vevv uzanan bir başka fay sistemiyle yaygın ve etkili bir kırıklanma ve kaya ortamlarının geçirimlilik kazanması olanaklı olmuştur (Öngür, 2005). Bütün bunlar, bu bölgede çok sayıda ve yüksek ısı yüklü jeotermal sistemin gelişmesini sağlamıştır. Bu bağlamda, çalışılan bölgeyi içine alan ve ilişkisi olduğu düşünölen bölgesel ölçekteki jeolojik ve yapısal verilerin değeriendirilmesi ve yorumlamalarda dikkate alınması son derece önemlidir. Batı Anadolu'daki Menderes Masifi ve çevresindeki temel birimlerinin, jeotermal kaynaklarla olan ilişkilerini anlamada yardımcı olması açısından bu kısımda Paleotektonik birimlerin olabildiğince kısa özetleri verilmektedir.

Batı Anadolu'da Paleotektonik döneme ait dört temel birim tanımlanmaktadır (Şekil 3.1). Bunlar, kuzeyden güneye aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Şengör, 1987; Şengör ve diğeri., 1985; Yılmaz, 1997):

a) Paleotektonik birimler

- Batı Pontitleri yansıtan Sakarya Kıtası,
- İzmir-Ankara Zonu,
- Menderes Masifi,
- Batı Toroslar.

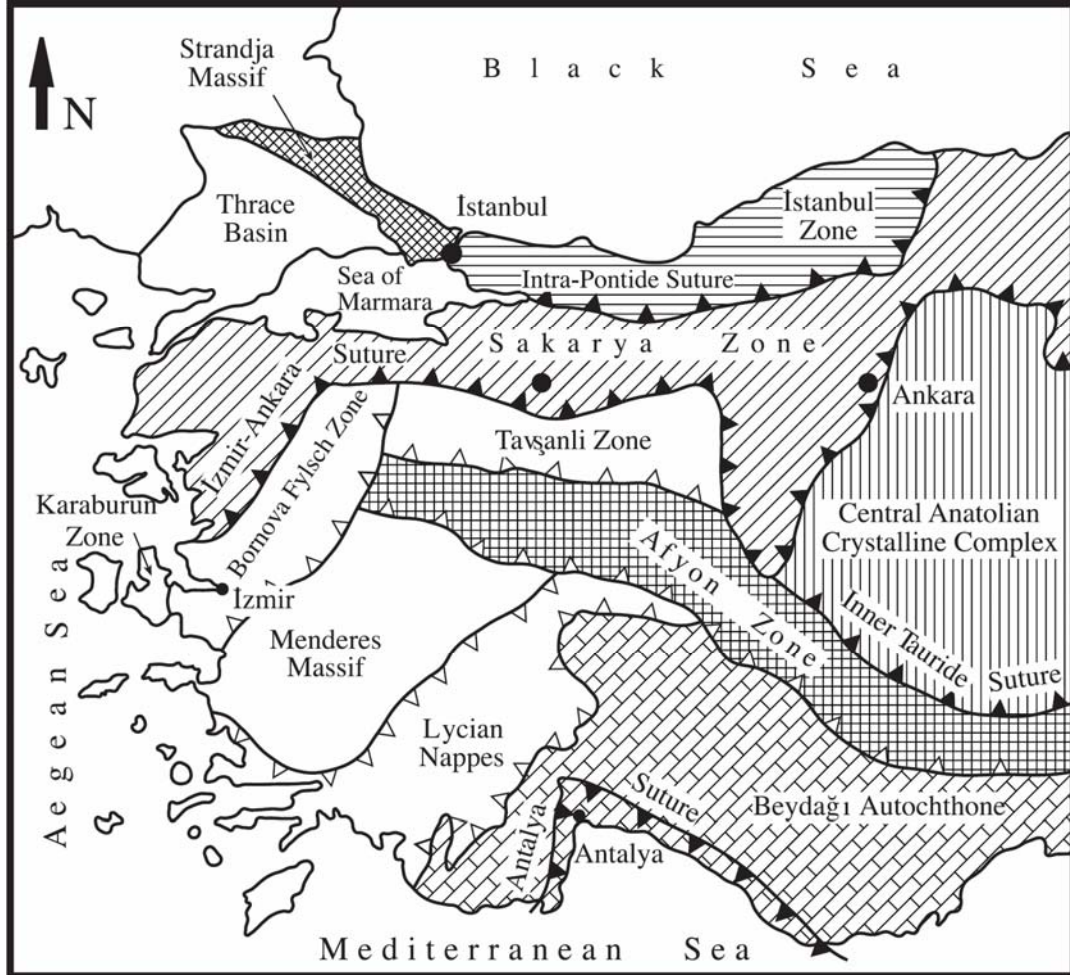
b) Tüm bunları üstleyen Neojen yaşlı karasal sedimentler ile volkanizma arıalanması.

Paleotektonik birimler, farklı zamanlarda ve farklı tektonik süreçler sonucu Orta Miyosen öncesinde bir araya gelmişlerdir. Bu kısımda, bu farklı birimler hakkında özet bilgiler verilecektir.

### **3.2.1 Sakarya Kıtası**

Sakarya Kıtası, güneyde İzmir-Ankara ve kuzeyde İç-Pontid kenet kuşakları arasında yer almaktadır. Kıtanın temeli metamorfik ve metamorfik olmayan Paleozoyik birimlerden oluşmaktadır ve bu temel, Mesozoyik ve Senozoyik birimlerle örtülürler (Yılmaz, 1997). Sakarya kıtası içinde, Biga Yarımadası ile

Bilecik arasında Permo-Trias yaşındaki birimlerden oluşan Karakaya kompleksi (Okay, Siyako, 1991) temelin önemli kısmını oluşturmaktadır (Yılmaz, 1997) ve Kozak Dağı'nda metamorfiklerle geçişlidir (Okay ve Siyako, 1991) (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Batı Anadolu'nun temel kayalarını oluşturan birimler (Bozkurt ve Oberhansli, 2001).

Bu temel birimler, Jurasik ve Alt Kretase yaşlı değişik fasiyesteki kireçtaşları ile örtülmektedir. Üst Kretase birimleri, daha çok şist çökellerinden oluşmaktadır ve kıtasal çökellerle Paleosen'e kadar devam etmektedir. Eosen birimleri, sığ deniz ve türbiditik çökeller ile birlikte aynı zamanlı volkanik birimlerden oluşmaktadır (Yılmaz, 1997). Geç Eosen-Erken Miyosen döneminde, Sakarya güneyinde yer alan Tetis Okyanusu'nun kapanması, bunu takip eden kıta-kıta çarpışması sonucunda Oligosen çökeli mi karasal birimlerle; Alt Miyosen birimleri ise, gölsel çökellerle ve yine aynı zamanlı yaygın volkanik kayalarla temsil edilmektedir.

### 3.2.2 İzmir-Ankara Zonu:

Bu zon, Sakarya Kıtası ile Menderes Masifi arasında yer almaktadır. Genel olarak, ofiyolitik melanj ve peridotitlerden oluşur. Ana faylarla sınırlandırılmış; Tavşanlı, Afyon ve Bornova filiş zonlarından oluşmaktadır. Tavşanlı Zonu, İzmir-Ankara Zonu'nun kuzeyinde yüksek basınç/düşük sıcaklık koşullarında oluşmuş metamorfikler ve ofiyolitlerden oluşmaktadır (Okay, 1984) ve Senomaniyen-Orta Paleosen yaş aralığındadır (Şengör, Satır ve Akkök, 1984). Afyon Zonu, Paleozoyik-Mesozoyik metamorfik seriler ile örtü birimlerinde oluşur ve tektonik olarak peridotit napları ve/veya Tavşanlı Zonu metamorfikleri tarafından örtülürler (Bozkurt ve Oberhansli, 2001). Afyon Zonu, Devoniyen yaşlı metakırıntılılar ile rekrystalize kireçtaşları, Karbonifer Geç Permiyen yaşlı koyu gri rekrystalize kireçtaşları ve bir Mesozoyik (Triyas-Maastrichtiyen) seri olan metakırıntılılar ve üzerindeki kalın katmanlı karbonatlardan oluşmaktadır. (Özcan, Göncüoğlu, Turan, Uysal, Şentürk , ve diğer., 1988). İzmir-Ankara Zonu'nun batı kısmında, İzmir çevresi Bornova şisti veya karmaşığı olarak adlandırılan birimler bulunur (Erdoğan ve Güngör, 1992). Ofiyolitik Melanj ve Sakarya/Menderes birimleri arasında tektonik dokanak bulunmaktadır ve orijinal bindirme dokanağının yer yer daha sonraki tektonizmadan etkilendiği belirtilmiştir (Yılmaz, 1997). Melanj, aşırı deformasyon geçirmiş volkanik sedimenter birimlerden oluşmaktadır. Bu birimler, genelde spilitik bazik lavlar, seyl ve kumtaşları içermektedirler. Yine melanjın içinde; radyolaryalı çörtler, pelajik kireçtaşları, manganlı çörtler, neritik kireçtaşları, mermer blokları ve serpantinler yer almaktadır. Ofiyolitik–tektonik dilimler ve bloklara Balıkesir–Ankara arasında rastlanılır (Okay ve Siyako, 1991).

### 3.2.3 Menderes Masifi

Menderes Masifi, Batı Anadolu'nun en önemli ve en yaşlı temelini oluşturan metamorfik birimidir ve İzmir-Ankara Zonu ile Likya napları arasında yer alır. Diğer tektonik birimler gibi Menderes Masifi de kabaca KD-GB doğrultuludur (Şekil 3.1). Menderes Masifi Metamorfikleri, "Çekirdek" ve "Örtü" olarak iki ana birime ayrılmaktadır. Çekirdek; ileri derecede başkalaşmış şistler, leptitler, gnayslar, gözlü

gnayslar, metagranitler, migmatitler ve metagabrolardan kuruludur. Örtü ise; mikaşist, fillit, metakuvarsit, metabazit, metakoyugranit ve şistlerden oluşmaktadır (Şengör ve diğer., 1984; Bozkurt ve Oberhänsli, 2001). Metamorfizmanın yaşı ile ilgili olarak, 1,2 milyar ile 10 milyon yıl arasında geniş bir aralıktan söz edilmesi (Gessner ve diğer., 2001a, 2001b; Hetzel ve Reischmann, 1996; Korolay, Dora, Chen, Satır ve Candan, 2004; Lips, Cassard, Sözbilir, Yılmaz ve Wijbrans, 2001; Şengör ve diğer., 1984) çoklu bir metamorfizmayı göstermektedir.

Okay (1989) ise Likya naplarının, Menderes Masifi şisti üzerinde tektonik dokanak ile oturduğunu ve yerleşim yaşının Orta Eosen olduğunu belirtmiştir. Eosen yaşlı Barrowiyen tipi bölgesel metamorfizma, Menderes Masifi'ni etkilemiştir ve bu metamorfizmanın, Masifin sıkışma rejimi etkisinde Likya naplarının altında kalması sonucunda meydana geldiği tahmin edilmektedir. Bölgesel metamorfizmanın yaşı Şengör ve diğer. (1984) tarafından  $35\pm 5$  milyon yıl olarak bulunmuştur. Bununla beraber, Erdoğan ve Güngör (2004) esas metamorfizmanın, geç Kretase ile Erken Miyosen arasında meydana geldiğini belirtmektedir. Okay (1989) Likya naplarının bazı kesimlerinin de bu metamorfizmadan etkilendiğini ifade etmektedir. Yılmaz (1997) ise, Likya Nap yerleşimi sırasında ve sonrasında bu iki sistemin birbirinden ayrıldığını, Menderes'in bölgesel metamorfizma geçirmesine karşılık Toros Sistemi'nin tortul özelliğini koruduğunu belirtmiştir. Bu metamorfizmayı, masifin erken Miyosen'deki termal domlaşması takip etmiştir. Daha sonra, bu dom parçalanarak masif ve çevresinde bölgesel genişlemeye neden olmuştur (Seyitoğlu ve Scott, 1991, 1992; Yılmaz, 1997).

Bununla beraber diğer bazı yazarlara göre; Geç Alpin yayılma deformasyonu, çekirdeğin kompleks formasyonunun ilavesiyle kabuksal skalada düşük açılı ayrılma fayları boyunca Menderes Masifi'ni açığa çıkartmıştır (Bozkurt ve Sözbilir, 2004; Bozkurt, 2000, 2001a, 2001b; Catlos ve Çemen, 2005; Emre ve Sözbilir, 1997; Emre, 1996; Gessner ve diğer., 2001a, 2001b; Işık ve Tekeli 2001; Işık, Seyitoğlu ve Çemen, 2003; Işık, Tekeli, ve Seyitoğlu, 2004; Jolivet, Rimmelé, Oberhänsli, Goffé ve Candan, 2004; Koçyiğit, Yusufoglu ve Bozkurt, 1999a, 1999b; Lips ve diğer., 2001; Özer ve Sözbilir, 2003; Rimmelé ve diğer., 2003b; Rimmelé, Jolivet, Oberhänsli ve Goffé, 2003a; Ring, Johnson, Hetzel ve Gessner, 2003; Ring ve

Collins, 2005; Seyitoğlu, Çemen, ve Tekeli, 2000; Seyitoğlu, Işık ve Çemen, 2004; Seyitoğlu, Tekeli, Çemen, Şen ve Işık, 2002; Sözbilir, 2002).

Kabuğun hızlı yükselip tüketilmesi, yüksek ısı akısının yanında kaya kesitinin üstteki kalınca bir diliminin duraylılığını yitirip, altındaki kütleden sıyrılarak yer değiştirmesi ve bu yolla oluşan makaslama gerilmesi kaynaklı yapısal sistemler, "sıyrılma kuşağı" olmuştur. Aşırı derecede kırılanmış, kalın paralanma zonlarının oluşmasına neden olabildiği için, jeotermal sistemlerin incelenmesinde böylesi çok kırıklı zonların da iyi tanınmasının yararı açıktır (Öngür, 2005).

### **3.2.4 Likya Napları**

İzmir-Ankara Kenet Kuşağı boyunca Geç Kretase'de meydana gelen dalma-batma sırasında okyanus kabuğunun Anatolid-Torid platformu üzerine bindirdiği (üzerlenme) ve bu bindirmenin daha sonraki Geç Paleosen-Erken Eosen'de meydana gelen kıta-kıta çarpışması sırasında süpürülen malzeme ile birlikte Batı Torosların allokon birimlerini oluşturan Likya naplarını oluşturdukları belirtilmektedir (Brunn ve diğer., 1971; Ersoy, 1990, 1991; Graciansky, 1972; Şengör ve diğer., 1984; Şengör ve Yılmaz, 1981). Kıta-kıta çarpışması ve Batı Toros ve Menderes Bloğu'nun birbirine bindirmesi, Likya naplarının meydana gelmesine sebep olmuştur. Bindirmelerin yaşı olarak, Geç Paleozoyik-Orta Eosen (Likya) ve Geç-Orta Miyosen (Antalya) öngörülmektedir (Collins ve Robertson, 1998; Güngör ve Erdoğan, 2001; Hayward ve Robertson, 1982; Rimmel ve diğer., 2003a). Likya napları, Menderes Masifi ile Bey Dağları otoktonu arasında yer alır ve geniş bir alanı kapsamaktadır.

### **3.3 Batı Anadolu'nun Neotektoniği**

Batı Anadolu'da, Neotektonik açıdan K-KKD eğimli havzalar ve D-B uzanımlı grabenler göze çarpar (şekil 3.2). Anadolu'nun içinde yer aldığı Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağı, Afrika-Arabistan-Hindistan levhalarının kuzeye doğru hareket etmeleri ve Avrasya Levhası ile çarpışmaları sonucunda oluşmaktadır. Doğu

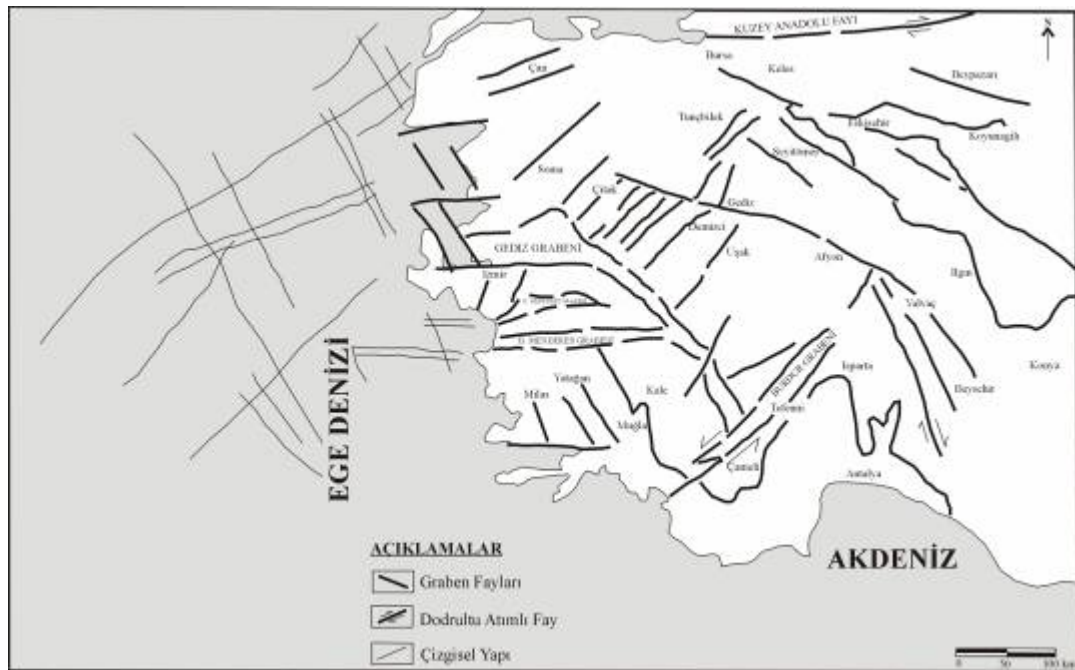


Akdeniz bölümünde, Anadolu-Ege Bloğu saatin tersine rotasyonal bir hareketle Girit merkezli Helenik yayına doğru kaçmakta ve kuzey sınırını, Kuzey Anadolu Fayı belirlemektedir. Güney sınırını ise, Kıbrıs ve Helenik yayları ve Doğu Anadolu Fayı oluşturmaktadır (Şekil 3.1). Kıbrıs ve Helenik yayları boyunca Afrika Kıtası'nın kuzey kenarındaki okyanusal litosfer, Anadolu ve Ege'nin altına dalmaktadır.

Güncel GPS (Global Konum Belirleme Sistemi) verileri ile yapılan araştırmalarda farklı sonuçlar bulunmaktadır. Güncel araştırmalar, Anadolu-Ege Bloğu'nun saatin tersine rotasyonal hareketinin iki ana sebebi olduğunu göstermektedir. İlki, Doğu Anadolu'da Arabistan ve Avrasya Levhalarının çarpışması ve bu sıkışma bölgesinden üçgen şeklinde kıtasal Anadolu Bloğu'nun batıya kaçması, diğeri ise Helenik Yayını'nda batan okyanus kabuğunun ağırlığı sebebiyle arkın geriye güneye doğru geri çekilmesi sonucunda Batı Anadolu ve Ege Denizi'nde meydana gelen yaklaşık KD-GB doğrultulu gerilmedir. Bu yapıların gelişimi ile ilgili ayrıntılı jeolojik araştırmaların (Emre, 1996; Koçyiğit, 1984; Seyitoğlu ve Scott, 1991, 1996) yanı sıra birçok tektonik ve sismo-tektonik modeller ileri sürülmektedir (Şengör, 1987; Doglioni, Innocenti, Manetti, Agostini, ve Savaşçın, 2003; Koçyiğit ve diğer., 1999a; McKenzie, 1978a; Purvis ve Robertson, 2004).

Koçyiğit (1984), Batı Anadolu'daki bu yapıların KB-GD, KD-GB, K-G ve D-B yönelimli 4 ayrı genişleme yönünde eş yaşlı blok faylanma şeklinde geliştiğini ileri sürmüştür. Şengör (1987), cross-graben modelinde KD eğilimli erken Miyosen havzaların K-G Paleosen sıkışması ve kısalması altında Paleotektonik Tibet tipi cross-graben olarak gelişmeye başladığını ve sonra bunların Neotektonik Ege tipi Cross-Grabenler ile Tortoniyen'de yer değiştirdiğini belirtmektedir. Bu durumda, havza sınırlarındaki fayların Menderes Masifi'nin açığa çıkması ile oluşan ana fayları (düşük açılı normal faylar) asla kesmediğini öne sürmektedir. Buna karşılık Armijo ve Papanastassiou (1992), hareketlerin daha çok sınır koşulları tarafından sağlandığını ve deformasyonun belli sınırlar veya faylar boyunca meydana geldiği görüşünü ortaya koymuşlardır. GPS verileri her iki görüşün bazı alanlarda geçerli olduğunu göstermektedir. Doglioni ve diğer. (2003) göre, Ege ve çevresinin tümü ile farklı hızlarda KD'ya doğru hareket ettiğini göstermektedir. Araştırmacılara göre, genelde doğu yönünde ilerleyen tüm yitim zonları gibi, KD'ya hareket eden Helenik

Yitim Zonu da, konveksiyon akımları ile aynı yönde hareket ettiğinden düşük açılı bir dalımı yansıtır. Bu düşük açılı yitim zonu, sırtında taşıdığı tüm parçaları aynı yöne (KD) doğru itmekte ve Avrasya'nın kıta parçaları da (Ege, Anadolu) bu itici güce karşı direnç gösterip ters yönde (GB) geri kaymaktadırlar. Yitimin itici gücünü daha çok hisseden Yunanistan, GB'ya doğru Türkiye'den daha hızlı hareket etmekte ve Ege Denizi'nin açılması gerçekleşmektedir. Araştırmacılara göre, Ege'deki açılma Arap Plakası'ndan bağımsız bir harekettir. Tüm bu verilerin ışığında, mutlak hareket KD yönünde olmakta ve genişleme de buna dik yönde olmaktadır (Doglioni ve diğer., 2003).



Şekil 3.2 Batı Anadolu'da bilinen kırık hatları ve Ege Denizindeki sismik çizgisellikler, (Saatçiler, Ergintav, Demirdağ ve İnan, 1999).

Bütün bu farklı görüşlerden anlaşılacağı üzere, bu bölgedeki deformasyonla ilgili kinematik özellikler ve dinamik olaylar son derece karışıktır. Her ileri sürülen fikrin belirli doğruları olmasına rağmen tartışma ve görüşler devam etmektedir. Batı Anadolu'da, K-G gerilmenin yaşı da uzun zamandır tartışılan konulardan birisidir. Seyitoğlu ve Scott (1991), gerilmenin yaşının Oligosen sonu Miyosen başı olduğunu belirtmişlerdir. Buna karşılık Şengör (1987) ve Yılmaz (1997), bu dönemde sıkışmanın hala devam ettiğini ve ancak bu dönemde oluşan basenlerin gerilme ile değil sıkışma rejimi içerisinde meydana geldiğini savunmuşlardır. Esas gerilme

rejiminin orta Miyosen'den itibaren düşük hızda oluştuğunu ve bu hızın Pliyosen'de arttığını kabul etmişlerdir. Batı Anadolu ve Ege Denizi'ndeki yaklaşık K-G gerilmesinin hızı konusunda da farklı görüşler vardır. Jackson ve McKenzie (1984) ve Taymaz, Jackson ve McKenzie (1991), bu hızın 6 cm/yıl olabileceğini ileri sürmüşlerdir ve Ege Denizi'nin son birkaç milyon yılda %50 gerildiğini belirtmişlerdir. Güncel araştırmalarda 15 mm/yıl olarak verilen ortalama değerler vardır.

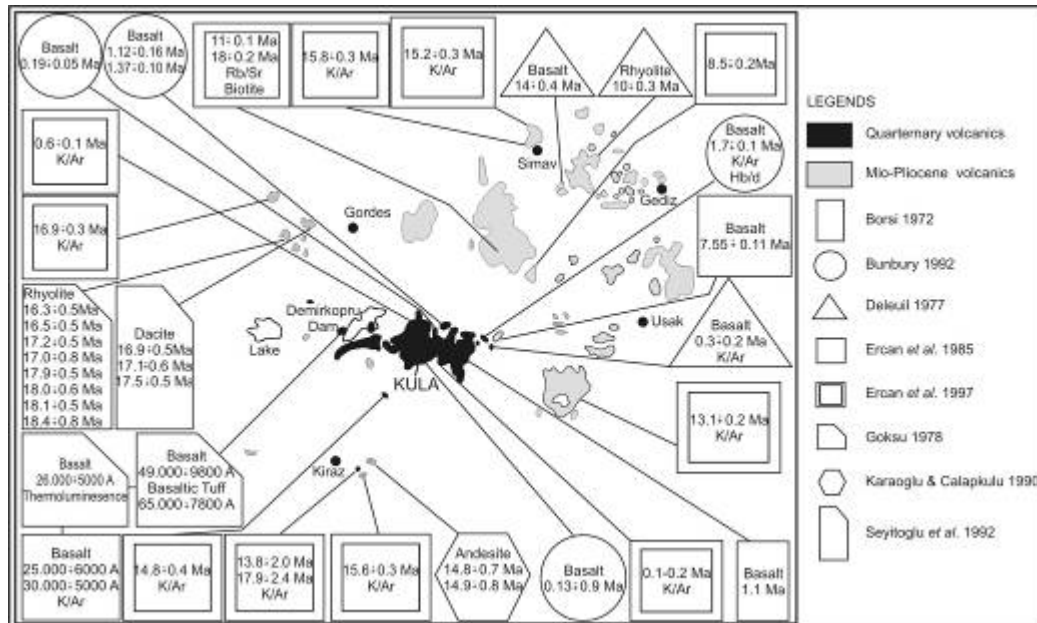
### 3.4 Magmatik Etkinlik ve Jeotermal Sistemler

Öngür (2005), magmatik etkinlik ve jeotermal sistemler ile ilgili olarak “Bir jeotermal sistem tanımlanırken genellikle yakınında bir ısıtıcının, magmatik ya da volkanik ısı kaynağının varlığı düşünülmektedir. Bunun için, bazen bölgesel jeoloji bilgileri de zorlanarak, yüzeyde bir belirtisi olmasa da, derinde bir magma odağı varsayılır” demektedir. Magmatik etkinlikler, yerkabuğunun sığ kesimlerine kütleli olarak olağanın üzerinde ısı taşırlar. Bu nedenle, birçok jeotermal sistem genç plütonların yakınında, ya da genç volkanların çevresinde oluşmuştur. Kabuğun sığ kesimlerine sokulan magma ile kütleli olarak taşınan bu ısı, o derinlikler için bir sıcaklık anomalisi oluşturmakta, eşsıcaklık eğrileri yukarı doğru bükülmekte ve buralarda sıcaklık gradyanı yükselmektedir. Bu sıcaklık anomalisinin oluştuğu bölgelerde, yeraltısuyunun derince dolaşımına elverişli yapısal süreksizlikler de varsa, yerel ısı taşınması ve çevrimleri ile jeotermal sistemlerin oluşmasına da neden olurlar.

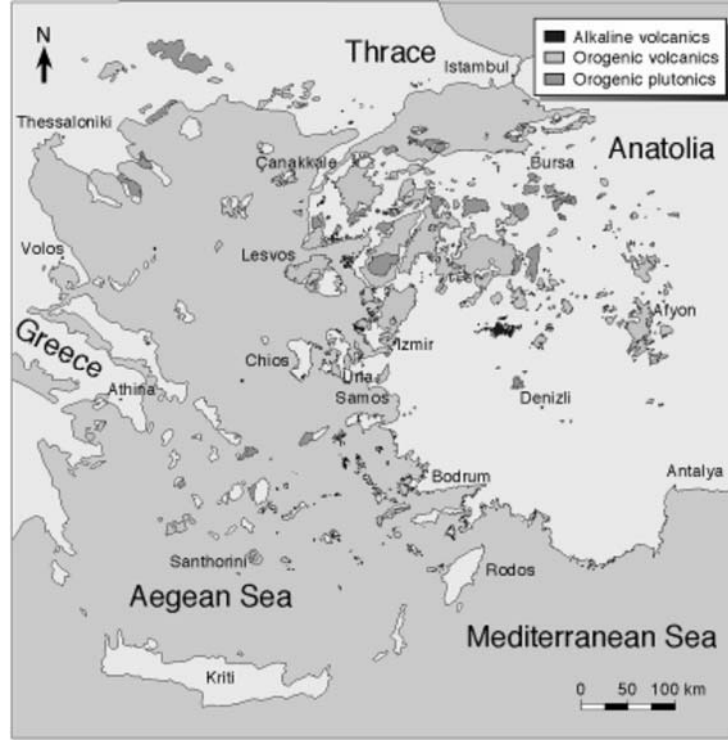
Ancak, unutulmaması gereken şey, bu ısı anomalilerinin de tarihsel bir olgu oluşu, sözkonusu magma sokulumlarının da soğuma sürecine bağlı olduğu ve belli bir süre sonra kabuğun bu kesiminin örnek bir sıcaklık dokusuna kavuştuğudur. Bu nedenle, bir yörede görülen volkanik ya da magmatik ürünler, yaşları sorgulanmadan ısı kaynağı olarak algılanamaz. 15 milyon yıl önce olmuş bir Miyosen volkanik etkinliğinin, bugün de ısı kaynağı olması olasılığı azdır. Bunun gibi, berk kabuğun dar yarıkları boyunca derinlerinden yükselebilen ve göreceli olarak daha düşük sıcaklıklı olan bazaltik bileşimli magma boşalılarının değil, kabuğun sığ

derinliklerindeki mağma odalarına yerleşmiş, uçucuları zengin ve görece olarak daha yüksek sıcaklıklı asit bileşimli mağmatik etkinliklerin ısı kaynağı olabileceği unutulmamalıdır (Öngür, 2005).

Batı Anadolu'da yaygın bir mağmatik aktivite yer almaktadır ve birimler son yıllarda yoğun olarak çalışılmış ve yaşlandırılmıştır (Doglioni, Agostini, Crespi, Innocenti, Manetti ve diğer., 2002; Ercan Satır, Kreuzer, Türkecan, Günay, ve diğer., 1985; Innocenti, Agostini, Vincenzo, Doglioni, Manetti ve diğer., 2005; Tokçer, Agostini, Savaşçın, 2005; Yılmaz, 1997) (Şekil 3.3 ve 3.4). Genelde, derinlik kayalarını oluşturan granitik plutonik birim granodiyorit ve monzonitlerden oluşmaktadır. Granitlerin yaşları 35-20 My olarak belirlenmiştir. Yılmaz (1989,1990), Miyosen-Pliyosen döneminde üç ayrı mağmatik dönemin yer aldığını, bunlardan ilk dönemi kalkalkalen (geç Oligosen-erken Miyosen), ve daha sonraki dönemi geçiş (orta-üst Miyosen) ve son dönemi ise genç olarak alkalin mağmanın (Plio-Kuvaterner) oluşturduğunu belirtmiştir. Innocentia ve diğer. (2005) ise, ilk olarak plütönik ve kalkalkalen volkanik kayalarla karakterize Geç Eosen-Orta Miyosen'de (37 My) bunu, Geç Miyosen-Erken Pliosen'de orta kalkalkalen karakterin takip ettiğini ve Pliyosen-Kuvaterner'de de iki farklı içerikle (kalkalkali ve Na-alkali bazalt) takip ettiğini belirtmektedir.



Şekil 3.3 Batı Anadolu'daki volkaniklerin yaşları (Tokçer, 2005)



Şekil 3.4 Batı Anadolu'daki Tersiyer mağmatiklerin yayılımı (Tokçaer, 2005).

### 3.5 Litolojik Birimlerin Tanıtımı

Çalışma alanı batısında Hasözbeke (2003), doğu güneydoğusunda Minareci (2005) ve diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda belirtilen birimlerin eşlenikleri ve MTA haritaları (Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7) göz önüne alınarak, Gediz bölgesinde başlıca dört kaya grubu yüzlek vermektedir. Bunlar;

- Menderes Masifi'nin en kuzey kesimlerine karşılık gelen Menderes Metamorfikleri,
- İzmir-Ankara Zonu,
- Karasal çökeller,
- Volkanik birimlerdir.

Paleozoyik yaşlı gnays ve Sarıcasu formasyonu ile temsil edilen Menderes Metamorfikleri, Mesozoyik yaşlı İzmir-Ankara Zonu kayaları tarafından tektonik olarak üzerlenir. İzmir-Ankara Zonu, çalışma alanında, Dağardı melanjının eşleniği

olan Muratdağı melanjı ve Budağan kireçtaşları ile temsil edilir. Menderes Metamorfikleri ve İzmir-Ankara Zonu kayalarını Senozoyik yaşlı karasal çökellerden oluşan Yeniköy formasyonu ve volkanik birimler üstler ve yanal geçişler sunar. Kuvaterner'e ait alüvyon ve traverten en genç oluşumlardır (Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7).

### **3.5.1 Gnays**

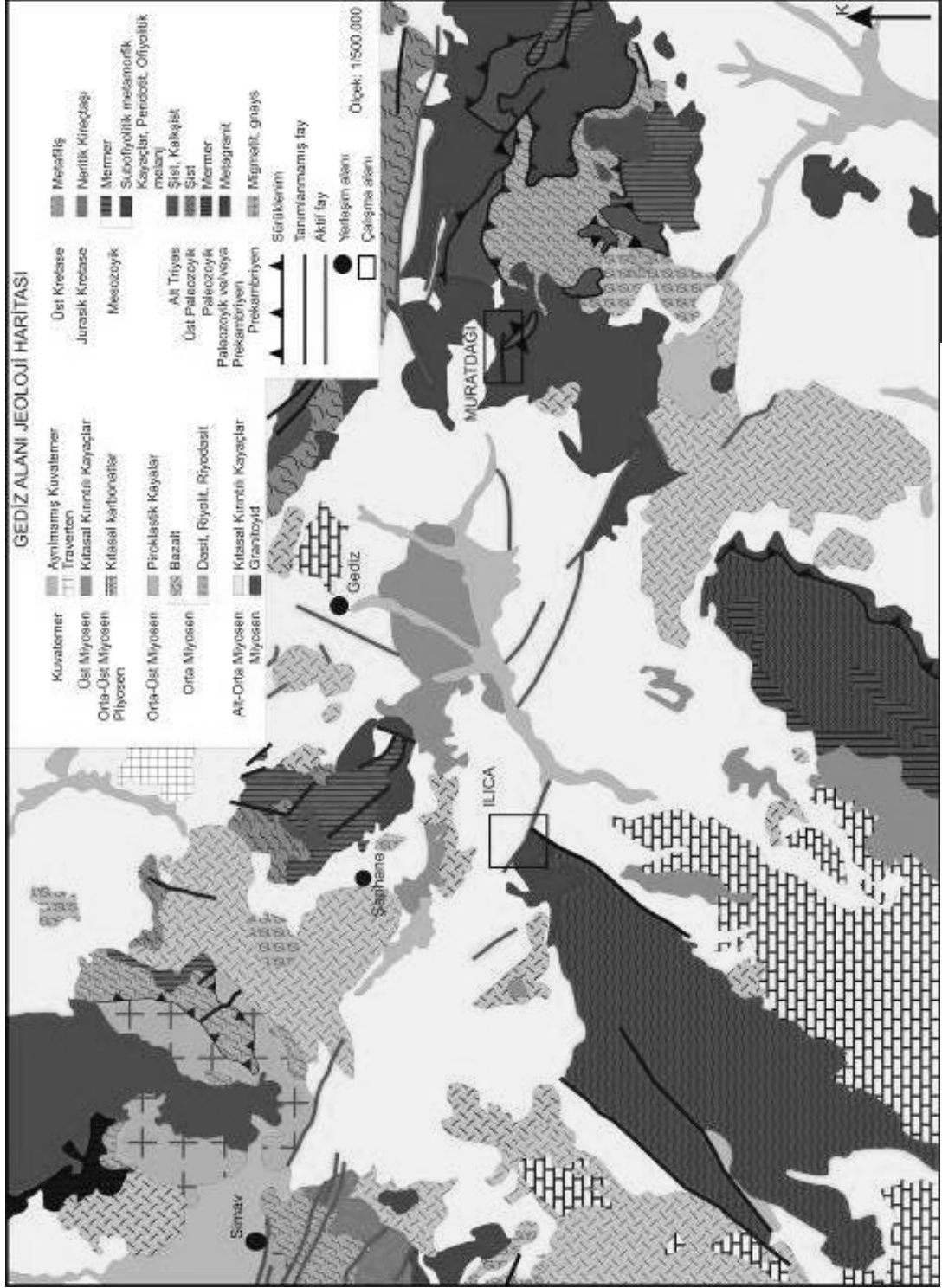
Ilıca jeotermal alanında temeli, güneyde metagranit ve batısında migmatit gnaysla temsil edilen gnayslar oluştururken; Muratdağı alanında şist ve kalkışistler oluşturmaktadır (Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7). Akdeniz ve Konak (1979b) yapmış oldukları çalışmada, temeldeki birimlerin Menderes metamorfiklerine ait olduğunu ve gnaysların üzerine şistlerin uyumsuzlukla geldiğini belirterek gnaysa Hersiniyen öncesi (Alt Paleozoik) yaşını vermişlerdir.

Menderes Masifi kayaçları genel olarak; granitik gözlü gnays, şistler ve migmatitler ile metavolkanik kayaçlardan oluşan çekirdek (Dora, Candan, Dürr ve Oberhänsli, 1990) ve çekirdek kayaçlarını çevreleyen Paleozoyik-Tersiyer zaman aralığında çökelmiş tortul kayaçların metamorfizması ile oluşmuş çeşitli şistler, fillit, kuvarsit ve mermerlerden (Dürr, 1975; Şengör ve diğer., 1984) meydana gelen kılıf kayaçları olarak tanımlanmaktadır (Hetzl, Ring, Akal ve Troesch, 1995).

Akdeniz ve Konak (1979b) ile Şengör ve diğer. (1984), gnays ve şist birimleri arasında bir uyumsuzluk ilişkisi olduğunu ileri sürmüşlerdir. Şistler ile gnayslar arasındaki bindirme fayı, çalışma sahasının KB'sında (kuzey batı) yer almaktadır (Oygür, 1997).

### **3.5.2 Sarıcasu Formasyonu**

Akdeniz ve Konak (1979b) tarafından adlandırılan birim Menderes Masifi'nin örtü şistlerinin üst seviyelerini oluşturmaktadır. Birimin ana litolojisi birbiriyle yanal ve düşey yönde geçişli merceksel mermer, kuvars, albit, klorit, muskovit ve serisitli şistlerden oluşmaktadır (Akdeniz ve Konak, 1979b; Oygür, 1997).



Şekil 3.5 Gediz jeotermal alanlarını kapsayan genel jeoloji haritası MTA (2002)'den uyarlanmıştır.

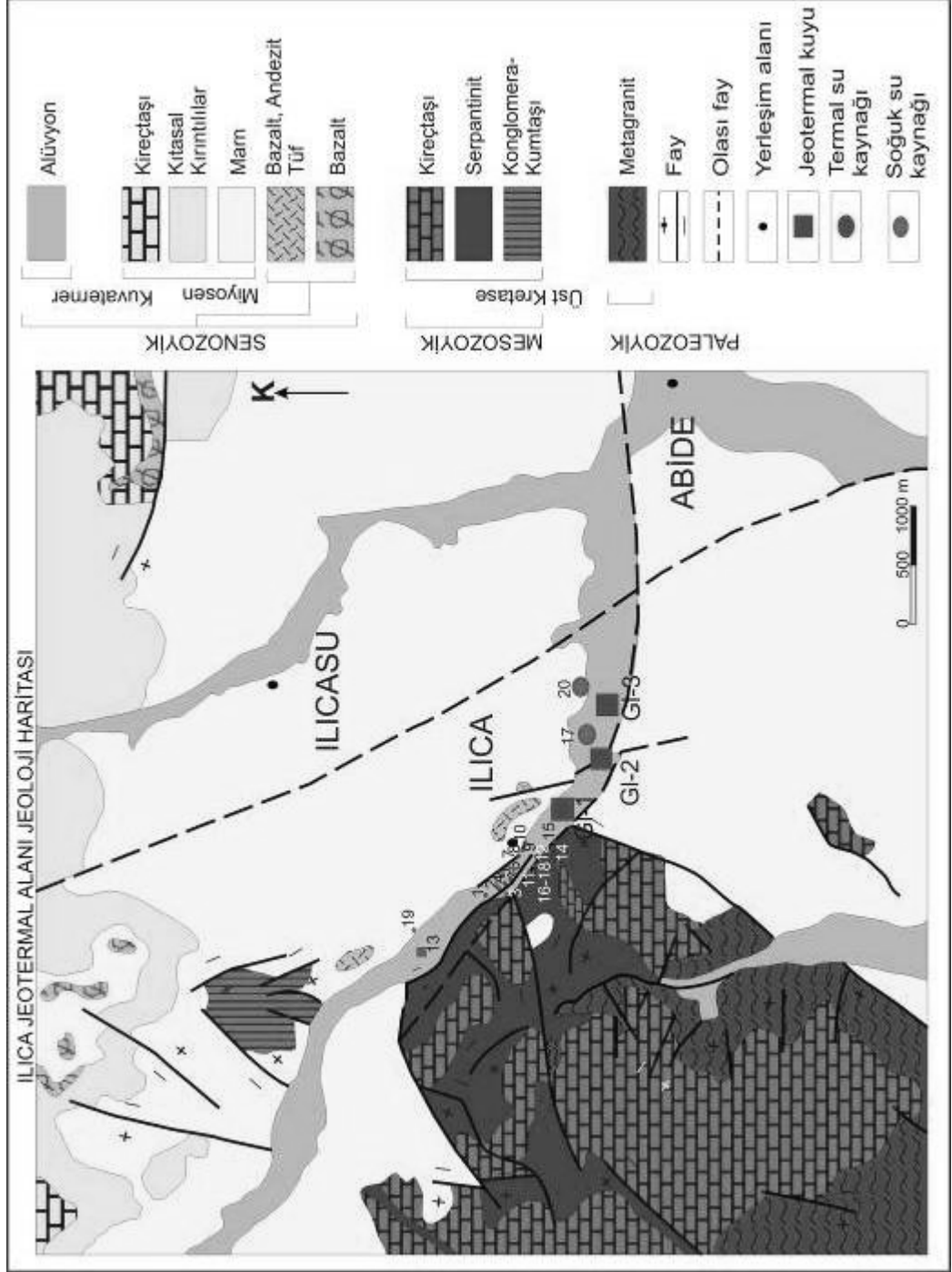
Kuvars ve albitli şistlerin, muskovit ve serisitli olanlarla ardalanması bantlı bir görünüm kazanmasına neden olmuştur (Oygür, 1997). Bu metamorfik birimler üstüne geçişli olarak gelen Budağan kireçtaşı ile stratigrafik ilişkisinden dolayı, şistlerin yaşı Üst Paleozoyik-Alt Triyas olarak kabul edilmektedir (Akdeniz ve Konak, 1979b). Çalışma alanı kapsamındaki Sarıcasu formasyonuna ait birimler, Muratdağı'nda ve Ilıca alanının kuzey ve güneyinde gözlenmektedir.

### **3.5.3 Budağan Kireçtaşı**

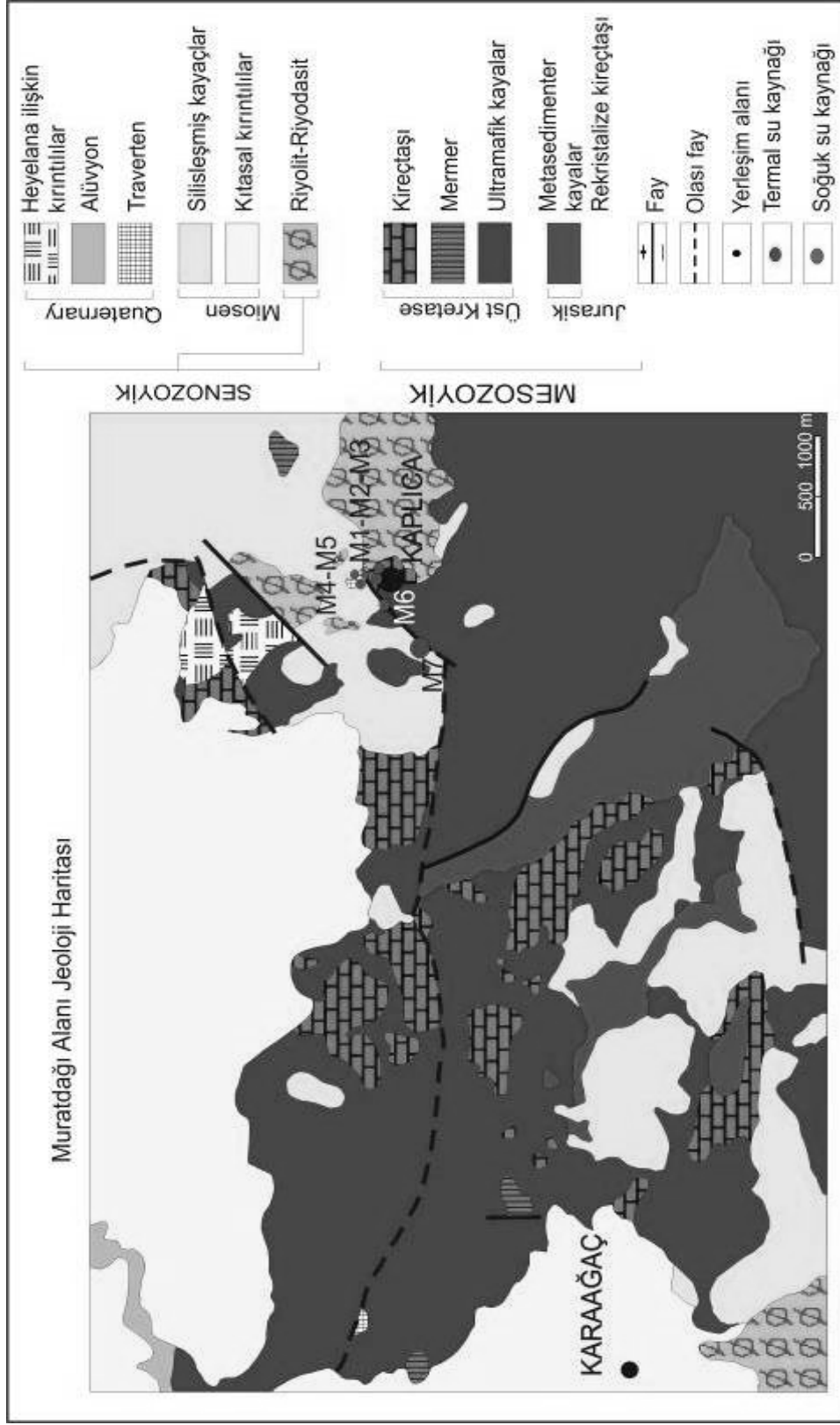
Bol ve iyi yuvarlanmış kuvars çakılları içeren bir çakıltaşı düzeyiyle başlayan birim, Menderes Masifi metamorfiklerini uyumsuz olarak örter. Alt kesimlerinde dolomitleşmiş olan kireçtaşında katmanlanma belirgin değildir. Akdeniz ve Konak (1979b) tarafından, Üst Triyas-Maestrihtiyen yaşını veren fosiller içerdiği belirtilmektedir. Birimi ilk kez tanımlayan Kaya'ya (1972) göre ise, Maestrihtiyen yaşındadır.

Birim, çalışma alanında Muratdağı, Şaphane Dağı ve Simav Bölgesinde yüzlek vermektedir (Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7). Kaya (1972) tarafından adlandırılan birim, araştırmacıya göre tabanda yaklaşık 75 m'ye ulaşan bir kumtaşı seviyesiyle başlamakta ve kalın katmanlı kireçtaşıyla devam etmektedir. Birim, oldukça sert ve iyi dayanımlı ve genellikle kaba tanelidir. Sık çatlaklı ve kıvrımlanmış olan kireçtaşı, çoğunlukla ikincil kalsit damarlarıyla kesilmiştir ve bol karstik boşluk içermektedir. Birim içerisinde yer yer izlenen dolomitler, genellikle koyu gri ve açık gri renklerde, orta-iri kristallidir ve genellikle damar görünümlü iri taneli kalsitle doldurulmuş oldukça kırıklı bir yapıya sahiptir.





Şekil 3.6 Ilica jeotermal alanı genel jeoloji haritası, MTA (1996)'dan uyarlanmıştır.



Şekil 3.7 Muratdağı jeotermal alanı genel jeoloji haritası, MTA (1996)'dan uyarlanmıştır.

Kaya (1972), dolomitleşmenin tektonizmaya ilişkili olarak geliştiğini savunurken, Akdeniz ve Konak (1979a) ise, dolomitleşmenin herhangi bir kurala bağlı olarak gelişmediğini belirtmektedir.

#### **3.5.4 Muratdağı Melanjı**

Bingöl (1977) tarafından adlandırılan ofiyolitik karmaşık, ultramafik, çökel ve volkanik kayalardan oluşmaktadır. Melanj çalışma alanında, Muratdağı'nın ve Ilıca alanının kuzey ve batısında yüzlek vermektedir. Bingöl (1977), karmaşığın içindeki çörtlü kireçtaşı bloklarında Senomaniyen yaşını veren fosiller saptamış ve melanjın yerleşiminin Senomaniyen-Paleojen aralığında olduğunu belirtmiştir. Özcan vd. (1988), Muratdağı Melanjı'nın oluşumunun Orta Maestrihtiyen'e kadar sürdüğünü belirtmişlerdir. Akdeniz ve Konak (1979)'a göre Muratdağı Melanjının bölgesel eşleniği olan Dağardı Melanjı'nın yerleşimi ise, Geç Maestrihtiyen-Erken Eosen arasında gerçekleşmiştir.

#### **3.5.5 Yeniköy Formasyonu**

Çalışma sahasında, geniş alanlarda yüzlek vermektedir. Orta Miyosen yaşı ile belirlenmiş olan birimi, Ercan, Dinçel, Metin, Türkecan, ve Günay, (1978) «Yeniköy formasyonu», Akdeniz ve Konak (1979a) ise «Kızılbük formasyonu» olarak adlandırmışlardır. Birim; çakıltası, kumtaşı, kiltası, silttaşı, marn, kil ve kireçtaşı birimlerinin ardalanmasından oluşmaktadır. Söz konusu akarsu malzemesi birimleri toplam 700 metre kalınlıktadırlar. Yatakların uygun yerlerinde düzgün katmanlı çökeller olarak gelişmiş düzeylerin yanı sıra, yer yer düzlemsel ve tekne biçiminde çapraz katmanlanmalar, laminalanma, oygu-dolgu yapıları, kuruma çatlakları, akıntı izleri ve canlı eşelemeleri (biyoturbasyon) de gözlenir.

### 3.5.6 Volkanik Birimler

Simav bölgesindeki bir çalışmaya göre, Orta-Üst Miyosen yaşlı volkanik kayalar kalk alkali niteliktedir. 500-600 m kalınlık veren tüfler; gri, pembe, beyaz, yeşilimsi, sarımsı renklerde ve dasitik, riyodasitik ve riyolitik tüflerden oluşmaktadır. Lavlar ise; andezitik, dasitik, riyodasitik ve riyolitik bileşimdedir. Yer yer volkan bacalarına yakın yörelerde hidrotermal kökenli silisli oluşuklar çatlakları doldurmuştur (Ercan ve diğer., 1978). Akdeniz ve Konak (1979a), tüfleri «Civandağı tüfleri», lavları ise «Akdağ volkanitleri» olarak tanımlamaktadır. Ercan ve diğer. (1978) tüm volkanitleri «Karaboldere volkanitleri» ve Bingöl (1977) ise, "Karacahisar volkanitleri" olarak adlandırmıştır.

Bölgedeki ilk volkanik evreden sonra, olasılıkla Alt Pliyosen yaşlı toplam 200 m kalınlıktaki ve yeniden akarsu-gölsel ortamlarda oluşmuş, konglomera, kumtaşı, tüfit, kıltaşı ve marn ardalanmalı birimler izlenmektedir Formasyonu, Akdeniz ve Konak (1979a), Hisarcık formasyonu; Ercan ve diğer. (1978) ise, Ahmetler formasyonu olarak adlandırmışlardır.

Bu formasyonu, olasılıkla Orta-Üst Pliyosen'de ikinci bir volkanik evre izlemektedir. Bu evrede, bazaltik lavlar Yeniköy formasyonuna ait gölsel kireçtaşlarını üstlerler. Alkali kökenli bu bazaltlar çalışılan bölgenin dışında, Kula, Uşak ve Batı Anadolu'nun pek çok yerinde irili ufaklı yüzleklerle yaygındırlar. Ercan ve diğer (1978) bu evreyi "Payamtepe Volkanitleri" olarak tanımlamışlardır. Bu formasyon, genellikle kızılımsı turuncu, yer yer gri-beyaz renklerde, gevşek, kireç, kil, tuf çimentolu ve orta-kalın katmanlanmalıdır.

Çalışma alanındaki üçüncü evre volkanizması, koyu siyah renkli bazaltik lav akıntıları, Simav'ın kuzeyinde Naşa ve Karacaören köyleri arasında gözlenmekte olup, Akdeniz ve Konak (1979a) tarafından Naşa bazaltı olarak tanımlanmışlardır. Alkali bazaltik nitelikteki bu kayalar, Batı Anadolu'daki benzeri birçok örnekte olduğu gibi (Foça, Urla, Samurlu ve Gediz) gaz boşluklarının ve gözeneklerinin ikincil karbonat ve silis (kalsedon-opal) ile dolmuş olması ile belirgindir. Naşa bazaltı yine Batı Anadolu'daki benzeri alkali bazaltik türler gibi bir rift volkanizması

ürünü olup, Simav grabeni içinde (kenarında) yer alır. Alt Kuvaterner yaşlı bu bazaltlar, yine alkali karakteri belirgin Kula bazaltlarının birinci evresi olan «Burgaz volkanitleri» (Ercan, 1981) ile eşlenebilir. Burgaz volkanitlerinde, 1,1 milyon yıllık bir K/Ar yaşı saptanmıştır (Borsi, Ferrara, Innocenti ve Mazzuoli,1972).

### **3.5.7 Hisarcık Formasyonu**

Yersel olarak ince bir çakıltaşı düzeyi ile başlayan gösel "Hisarcık formasyonu"; yeşil renkli marn, kiltası, tuf ve kireçtaşı ardalanmasından oluşmakta ve bor oluşuklarını kapsamaktadır (Akdeniz ve Konak, 1979a). Birim çalışma alanında geniş yüzlekler vermekte ve bazaltlar tarafından kesilmektedir. Birime, Akdeniz ve Konak (1979a) tarafından Orta-Üst Miyosen-Pliyosen yaşı verilmiştir.

### **3.5.8 Alüvyon ve Traverten**

Çalışma alanında, alüvyon düşük kotlarda akarsu yataklarında traverten ise Ilıca ve Muratdağı jeotermal kaynakları çevresinde gözlenmektedir.

## **3.6 Tektonizma**

Tektonik olarak en önemli yapısal zon, Simav Grabeni ve Simav Fayı'dır. Simav Fayı; Simav Nehri boyunca, batıda Sındırgı'dan doğuda Muratdağı'na kadar uzanır. Güneyde, Simav Dağı'nın dikliği çeken dikliğiyle sınırlanan çöküntü ovası, 1950'lerde kurutulmuş olan Simav Gölü tarafından işgal edilmiştir. Simav Fayı tek bir kırık değil de, ana kırığa paralel bir çok basamak faydan oluşmaktadır (Oygür, 1997). Naşa bazaltlarına ait alkalin lav akıntıları, fay boyunca uzanırlar. Simav Dağı basamak faylanmaya bağlı olarak bloklara ayrılan graben yapısının tipik bir örneğidir.

Konak (1982), Simav Fayı'nın kuzey bloğundaki metamorfik zonların güney bloğa nazaran doğuya doğru kaydığını göstermiştir. Bu durumda, graben oluşumu öncesinde sağ yanal atımlı bir doğrultu fayı sözkonusudur. Simav fayının

doğrultu atımının, Simav'ın batısında, Orta-Üst Miyosen yaşlı Kızılbük Formasyonu'nda makaslama kırıklarına neden olduğu dikkate alındığında fayın, en azından, Geç Miyosen sırasında hâlâ etkin olduğu söylenebilir (Oygür, 1997). Bu veriler, Şengör ve diğer. (1984) tarafından belirtildiği gibi Geç Miyosen'e kadar Batı Anadolu'da hüküm sürmüş olan D-B sıkışma rejimiyle uyumludur. Oygür (1997), bir doğrultu atımlı fay boyunca yatay hareketin, fay yüzeyindeki kıvrım geometrisine bağlı olarak genişleme havzalarını türetebileceğini ve böylece Simav Grabeni'nin, Simav Fayı'nın doğrultu alımındaki genişlemenin sonucu olarak oluştuğunu belirtmektedir.

Çalışma alanında güncel olarak Gökmenoğlu vd.'nin (2005) hazırlamış oldukları hidrojeoloji haritasından (Şekil 4.2) ve uydu görüntülerinden (Şekil 4.1) yararlanarak doğrultularına göre; D-B Simav fayı, KD-GB, KB-GD doğrultulu faylar bulunmaktadır.

## **BÖLÜM DÖRT**

### **HİDROJEOLOJİ**

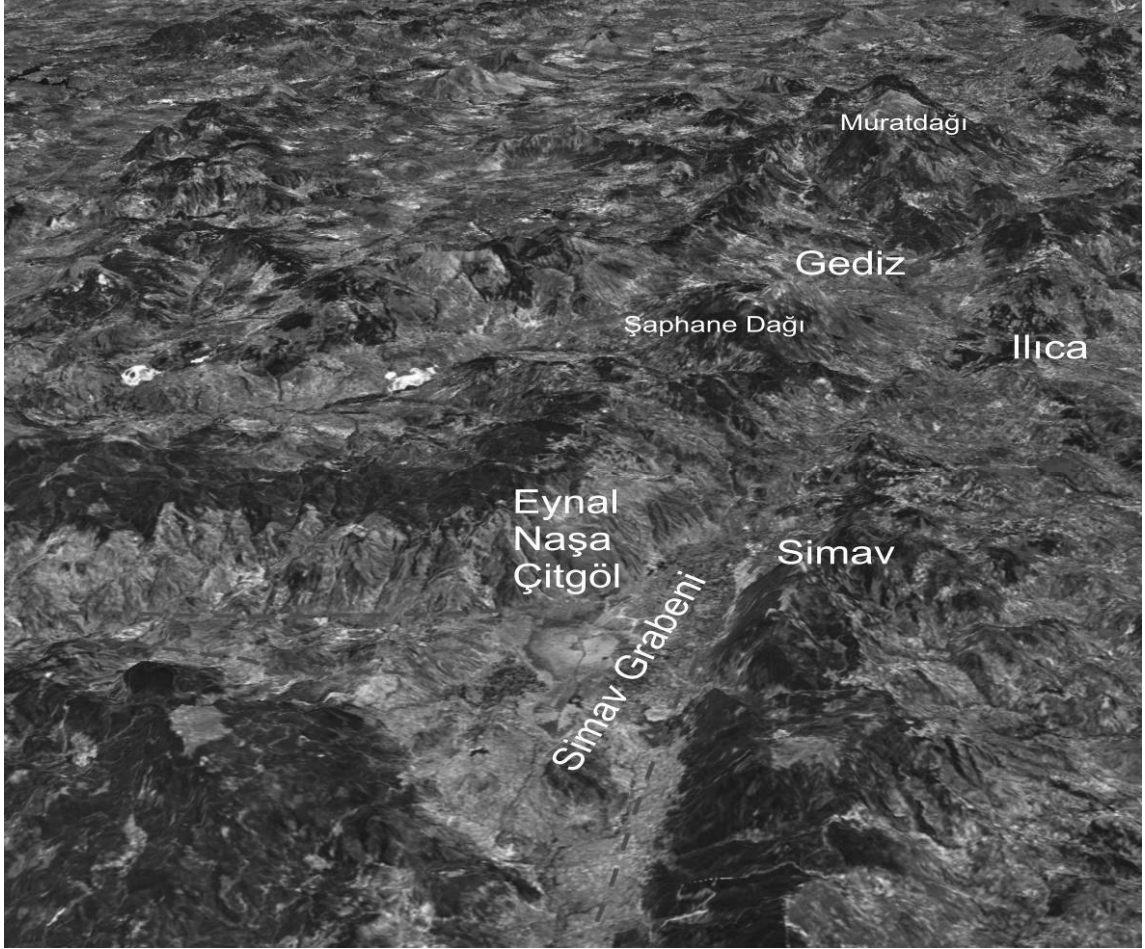
Bu bölümde, çalışma alanı ve çevresinin hidrojeolojik özellikleri ve su örnekleme noktalarının konumları ile ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Birimlerin hidrojeolojik özellikleri, Gemici ve Tarcan'ın (2002) ve Gökmenoğlu ve diğer. (2005) yapmış oldukları çalışmalardan ve Bölüm 3'de anlatılan jeolojik geçmişten yararlanılarak değerlendirilmiş ve çalışmalar sırasında bölgenin uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Çalışma alanlarındaki; sıcak ve soğuk kaynaklar ile dere ve sondajlar örneklenerek değerlendirilmiştir.

#### **4.1 Giriş**

Ülkemiz jeotermal kaynaklar açısından zengin ve buna elverişli jeoloji ortamlarına sahiptir. Jeotermal sistemler, yerkabuğunun üst kesimlerinde ısı akısının yüksek, yeraltısuyunun derinlere süzülüp ısındıktan sonra yeniden yükselebileceği geçirimli zonların bulunduğu ve jeotermal akışkanların konveksiyon ile dolaşım ısı biriktirebileceği kapanların oluşabildiği kesimlerinde gelişmektedir. Batı Anadolu'da Ege bölgesindeki yaygın faylanma, ısı akısının göreceli olarak yüksek olduğu bölgeler yaratmıştır. Simav Grabeni içinde Simav (Eynal, Çitgöl ve Naşa) ve Gediz (Ilıca ve Muratdağı) jeotermal alanları bulunmaktadır (Şekil 4.1).

Jeotermal sistemin oluşabilmesi için, akışkanların yer kabuğunun içinde dolaşabilmesi gerekir. Bu dolaşım, kaya ortamında akışkan dolaşımına elveren bir geçirimliliğin varlığını gerektirir. Bu ise, çoğunlukla ikincil çatlak geçirimliliği ile sağlanır. Yerkabuğunun uzak ya da yakın geçmişinde etkisi altında kaldığı tektonik gerilmelerle oluşan her türlü yapısal süreksizlik, eklem, dilinim, yapraklanma, tabaka, makaslama, fay, sürüklenme, düzlem ve zonlarının oluşturduğu birbiri ile ilintili ağlar bu geçirimliliğe olanak sağlar. Bunların tanınması, rezervuarın bilinmesi, üretken zonların

yer ve özelliklerinin doğru biçimde belirlenebilmesi ve kaynağın doğru modellenebilmesi açısından yaşamsal önem taşır (Öngür, 2005).



Şekil 4.1 Simav Grabeni içinde yer alan Simav (Eynal, Çitgölü ve Naşa) ve Gediz (Ilica ve Muratdağı) jeotermal alanları (Worldwind).

Derinlik ve metamorfik kayalarda birincil gözeneklilik varsa da çok azdır. Bu birimlerde yeraltı suyu dolaşımı, çatlaklanma, faylanma veya bozuşma yolu ile gelişmiş açıklıkların bulunmasına bağlıdır. Çatlaklar; tektonik hareketler, örtü kayanın aşınmasından dolayı basınç azalması, kaya kütlelerinin soğuması sırasında büzülmesi ve bölgesel tektonik gerilmelerin neden olduğu basma ve çekme kuvvetleri ile gelişebilmektedir (Fetter, 2001). Metamorfik kayalar jeotermal sistemlerin oluşumları açısından, ülkemizde önemli bir yere sahiptir. Metamorfik kuşakların, başka yerlere göre iki kata kadar daha yüksek ısı akısına sahip olduğu bilinmektedir (Fetter, 2001). Öngür



(2005), göreceli olarak genç, örneğin Tersiyer'de oluşan metamorfizma ortamları, yüksek ısı akısı barındırmaktadır ve metamorfizma sonrasında bu masifler hızla yükselmesine bağlı olarak aşınma ve sıyrılma faylarıyla tüketildikleri için daha derinlerdeki daha sıcak kesimleri yeterince soğuyamadan yüzeye yaklaşarak ısı gradyanının yükselmesini oluşturduğunu belirtmektedir. Bu tür kaya ortamları ilksel olarak yeterince geçirimli olmamakla birlikte, masifin yükselmesine eşlik eden sıyrılma fay zonları ve oluşan graben fayları boyunca oldukça yüksek ikincil geçirimlilik kazanarak da jeotermal sistemlerin gelişmesine olanak sağlarlar. Üstelik metamorfik kayaların çoğu, hidrotermal alterasyonlarla geçirimlilik kazanacak şekilde etkilenir (Öngür, 2005)

Karbonat kayalarda ise, kayacın kırıntılı olması durumunda birincil gözeneklilik yüksek olabilir. Katmanlanma düzlemleri, birincil gözeneklilik ve geçirgenliği yükseltebilir. Kireçtaşları ve (daha çok da) dolomit az asidik suda çözünebilir. Karbonat kayaların çözünme mekanizmaları küçük çatlakları genişleterek daha büyük çatlakları oluşturmaya uygundur. Karbonat akiferlerindeki ikincil geçirgenlik; katmanlanma düzlemleri, kırıklar ve fayların çözünme yoluyla genişlemesi sonucu oluşur (Ford ve Ewers, 1978). Çözünme miktarı, sistemde hareket halindeki yeraltı suyunun miktarına ve (özellikle mevcut karbonat kayaca göre) doygunluk derecesine bağlıdır ancak, akış hızından hemen hemen bağımsızdır (Palmer, 1984). Karbonat kayalar yüksek geçirimliliği bulunan verimli akiferlerdir.

Volkanik kayalar yüzeyde kristallendiğinden gözeneklilikleri, lav akıntısı özellikleri ve piroklastik çökme ile ilişkilidir. Lav akıntıları ve cüruf gibi kayaların hidrolik iletkenliği oldukça yüksektir. Genç bazalt akıntılarının iletkenliği yaşlı olanlardan daha yüksek olma eğilimindedir (Fetter, 2001).

Akışkanların derinlere inip hızla yükselebilecekleri büyük fayların varlığı, özellikle farklı dönemlerde oluşmuş, farklı yönlenmeli fayların kesiştiği zonlar, dolaşıma büyük kolaylık sağlar. Bazen bu farklı kırık sistemlerinden biri yüzeyde izlenemeyebilir, gizli

de kalabilir. Ancak, bölgesel jeoloji bilgileri ve özellikle de jeofizik ölçülerle bunların varlık, duruş ve yerleri öngörülebilir. Metamorfik birimlerin yükselişlerine bağlı olarak özellikle Menderes Masifinde olduğu gibi hızlı bir yük kaybı, birimde olağan dışı yapısal süreksizliklerin ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Sıyrıma fayları, çekme gerilmesi ortamında oluşmuş olan graben fayları ve düşeye yakın duruşlu, aşırı geçirimli breşleşme zonları; büyük yanal atımlı faylar, makaslama gerilmesi altında oluşmuş zonlar, içinde oluştukları kayanın özelliklerine göre geçirimsiz yanal süreksizlikler ya da geçirimli zonları oluşturabilmektedir. Bu açıdan yapısal süreksizliklerin; eski mi yeni mi güncel mi oldukları, uzanımları, derinlikleri, bu zonda geçirimlilik ya da geçirimsizleşme oluşup oluşmadığı, başka zonlarla kesişip kesişmediği ve benzeri açılardan ayrıntılı olarak incelenmesi gerekir. Bu yapısal süreksizliklerle oluşan horst, graben, antiklinal, monoklinal, vb yapıların tanınması ve uygun bir biçimde modellenmesi de, sıcaklık yoğunlaşmasını sağlayan ısı çevrimlerini kestirmek, rezervuar geometrisini anlamak ve saha sınırlarını öngörmek açısından önemlidir. Ülkemizdeki jeotermal sistemlerin dağılımının öncelikle genç ve bölgesel ölçekli yapısal çizgilerin üzerinde yoğunlaşmakta olduğu dikkati çekmektedir (Öngür, 2005).

#### **4.2 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri**

Çalışma alanında yeraltı suyu iletimi ayrıntılı olarak bilinmemesine rağmen Gökmenoğlu ve diğer. (2005) tarafından yapılan hidrojeoloji haritasından ve birimlerin jeolojik ve yapısal özelliklerinden faydalanarak ortaya konmaya çalışılmıştır. Çalışma alanı ile ilgili hidrolik bir model yoktur.

Gökmenoğlu ve diğer. (2005) göre, çalışma alanı ve yakın çevresinde geçirimli birim olarak; Gnays, Budağan kireçtaşı, Üst Kretase kireçtaşları, Hisarcık Formasyonu ve alüvyon birimleri vardır. Yarı geçirimli birimler; Sarıcasu Formasyonu, Yeniköy Formasyonu (konglomera ve kumtaşı seviyeleri) ve volkaniklerdir. Geçirimsiz birimler; Dağardı melanji (eşleniği Muratdağı melanji), Yeniköy Formasyonu ve volkaniklerdir (Şekil 4.2).

Menderes masifinin kuzey sınırında bulunan ve çalışma alanında temeli oluşturan gnays ve şistlerden oluşan masif birimlerinin, geçmişinde etkisi altında kaldığı tektonik gerilmelerle oluşan (yapraklanma, makaslama, fay, sürüklenme düzlem ve zonlarının oluşturduğu birbiri ile bağlantılı ağlar) yapısal süreksizlikler içerdiği ve bu süreksizliklerin akışkanın taşınımında birincil rol oynadığı düşünülmektedir. Bu doğrultuda Gökmenoğlu ve diğer. (2005), birimin yüzeye yakın bölgelerinde ve çatlaklarında bol miktarda yeraltısuyu varlığı gözlemlediklerini bildirmektedir. Masif, Neotektonik aktivitelerin sonucu olarak kazandığı geçirimsizliğinden ilk rezervuar olarak tanımlanabilir.

Budağan, Üst Kretase ve Sarıcasu formasyonuna ait mermer ve kireçtaşları yüksek geçirimsizliği bulunan üst rezervuarlar olarak düşünülmektedir. Sulardan alınan kimyasal veriler ve kaynaklar çevresindeki kalsit çökelimleri bu birimlerle olan ilişkilerin sonuçları olarak görülmektedir. Sarıcasu formasyonuna ait mermer ve diğer birimlerin, çatlak ve faylanma ile ilgisi dışında geçirimsiz olduğu ve ilk örtü birimler olarak değerlendirilebilir.

Volkanik birimler bölgede geniş yayılımlar sunmaktadır. Hidrojeoloji haritasında geçirimsizlik özellikleri ile gösterilen birimlerin özellikle son evredeki alt Kuvaterner yaştaki bazaltların yüksek geçirimsizlikte olduğu ve Simav bölgesinde yer yer 90 m (EJ-1 kuyusu, Tarcan, 2004) kalınlık ve geniş yayılım özellikleri bulunmaktadır.

Jeotermal alanlarda geçirimsiz birimler olarak, Muratdağı melanjının eşleniği olan Dağardı melanji, Batı Anadolu'da yer yer 700 m kalınlıklara ulaşan Yeniköy formasyonunun kil ve siltli seviyeleri, Hisarcık formasyonunun kıltaşı ve marnlı seviyeleri söylenebilir. Bu duruma ek olarak Menderes masifi birimlerinin, kırıklanma gibi etkilerin az olduğu ya da kırıklanma olmuş olsa bile basınç etkisi ile daralan kırıkların bir tür ters etki ile geçirimsiz zonlar oluşturduğu düşünülmektedir.

Ilıca alanında Simav Fayı'nın KB-GD uzanımını kesen, özellikle KD-GB yönlü fayların kesiştiği zonlar ki şu an bütün kaynak çıkışları bu zondadır, dolaşımın en önemli çıkış noktasıdır. 20-30 l/sn debi ile boşalım yapan kaynaklar Dağardı melanji ile Yeniköy formasyonu dokanağından boşalım yapmaktadırlar.

Hidrojeoloji (Şekil 4.2) ve diğer jeolojik haritalardan (Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3) görüldüğü gibi morfolojik olarak Simav Grabeni çöküntü alanı içinde bulunan Ilıca alanının, beslenme yolu olarak kuzey batıdaki Şaphane dağı ve güneyindeki Gnays biriminden beslenmesi muhtemeldir. Muratdağı alanının ise, yükseltisi itibarı ile kendi içinde beslenmesi olduğu düşünülebilir.

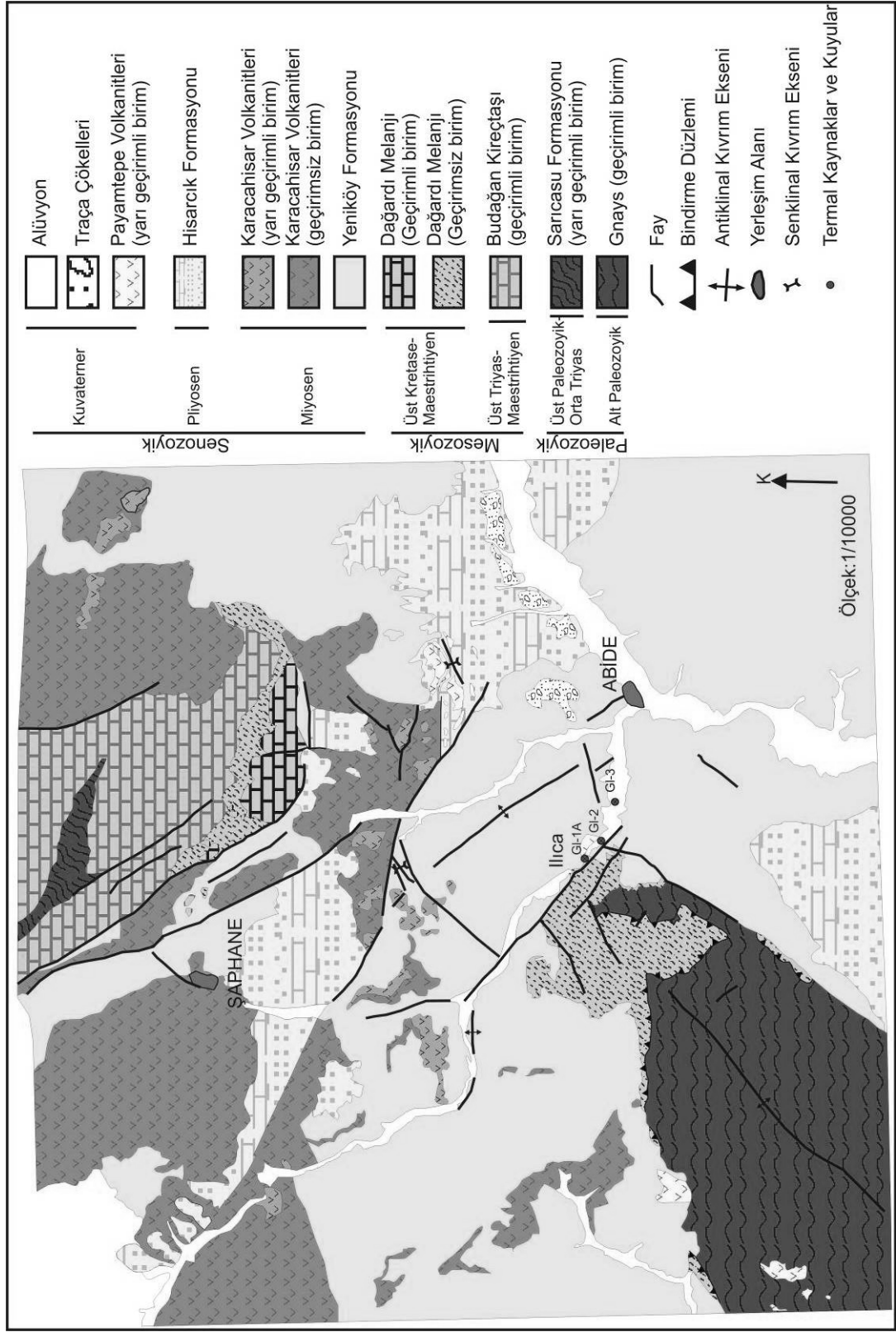
Ilıca alanında MTA tarafından açılan sondajlar alttaki Tablo 4.1'de açıklamalı olarak verilmektedir.

Tablo 4.1 MTA tarafından açılan sondajlar (Türkiye Jeotermal Envanteri, 1996)

Kuyu no	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
GI-1	1995	6	76
GI-1/A	1995	301	77,8
GI-2	1996	542	97
GI-3	1997	752	78

### 4.3 Su Örneklemeye Noktaları Tanımları, Ölçüm ve Analiz Sonuçları

Numune örneklemeleri maddi ve teknik imkânlar doğrultusunda mevsimsel olarak 3 ayda bir izleme çalışması olarak planlanmıştır. Özellikle kış aylarında ulaşım güçlükleri nedeni ile tarihsel sapma ve Derbent deresindeki debi artışına bağlı olarak bazı su noktalarının soğuk sular altında kalması ve termal alandaki bazı sulardan yararlanmak için kaynağın ana şebekeye bağlanması nedeni ile örneklemeye yapılamamıştır. Çalışmada



Şekil 4.2 Ilıca jeotermal alanı hidrojeolojisi haritası (Gökmenoğlu ve diğer. 2005'den uyarlanmıştır).

A- harfi ile başlayan örnekler Ilıca, M- harfi ile başlayanlar ise Muratdağı alanını temsil eden örneklerdir. Ilıca alanında 20, Muratdağı alanında 7 adet örnekleme noktası seçilmiş ve su numunesi örnekleme sırası ile;

1. 12 Temmuz 2003,
2. 28 Ekim 2003,
3. 18 Mart 2004,
4. 5 Ağustos 2004

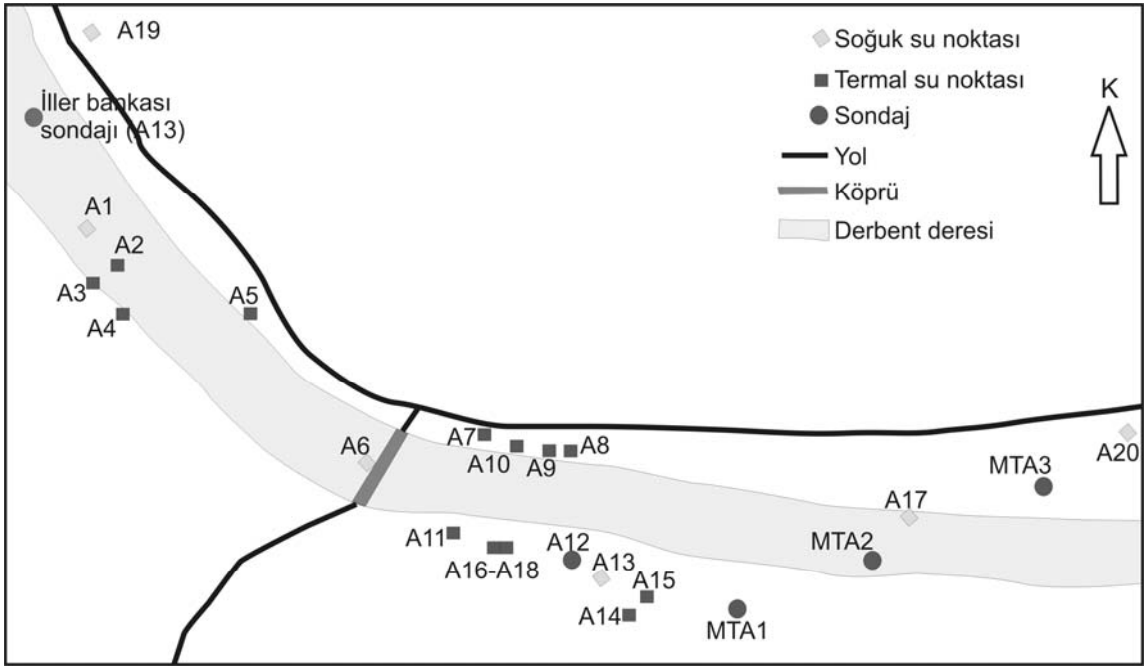
tarihlerinde yapılmıştır. Örnek noktalarının jeotermal alanlardaki dağılımları şekil 4.3' Ilıca alanı ve şekil 4.4 Muratdağı alanı olarak verilmiştir.

18 Mart 2004 tarihinde yapılan örneklemeden Ilıca alanından; A3, A7, A12 ve A13 Muratdağı alanından; M2 ve M6 numaralı örneklerin analizleri ile 5 Ağustos 2004 tarihindeki tüm örneklerin analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Bölümü Jeokimya laboratuvarında ve ACME Analitik laboratuvarları LTD'de yapılarak analizlerin kontrolü sağlanmıştır. Örnekleme yapılan analizlerin; fiziksel ve major elementler analiz sonuçları Tablo 4.6'de ve iz element sonuçları ise Tablo 4.7'de verilmektedir.

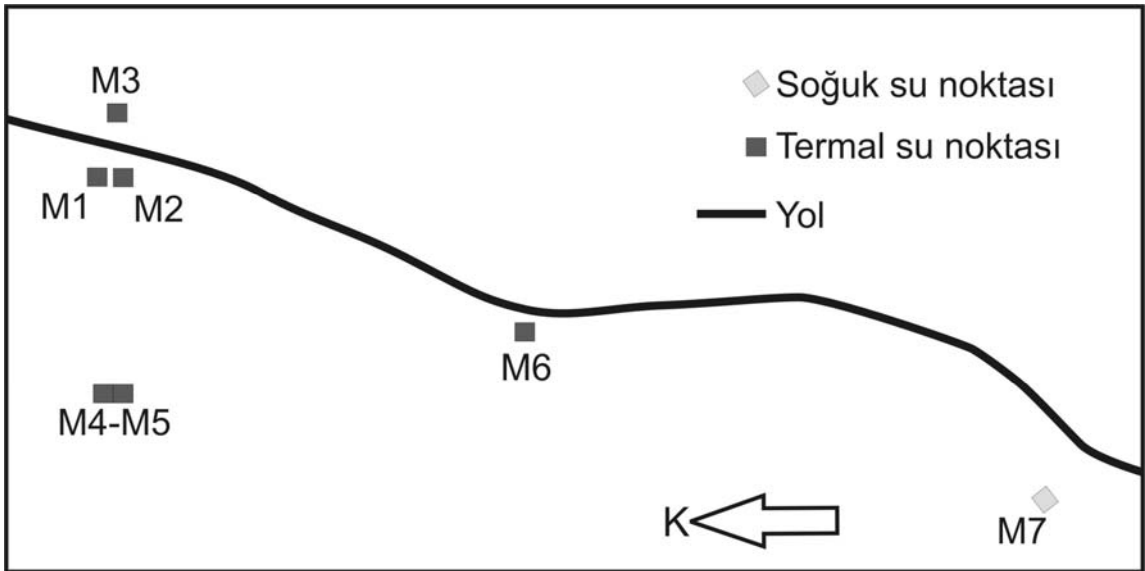
Önceki çalışmalardan elde edilen analizlerin sonuçları Tablo 4.8'de (Güneş, 2000) ve Tablo 4.9'da (MTA, 1996) verilmektedir. Çalışma alanındaki bazı örnekleme noktalarının fotoğrafları Şekil 4.5 ve 4.6'de verilmektedir.

#### ***4.3.1 Soğuk Sular***

Bölgede yeraltı ve yüzey sularını temsilen Ilıca alanında 6 adet, Muratdağı alanında ise bir adet soğuk su örnekleme noktası seçilmiştir (Tablo 4.2). Ilıca alanında soğuk sular, çeşme ve Derbent deresinin çeşitli noktalarından alınarak termal suyun dere suyu üzerindeki fiziksel ve kimyasal kirlilik etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır.



Şekil 4.3 Ilıca alanı örnek noktalarının dağılımları (kroki olarak).



Şekil 4.4 Muratdağı alanı örnek noktalarının dağılımları (kroki olarak).

### 4.3.2 Termal sular

Ilıca ve Muratdağı jeotermal alanları yakın çevresinde yapılan araştırmalar ile belirlenen çok sayıda düşük debilerde kaynak bulunmaktadır. Ilıca jeotermal alanında bulunan kaynaklardan ve iki adedi kuyu olmak üzere 15 adet örnekleme, Muratdağı

jeotermal alanında ise 6 adet örnekleme noktası seçilmiştir. Seçilen noktaların ortak özelliği örnek almaya yeterli derecede debi, fiziksel ve kimyasal ölçümler için örnek alabilme kolaylığı gibi kıstaslar gözetilmiştir. Ilıca jeotermal alanında MTA tarafından açılan üç adet sondaj kuyusundan sadece bir tanesinden bir kez örnekleme yapılabilmektedir.

Tablo 4.2 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk su noktalarının özellikleri (A- Ilıca alanı, M- Muratdağı alanı örneklerini temsil etmektedir).

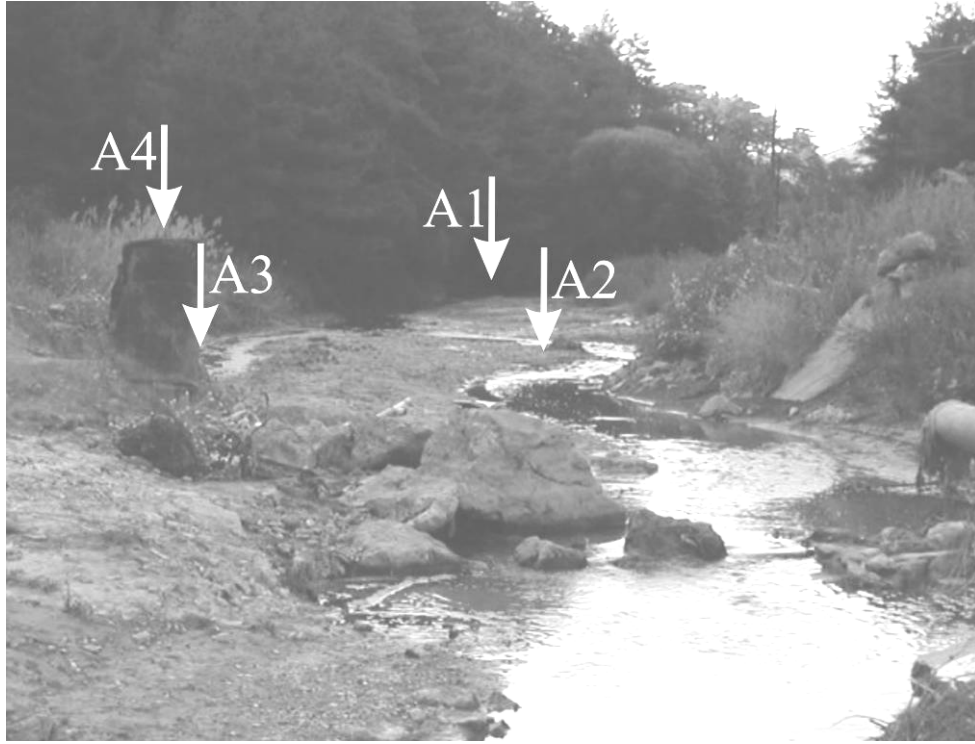
No	Su Örnek Noktası	Koordinat (Doğu-Kuzey) Grid UTM Datum European 1950	Adı ve tanımı
1	A1	695302 4312900	Dere ilk nokta termal su karışimsız dere suyu
2	A6	695439 4312785	Köprü altından dere ikinci nokta
3	A13	695648 4312697	İçme suyu için kullanılan halka açık çeşme
4	A17	696048 4312483	Dere suyu son nokta (doğuda) sulama kanalı
5	A19	695331 4313218	Bayram Baytur olarak anılan batıdaki çeşme
6	A20	697199 4312170	Ilıca alanının 1 km doğusundaki çeşme
7	M7	726473 4315092	Muratdağı jeotermal alan girişinde çeşme

Ilıca ve Muratdağı jeotermal alanlarına ait sıcak ve soğuk suların istatistiksel verileri tablo 4.4 ve 4.5’de verilmektedir. İstatistiksel verilere göre her iki alanda sularda yüksek oranda karışımlar olduğu görülmektedir.



Tablo 4.3 Gediz jeotermal alanlarından alınan termal su noktalarının özellikleri (A- Ilıca alanı, M- Muratdağı alanı örneklerini temsil etmektedir)

No	Su Örnek Noktası	Koordinat (Doğu-Kuzey) (UTM, European 1950)	Adı ve tanımı (sondaj ve çeşme olarak belirtilenlerin dışındakiler kaynaktır)
1	A2	695333 4312840	Dere içinde batıdaki ilk nokta
2	A3	695334 4312827	Dere kenarı 1
3	A4	695345 4312819	Dere kenarı 2
4	A5	695348 4312812	Yol altındaki borudan
5	A7	695562 4312781	Kahve önu
6	A8	695616 4312746	Mide suyu
7	A9	695621 4312747	Göz suyu
8	A10	695591 4312748	Dilek suyu
9	A11	695535 4312746	Sağlık ocağı önu
10	A12	695644 4312704	G1-1 numaralı MTA sondajı
11	A14	695662 4312678	Otel inşaatı
12	A15	695690 4312691	Sarıköz
13	A16	695594 4312717	Karakazan
14	A18	695594 4312717	Karakazan çeşme
15	M1	727199 4315332	Hacethane
16	M2	727206 4315316	Kocahamam
17	M3	727228 4315315	Kocahamam üst kısmında çeşme
18	M4	727155 4315330	Hamam alt kısmındaki havuz güney kaynağı
19	M5	727155 4315330	Hamam alt kısmındaki havuz kuzey kaynağı
20	M6	727012 4315222	Kızılay havuzu
21	MTA1	695788 4312659	G1-1/A numaralı MTA sondajı
22	MTA2	696001 4312471	G1-2 numaralı MTA sondajı
23	MTA3	697000 4312120	G1-3 numaralı MTA sondajı



Şekil 4.5 Derbent deresi ve örnek noktalarından bazıları.



Şekil 4.6 A12 numaralı MTA tarafından (6 m) açılan sondaj.

Tablo 4.4 Ilıca jeotermal alanı sıcak ve soğuk sularının istatistiksel verileri.

Bileşen	Ilıca Sıcak Suları			Ilıca Soğuk Suları		
	En düşük	En büyük	Ortalama	En düşük	En büyük	Ortalama
Na (mg/l)	411,5	681,8	541,50	2,0	448,2	129,9
Ca (mg/l)	67,5	319,3	163,50	31,6	279,6	119,0
Mg (mg/l)	53,4	96,6	68,30	53,5	139,8	89,1
Cl (mg/l)	62,0	106,0	92,20	7,0	74,0	31,4
SO <sub>4</sub> (mg/l)	747,0	1688,8	990,20	21,0	952,7	405,0
pH	6,12	8,03	6,72	6,7	8,6	7,3
Eh (mv)	-59,0	120,2	54,50	3,7	99,3	62,4
T (°C)	35,2	77,0	66,54	7,5	45,4	20,6
Ec (25°C, µS/cm)	2309,0	4220,1	3387,0	844,0	3252,0	1642,6
Li (mg/l)	0,591	1,744	1,014	0,005	1,229	0,267
Sr (mg/l)	1,0	10,70	4,36	0,4	7,7	2,1
Fe (mg/l)	0,055	3,095	0,555	0,0	2,254	0,382
Cu (mg/l)	0,002	0,023	0,011	0,0	0,02	0,008
Ni (mg/l)	0,004	0,185	0,081	0,0	0,132	0,048
F (mg/l)	2,4	5,6	3,97	0,1	4,7	1,014
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	629,7	1205,7	994,3	195,2	927,5	629,6
Al (mg/l)	0,006	9,7	0,373	0,005	0,82	0,256
As (mg/l)	0,074	0,171	0,145	0,005	0,136	0,035
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	73,7	138,8	103,2	23,7	84,0	49,3
B (mg/l)	0,82	10,97	6,49	0,34	7,61	3,12

Tablo 4.5 Muratdağı jeotermal alanı sıcak ve soğuk sularının istatistiksel verileri.

Bileşen	Muratdağı Sıcak Suları			Soğuk Su
	En düşük	En büyük	Ortalama	
Na (mg/l)	2,7	14,8	7,4	1,50
Ca (mg/l)	172,3	661,3	446,7	20,2
Mg (mg/l)	26,6	114,2	79,15	60,7
Cl (mg/l)	3,0	14,0	6,5	10,1
SO <sub>4</sub> (mg/l)	408,2	1751,3	1324,5	12,0
pH	6,73	7,97	7,15	7,1
Eh (mv)	-61,4	109,9	47,67	25,8
T (°C)	20,30	43,0	35,2	10,1
Ec (µS/cm)	871,3	2297,5	2075,3	425,0
Li (mg/l)	0,004	0,012	0,008	1,1
Sr (mg/l)	3,3	20,3	12,5	0,1
Fe (mg/l)	0,018	1,1	0,367	0,58
Zn (mg/l)	0,005	0,368	0,08	0,01
Cu (mg/l)	0,001	0,017	0,006	0,001
Ni (mg/l)	0,006	0,119	0,052	0,01
F (mg/l)	0,2	0,8	0,504	0,10
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	95,2	170,8	120,5	335,6
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	23,70	53,7	36,6	23,7
B (mg/l)	0,04	1,63	0,4	0,03

Tablo 4.6 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların fiziksel ve majör element analiz sonuçları (\* arazide ölçülmüş değer).

No	Tarih	Sıcaklık (°C)	pH	Ec (µs/cm)	Eh (mv)	Do mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	*CO <sub>3</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	*HCO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Denge
A1	12.07.2003	23,0	7,9	1183,0			26,7	7,8	99,8	108,4	25,0		403,2		346,8	2,4
	28.10.2003	11,7	8,2	1216,0		2,1	25,8	7,1	175,1	93,9	25,0		458,7	537,0	359,7	2,2
	18.03.2004	8,0	8,6	892,0	73,7		25,8	4,2	71,1	53,5	25,0	22,8	195,2	321,0	230,0	-1,5
	05.08.2004	17,8	6,9	1141,0	36,4		36,0	11,0	104,9	94,5	22,3			406,5	375,3	-0,8
A2	12.07.2003	63,0	6,4	2830,0			411,5	51,5	76,8	92,8	84,0		749,1		747,0	0,8
	28.10.2003	61,1	6,3	2630,0			443,2	45,6	181,7	70,4	84,0		910,1	976,3	771,6	1,2
	18.03.2004															
	05.08.2004															
A3	12.07.2003	65,0	6,6	3250,0			543,2	7,0	149,0	82,6	106,0		999,0		896,0	0,0
	28.10.2003	64,2	6,4	2990,0			524,7	55,4	198,0	64,3	106,0		1017,5	1049,5	853,9	1,8
	18.03.2004	60,3	6,7	3110,0	67,8		517,9	73,6	144,2	71,7	95,0		1033,1	1031,2	935,8	-2,0
	05.08.2004	63,7	6,1	3000,0	94,5		554,0	76,8	138,3	72,5	71,3			1043,4	994,7	-1,5
A4	12.07.2003	65,0	6,6	3120,0			497,1	59,6	125,2	83,1	91,0		925,5		856,7	0,9
	28.10.2003	66,5	6,3	2850,0			503,4	56,7	184,9	64,9	91,0		1054,1	994,6	843,2	2,0
	18.03.2004	65,2	6,5	2930,0	78,7		475,0	67,3	103,7	73,0	92,0		986,5	1019,0	854,3	-5,0
	05.08.2004															
A5	12.07.2003	72,0	6,6	2750,0			437,8	51,5	129,5	78,7	81,0		817,4		786,5	1,9
	28.10.2003	67,8	6,4	2630,0			443,2	48,8	191,5	65,5	81,0		1019,9	945,8	750,6	3,0
	18.03.2004	67,5	6,7	2740,0	79,1		431,3	33,7	116,2	85,0	80,0		947,4	995,8	795,0	-4,0
	05.08.2004	67,2	6,7	3500,0	120,2		453,5	68,6	150,4	79,2	62,6			948,2	910,8	-1,4

Tablo 4.6 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların fiziksel ve majör element analiz sonuçları (üstten devam) (\* arazide ölçülmüş değer).

No	Tarih	Sıcaklık (°C)	pH	Ec (µs/cm)	Eh (mv)	Do mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	CO <sub>3</sub> mg/l *	HCO <sub>3</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l *	SO <sub>4</sub> mg/l	Denge
A6	12.07.2003	34,2	6,9	1888,0			220,4	24,5	93,6	95,5	49,0		661,2		521,2	-0,7
	28.10.2003	45,4	7,2	2610,0			418,4	42,3	178,4	71,6	49,0		932,1	927,5	727,9	3,5
	18.03.2004	11,7	8,1	969,0	91,9		63,9	12,6	78,6	61,8	25,0		374,5	379,5	251,8	-0,3
	05.08.2004	42,3	6,8	2300,0	29,7		325,2	48,5	117,5	70,8	51,8			825,0	665,1	-3,2
A7	12.07.2003	68,0	7,3	3040,0			490,5	62,3	91,7	75,1	95,0	67,2	709,1		952,2	-3,8
	28.10.2003	75,4	7,4	2800,0			503,4	61,9	181,7	62,6	95,0		980,9	1025,1	913,5	-1,1
	18.03.2004	72,0	6,7	2870,0	79,4		467,1	61,0	116,2	70,9	87,0		964,5	1048,3	877,3	-6,2
	05.08.2004	75,8	6,5	3160,0	50,2		571,7	82,5	155,1	68,4	73,4			1071,5	1102,5	-3,3
A8	12.07.2003	72,5	6,6	3230,0			569,6	69,0	167,7	66,3	102,0		898,2		1020,0	1,9
	28.10.2003	69,8	6,9	3120,0			585,0	68,4	230,6	54,6	102,0		1066,3	1043,4	1183,9	-1,6
	18.03.2004	69,2	7,5	3300,0	77,9		560,2	84,1	156,7	76,7	100,0		597,8	1071,5	1260,8	2,2
	05.08.2004	72,8	6,5	3220,0	9,1		605,5	86,8	149,1	64,0	77,8			1071,5	1093,5	-2,0
A9	12.07.2003	72,5	7,5	3240,0			622,3	70,4	88,1	65,4	106,0	48,0	785,0		1016,4	0,0
	28.10.2003	69,8	6,7	3160,0			563,7	68,4	201,3	54,6	106,0		1061,4	1080,0	922,6	1,1
	18.03.2004	68,0	8,0	3350,0	81,8		575,0	79,9	114,0	64,3	100,0		962,1	1077,6	960,0	-3,1
	05.08.2004	71,6	7,4	3280,0	22,3		681,8	90,7	145,2	67,4	94,0			1067,8	1135,5	1,1
A10	12.07.2003	65,0	7,0	3250,0			602,5	70,4	126,0	69,5	105,0		971,1		1013,6	0,0
	28.10.2003	63,9	7,0	3180,0			574,3	68,4	246,9	55,2	105,0		1059,0	1055,6	1060,4	1,4
	18.03.2004	65,0	7,2	3310,0	84,0		578,6	79,9	147,3	65,1	106,0		1077,1	1051,9	1688,8	-16,6
	05.08.2004	72,8	6,9	3210,0	58,1		659,8	86,9	149,4	66,1	90,0			1072,7	1120,5	0,4

Tablo 4.6 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların fiziksel ve majör element analiz sonuçları (devam) (\* arazide ölçülmüş değer).

No	Tarih	Sıcaklık (°C)	pH	Ec (µs/cm)	Eh (mv)	Do mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	CO <sub>3</sub> mg/l *	HCO <sub>3</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l *	SO <sub>4</sub> mg/l	Denge
A11	12.07.2003	71,0	6,8	3190,0			589,4	73,0	111,5	71,0	105,0		915,0		988,7	0,5
	28.10.2003	71,0	7,3	3100,0			434,0	69,7	302,4	57,0	105,0		1005,3	951,9	935,8	3,0
	18.03.2004	65,0	7,3	3220,0	86,1		564,3	37,9	118,0	59,3	100,0		967,0	1061,7	982,3	-3,8
	05.08.2004	71,7	6,8	3240,0	105,2		663,0	87,2	132,3	65,7	90,0			1011,7	1138,5	0,3
A12	12.07.2003	77,0	7,2	4220,0			602,5	75,2	67,5	71,0	104,0		905,4		886,9	1,5
	28.10.2003	74,9	7,1	3100,0			450,0	65,1	256,7	70,9	104,0		1051,6	1061,7	946,0	-0,2
	18.03.2004	77,0	7,1	3290,0	87,3		571,0	79,9	138,4	61,0	103,0		1052,6	1205,7	1059,6	-4,2
	05.08.2004	75,8	7,6	3230,0	-22,7											
A13	12.07.2003	19,0	7,5	1263,0			26,0	8,4	152,9	87,0	24,0		468,3		352,5	1,4
	28.10.2003	19,3	7,2	1780,0			30,0	15,0	233,9	97,4	24,0		683,2	707,8	474,5	-1,8
	18.03.2004	14,8	7,4	1264,0	96,3		29,8	4,2	122,4	94,1	24,0		293,8	491,8	455,1	-0,3
	05.08.2004	21,7	6,7	2150,0	68,0		264,3	40,8	150,8	84,4	44,0			789,1	611,2	-0,6
A14	12.07.2003	66,0	6,7	3260,0			589,4	73,6	119,3	72,7	104,0		970,1		1000,8	-0,3
	28.10.2003	74,3	6,7	2309,0			546,0	70,3	243,7	55,8	104,0		1054,1	1043,4	1054,7	0,4
	18.03.2004															
	05.08.2004	74,4	7,3	3290,0	-32,0		661,0	86,0	139,2	65,8	95,0			1023,4	1153,5	0,6
A15	12.07.2003		6,8	3230,0			582,8	74,4	154,4	71,4	101,0		965,6		1022,2	1,1
	28.10.2003	70,2	7,2	3130,0			581,4	71,6	318,8	56,4	101,0		1045,5	1055,6	998,7	7,6
	18.03.2004															
	05.08.2004															

Tablo 4.6 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların fiziksel ve majör element analiz sonuçları (devam) (\* arazide ölçülmüş değer).

No	Tarih	Sıcaklık (°C)	pH	Ec (µs/cm)	Eh (mv)	Do mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	CO <sub>3</sub> mg/l *	HCO <sub>3</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l *	SO <sub>4</sub> mg/l	Denge
A16	12.07.2003		6,7	3300,0			580,1	73,0	145,5	65,9	62,0		1149,2		815,6	2,9
	28.10.2003	42,4	7,0	3090,0			514,1	63,2	214,3	64,3	62,0		1071,2	1012,9	950,2	2,3
	18.03.2004	37,5	6,8	3050,0	89,7		481,4	71,5	228,3	96,6	90,0		1101,6	1159,3	997,9	-0,3
	05.08.2004	43,8	6,7	2700,0	13,0		436,8	61,6	142,5	82,4	63,4			876,2	913,8	-1,2
A17	12.07.2003		7,7	2450,0			371,9	46,1	112,7	96,6	71,0	43,2	727,0		706,7	1,4
	28.10.2003	34,9	7,7	2930,0			358,1	63,8	279,6	68,6	71,0		876,0	921,4	900,4	1,3
	18.03.2004	15,2	8,3	1078,0	96,6		65,6	6,3	114,0	65,1	27,0		411,3	405,2	372,8	-3,8
	05.08.2004	37,5	7,5	2660,0	3,7		448,2	64,2	190,8	87,0	74,0			866,4	952,7	2,3
A18	12.07.2003															
	28.10.2003	68,9	6,8	3130,0		8,9	424,2	72,3	319,3	56,2	70,0		1045,5	1080,0	1014,3	0,1
	18.03.2004	71,0	6,9	3210,0	87,4		556,6	79,9	123,5	53,4	101,0		1064,9	629,7	1053,9	2,3
	05.08.2004	68,2	6,7	3200,0	-3,1		635,6	87,5	157,7	61,3	91,0			1030,0	1099,5	0,5
A19	12.07.2003															
	28.10.2003	15,8	7,5	1014,0		6,6	40,2	5,9	41,1	136,0	70,0		768,6	805,4	60,1	-4,1
	18.03.2004	11,0	7,4	1029,0	99,3		2,0	8,4	31,6	112,8	10,0		773,6	812,8	68,3	-12,6
	05.08.2004	21,1	7,2	1014,0	41,8		2,5	0,7	39,6	139,8	7,0			828,6	21,0	-2,2
A20	12.07.2003															
	28.10.2003	16,8	8,0	882,0			37,7	2,4	87,6	84,9	70,0		527,0	530,9	156,8	-3,3
	18.03.2004	7,5	8,1	1004,0	99,2		35,8	9,7	78,3	97,3	13,0		612,0	662,6	188,5	-5,0
	05.08.2004	22,8	7,6	844,0	12,1		18,0	2,6	73,3	81,8	16,6			499,1	110,9	2,2
MTA1	05.08.2004	35,2	6,6	3030,0	-59,0		623,2	79,6	224,0	59,1	95,0			1019,0	1190,1	1,1

Tablo 4.6 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların fiziksel ve majör element analiz sonuçları (devam) (\* arazide ölçülmüş değer).

No	Tarih	Sıcaklık (°C)	pH	Ec (µs/cm)	Eh (mv)	Do mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	CO <sub>3</sub> mg/l *	HCO <sub>3</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l *	SO <sub>4</sub> mg/l	Denge
M1	12.07.2003	43,0	7,2	2070,0			9,3	3,0	495,3	89,9	8,0		117,1		1344,8	3,9
	28.10.2003	42,2	7,0	2050,0			8,9	3,0	409,1	70,4	8,0		92,7	140,3	1094,2	2,6
	18.03.2004	42,1	7,2	2060,0	105,2		4,0	2,9	460,7	89,9	5,0		107,7	109,8	1587,6	-6,7
	05.08.2004	42,9	6,9	2060,0	-61,4		6,6	3,7	511,0	86,8	3,0			101,3	1680,8	-5,3
M2	12.07.2003	41,5	6,9	2060,0			9,3	2,9	510,9	80,1	6,0		107,4		1364,8	3,5
	28.10.2003	41,5	7,0	2050,0			8,9	3,1	487,0	70,4	6,0		102,5	103,7	1386,3	-0,3
	18.03.2004	41,0	7,2	2070,0	103,4		4,1	3,2	661,3	85,8	5,0		115,1	106,2	1751,3	2,5
	05.08.2004	41,5	6,7	2050,0	-32,6		7,2	3,8	502,5	88,2	4,0			96,4	1676,5	-5,6
M3	12.07.2003	24,0	7,9	1645,0			8,0	1,9	339,3	89,9	7,0		124,4		982,7	4,2
	28.10.2003	24,0	8,0	1811,0			8,7	2,5	383,2	63,1	7,0		104,9	115,9	1062,5	1,1
	18.03.2004	20,3	8,0	785,0	105,5		2,7	1,7	172,3	26,6	7,0		161,6	170,8	408,2	-2,5
	05.08.2004	24,1	7,6	1530,0	2,5		6,2	2,4	308,3	52,2	4,0			136,7	919,8	-3,6
M4	12.07.2003	34,7	7,4	1936,0			9,4	2,4	417,3	109,4	14,0		126,9		1181,3	5,6
	28.10.2003	37,2	7,8	2060,0		5,0	8,9	3,0	481,1	80,0	14,0		87,8	122,0	1477,3	-3,3
	18.03.2004	35,3	7,4	1963,0	107,7		4,2	3,1	561,6	73,4	5,0		129,7	140,3	1551,4	-0,6
	05.08.2004	36,1	7,2	2020,0	-54,4		6,5	3,0	434,4	67,4	3,0			111,1	1369,2	-4,9
M5	12.07.2003	37,3	7,6	2070,0			8,8	2,9	468,0	114,2	6,0		151,3		1278,1	6,3
	28.10.2003	37,2	7,3	1996,0		3,6	9,2	3,1	463,5	69,2	6,0		102,5	115,9	1272,4	1,2
	18.03.2004	36,6	7,9	2040,0	108,7		5,2	3,0	449,6	84,6	5,0		116,3	108,6	1469,9	-4,6
	05.08.2004	37,2	7,8	2080,0	-3,5		6,6	3,6	562,9	96,6	6,0			95,2	1746,7	-2,3



Tablo 4.6 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların fiziksel ve majör element analiz sonuçları (devam) (\* arazide ölçülmüş değer).

No	Tarih	Sıcaklık (°C)	pH	Ec (µs/cm)	Eh (mv)	Do mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	CO <sub>3</sub> mg/l *	HCO <sub>3</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l *	SO <sub>4</sub> mg/l	Denge
<b>M6</b>	12.07.2003	31,7	7,0	1844,0			9,0	2,7	390,0	99,6	7,0		126,9		1128,0	4,3
	28.10.2003	31,7	7,0	1940,0		5,5	14,8	2,9	422,3	67,9	7,0		112,2	128,1	1224,6	-0,8
	18.03.2004	31,2	7,2	1940,0	109,9		5,2	2,8	424,0	76,3	7,0		132,2	114,7	1567,8	-11,2
	05.08.2004	31,3	6,8	1898,0	81,0		7,0	2,7	404,4	67,8	8,0			120,8	1261,3	-7,8
<b>M7</b>	12.07.2003	12,0	7,4	433,0			4,1	0,3	2,7	69,5	6,0		351,4		20,3	-2,6
	28.10.2003	10,0	7,5	433,0		10,4	15,1	0,4	11,2	59,5	6,0		322,1	341,7	21,4	-0,8
	18.03.2004	7,2	7,6	420,0	106,5		1,2	0,2	17,3	51,8	5,0		300,1	330,7	31,3	-4,9
	05.08.2004	10,1	7,1	425,0	25,8		1,5	0,4	20,2	60,7	10,1			335,6	12,0	1,8

Tablo 4.7 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların iz element analiz sonuçları.

No	Si mg/l	F mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l	Al µg/l	As µg/l	B mg/l	Ba µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Li µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sr mg/l	Zn µg/l
A1	9,6	0,3	328,2	142,0		0,87		18,1	22,4	4,1	190,9	42,0	21,8	40,1	10,0	3,8	22,4
	13,2	0,3	190,7	98,0		0,51		15,4	8,8	14,7	69,3	27,8	20,0	<4,1	56,4	0,4	235,1
	9,1	0,2	58,9	705,0		0,30		15,1	3,4	10,8	143,7	30,4	54,2	59,4	56,8	0,7	48,2
	10,7	0,2	145,9	55,0	8,5	0,44	54,4	0,2	1,3	2,4	129,0	52,9	36,1	4,1	0,7	1,4	10,4
A2	34,4	3,5	900,9	472,0		7,22		16,7	27,4	4,2	1717,4	736,4	241,4	43,6	17,3	8,7	37,4
	34,8	3,5	589,0	305,7		5,76		4,0	24,3	16,3	726,4	642,9	88,9	4,1	69,7	1,4	537,4
A3	26,5	4,3	972,8	175,5		8,32		34,4	32,3	3,0	345,7	969,7	181,9	154,1	16,2	9,5	23,3
	28,3	4,4	710,8	193,6		7,27		16,1	12,2	15,2	78,0	590,5	36,2	16,2	55,8	1,8	166,9
	36,1	2,7	458,7	156,7	163,9	7,80	41,0	75,7	17,2	15,5	113,2	700,2	172,8	151,9	89,9	2,9	24,6
	38,9	3,2	531,2	150,0	144,1	6,38	51,8	11,4	2,2	5,7	263,0	1442,9	221,6	98,7	11,1	3,1	7,5
A4	27,0	4,1	844,5	81,7		5,62		39,6	40,1	4,2	277,0	873,4	182,9	161,4	12,3	9,4	24,6
	29,1	4,1	678,2	91,7		6,58		4,0	12,2	15,2	66,0	715,1	43,9	77,1	58,6	1,9	348,1
	37,3	2,8	508,9	125,3		7,80		83,2	24,1	12,9	121,9	773,6	67,2	171,7	89,9	3,0	22,5
						-											
A5	30,0	3,6	701,3	58,4		6,43		30,5	21,5	5,3	149,0	838,5	107,3	136,7	9,6	7,3	28,4
	33,2	3,5	656,3	71,3		6,58		16,1	15,2	15,2	60,0	629,8	32,9	89,3	75,3	1,6	630,5
	41,0	2,8	413,5	62,7		6,53		75,7	20,7	12,9	69,7	734,5	60,2	158,5	104,1	2,7	17,9
	45,4	2,7	400,7	28,0	103,8	8,42	47,5	7,1	<,5	5,5	55,0	1272,9	119,1	102,0	9,5	3,1	7,7

Tablo 4.7 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların iz element analiz sonuçları (devam).

No	Si mg/l	F mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l	Al µg/l	As µg/l	B mg/l	Ba µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Li µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sr mg/l	Zn µg/l
A6	17,4	1,6	455,7	186,3		3,76		27,8	30,5	4,2	548,0	377,4	153,8	54,5	11,9	5,8	22,5
	28,3	3,2	364,7	400,1		4,69		7,9	14,9	17,0	459,6	598,8	72,1	39,8	76,7	1,4	145,4
	14,0	0,3	80,0	673,6		-		75,7	31,0	14,4	148,1	74,9	62,7	72,6	80,5	1,0	24,6
	28,1	1,9	266,2	31,0	78,0	6,55	53,6	4,2	0,5	2,5	256,0	724,0	143,9	40,4	<,1	2,8	1,6
A7	33,0	4,0	573,1	49,7		6,91		29,6	24,4	3,9	119,6	981,8	57,9	134,5	9,5	8,7	13,3
	34,8	4,8	589,0	85,9		7,38		14,5	18,3	18,4	79,5	806,1	22,5	48,9	57,1	1,9	453,2
	46,7	3,2	423,7	94,0	103,5	6,43	40,6	79,4	31,0	15,6	139,3	783,4	53,0	184,9	85,2	3,1	17,4
	47,6	3,7	516,4	18,0	143,3	7,51	45,8	3,2	0,6	6,2	231,0	1611,5	61,2	77,0	9,7	3,1	10,3
A8	33,9	4,7	811,1	57,4		7,38		19,2	31,7	3,9	605,6	1098,0	50,1	69,3	10,6	9,5	14,2
	36,1	4,8	454,9	440,1		8,29		3,9	29,9	19,9	848,5	817,8	35,5	63,7	82,1	2,3	42,0
	48,3	3,7	470,1	31,3		7,48		90,8	41,4	16,9	487,7	843,7	49,4	112,3	61,5	3,3	17,4
	48,7	3,6	589,0	6,0	164,9	7,61	43,9	0,6	<,5	5,3	958,0	1631,4	53,9	25,9	9,4	2,8	1,8
A9	35,2	4,6	591,9	41,4		8,32		23,1	38,1	5,6	421,2	1170,5	44,5	72,7	11,1	9,4	57,3
	36,1	4,8	518,8	60,0		8,29		3,9	17,9	14,0	359,4	753,4	20,5	27,9	71,2	2,3	426,9
	49,9	3,8	318,0	31,3		8,01		94,6	37,9	16,9	470,3	854,4	47,0	105,7	80,5	3,3	18,4
	48,7	3,6	327,4	11,0	159,6	8,22	43,5	0,6	<,5	5,9	734,0	1743,7	47,0	24,6	11,0	1,9	6,2
A10	33,9	4,7	684,5	42,3		8,32		33,1	31,1	3,6	203,4	1055,6	51,1	69,6	14,8	9,4	17,5
	32,8	5,4	479,0	400,1		8,40		15,8	23,9	20,9	895,6	798,4	340,8	27,9	87,6	2,2	36,2
	44,2	4,0	366,0	15,7		8,12		79,4	41,4	17,8	505,1	840,2	48,2	85,8	61,5	3,9	20,0
	45,4	3,9	382,3	10,0	163,9	10,22	43,6	0,6	<,5	7,2	878,0	1742,4	52,4	25,5	11,3	2,4	10,1

Tablo 4.7 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların iz element analiz sonuçları (devam).

No	Si mg/l	F mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l	Al µg/l	As µg/l	B mg/l	Ba µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Li µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sr mg/l	Zn µg/l
A11	33,0	4,5	745,1	38,1		7,85		29,8	28,0	3,9	1279,2	1040,2	51,2	75,2	14,9	8,8	20,2
	31,6	5,6	504,4	1046,1		9,19		11,9	24,0	18,1	669,6	796,4	43,3	64,1	104,6	2,1	112,3
	43,8	4,0	321,9	15,7		8,64		71,9	41,4	15,3	479,0	822,6	49,4	79,2	85,2	2,8	18,4
	43,3	3,6	363,0	18,0	155,7	10,97	42,0	0,7	<,5	5,5	689,0	1690,0	49,4	31,3	10,4	1,9	9,3
A12	35,7	4,4	608,9	33,1		7,85		29,6	30,5	3,9	514,5	1035,7	46,8	69,1	13,6	8,8	21,5
	30,3	4,7	597,4	9702,7		9,41		11,8	23,9	18,9	1019,4	772,7	123,5	51,8	95,8	1,0	360,0
	44,6	4,2	393,8	78,3	154,1	8,12	38,0	75,7	48,3	16,1	391,9	857,9	44,6	112,3	80,5	3,3	18,4
A13	12,6	0,3	311,4	331,2		0,36		0,0	0,0	0,0	0,0	48,0	0,0	0,0		3,7	19,0
	16,9	1,0	344,7	820,2		2,01		3,9	29,9	19,9	789,6	257,6	20,5	4,0	87,6	1,2	59,6
	14,0	0,2	105,9	15,7	4,9	0,34	32,4	105,9	31,0	16,9	65,3	49,5	12,4	79,2	61,5	1,2	19,0
	29,1	1,1	343,1	6,0	25,5	5,37	28,0	0,0	2,1	4,6	0,0	567,9	0,7	10,7	0,2	2,1	39,5
A14	35,2	4,5	817,7	1304,1		7,07		29,2	54,9	3,8	358,7	1135,0	51,3	73,6	13,0	10,7	14,2
	32,4	4,5	675,0	500,1		8,74		15,8	29,9	18,0	530,3	888,6	26,9	99,6	93,1	2,2	35,2
	40,0	3,8	359,6	30,0	171,5	9,88	45,1	0,6	<,5	5,6	881,0	1725,1	55,1	25,3	10,9	3,3	3,3
A15	35,2	4,6	834,4	48,1		7,54		32,2	35,4	2,5	778,1	1081,7	66,2	73,8	18,7	10,7	14,9
	31,6	4,0	570,0	1065,7		8,29		4,1	31,2	16,7	726,2	807,1	41,6	<4,1	88,7	2,3	249,3

Tablo 4.7 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların iz element analiz sonuçları (devam).

No	Si mg/l	F mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l	Al µg/l	As µg/l	B mg/l	Ba µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Li µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sr mg/l	Zn µg/l
A16	33,5	4,6	961,1	37,7		7,54		33,7	34,7	3,8	292,7	1034,5	79,8	78,6	11,6	10,0	97,3
	33,2	5,0	511,6	512,3		6,46		35,1	13,3	6,7	728,2	731,3	20,4	<4,1	91,5	2,3	31,1
	41,8	3,4	431,6	109,7		7,27		75,7	41,4	23,5	548,7	766,3	100,9	151,9	66,3	4,3	25,1
	32,4	2,4	358,0	31,0	150,7	8,08	45,2	0,3	0,9	4,6	292,0	1219,4	14,7	12,7	9,9	3,0	19,2
A17	24,8	2,8	563,9	114,3		5,08		25,6	28,0	3,2	458,3	737,0	108,8	79,4	17,2	7,7	53,5
	29,9	4,7	404,5	530,1		7,61		23,6	20,9	15,0	789,6	779,1	28,0	99,6	79,4	1,9	103,1
	9,5	0,5	81,5	642,3		0,34		53,0	31,0	12,7	265,6	138,1	47,0	52,8	66,3	1,2	15,4
	30,2	2,4	321,3	61,0	136,3	7,61	93,1	1,1	2,2	5,8	2254,0	1228,5	62,3	42,5	11,0	2,4	103,1
A18																	
	32,8	4,6	37,2	180,0		8,29		23,6	20,9	15,0	571,6	824,2	271,1	51,8	93,1	2,3	67,6
	44,2	3,9	431,6	78,3		9,07		56,7	37,9	12,7	566,1	790,8	39,8	118,9	80,5	2,5	66,6
	37,8	3,2	420,0	20,0	169,3	9,78	45,8	0,6	<,5	5,5	818,0	1667,1	56,2	24,9	9,7	3,0	14,5
A19																	
	17,3	0,2	34,2	207,7		0,76		24,5	43,4	7,2	495,6	21,4	51,4	<4,1	65,4		60,6
	25,4	0,1	259,9	78,3		0,34		41,6	51,7	6,1	161,1	4,9	8,1	132,1	47,3	0,9	23,6
	17,2	0,1	252,8	5,0	41,6	1,32	77,7	0,1	54,5	1,2	15,0	6,0	0,4	36,2	0,2	0,5	13,5
A20																	
	10,8	0,3	30,2	208,2		0,04		24,6	3,1	5,2	202,3	30,8	6,7	<4,1	85,5	1,3	14,0
	13,6	0,2	219,1	172,3		0,34		60,5	34,5	4,4	148,1	36,7	8,7	52,8	42,6	1,3	15,9
	8,5	0,4	165,6	141,0	22,0	0,82	30,7	0,2	0,9	1,5	440,0	41,4	9,7	7,8	0,9	1,2	6,9
MTA 1	29,1	2,7	352,9	73,0	73,6	7,27	84,0	9,3	1,5	8,7	3095,0	1568,9	252,2	100,7	11,5	2,4	94,0

Tablo 4.7 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların iz element analiz sonuçları (devam).

No	Si mg/l	F mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l	Al µg/l	As µg/l	B mg/l	Ba µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Li µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sr mg/l	Zn µg/l
M1	13,9	0,6	88,3	19,9		0,23		53,3	58,5	6,1	408,7	8,2	80,1	61,1	17,1	20,3	25,8
	12,0	0,8	27,8	31,5		0,04		24,8	3,1	5,2	43,2	6,8	33,9	<4,1	66,0	10,9	72,1
	18,5	0,5	13,3	219,3		0,34		83,2	51,7	16,8	740,3	12,2	98,8	79,2	94,7	12,6	70,2
	10,7	0,5	33,1	33,0	40,2	0,88	24,7	0,2	0,5	2,2	643,0	7,5	107,4	6,7	16,4	12,3	7,8
M2	13,9	0,6	81,1	52,2		0,30		54,4	51,2	6,5	361,4	7,2	79,5	53,4	16,4	19,9	22,2
	14,0	0,8	31,4	51,0		0,04		4,0	15,2	7,1	138,1	10,5	43,9	<4,1	80,9	10,8	368,1
	19,3	0,5	16,2	94,0	22,6	0,34	23,7	87,0	37,9	14,6	383,2	10,3	62,7	59,4	99,4	12,2	15,9
	11,8	0,5	55,2	126,0	21,8	0,78	26,4	0,4	0,7	3,0	595,0	9,1	109,7	8,0	16,5	12,1	11,7
M3	10,9	0,3	82,1	75,8		0,20		45,2	37,2	6,0	121,6	8,4	13,6	44,3	14,5	13,4	20,3
	12,0	0,4	35,1	61,1		0,76		4,0	15,2	6,1	30,0	9,2	4,4	<4,1	92,1	8,5	348,1
	10,3	0,3	18,8	94,0		0,34		71,9	44,8	5,2	326,6	3,9	6,8	52,8	75,7	3,3	26,6
	8,5	0,2	32,1	256,0	14,7	1,63	33,8	0,4	2,5	2,5	366,0	5,1	48,5	8,4	1,3	8,2	5,3
M4	13,0	0,5	85,8	88,8		0,27		63,5	52,3	5,4	337,9	5,1	35,8	58,5	16,8	18,6	23,4
	14,0	0,7	101,1	51,0		0,04		24,1	12,2	5,1	18,0	11,8	5,5	<4,1	94,9	11,4	220,6
	15,2	0,4	13,7	156,7		0,34		75,7	41,4	4,3	313,5	7,8	33,7	112,3	94,7	11,1	14,9
	10,7	0,4	41,4	13,0	30,5	0,34	21,8	0,2	<,5	1,4	796,0	7,6	58,3	8,5	0,2	12,1	5,9
M5	13,9	0,6	67,9	132,5		0,23		59,3	68,3	6,3	852,2	4,4	32,1	58,2	18,5	19,6	23,2
	13,6	0,6	671,9	51,0		0,76		20,1	6,1	3,0	30,0	6,6	14,3	<4,1	72,5	10,8	244,4
	15,7	0,4	8,8	109,7		0,34		87,0	44,8	2,6	187,2	6,4	69,9	92,5	89,9	11,8	64,0
	10,7	0,5	23,2	106,0	42,0	0,44	64,1	8,5	2,0	7,5	1104,0	9,4	209,5	55,8	13,7	12,4	38,6

Tablo 4.7 Gediz jeotermal alanlarından alınan soğuk ve termal suların iz element analiz sonuçları (devam).

No	Si mg/l	F mg/l	CO <sub>2</sub> mg/l	Al µg/l	As µg/l	B mg/l	Ba µg/l	Co µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Li µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sr mg/l	Zn µg/l
M6	13,9	0,5	97,7	97,7		0,27		54,6	45,0	3,3	160,3	4,0	16,4	53,6	17,1	16,5	27,1
	13,6	0,7	378,7	122,3		1,01		12,0	30,4	9,1	66,0	11,8	14,3	<4,1	106,0	9,9	234,4
	15,2	0,4	15,9	109,7	15,0	0,34	24,3	83,2	48,3	7,8	422,4	8,3	13,0	118,9	104,1	10,6	26,1
	10,7	0,4	45,9	8,0	8,8	0,34	11,3	<0,2	0,5	1,3	0,0	5,4	0,6	6,0	0,1	11,2	5,7
M7	11,3	0,6	212,2	53,8		0,01		42,1	19,8	1,8	82,4	2,2	3,6	35,4	16,6	1,3	33,6
	10,8	0,1	230,1	31,3		0,01		11,3	37,9	7,8	43,5	1,5	6,8	26,4	18,9		432,9
	10,8	0,0	56,5	31,3		0,03		11,3	34,5		52,3	2,0	5,0	19,8	18,9	0,2	3,1
	8,5	0,1	31,7	249,0	3,6	0,03	4,9	0,2	18,9	1,6	582,0	1,1	97,1	5,0	0,8	0,1	8,3

Tablo 4.8 Gediz jeotermal alanları soğuk ve termal su fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları, staj raporu (Güneş, 2000).

Örnek No	Su noktası adı	Tarih	pH	Sıcaklık (°C)	Ec (µS/cm)	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	B mg/l
A4	Dere içi batı kaynağı	02.08.2000	6,8		2860,0	554,2	77,1	166,8	50,8	87,0	1003,0	1035,0	7,6
A7	Abide Kahve önü	02.08.2000	7,2		2930,0	569,4	80,8	141,6	60,0	93,0	971,1	1021,0	7,3
A12	Gl-1 numaralı MTA sondajı	02.08.2000	6,9		3200,0	613,9	90,7	165,7	49,1	104,0	1083,0	1228,0	7,6
A13	Abide soğuk su	02.08.2000	7,2		2070,0	183,5	0,7	186,0	150,9	81,0	714,9	833,7	4,1
A15	Abide 1	02.08.2000	7,3		3200,0	623,6	93,5	139,2	56,6	103,0	968,7	1269,0	7,6
Gl-2	Enalt doğu MTA sondajı	02.08.2000	7,6		3380,0	669,9	110,8	85,6	18,7	124,0	783,2	1272,0	7,2
A31	Abide sera altı kaynak	02.08.2000	7,3		2040,0	622,2	90,7	155,2	49,6	102,0	1052,0	1073,0	8,5
M1	Hacethane	02.08.2000	7,4	45,0	2030,0	44,7	3,1	519,2	41,1	11,0	100,0	1358,8	1,3
M2	Muratdağı Kocahamam	02.08.2000	7,3		2040,0	45,0	3,2	544,3	50,3	9,0	100,0	1386,0	1,2
M6	Muratdağı Kızılay	02.08.2000	7,3	45,0	1863,0	44,7	3,0	442,8	53,2	7,0	124,4	1225,9	1,2
M7	Muratdağı soğuk su	02.08.2000	8,0	12,0	443,0	39,0	0,4	42,4	43,5	10,0	317,8	50,2	1,4
M4-5	Kaymakam havuzu	02.08.2000	7,3	37,0	1965,0	45,0	3,1	522,0	24,1	8,0	107,4	1294,2	1,6

Tablo 4.9 Gediz jeotermal alanları soğuk ve termal su fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları, (Debi=l/s, Elemet analiz=mg/l, Ec= $\mu$ S/cm) (MTA, 1996).

Örnek No	16	17	18	19	20	21	22	15	16
Örnek Adı	Gediz yeni kaynak	Sarıkız	Gediz Abide Yeni kaynak	Hamamboğazı	Çamaşırhane	Fatmanım çukuru	Buğlarca	Muratdağı Uyuz Hamamı	Muratdağı Kaplıca
Lab. No	55345	55346	55347	55348	55349	55350	55351	55344	55343
Tarih	24.05.1993	24.05.1993	24.05.1993	24.05.1993	24.05.1993	24.05.1993	24.05.1993	24.05.1993	24.05.1993
Debi	3	3,2	3,4		0,3	1	3	0,5	7
T(°C)	74	74	74	76	65	68	70	37	39
K	76	74	80	70	66	66	54	2	2,4
Na	580	580	640	500	480	440	510	4,6	5,4
Ca	104	100	96	75	106	126	141	270	453
Mg	46	51	63	56	69	66	60,3	54	60
Fe		0,18	0,23	0,2	0,21	0,1	0,18	0,14	
As	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,07	0,11		
B	7	7,8	7,6	6,1	6,4	5,9	6,5		
Mn						0,75	0,093		
Li	0,28	1,7	1,8	1,8	1,7	1,2	1,43	0,29	0,27
Al	0,5		0,71			0,56	0,52	0,57	
HCO <sub>3</sub>	970	958	790	744	946	87,8	951,6	159	79
SO <sub>4</sub>	985	980	990	900	890	680	810	780	1440
Cl	96	99	97	90	89	65	591	11	10
F	0,4	3,2	0,38	0,32	0,33	3,6	4,1		0,32
NO <sub>3</sub>		1,24				0,5	0,31		0,1
SiO <sub>2</sub>	68	71	71	60	71	66	64,02	3	30
CO <sub>2</sub>	48,61	30	39,59	14,84	59,68	59,68	203	2,52	1,57
pH	7,5	7,7	7,5	7,9	7,4	6,72	6,87	8	8
Ec	3010	2900	3020	2660	2790	2560	2830	1300	1300



## **BÖLÜM BEŞ**

### **HİDROJEOKİMYA**

#### **5.1 Giriş**

Bu bölümde, çalışma alanındaki suların analizlerinden elde edilen jeokimyasal ve fiziksel verilerin doğruluğu, Bölüm 1.3’de anlatılan yöntemlerin değerlendirilmesi ve suların kimyasal özelliklerine göre sınıflanması ile ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında; arazide, DEÜ Jeoloji Mühendisliği-Jeokimya Laboratuvarı’nda ve Uluslararası Kanada ACME Laboratuvarlarında analizlenen sulardan elde edilen veriler yeni ölçüm ve analiz metotlarından da faydalanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Güncel bilgiler doğrultusunda gerçekleştirilen değerlendirmelerde daha detay bilgiler verilmiştir. Bazı ölçüm ve analiz sonuçlarında anlamsız değerler elde edilmişse de bu veriler; bazı metot, tez ve makaleler temel alınarak (APHA-AWWA-WPCF, 1985; Giesse, 1997; Nicholson, 1993; Verma ve Santoyo, 2002; Verma, 2003a) yeniden düzenlenmiş ve böylece ölçüm ve analiz yöntemlerine güncel değişiklikler getirilmiştir. Çalışmada verilerin değerlendirilmesinde Microsoft Excel ve Phreeqce (Parkhurst ve Appelo, 1999) programlarından ve Nicholson (1993), Tarcan (2002) ve Giesse (1997) gibi yazarların kitap, tez, makale ve seminer notlarından faydalanılmıştır.

#### **5.2 Ölçüm ve Analiz Metotlarının Değerlendirilmesi**

Hidrotermal sistemlerin hidrojeokimyasal modellenmesinde yüksek kalitede analitik verilerin kullanımı çok önemlidir. Analitik hatalı sonuçların yorumlanmasında birçok belirsizlikler ve hatalar ortaya çıkmaktadır. Giggenbach, Goguel ve Humaphries (1992) uluslararası düzeyde sonuçların analitik geçerliliğinde ciddi eksiklikler olduğunu ifade ederek, analitik prosedürün standardizasyonu ve genel bir düzenlemeye ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Ellis (1976) jeotermal sularda ilk olarak birçok ülkeyi kapsayan uluslararası kimyasal analiz ayarlama programını başlatmıştır. 1985 yılında ise Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) jeotermal suların uluslararası laboratuvar ayarlaması projesini başlatmış (Jeotermal

İncelemelerde Koordineli Jeokimyasal Teknikler ve İzotop Uygulamaları Araştırma Programı) ve bu program çerçevesinde 4 uygulama gerçekleştirmiştir. Bu program çerçevesinde; pH, Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F, B, As ve SiO<sub>2</sub> birçok ülkedeki laboratuvarlarda analizlenmiştir (Verma, 2003b). Verma ve Santoyo (2002) yapmış oldukları bir istatistiksel çalışmada, SiO<sub>2</sub> hariç diğer parametrelerde konsantrasyon azalmasına bağlı olarak analitik hataların yükseldiğini saptamışlardır (Şekil 5.1). Jeotermal suların analitik verilerinin toplam hata değerinin %±13 olarak hesaplandığı çalışmada, bu yüksek oranın benzer laboratuvarların ölçümlerindeki sistematik hatalardan kaynaklandığını ifade ederek benzer olarak SiO<sub>2</sub> ve HCO<sub>3</sub> analizlerinde ciddi bazı örnekleme ve analitik prosedür problemleri olduğunu da belirtmektedirler. Şekil 5.1'e göre, SiO<sub>2</sub> ve HCO<sub>3</sub> hariç ortalama hatalar;

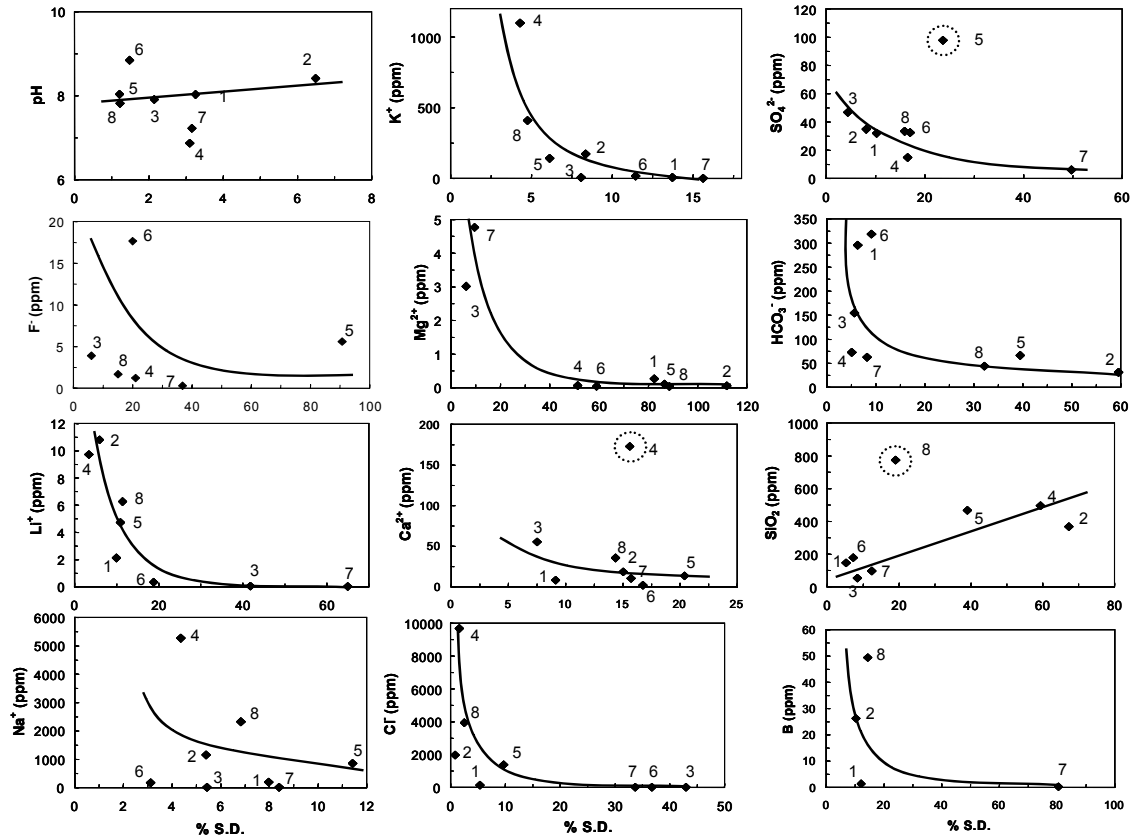
- 10 ppm üzerinde %10,
- 1-10 ppm arasında %20,
- 1 ppm altındaki değerlerde ise %80'dir.

Jeokimyasal araştırmalarda dikkat edilmesi gereken en önemli konu, kullanılan analitik metotlar ve kaynaklarla ilişkilendirilebilecek hataların tanımlanabilmesidir. Bir araştırmada örnekleme tekniklerinden kaynaklanan analitik hataların düzeltilmesi maliyet ve zaman kaybına neden olacaktır.

Örnek numune alınan noktayı tam olarak temsil ediyor ve kirlenmemiş ise, laboratuvar hataları veya yanlışlıkları örneğin tekrarlanan analizleri ile belli oranda düzeltilbilir. Burada kullanılan analitik metotların yeterli hassasiyette olması gerektiği de unutulmamalıdır. Bütün bu durumların en az hata ile sonuçlanması önemli bir standardizasyonu gerektirir. Standart donanım kullanımı ve araziye çıkmadan birkaç gün önceden doğru olarak hazırlık yapmak analiz sonuçlarının hassasiyetini doğrudan etkilemektedir.

Normal bir ölçümde, tanımlı (sistematik) ve tanımsız hata olmak üzere iki tip hata vardır. Tanımlı hatalar; metot hatalarından, cihaz kaynaklı eksikliklerden, standartların kirliliğinden ve personel hataları gibi nedenlerden ortaya çıkmaktadır.

Belirsiz hatalar ise ki bunlar her ölçümde bulunmaktadır kalıcı olmayan sebeplerden ve kaynağı belirlenemeyen hatalardır.



Şekil 5.1. IAEA uluslararası ayarlama programı çerçevesinde analiz edilen tüm kimyasal bileşenlerin % hata ve analitik değerleri arasındaki ilişkiler (Verma, 2003b). Etrafı daire ile çevrili noktalar eğim hesaplarında kullanılmamıştır. % SD standart sapmayı göstermektedir.

### 5.2.1 Silisyum Ayarlanması

Silis kimyası, reenjeksiyon ve üretim sırasında kabuklaşma ile rezervuar sıcaklığının tahmininde hayati öneme sahip olduğundan çok iyi derecede örnekleme ve analitik kaliteye ihtiyaç vardır. Özellikle, jeotermal suların örneklemesinden sonra silis içeriğinin bilinmemesinden dolayı analiz aşamasına kadar geçen sürede çökeltme problemi sözkonusudur.

Verma ve Santoyo (2002), IAEA uluslararası laboratuvar ayarlama programı çerçevesinde yapılmış olan çalışmalar ile kendi çalışmalarını da verdikleri bir yayında; çeşitli araştırmacıların (Giggenbach ve diğer., 1992; Gerardo, Schueszler ve Groening, 1998; Alvis, Urbino ve Gerardo, 1999; Alvis, Urbino ve Pang, 2000) ve

kendilerinin birçok ülkede kolorimetrik (KO), AAS, ICP-AE ve ICP-MS gibi cihazlar ile yapılmış olan analiz sonuçlarını vermişlerdir. Bu sonuçlara göre; standart sapma, 200 ppm'in altındaki değerlerde 4,4-13,0 aralığında; 200 ppm'in üstündeki değerlerde ise, 147,2–294,3 aralığında bulunmuştur. Personel hatasından, örneğin hazırlanmasına ve cihaz kaynaklı (sistemik) çok çeşitli türlerde hataların belirlendiği çalışmada, ölçüm yapan cihazlardan herhangi birinin diğerine göre bir üstünlüğü ortaya çıkmamıştır. Sonuç olarak çalışmada yüksek SiO<sub>2</sub> konsantrasyonuna sahip olabilecek örneklerle yüksek analitik hata getirmeyecek oranda seyreltme uygulanması ile hata oranının azaltılabileceği belirtilmektedir. Benzer şekilde Giesse (1997), silisyum için bir seri analiz hazırlığı ile ölçümler yapmıştır. Seride; pH, zaman, konsantrasyon, tuzluluk, seyreltme ve sıcaklık parametrelerini değiştirerek yaptığı ölçümler sonucunda;

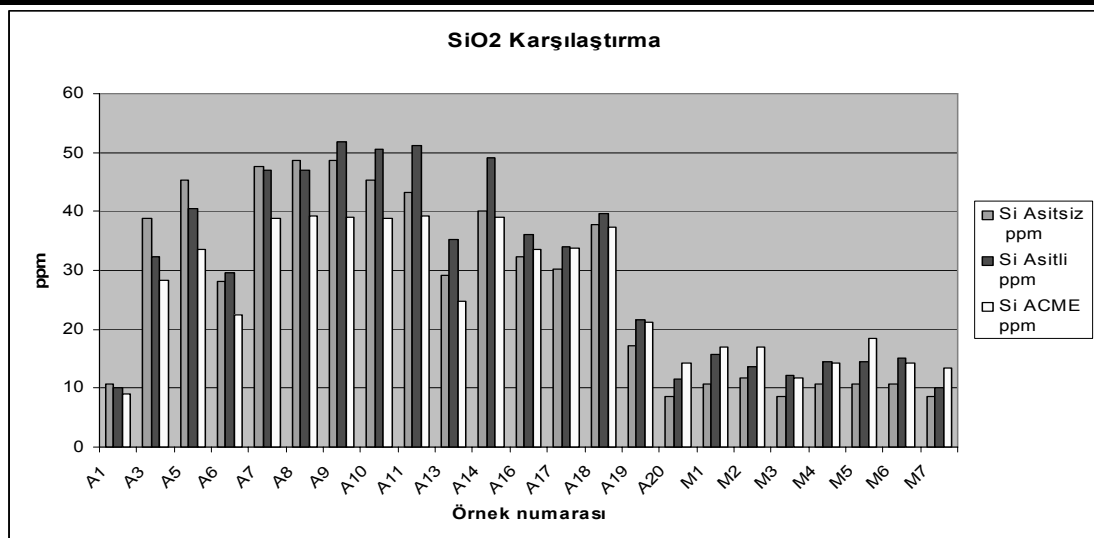
- Seyreltilmeden saklanan örneklerin analizinin uygun olmadığını,
- Tüm örneklerin soğukta depolanmasından sonra, kafi derecede seyreltme yapılan örneklerde çökelmenin durabileceğini,
- Yaklaşık 200 ppm olan konsantrasyonun 1/4-1/50 oranı arasında seyreltilerek pH'ın mutlaka 7'den büyük bazik değerlere ayarlanması gerektiğini,
- Termal suların örneklemesini takiben depolama, taşınım gibi durumlarında çok yüksek oranda mineralizasyonun gerçekleşebileceğini belirtmektedir.

Bu çalışma kapsamında, hataların tespitine yönelik benzeri bir değerlendirme 05.08.2004 tarihli örneklerin Si analizi için gerçekleştirilmiştir. Tablo 5.1'de verilen değerlerden; ilk iki sütundakiler DEÜ Jeoloji Mühendisliği-Jeokimya Laboratuvarında PY-Unicam marca AAS cihazı kullanılarak yapılan korumasız ve asitli örneklerin sonuçlarıdır. Son sütun olan Si Acme serisi ise, ACME Analitik laboratuvarlarında ICP-AE cihazı kullanılarak yapılan asitli örneklerdeki sonuçlardır. Burada güvenilen değerler Si korumasız sonuçlarıdır. Diğer sonuçlar ile karşılaştırılmasından, asit koruması uygulanmış örneklerde pH'a bağlı olarak genel bir çökeltme eğilimi olsa da; zaman, konsantrasyon, tuzluluk ve sıcaklık düşüşü parametrelerinin Si dengesinde

etkili olduğu tutarlı bir sonuç elde edilememesinden açıkça görülmektedir. Bu da yapılacak çalışmalarda yukarıda bahsedilen örnekleme ve koruma yöntemlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Tablo 5.1 Silisyum analizlerinin aynı örneklerden alınan karşılaştırmalı sonuçları.

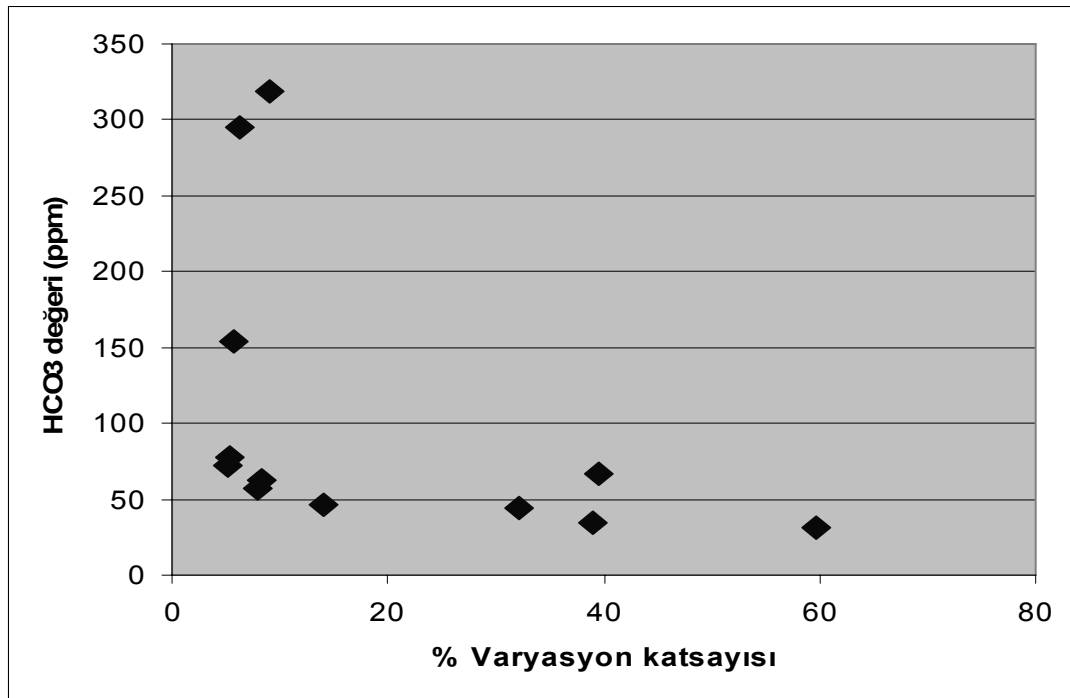
Örnek No	Si Korumasız mg/l	Si Asitli mg/l	Si ACME Asitli mg/l
A1	10.7	10.0	9.1
A3	38.9	32.4	28.3
A5	45.4	40.4	33.5
A6	28.1	29.5	22.5
A7	47.6	46.9	38.8
A8	48.7	46.9	39.3
A9	48.7	51.9	39.1
A10	45.4	50.5	38.8
A11	43.3	51.2	39.3
A13	29.1	35.3	24.7
A14	40.0	49.0	39.0
A16	32.4	36.0	33.5
A17	30.2	33.9	33.8
A18	37.8	39.6	37.4
A19	17.2	21.6	21.1
A20	8.5	11.5	14.3
M1	10.7	15.8	16.9
M2	11.8	13.7	17.0
M3	8.5	12.2	11.7
M4	10.7	14.4	14.2
M5	10.7	14.4	18.5
M6	10.7	15.1	14.2
M7	8.5	10.0	13.5



Şekil 5.2 Aynı örneklerde asitli ve korumasız olarak yapılan silisyum analizleri sonuçları. Si asitsiz bir koruma uygulanmadan, Si asitli ve Si ACME asitli ise 1,5 ml/500 ml HNO<sub>3</sub> eklemesi yapıldıktan sonra örneğin analizinin sonuçlarını yansıtmaktadır.

### 5.2.2 $CO_2$ - $HCO_3$ - $CO_3$ Ölçüm ve Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 5.3, Uluslararası Kozmokimya ve Jeokimyacılar Birliği (IAGC) ile IAEA tarafından çeşitli ülkelerdeki laboratuarlarda yapılan bikarbonat değerlerine karşılık varyasyon katsayısını verilmektedir (Verma, 2003b). Konsantrasyon değerinin düşük olduğu değerlerde örneğin 50 ppm için varyasyon katsayısı ortalama değerde ~%25 iken, 25 ppm için bu değer ortalama~%60 gibi yüksek sonuçlar vermektedir. Şekilden de görüleceği üzere, konsantrasyon değerinin yükselmesi hata değerini azaltmaktadır. Bu durumda, uygulanan titrasyon metodu düşük konsantrasyonlu örnek gruplarında uygunsuz sonuçlar vermektedir.

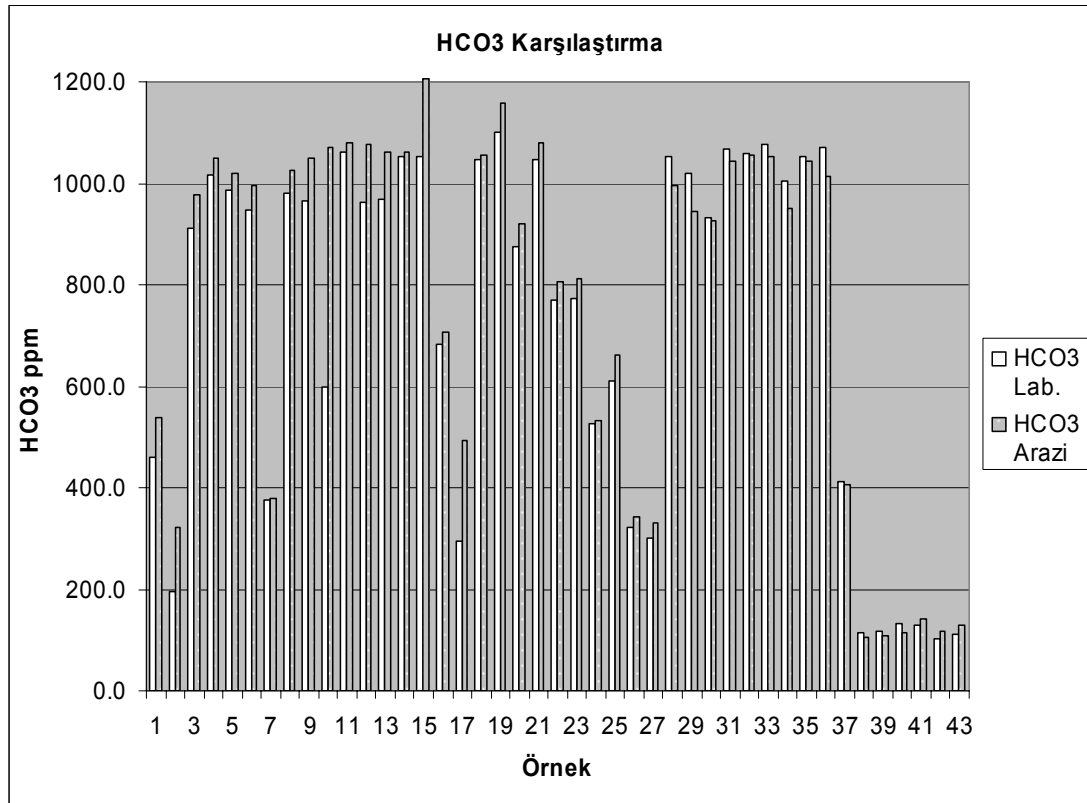


Şekil 5.3 Jeotermal sulardaki bikarbonat ortalama değeri ile varyasyon katsayısı arasındaki ilişki (Verma, 2003b).

Bu çalışmada  $HCO_3^-$  değerleri; Ilıca jeotermal alanı için 200 mg/l'in ve Muratdağı jeotermal alanı için 90 mg/l'in üzerindedir. Dolayısıyla, ülke ve laboratuvar kaynaklı olarak varyasyon katsayısıyla ifade edilen bir hata değerinin düşük bir değer olabileceği ifade edilebilir. Diğer hata kaynaklarının belirlenerek bir nebze düzeltme sağlayabilmek amacıyla bu çalışmada, arazi ortamında örnekleme yapılırken ve laboratuvarında bikarbonat analizleri tekrarlanmıştır. Bu duruma ek olarak iyon seçimli elektrotlar kullanarak iyon metre cihazı ile de karbondioksit analizleri yapılmıştır.

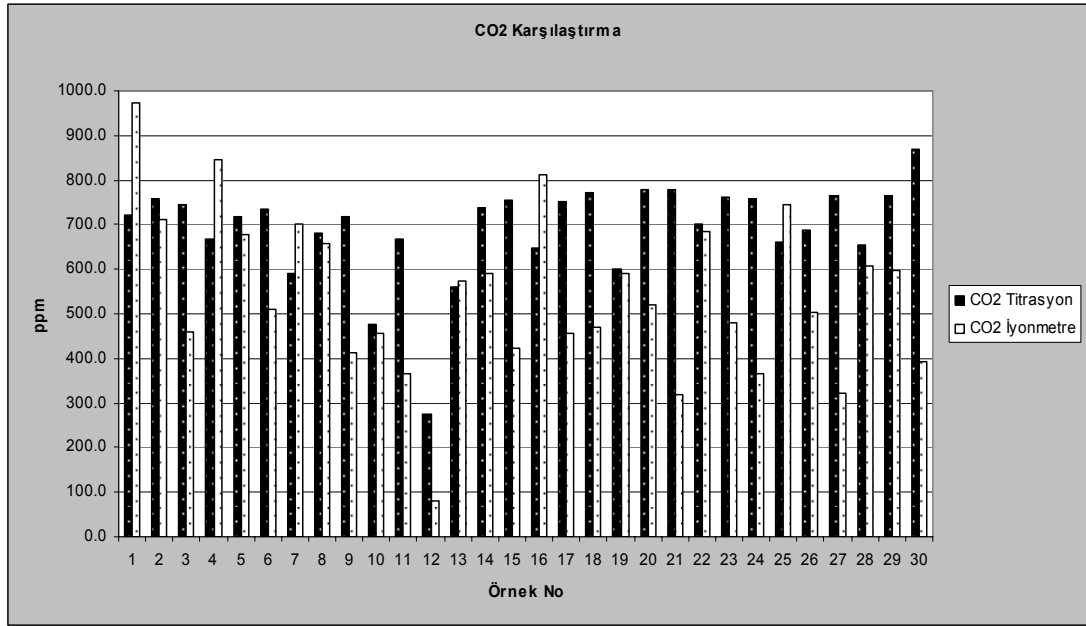
Arazide ve laboratuarda su örneklemelerinden yapılan analizlerin sonuçları Bölüm 4'de yer alan Tablo 4.4-4.5'de verilmektedir. Aynı sonuçların bir kısmı Şekil 5.4'de grafik olarak gösterilmektedir. Sonuçta, Ilica alanında arazide yapılan analizler %0,2-44,2 aralığındaki fark değerlerinde ve ortalama %10 daha yüksek değerler vermektedir. Ancak, Muratdağı alanında düşük mg/l değerlerinde arazide yapılan analizler laboratuardaki değerlerden daha düşüktür. Bu alanda, fark değerleri %0,3-15,2 arasında ve ortalama ise %6'dır. Her iki jeotermal alanda da yapılan analizlerde uygunsuz olarak karşılaşılan değerler de bulunmaktadır.

Bu sonuçlara göre, bikarbonat analizlerinde önemli hatalar olduğu ve bu hataların metot ve çalışma koşulları ile bağlantılı olduğu söylenebilir.



Şekil 5.4 Arazide ve laboratuarda yapılan bikarbonat değerleri arasındaki ilişki. HCO<sub>3</sub> lab., laboratuarda; HCO<sub>3</sub> arazi ise, arazide yapılan analizlerin sonuçlarını ifade etmektedir.

İyon metre cihazı ile yapılan karbondioksit sonuçlarının arazide yapılan karbonat türlerinin toplamından CO<sub>2</sub>'nin hesaplanması ile yapılan karşılaştırma Şekil 5.5'de verilmektedir. Örnek teşkil etmesi açısından sadece örneklerin bir kısmı grafiğe aktarılmıştır. Tüm sonuçlar Tablo 4.4 ve 4.5'de verilmektedir.



Şekil 5.5 Titrasyon ile arazide yapılan analizlerden ve iyonmetre cihazı ile alınan sonuçlardan karbondioksit miktarlarının karşılaştırılması.

Şekil 5.5'deki değerlere göre, iyonmetre cihazı ile yapılan ölçümler uygunsuz sonuçlar vermektedir. İyonmetre cihazı ile ölçümler sırasında, istenilen standart şartların sağlanmasında büyük zorluklar bulunmaktadır.

Verma (2003a), jeotermal suların karbonat ve bikarbonat miktarlarının belirlenmesinde kullanılan analitik metotlarda bir düzeltme önermektedir. Silisik ve borik alkalinitelerinin toplam alkaliniteye girişimlerini tahmin etmek için, karbonik asit denge noktasından ( $H_2CO_3EP$ )  $CO_2$  uzaklaştırıldıktan sonra orijinal pH'a kadar geri titrasyon yapılarak, eklenen standart bazın (NaOH) miktarı, silisik ve borik alkaliniteleri ile bazı OH alkalinitelerinin toplamına eşdeğerdir denmektedir (Şekil 5.6).

Bu metot toplam alkalinite ile ilgili olarak  $H_2CO_3EP$ 'nin belirlenmesine bağlıdır. Borik ve silisik asit türlerini de ilave ederek alkalinite aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned} \text{Alkalinite} &= [OH^-] - [H^+] + [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [B(OH)_4^-] + [H_3SiO_4^-] \\ &= [OH^-] - [H^+] + C_T(\alpha_1 + 2\alpha_2) + C_{TB}(\alpha_{1B}) + C_{TSi}(\alpha_{1Si}) \end{aligned} \quad (5.1)$$

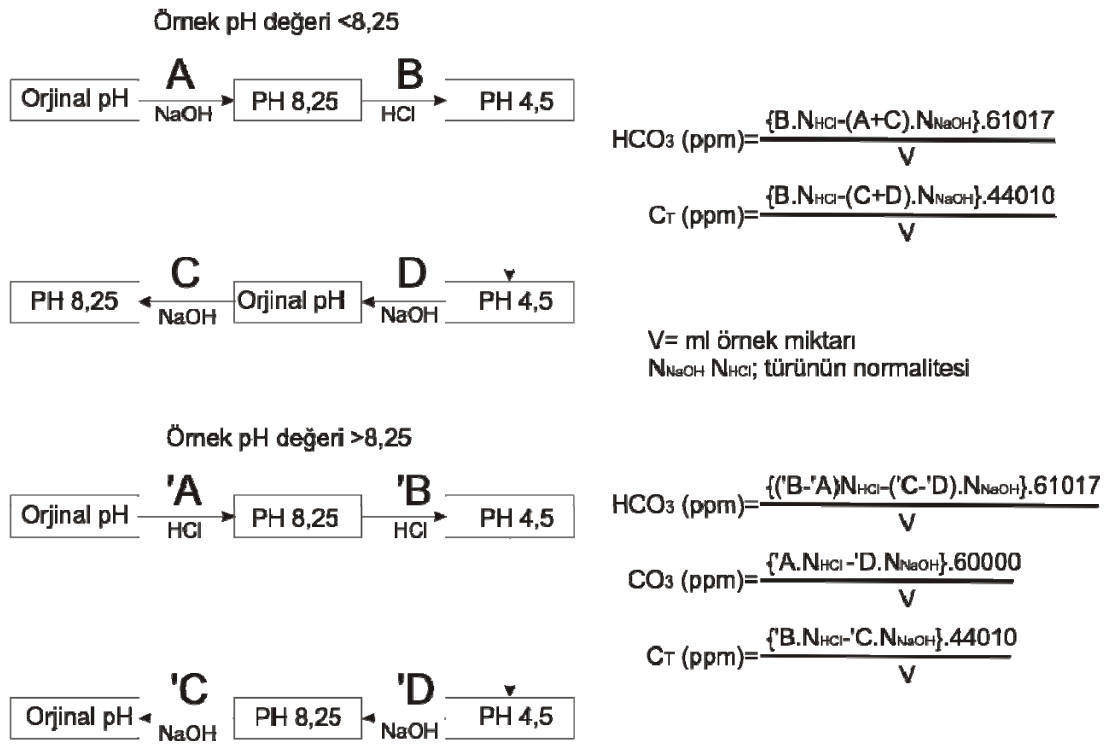


Köşeli parantez türlerin molar konsantrasyonunu,  $C_T$ ,  $C_{TB}$ , ve  $C_{TSi}$  sırası ile karbonik, borik ve silisik asit konsantrasyonunu, benzer şekilde de  $\alpha_1$  ve  $\alpha_2$  bir ve iki proton kaybederek biçimlenmiş türlerin katsayılarıdır.  $\alpha$  sıcaklığa bağlı pH'nın bir fonksiyonudur.

Başlangıçtaki pH, Silis ( $C_{TSi}$ ), Bor ( $C_{TB}$ ) ve toplam alkalinitenin bilinmesi ile Denklem 5.1'den, toplam çözülmüş  $CO_2$  ( $C_T$ ) miktarı hesaplanabilir. Bu durumda, karbonik asit türlerinin tekil derişimleri aşağıdaki denklemlerden hesaplanabilir.

$$H_2CO_3 = C_T \cdot \alpha_0, \quad HCO_3^- = C_T \cdot \alpha_1 \quad \text{ve} \quad CO_3^{2-} = C_T \cdot \alpha_2 \quad (5.2)$$

Deneysel olarak karbonat türlerinin hesaplanması Şekil 5.6'da verilmektedir.



Şekil 5.6 Karbonat türlerinin hesap yöntemleri, Verma (2003a).

Bu metod jeotermal sularda karbonat türlerinin ve silisik ve borik alkalinitelerinin hesaplanmasında çok uygundur.

### 5.3 Suların Sınıflandırılması

Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki izdüşüm yerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere litrede eşdeğer gram cinsinden toplam çözünmüşlerin %50'sinden fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. İyonların hiçbirisi miktar olarak % 50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) Sıcak ve Mineralli Sular Komisyonu Çalışma Raporu'nda belirtilen sınıflamada ise; suda çözünmüş başlıca iyonlar, anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere yine litrede eşdeğer gram olarak %20'sinden fazla çözünmüş bulunan iyonlara göre (önce katyonlar sonra anyonlar sırasıyla yazılarak) su tipi belirlenmektedir (Başkan ve Canik, 1983). Bu çalışmada belirtilen hidrokimyasal fasiyes kavramı, IAH sınıflamasına göre yapılmıştır (Tablo 5.2).

Ilıca alanındaki termal su tiplerine bakıldığında, kurak dönemden yağışlı döneme Na-SO<sub>4</sub> tipinden Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> tipine bir evrimleşme göze çarpmaktadır. Aynı durum, Muratdağı alanındaki sulara bulunmamaktadır. Bu durum, Ilıca alanında mevsimsel yağışların etkisiyle yüzeysel akiferlerin jeotermal sulara girişimi ile suların HCO<sub>3</sub>'ca zenginleştiğini ve suların sığ yeraltı suları ile karışımının yağışlı dönemde arttığını göstermektedir. Dönemsel olarak soğuk sulara bakıldığında ise, Derbent deresi sularında (örnek A1) ve İller Bankası içme amaçlı sondajından (örnek A13) kurak dönemden yağışlı döneme Mg-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> tipinden Mg-SO<sub>4</sub> su tipine bir değişim olmasına rağmen, A19 ve A20 numaralı kaynaklarda herhangi bir değişim gözükmemektedir.

Bu durumda, mevsimsel yağışlardan etkilenmeyen Ilıca alanında A19 ve A20 numaralı ve Muratdağı tüm örnekleri dışında kalan Ilıca suları Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'ca bir zenginleşmeye maruz kalmaktadır.

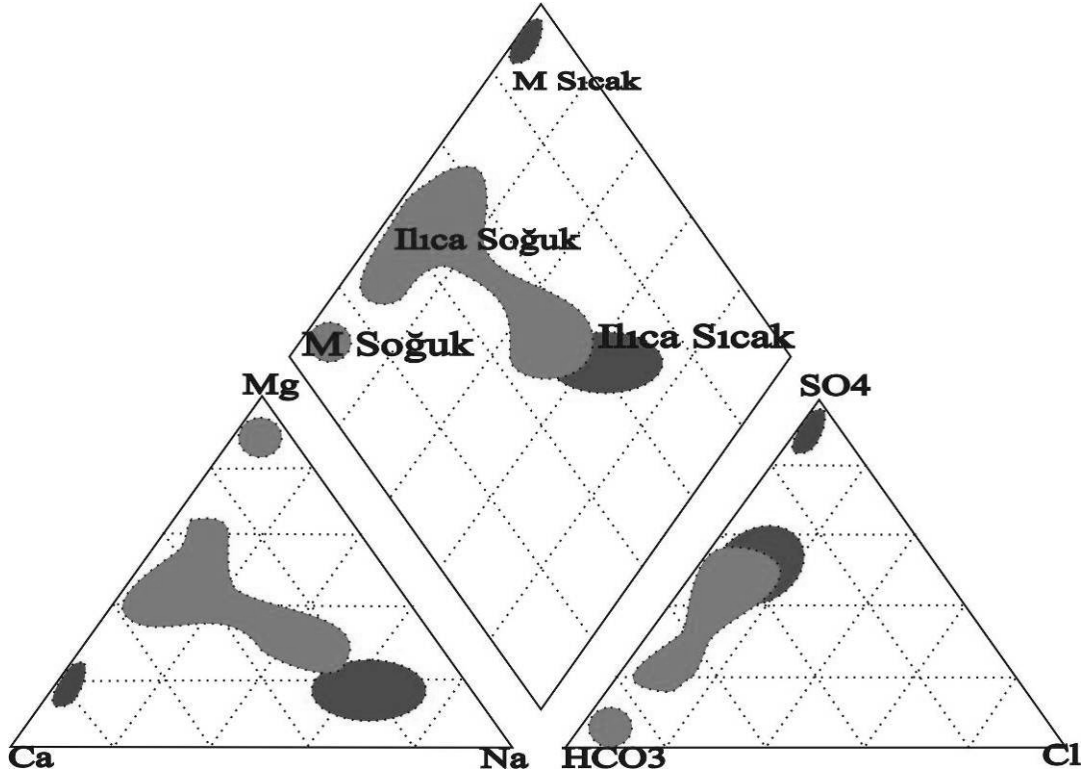
Tablo 5.2 IAH sınıflamasına göre Ilıca alanı sularının hidrokimyasal fasiyes tipleri

Örnek	Tarih	Su tipi	Örnek	Tarih	Su tipi
A1	12.07.2003	Mg-Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A10	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub>
A1	28.10.2003	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	A11	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub>
A1	18.03.2004	Mg-SO <sub>4</sub>	A11	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub>
A1	05.08.2004	Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A11	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
A2	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub>	A11	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub>
A2	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A12	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub>
A3	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A12	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
A3	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A12	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
A3	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A13	12.07.2003	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
A3	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A13	28.10.2003	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
A4	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A13	18.03.2004	Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
A4	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A13	05.08.2004	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
A4	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A14	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub>
A5	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A14	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub>
A5	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A14	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub>
A5	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A15	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub>
A5	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A15	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub>
A6	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A16	12.07.2003	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
A6	28.10.2003	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	A16	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
A6	18.03.2004	Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	A16	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
A6	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A16	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
A7	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub>	A17	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub>
A7	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A17	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
A7	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A17	18.03.2004	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
A7	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A17	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub>
A8	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub>	A18	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
A8	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub>	A18	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub>
A8	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub>	A18	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub>
A8	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A19	28.10.2003	Mg-HCO <sub>3</sub>
A9	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub>	A19	18.03.2004	Mg-HCO <sub>3</sub>
A9	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A19	05.08.2004	Mg-HCO <sub>3</sub>
A9	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	A20	28.10.2003	Mg-HCO <sub>3</sub>
A9	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub>	A20	18.03.2004	Mg-HCO <sub>3</sub>
A10	12.07.2003	Na-SO <sub>4</sub>	A20	05.08.2004	Mg-HCO <sub>3</sub>
A10	28.10.2003	Na-SO <sub>4</sub>	MTA1	05.08.2004	Na-SO <sub>4</sub>
A10	18.03.2004	Na-SO <sub>4</sub>			

Tablo 5.3 IAH sınıflamasına göre Muratdağı alanı sularının hidrokimyasal fasiyes tipleri

Örnek	Tarih	Su tipi
M1	12.07.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M1	28.10.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M1	18.03.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M1	05.08.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M2	12.07.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M2	28.10.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M2	18.03.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M2	05.08.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M3	12.07.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M3	28.10.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M3	18.03.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M3	05.08.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M4	12.07.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M4	28.10.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M4	18.03.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M4	05.08.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M5	12.07.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M5	28.10.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M5	18.03.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M5	05.08.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M6	12.07.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M6	28.10.2003	Ca-SO <sub>4</sub>
M6	18.03.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M6	05.08.2004	Ca-SO <sub>4</sub>
M7	12.07.2003	Mg-HCO <sub>3</sub>
M7	28.10.2003	Mg-HCO <sub>3</sub>
M7	18.03.2004	Mg-HCO <sub>3</sub>
M7	05.08.2004	Mg-HCO <sub>3</sub>

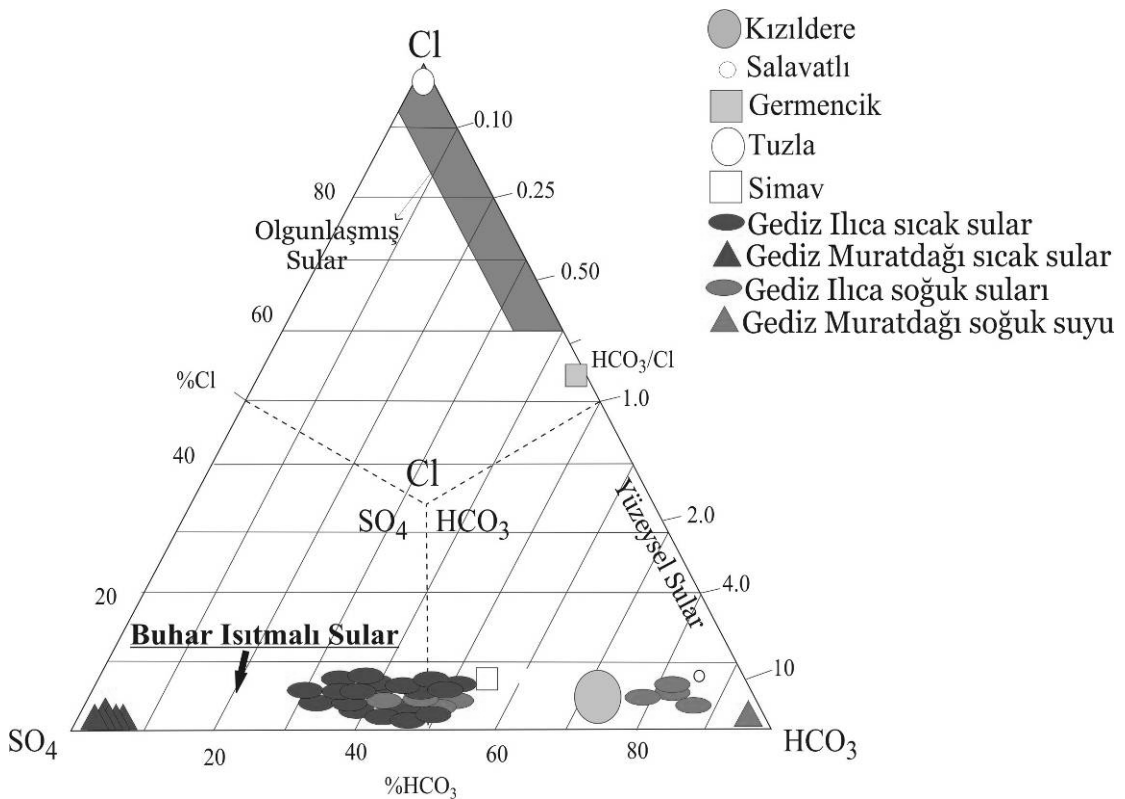
Aynı özellikler, Piper diyagramında da görülmektedir. Piper diyagramı, anyon ve kationların (% eşdeğer gram cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Piper diyagramında da özellikle Ilıca alanındaki soğuk sularda sıcak sulardan etkilenmeleri sonucu sıcak suların karakterlerine yaklaşımlar görülmektedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Suların piper diyagramında gösterimi. İliça sıcak: İliça alanı sıcak sularını, İliça soğuk İliça alanı soğuk sularını, M Sıcak: Muratdağı sıcak sularını, M Soğuk: Muratdağı soğuk sularını göstermektedir.

Jeotermal suların sınıflanmasında ve türsel kaynağının ortaya konmasında Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramı oldukça yararlıdır. Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> (HCO<sub>3</sub>=tüm karbonat türleri toplamı) tekil değerleri, türlerin toplam değerine olan % oranı ile grafiğe yerleştirilir. Türlerin kökensel durumuna bağlı olarak diyagramın alt kısmı (<%10 Cl veya HCO<sub>3</sub>/Cl > 8) ya tamamen buhar ısıtmalı alan ya da rezervuarda karbonat akifer bulunması durumuna göre yüzeysel sular kısmı da eklenerek iki kısımda gösterilebilmektedir. Şekil 5.8’de verilen diyagram Tarcan (2004)’den uyarlanmıştır. Diyagram üzerinde, çalışma alanının dışında Türkiye’deki önemli jeotermal sahaların değerleri de gösterilmektedir. Batı Anadolu’daki bazı sahaların yüzeysel sular sınıfında kalmaları HCO<sub>3</sub>/Cl oranının yüksek olmasındandır. Bu alanlardaki HCO<sub>3</sub>/Cl oranının yüksek olması, suyun parçalı kaynayarak yüzeye erişimine kadar buhar baskınlığı ve üst akiferlerde karbonatlardaki girişiminin bir sonucudur. Gediz jeotermal alanları bu grafikte buhar ısıtmalı alanlar sınıfına girmektedir. Alanlarda HCO<sub>3</sub>/Cl oranındaki ve göreceli olarak SO<sub>4</sub> miktarlarındaki yükseklik suların buhar ısıtmalı sular alanında yer almasını sağlamaktadır. Cl miktarlarındaki düşük değerlerden; suların haznedan yükselimi sırasında Cl’ün akışkan kısımda kaldığı ve

H<sub>2</sub>S ve CO<sub>2</sub> gibi uçucuların buhar ile yükselerek sığ rezervuarların oluşturduğu ve buna bağlı olarak da sulara SO<sub>4</sub> zenginleşmesi olduğu ya da üst akiferlerde jipsli katmanların varlığı sonucu çıkmaktadır. Ancak, jipsli katmanların çözünürlüklerinin düşüklüğü de unutulmamalıdır. H<sub>2</sub>S sığ soğuk su akiferlerinde çözülmüş oksijen ile karşılaştığında oksidasyona uğramakta ve sülfatları oluşturmaktadır. Normal şartlarda sülfat derin jeotermal akışkanda 50 ppm'den düşük bir değerdedir (Nicholson, 1993).



Şekil 5.8 Batı Anadolu'daki bazı jeotermal sahaların ve Gediz Ilıca ve Muratdağı alanının Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> anyon diyagramındaki konumları. Batı Anadolu'da uçucu bileşenlerin zenginleşmesine bağlı olarak sular buhar ısıtmalı veya yüzeysel sular sınıfına girmektedir (Tarcan, 2004'den uyarlanmıştır).

Aynı graben içinde bulunan Simav jeotermal alanlarının temel karakteristikleri Gemici ve Tarcan (2002) ve Tarcan (2004) verileri ile karşılaştırılarak, çalışma alanı için bazı sonuçlara varılabilir (Tablo 5.4). Temel, rezervuar ve örtü birimleri Simav jeotermal alanı ile benzerdir. Ancak, tektonik olarak Simav bölgesinde daha yoğun bir kırıklanma görülmektedir. Bunun sonucu olarak, sıcaklık ve debiler yüksektir. Su tipleri, Simav alanında Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> iken; Ilıca alanında, Na-(HCO<sub>3</sub>)-SO<sub>4</sub> ve Muratdağı alanında ise, Mg-SO<sub>4</sub> tipidir. Simav jeotermal alanlarındaki suların çözülmüş bileşenlerine bakıldığında (Tablo 5.5), Na, K ve Cl değerleri benzerdir.

Ancak, pH ve SiO<sub>2</sub> değerleri oldukça yüksek olmasına karşın; Ca, Mg, HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> ve iletkenlik değerleri düşüktür. Bütün bu veriler ışığında;

- Gediz Ilıca alanında soğuk Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tip bir akifer, jeotermal sular ile karışmaktadır. Bu duruma karşın sığ bir rezervuar bulunma olasılığı da mümkündür.
- Simav alanında jeotermal akışkandan buhar fazın ayrılması (~%10) cznmş bileşenlerde, uçucu olmayan bileşenlerin değerlerini yükseltmekte ve bazı bileşenlerin ckemesine neden olmaktadır. Bu durum, Gediz alanları için daha yoğun gözükmekte uçucuların neden olduğu bir konsantrasyon artışı göze çarpmaktadır (S türleri, CO<sub>2</sub>, B ve F)
- Simav alanında rezervuar pH değeri, yüzeyde uçucuların kaybına bağlı olarak yükselmektedir. Bu noktadan sonra soğuk su akiferleri ile bir karışım varsa da ck az ya da hiç yoktur. Gediz alanlarında ise, yüksek bir karışım söz konusudur. Ayrıca, Gediz Ilıca alanında rezervuardan sıcak suların akışkan bazında beslenimi kısıtlıdır.
- Ilıca termal alanı ana rezervuarının derin olduğu ve gnays ve şist birimleri içinde bulunduğu ve rezervuarın beslenim ve boşalımının kısıtlı olduğu düşünülmektedir. Sarıcasu, Budağan ve Dağardı birimlerinin ikincil karışım rezervuarlar oluşturduğu ve bu rezervuarın alt rezervuardan uçucu ve az miktarda akışkan ile beslendiği ve son olarak da Miyosen ckellerin sığ bir rezervuar karakteri ile ikincil rezervuarlardan beslendiği düşünülmektedir.

Tablo 5.4 Simav ve Gediz jeotermal alanları temel karakteristikleri

Jeotermal Sistem ve Referanslar	Del. Kuyu adedi	Min-Max Kuyu (m)	Kuyu Dibi Sıcaklığı (°C)	Debi (l/s)	Rezervuar kayaları	Örtü kayaç	Tektonizma	Su tipi
Simav (Gemici ve Tarcan, 2002; Tarcan, 2004)	12	65-958	97-170 (Kaynaklar 51-83)	358	1-Neojen Naşa bazalt 2-Mesozoyik Kırkbudak Formasyonuna ait kireçtaşları 3-Paleozoyik-Mesozoyik Simav Mermerleri, şist ve gnays	Neojen killi seviyeleri	Simav Grabeni ve onu kesen K-G doğrultulu Faylar (Oygür, 1997)	Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
Gediz Ilıca (MTA, 1996; Gökmenoğlu ve diğer., 2005)	3	6-752	Yok (Kuyu başı 77,9-93,1) (Kaynak 35,2-77)	Kaynak boşalmaları 20-30	1-Paleozoyik gnaysın kırık zonları, 2-Sarıcasu, Budağan ve Dağardı melanji kireçtaşları (Üst Paleozoyik-Üst Kretase) 3-Miyosen çökeller ve kireçtaşları	Dağardı melanji ve Neojen killi seviyeleri	Simav Grabeni ve onu kesen KD-GB doğrultulu faylar	Na-(HCO <sub>3</sub> )SO <sub>4</sub>
Gediz Muratdağı	yok	yok	(Kaynak 20,3-43)	22,6 (MTA, 1996)	Jura Yaşlı birimler ve Muratdağı karmaşığının ikincil permeabiliteli seviyeleri (MTA, 1996)		KD-GB Sintetik basamaklı faylar	Mg-SO <sub>4</sub>



Tablo 5.5 Simav jeotermal alanları sıcak ve soğuk sularının kimyasal analizleri (Gemici ve Tarcan, 2002), (<sup>a</sup> MTA, 1996)

Örnek	T (°C)	pH	Ec μS/cm	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	CO <sub>3</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	Li mg/l	Al mg/l
1-EJ-1	163	8,74	2300	506,4	55,3	11,6	4,9	80	678,3	471,2	52,8	363,7	0,416	0,363
3-E6	160	8,84	2280	532,3	62,3	6,4	5,8	80	651,5	455,9	57,6	348,7	0,413	0,363
4-E8	150	9,20	2300	523,1	58,3	8,4	4,6	81	578,3	446,1	100,8	338,0	0,422	0,383
5-Eynal kaynak	78	9,20	2200	529,5	48,4	1,6	3,9	71	588,0	424,3	110,4	263,8	0,349	0,057
6-E4	98	7,07	2280	520,3	56,3	31,6	5,1	75	829,6	459,6	-	306,6	0,400	0,324
7-Çitgöl sondaj	140	7,31	1460	288,6	35,5	54,8	9,0	48	558,8	272,0	-	154,5	0,025	<0,047
8-Çitgöl sondaj	162	7,91	1826	410,0	39,4	26,0	5,6	65	595,4	392,6	-	249,9	0,090	0,126
9-Çitgöl kaynak	51	6,84	2090	452,6	39,4	55,6	12,2	80	636,8	494,6	-	274,5	0,283	<0,047
11-Naşa sondaj	90	7,03	1612	334,0	35,5	47,6	11,2	56	592,9	323,4	-	223,1	0,106	0,126
12-Soğuk su	13	7,21	853	27,2	17,6	107,6	38,2	31	419,7	80,7	-	34,5	0,055	<0,047
13-(Eynal kaynak) <sup>a</sup>	60	8,2	1200	450	54	5,5	1,3	70	518	454	-	130,9	0,8	-
14-(Çitgöl kaynak) <sup>a</sup>	83	7,0	1000	340	44	34	5,3	57	573	376	-	150,8	-	-
15-(Naşa kaynak) <sup>a</sup>	64	6,6	1000	395	42	39	9,4	52	604	394	-	122,8	-	-

#### 5.4 Suların Kabuklaşma Özellikleri

Jeotermal sistemlerin en önemli kısmı ısıyı taşıyan akışkanın, yayılım, taşınım yol ve süreçlerinin ve içeriğinin bilinmesidir. Bu ise doğrudan yerbilimleri, termodinamik ve kimya yorumunu gerektirir bir olgu demetidir. Jeotermal ısıyı yüklenmiş olan akışkan çözünmüş katılar ve gazlar açısından zengin ve kararsız dengeler altındadır. Jeotermal sistemlerdeki ana problemi oluşturan bu durumlar öncelikle, üretim sürecinde yapılacak yapıların akışkanın durumuna (ısı, basınç, çözünmüş bileşenler) göre tasarlanmasını zorunlu kılar. Üretim ile değiştirilen ısı-basınç koşullarında çökelme/kabuklaşma, korozyon vb süreçler bu tasarımlarda göz önüne alınmayı gerektirir ve bunun ne kadar doğru yapıldığı da işletmenin sürdürülebilirliği ve ekonomikliğini etkiler. Isı yükü kısmen ya da bütünü ile alınmış olan akışkanın jeotermal rezervuara geri basılması, gaz ve çözünmüş katı bileşenlerin ısı kaybına bağlı davranışlarının bilinmesini gerektirir ki bu durum da işletmenin sürekliliğini ve ekonomikliğini etkilemektedir. Bu nedenle, belli bir bileşime göre tasarlanıp yapılmış donanım ve işletme süreci, çıkarılacak akışkandaki kimyasal bileşim değişimlerine karşı çok duyarlıdır. Bu değişikliklerin, öngörülmesi ve doğru yönetilmesi gereklidir (Öngür, 2005).

Akışkan içinde çözünmüş bileşenlerin türü ve miktarına bağlı olarak kabuklaşma oluşma mekanizması:

- suyun belli bir mineral ve gaz ile ulaştığı doygunluk derecesine,
- sıcaklık ve basınç değişim hızına,
- suyun pH derecesine bağlıdır.

Herhangi bir mineralin sudaki çözünürlüğü ise; sıcaklık, basınç, pH, redox potansiyeli (Eh) ve çözeltideki maddelerin göreceli konsantrasyonuna bağlıdır.

Akışkan içinde çözülmüş olarak bulunan gaz miktarı, basınçta meydana gelen değişime çok duyarlıdır. Ayrıca, gazların kısmi basınçlarındaki artış sudaki diğer bileşenlerin çözünürlüğünü de doğrudan etkileyebilmektedir. Örneğin, O<sub>2</sub> ile temas birçok iyonun hareketliliğini azaltarak çökelimlere ve akışkan kompozisyonunda değişimlere yol açarken, CO<sub>2</sub> miktarındaki artış kalsiyum başta olmak üzere birçok bileşenin hareketliliğini artırır. O<sub>2</sub>, jeotermal yer üstü tesislerinde demir bileşik çökelti oluşumunda etkin rol oynar ve kabuklaşmada görülen renklenmelerle kendini açıkça gösterir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Gediz Ilıca jeotermal alanındaki çökel oluşumları ve renklenmeler (Güneş, 2000)

Kütle transferlerinin çeşitli kimyasal reaksiyonlarla birleştiği hidrotermal sistemlerde mevcut olan denge koşulları, jeotermal kullanımın her kademesinde sıcaklık ve basınç yönünden önemli değişimlere uğrar ve ciddi izleme çalışmalarını gerektirir. Örneğin, akışkan sıcaklığının düşüşü kükürtlü metal bileşiklerinin çözünürlüğünü azaltarak çökeltiyi teşvik ederken, CaCO<sub>3</sub> için tersi işlem geçerlidir. Zira, kalsit düşük sıcaklıklarda daha çok çözünür fakat basınç değişimi ile CO<sub>2</sub> kaçıışı da pH değerinde yarattığı değişimden dolayı CaCO<sub>3</sub>'ün çökeltiyi hızlandırır.

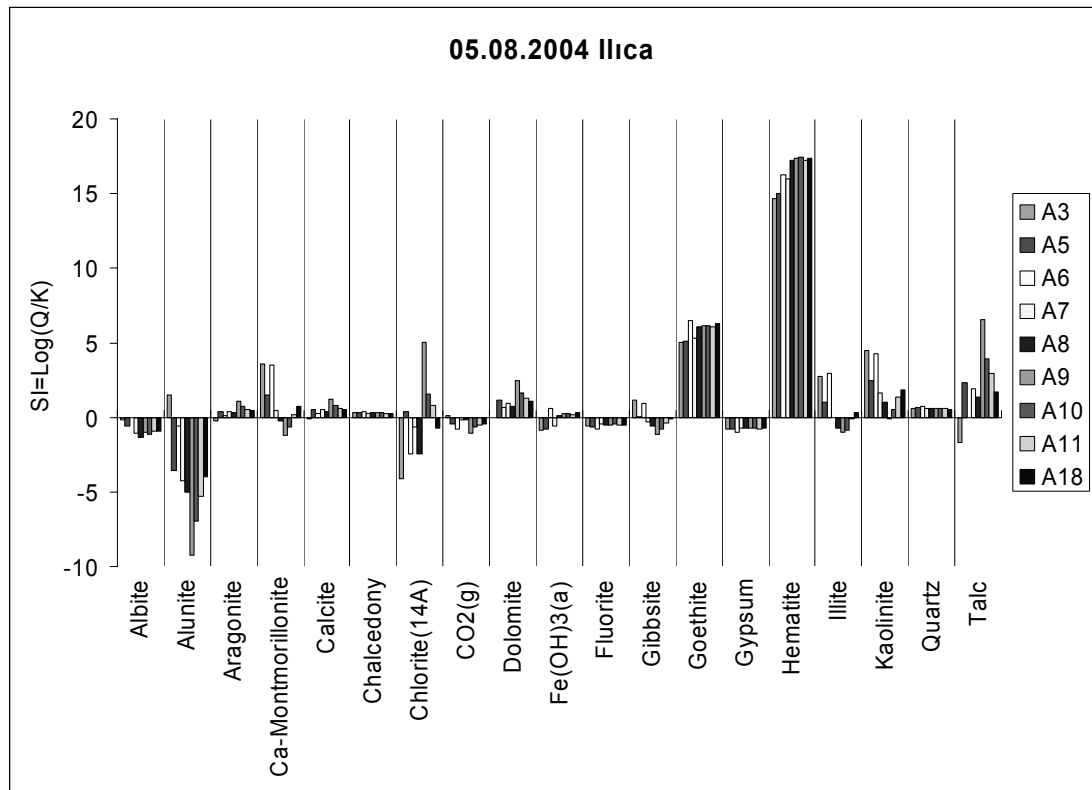
Gaz kaçıışının sınırlanması ve buna bağlı olarak minerallerin doğunluğa erişmesine neden olan pH değişiminin kontrol altına alınması ile özellikle  $\text{CaCO}_3$  kabuklaşması önlenabilir. Ancak, akışkanın pH değerini dūřürerek  $\text{CaCO}_3$  çökelimini durdurma işlemi,  $\text{SiO}_2$ 'in dūřük pH değerlerinde çökeliimi ile sonuçlanır. İzlenecek strateji, sistemin çalışmasında doğrudan etkilidir ve önemli ekonomik değerler getirir.

Jeotermal akışkanın kimyasal bileşimi değeri ve pH kontrolü kabuklaşmayı engellemenin en önemli yoludur. pH değerinin, jeotermal akışkana teknik asitler ilave ederek sağlanması pahalı bir işlemdir. Kabuk engelleyicilerinin (inhibitörler) kullanımı, kabuklaşma problemlerinin çözüminde en yaygın ve yararlı yöntemdir. Çok çeşitli inhibitörler arasından en uygun ve ekonomik olanını seçmek ve ayrıca ortamda kullanılması dūřünülen metalik malzemelerle korozyon testleri yaparak en olası inhibitör miktarının tespit edilmesi önemlidir.

Gediz Ilıca ve Muratdağı jeotermal alanlarından elde edilen analizlerin sonuçlarının Phreeqc (Parkhurst ve Appelo, 1999) bilgisayar programı ile doğunluk durumları hesaplanmıştır (şekil 5.10-5.13). Sahada görülen travertenlerden alınan iki örnekte (Güneř, 2000), CaO oranındaki yükseklik ortamdaki  $\text{CaCO}_3$  çökeliiminin egemenliğini sunmaktadır. Bunun yanında,  $\text{SiO}_2$  çökeliimi de göz ardı edilemez (Tablo 5.6). şekil 5.10'da son yapılan örneklemelerden alınan sonuçlara göre, suların orijinal sıcaklıklarındaki ( $77^\circ\text{C}$ ) doğunluk durumları verilmektedir. Burada, şekilde verilen minerallerden oluşan çökelimler yağışlı dönem olan 18.03.2004 tarihinde yapılan örneklemedeki doğunluklarla (şekil 5.11) karşılaştırıldığında, yağışlı dönemdeki pH değerlerindeki ortalama artış ve sıcaklıklardaki dūřüře rağmen egemen çökelimlerde önemli değişiklikler görülmemektedir.

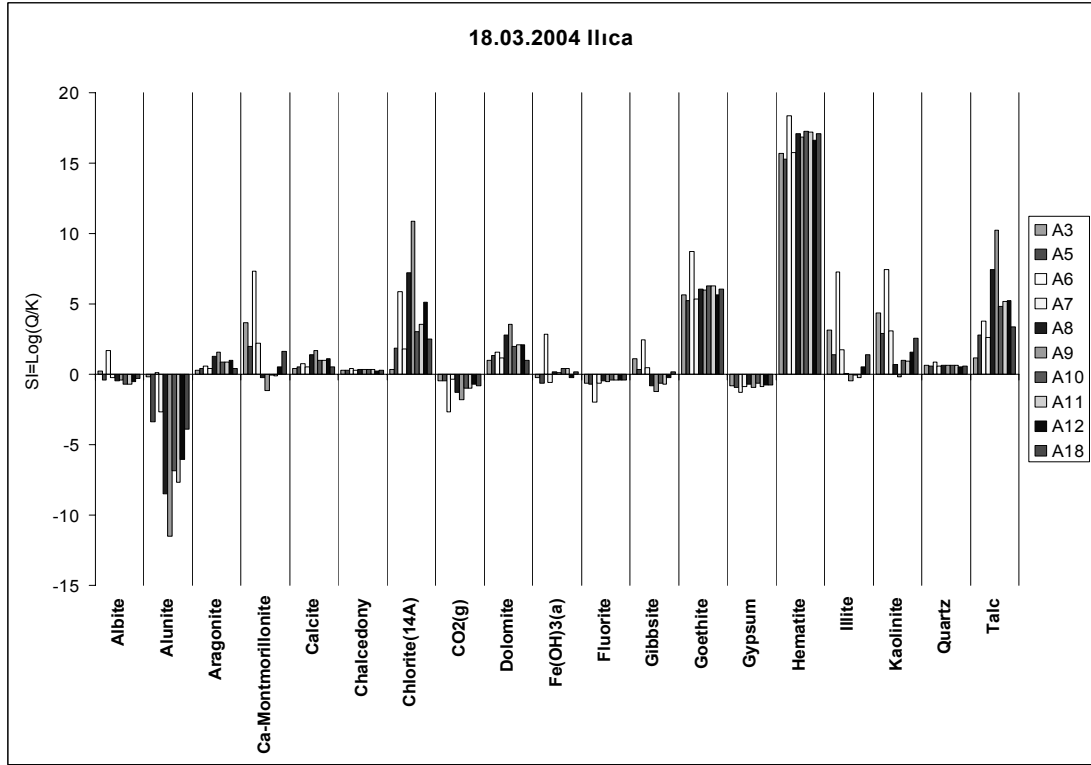
Tablo5.6. Abide traverten örnekleri kimyasal analiz sonuçları (Güneş, 2000).

Analiz Parametresi (%)	Açık renkli örnek	Koyu renkli örnek
Na <sub>2</sub> O	0.21	0.027
K <sub>2</sub> O	0.97	0.102
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.00
CaO	53.45	54.84
MgO	0.807	0.156
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.688	0.315
MnO	0.028	0.008
SiO <sub>2</sub>	0.390	0.472
Sb	0.000049	0.000049
Kızdırma kaybı	42.89	43.44

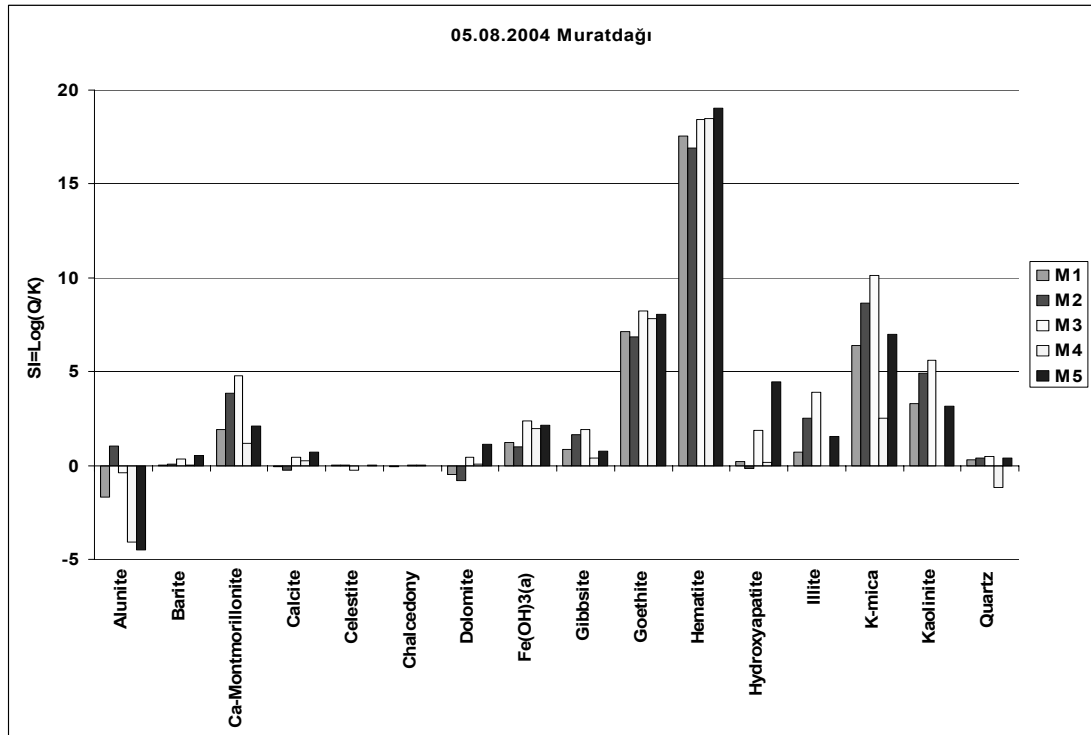


Şekil 5.10 Ilıca alanında bazı su noktalarının geçerli sıcaklıklarındaki doygunluk durumları. 05.08.2004 tarihindeki örnekleme sonuçlarından hazırlanmıştır.

Şekil 5.12’de, Muratdağı alanındaki çökelimler verilmektedir. Burada verilen mineraller özellikle çökelimi yüksek olarak oluşan minerallerdir.

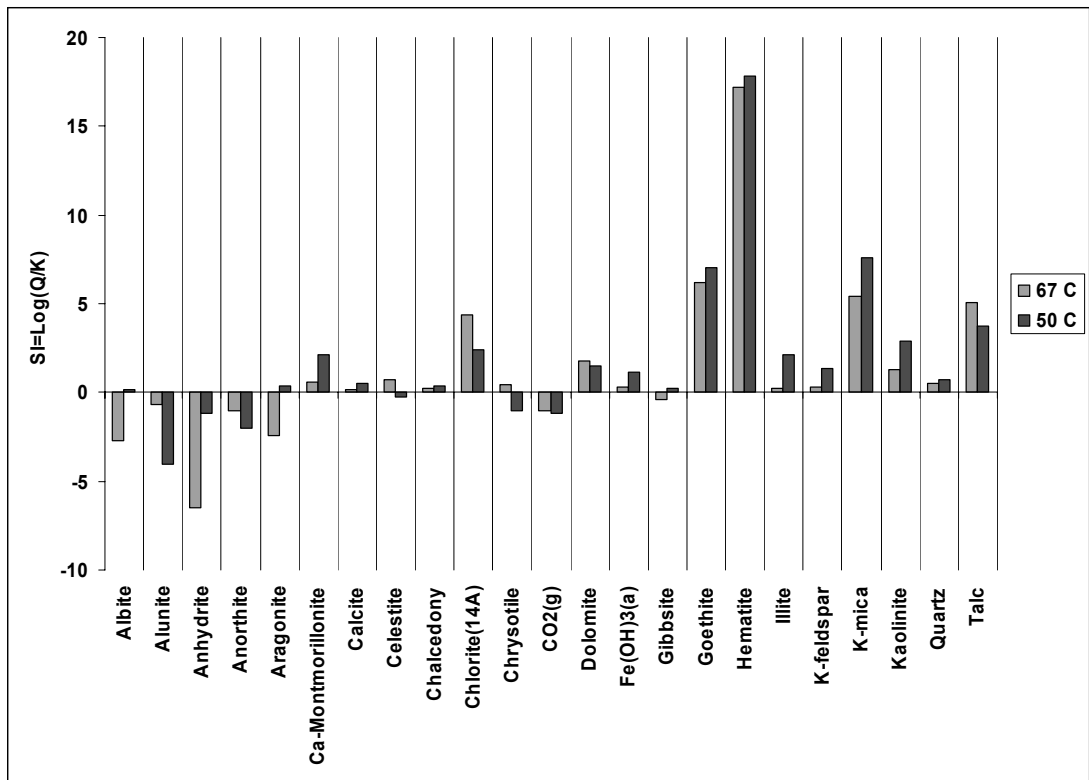


Şekil 5.11 Ilıca alanında bazı su noktalarının geçerli sıcaklıklarındaki doygunluk durumları. 18.03.2004 tarihindeki örnekleme sonuçlarından hazırlanmıştır.



Şekil 5.12 Muratdağı alanında bazı su noktalarının geçerli sıcaklıklarındaki doygunluk durumları. 05.08.2004 tarihindeki örnekleme sonuçlarından hazırlanmıştır.

Şekil 5.13, Ilıca alanında A12 numaralı örnekte sadece sıcaklık düşüşüne bağlı olarak doygunluklardaki değişimleri vermektedir. Minerallerin sıcaklığa bağlı çözünürlüklerinin artış ve azalışlarına bağlı olarak katsayılarında önemli değişiklikler vardır. Örnek olarak aragonit, kalsit, kalseduan, hematit, illit, kaolinit ve kuvars gibi minerallerde sıcaklık düşüşü çökelim katsayılarında artışlara sebep olmaktadır. Burada verilen sıcaklık düşüşü, suların ısınma amaçlı kullanımında ortaya çıkan sıcaklık farkının en az yarısı kadardır. Ayrıca, suların debilerinde kullanımın getirdiği artış çökelimlerin çok daha fazla boyutlarda olmasını doğuracaktır.



Şekil 5.13 Ilıca alanında A12 numaralı örneğin çıkış sıcaklığı olan 77°C'den 50°C'ye düştüğünde doygunluk katsayılarındaki değişimleri.

## **BÖLÜM ALTI**

### **SULARIN HAZNE SICAKLIKLARI VE KARIŞIM ORANLARI**

#### **6.1 Giriş**

Bu bölümde, sıcak suların yüzeydeki kimyasal ve fiziksel verilerinden faydalanarak hazne sıcaklıkları ve soğuk sular ile karışım oranları belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada temel olarak, Giesse (1997) ve Tarcan'ın (2002) tez ve seminer notlarından ve önceki bölümlerde verilen verilerden faydalanılmıştır.

Suların kullanım amacının belirlenmesinde en önemli etken sıcaklıklarıdır. Suların hazne sıcaklıkları, jeotermometreler olarak nitelendirilen akışkanın kimyasında bulunan bileşenler yardımı ile hesaplanır ve jeotermal kaynakların geliştirilmesi ve araştırılmasında en önemli kısmı oluşturur. Derinlerde haznede bulunan akışkan yüzeye ulaşmaya kadar kullandığı yollarda önemli ölçüde soğuyarak ve soğuk yeraltı sularıyla değişik oranlarda karışarak yüzeyler. Akışkanın izlediği yollara göre, içeriğinin değişiminin bilinmesi hazne sıcaklığı tahmini için kullanılacak yöntemlerin güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir.

Hazne sıcaklığının saptanmasında, birçok jeotermometre uygulamaları bulunmaktadır. Bu bölümde değinilen jeotermometreler, kimyasal jeotermometreler grubunda yer almaktadır. Kimyasal jeotermometreler 3 tipte sınırlandırılabilir.

- Çözünürlük jeotermometreleri (Si, Na, K, Li,...),
- Gaz jeotermometreleri,
- İzotop jeotermometreleri.

Tüm jeotermometreler sıcaklığa duyarlı denge şartlarını temel alır (ör, kuvarsin çözünürlüğü). Bu dengelerin yıkımı ve bozunumu, suyun hazneden yükselimi sırasında azalan sıcaklık ve basınç altında korunabilmelidir. Çok düşük reaksiyon hızları veya geri reaksiyonun oluşum hızı (kinetik inhibisyon) durmuş olmalıdır (ör, kuvars çökelirken inhibe olmalıdır). Olasılıkla aşağıdakiler tarafından oluşturulan karmaşık durumlar da vardır:



- Çökelme etkisi (amorf silis),
- Ortak çökelme etkisi (Fe (OH) yüzeyinde),
- İyon değişimi etkileri (mermer ve kireçtaşlarında Na'a karşılık Ca değişimi),
- Eş fiziko-kimyasal değişim etkileri (kayalarla).

İkinci bir problem çözülmüş bileşenin ilksel minerolojik durumudur. Örneğin, pek çok Si jeotermometresi olmasına rağmen sadece bir veya birkaçı hesaplamalarda uygun sonuçlar verir. Bu durum aşağıdaki şekilde kontrol edilmelidir:

- Hangi mineraller (ör, Si) çözülmüştür (amorf silis metamorfik kayalarda oluşmaz),
- Sistemin iletim koşulları nedir (kondüktif veya adiyobatik soğuma, kaynama),
- Çökelim süreçleri ortak çökelmeler getiriyor mu (karbonat kabuklaşmasında amorf silisin ortak çökmesi),
- Sığ akiferler ile karışım veya kurlsız filtrelene süreçleri var mı (ör, meteorik girişli Mg, Na ve Cl'ün denizel girişimi veya tortul birimlerden özütlenmesi).

Giesse'ye göre (1997) jeotermometre metotlarından hangisinin kullanılacağı jeolojik çevreye bağlıdır. Volkanik hazne kayaları için geliştirilen metotların, Batı Anadolu'da çalışması beklenemez. Araştırmacı, Batı Anadolu'daki termal su çıkışları üzerindeki araştırmalarında alkali ve toprak alkali jeotermometrelerin genellikle oldukça yüksek sıcaklıklar gösterdiğini ifade etmektedir.

Hazne sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılan grafiksel yöntemler de vardır. Örneğin ;

- Na-K-Mg<sup>1/2</sup> üçgen diyagramı,
- SiO<sub>2</sub>-entalpi diyagramı,
- Cl-entalpi diyagramı,
- CO<sub>2</sub>-entalpi diyagramı.

Bu çalışmada, ilk üç diyagram kullanılarak hazne sıcaklıklarının ve suların karışım oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 6.2 Na-K-Mg<sup>1/2</sup> Üçgen Diyagramı

Jeotermometrelerin sıcak suyun kimyasal yapısına bağlı olarak uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından grafiksel modeller geliştirilmiştir. Bu diyagramlar ile hem hızlı bir şekilde jeotermometre sonuçları görülebilmekte, hem de katyon jeotermometre bağıntılarının geçerliliği sınanabilmektedir Giggenbach (1988).

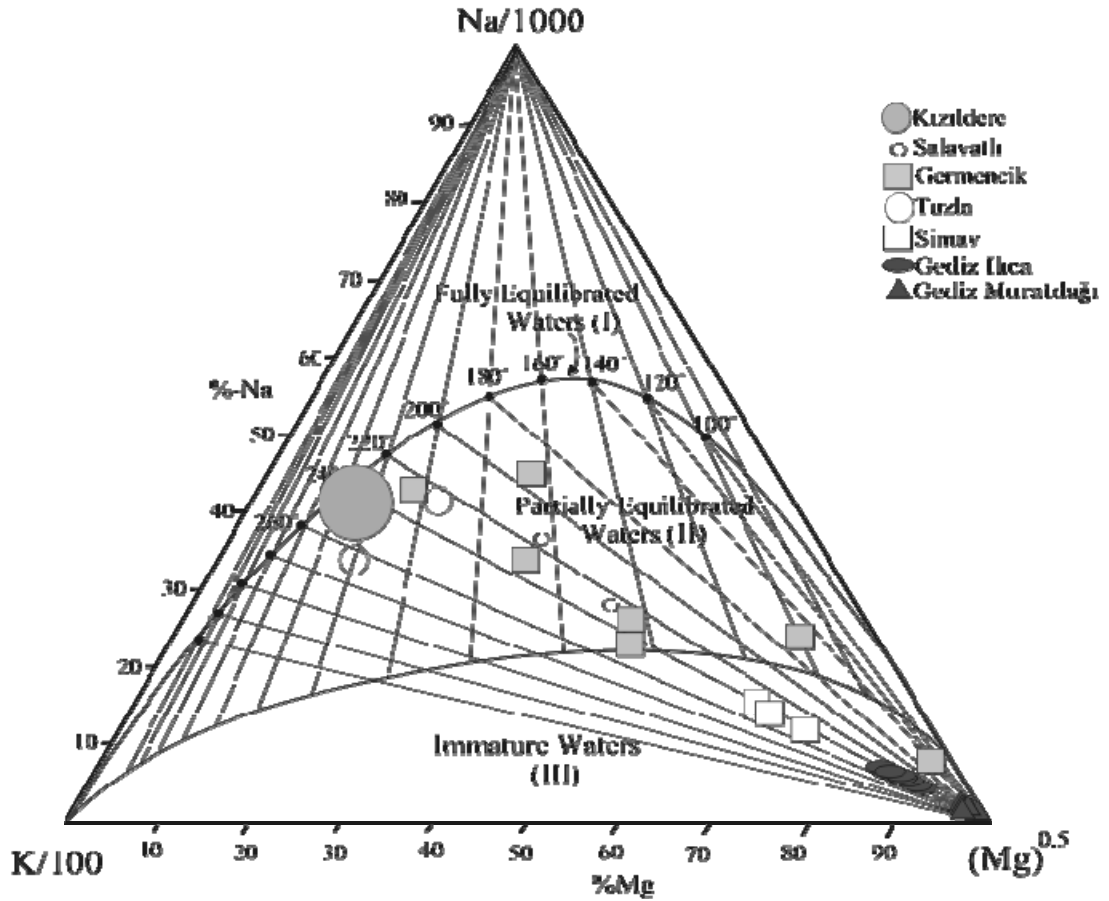
Diyagram kısaca, su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu (karışmış sular) ve su-kayaç ilişkisinin tam dengede olduğu sular olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Giggenbach (1988) ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini belirtmektedir.

Diyagramda Na-K-Mg arasındaki göreceli ilişkiler söz konusudur. Diyagramda jeotermal akışkanın Mg'ca zengin soğuk akifer suları ile karışımları, iyon değişimine bağlı Na azalması (sularda yumuşama reaksiyonları) gibi reaksiyonlar suların izdüşümlerini doğrudan etkilemektedir.

Sınıf olarak olgunlaşmamış sular sınıfında yer alan her iki jeotermal alan, eş sıcaklık olarak Ilıca alanı suları 220-240°C arasına karşılık gelirken, Muratdağı alanı suları için bir şey söylemek zordur (Şekil 6.1). Olgunlaşmamış sınıfında yer alması, termal suların büyük oranda soğuk sularla karışmış olması ile açıklanabilir. Ayrıca, yine ham sular bölgesine karşılık gelmesi hazne sıcaklığı için de katyon jeotermometrelerine güvenilmemesi gerektiğini göstermektedir.

Diyagram Tarcan'dan (2004) uyarlanmış olup üzerinde Türkiye'deki bazı önemli sahaların izdüşümleri de verilmiştir. Diyagrama göre, Türkiye'deki örnek gösterilen sahaların hiçbirisi tam dengeli sular değildir. Ayrıca, aynı jeotermal alandaki suların Na-K-Mg içerikleri arasında farklılıklar gözükmemektedir. Aynı sahada farklı analiz

sonuçlarında bir hata yapılmadığı ön düşüncesi ve tüm sahalarda dengelenmemiş olması, Batı Anadolu'daki sahalarda çökeltme, iyon değişimi, kondüktif ve adiyabatik soğuma, buharlaşma ve karışımlar söz konusu olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.1 Giggenbach (1988) Na-K-Mg jeotermometre diyagramı Tarcan'dan (2004) uyarlanmıştır.

### 6.3 Si-Entalpi ve Cl-Entalpi Diyagramları

Rezervuardaki silikatlar ve kuvarşın çözünürlüğüne dayalı oluşturulan metotlar, jeotermometre uygulamalarında en uygun sonuçları vermektedir. Kuvarş jeotermometreleri ile ilgili çalışmalar 1960'lı yıllardan beri sürmektedir. Termal suların karışım durumları grafik metotlarla uygun sonuçlar vermiştir. Rezervuar sıcaklığını ve akışkanın karışım durumlarını açıklamak için Truesdell ve Fournier (1974, 1975, 1977) SiO<sub>2</sub>-entalpi ve Cl-entalpi diyagramını geliştirmişlerdir. SiO<sub>2</sub> çözünürlüğünün sıcaklıkla olan dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan SiO<sub>2</sub>-

entalpi karışım diyagramı kullanılarak, hazne sıcaklığı ve karışım oranları belirlenebilir. Aynı şekilde, Cl-entalpi diyagramı ile de elde edilen hazne sıcaklık ve karışım oranlarının SiO<sub>2</sub>-entalpi diyagramından elde edilen veriler ile karşılaştırılması mümkündür. Ancak, diyagramlar belli bir öngörü ve limitler dahilinde çalışmakta ve bu durumlara göre yorumlamalar yapılabilmektedir. Öngörüler Bölüm 6.1 giriş kısmındaki bilgilerde verilmiştir. SiO<sub>2</sub>-entalpi diyagramı limitleri aşağıda verilmektedir;

- Karışımından sonra ısı kaybı yoktur (bu durum görecelidir),
- Rezervuar akışkanı içindeki Si içeriği kuvarsın çözünürlüğü ile sağlanmaktadır (Menderes masifi kuvars içermektedir),
- Haznede oluşmuş denge koşullarındaki SiO<sub>2</sub> içeriğinde karışım öncesi veya sonrasında çökeltim veya çözünme yoktur (çökelimler kuvarsın sıcaklığa bağlı çözünürlüğü ve diğer bazı temel kimyasal süreçler ile kontrol edilmektedir).

SiO<sub>2</sub>-entalpi diyagramı ve Cl-entalpi diyagramı aşağıdakilerin yorumlanmasında kombinasyon halindedir.

Kaynama etkileri;

- buhar kaybı ile türlerin zenginleşmesi,
- akışkanın iç enerjisinin azalması (adiyabatik soğuma).

Karışım etkisi;

- tatlı sular ile karışma sonucu seyrelme,
- karışımla soğuma.

Isı yayılımı ile değişim;

- konduktiv soğuma,
- konduktiv ısınma,
- gaz absorpsiyonu ile ısınma (konduktive benzer ısınmalar.),

Yorumlama için ana veriler;

- çıkış sularının sıcaklığının entalpi değeri karşılıkları,
- çıkış sularının Si içeriği,
- çıkış sularının Cl içeriğidir.

Karışım oranlarında iyi bir yorumlama için aynı orijinde farklı karışım karakterlerinde çıkış suları ve soğuk sulardan referans sular gereklidir. Soğuk sular kuyulardan, içme suyu sistemlerinden veya tatlı su kaynaklarından olabilir. Termal akışkandan yüzeysel ve yeraltı su kütlelerinin beslenmesi olabilir. Bu durumda, karışım olmadığı düşünülen çevredeki sular referans olarak alınmalıdır.

### **6.3.1 SiO<sub>2</sub>-Entalpi Diyagramı**

SiO<sub>2</sub>- entalpi diyagramında, karışımdan önce ısı ve buhar kaybının olmadığı ilk model ve karışımdan önce ısı ve buhar kaybının olduğu ikinci model olarak, iki karışım modeli bulunmaktadır. Gediz jeotermal alanlarında alınan ilk verilere göre, karışım öncesinde buhar kaybı olması düşüncesi ile diyagramın ikincisi kullanılmıştır (Şekil 6.2). Karışım süreçleri, Ilica alanı yükseltisine göre suyun kaynama noktası olan 98°C, 410,6 kJ/kg içsel entalpi değerindedir. Gediz alanları soğuk ve jeotermal suları, Simav E4 numaralı sıcak ve 12 numaralı soğuk su (Gemici ve Tarcan, 2002) izdüşümleri bulunan diyagramda, alttaki tanımlamalar bulunmaktadır.

- A=Ilica, 'A=Simav, M= Muratdağı soğuk suları,
- B, 'B, K ise sırası ile Ilica, Simav ve Muratdağı sıcak suları,
- D, 'D ve L sırası ile Ilica ve Simav maksimum buhar kaybı eğrisi (MBK) kesim noktalarını,

- E ve 'E ise buhar kayıpsız (BK) eğrisi kesim noktası olup rezervuar SiO<sub>2</sub> içeriklerini göstermektedir (Ilıca 132 mg/l, Simav 242 mg/l).

Burada çıkış sularının karışım oranları ( $K=(AB/AC) \times 100$ );

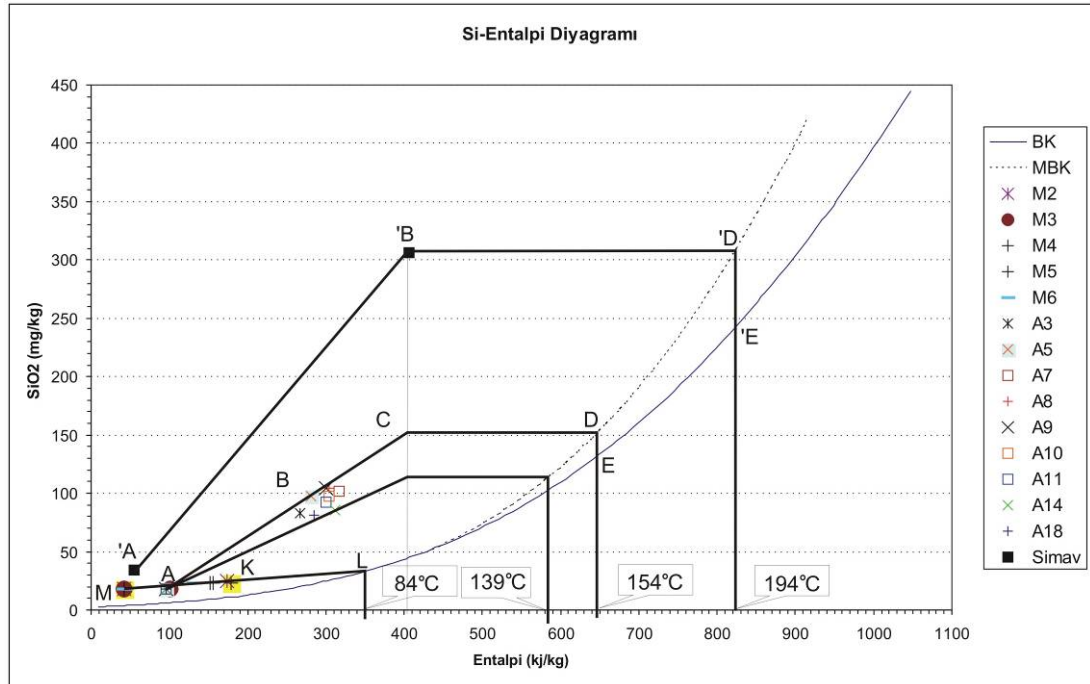
- Ilıca %54-70 oranında hazne ana akışkanını,
- Muratdağı ise %29-45 oranında hazne ana akışkanını içermektedir.

Yaklaşık rezervuar sıcaklıkları;

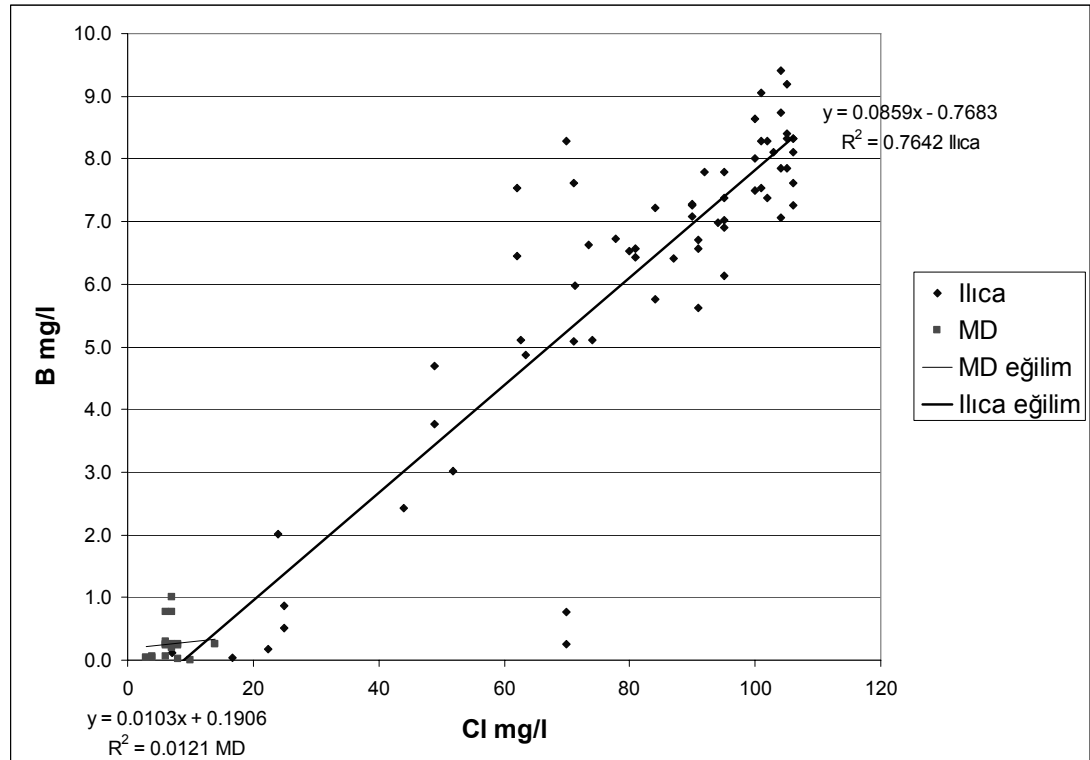
- Ilıca 139-154°C,
- Muratdağı 84 °C,
- Simav 194°C'dir.

Simav alanı hazne sıcaklığı, Cl-entalpi diyagramında kullanılacağından sadece bu durumu ile değerlendirilmiştir.

SiO<sub>2</sub> değerlerinde çok küçük değişimlerle ve içsel entalpinin yüksek değişiminin olduğu Muratdağı suları özel bir karakter sunmaktadır. Alanda haznenin çok düşük SiO<sub>2</sub> içermesi hazne kayalarının özellikleri ile uymamaktadır. Kondüktif bir ısınma ile buhar ısıtmalı tatlı suların özel bir karakteri bu alanda görülmektedir. Hazne sıcaklığının düşük olması da bu veriyi desteklemekte ve karışım oranının yanıtıcı olarak çıktığı sonucuna vararak ana hazne akışkanının bu sularda bir etkisi olmadığını göstermektedir. Bu verilere ek olarak Şekil 6.3 Bor-Flüorür ve Şekil 6.4 Bor-Cl diyagramlarına bakıldığında Muratdağı alanında bir doğrusallık görülmemektedir.

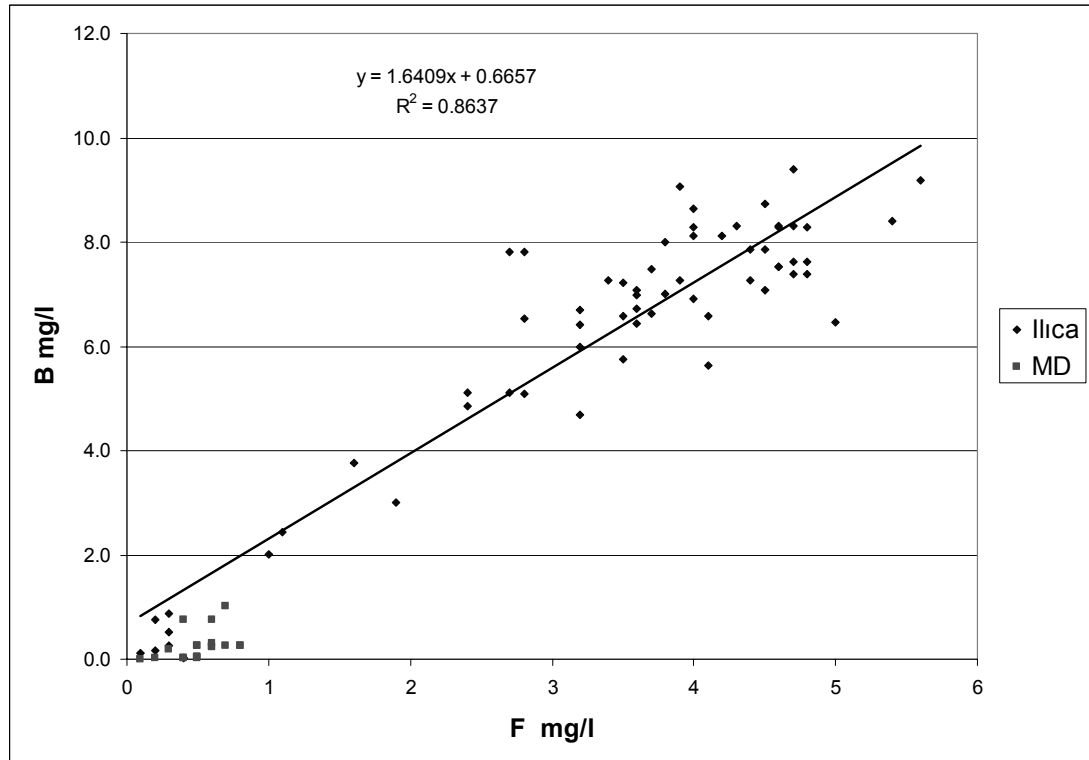


Şekil 6.2 Gediz alanları jeotermal suları ve Simav jeotermal suyu E4 (Gemici ve Tarcan, 2002) izdüşümleri bulunan karışımdan önce ısı ve buhar kayıplı  $\text{SiO}_2$ -entalpi diyagramı. A=Ilıca, 'A=Simav, M= Muratdağı soğuk suları. B, 'B, K ise sırası ile Ilıca, Simav ve Muratdağı sıcak suları, D, 'D ve L sırası ile Ilıca ve Simav maksimum buhar kaybı eğrisi (MBK) kesim noktalarını, E ve 'E ise rezervuar  $\text{SiO}_2$  içeriklerini göstermektedir. Yaklaşık rezervuar sıcaklıkları diyagram üzerinde belirtilmektedir. BK= buhar kayıpsız eğrisidir.



Şekil 6.3 Ilıca ve Muratdağı (MD) sıcak sularındaki Bor-Klorür dağılımları. Ilıca alanında doğrusal bir ilişki gözlenirken Muratdağı alanındaki sulara böyle bir ilişki bulunmamaktadır.

Ilıca alanı jeotermal suları bir çizgisellikten uzak farklı karışım ve entalpileri ile karışık bir görünüm oluşturmaktadır. Sularda hem ısı hemde  $\text{SiO}_2$  kazanımı veya tersi bulunmaktadır.  $\text{SiO}_2$  miktarı aynı fakat entalpileri farklı olan sular bir ısı alma çizgisi üzerinde olup buradaki ısı buhar ısıtmalı bir görünüm verirken, tersi durumda  $\text{SiO}_2$  yükselimi ana akışkanın sular üzerindeki etkisini göstermektedir. Diğer yandan bir soğuma ile ısı kaybı ve karışımdan kaynaklanan seyrelme olarak bakıldığında sulara soğuk su girişi ile soğuma ve seyrelme gerçekleşmektedir. Diğer bir görünüm ise, dış sistem ile herhangi bir ısı dönüşümü olmaksızın sıvı içeriğindeki zenginleşmeye bağlı olarak buhar kaybı sırasında, sıvının içsel enerjisinin azaldığı veya dış sistemden enerji alarak içerik ve enerji yükselimidir. Bu durumların hangisinin doğru olduğu Cl-entalpi diyagramı ve diğer analiz verileri ile birlikte değerlendirilmesini sonuçlamaktadır. Cl-entalpi diyagramı ısı zenginleşmesine bağlı süreçlerin yorumlanması için çok uygundur. Ilıca jeotermal suları rezervuardan gelen ana akışkanı içerdiğinin kanıtı olarak Şekil 6.3 Bor-Flüorür ve Şekil 6.4 Bor-Cl diyagramlarına bakıldığında doğrusal bir ilişki sunmaktadır.



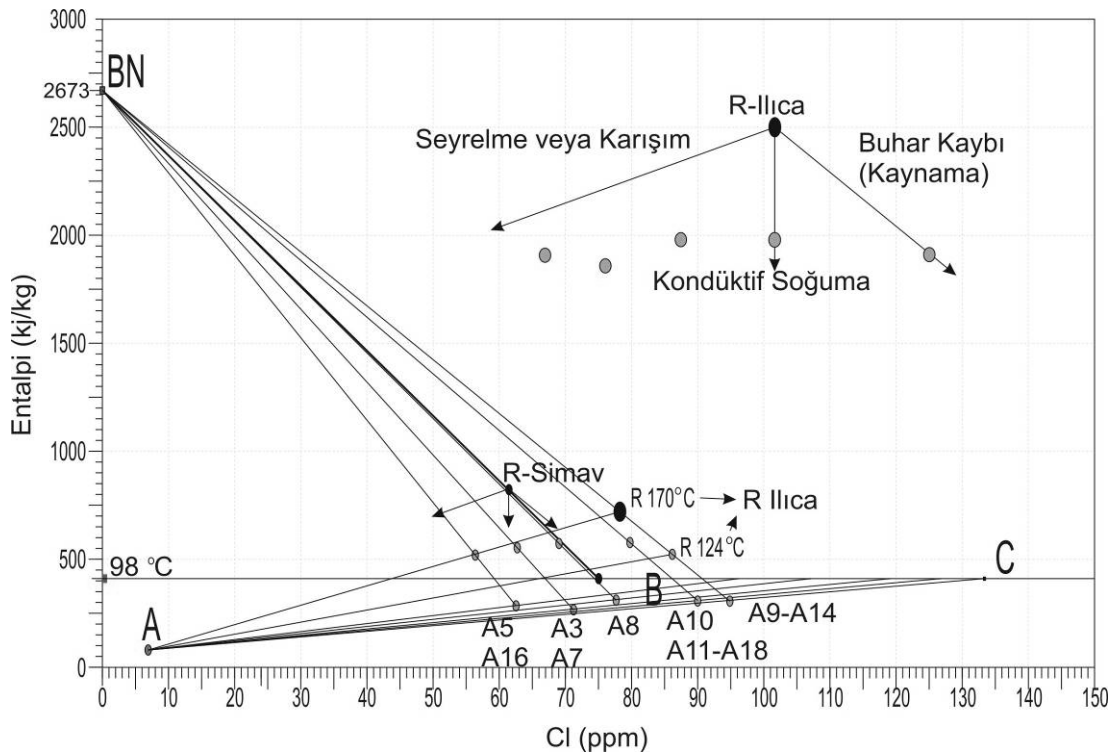
Şekil 6.4 Ilıca ve Muratdağı (MD) sıcak sularındaki Bor-Flüorür dağılımları. Ilıca alanında doğrusal bir ilişki gözlenirken Muratdağı alanındaki sularda böyle bir ilişki bulunmamaktadır



### 6.3.2 Cl-Entalpi Diyagramı

Cl-entalpi diyagramı  $\text{SiO}_2$ -entalpi diyagramı gibi eş özellikler içermektedir. Burada;

- A soğuk su,
- B örnek noktalarının Cl içerikleri ve sıcaklıklarına göre izdüşümleri,
- C soğuk su ve örneklerden geçen çizginin kaynama noktasını kestiği nokta,
- BN buhar noktası, sıvının 0 °C'de maksimum entalpisi,
- R rezervuar anlamında kullanılmıştır.



Şekil 6.5 Ilica jeotermal alanının Cl-entalpi diyagramında gösterimi. A soğuk su, B örnek noktalarının Cl içerikleri ve sıcaklıklarına göre izdüşümleri, C soğuk su ve örneklerin çizgisinin kaynama noktasını kestiği nokta, BN buhar noktası, R rezervuar anlamında kullanılmıştır.

Burada suların karışım oranları ( $K=(AB/AC) \times 100$ ), Ilica jeotermal alanında ki çıkış suları %62-70 oranında hazne ana akışkanını içermektedir. Muratdağı alanı sıcak ve soğuk sularının Cl içerikleri çok düşük ve aralarında bir fark yoktur. Bu

durumda entalpilerinden gelen farklar suların karışım oranlarını belirlemede yeterli değildir.

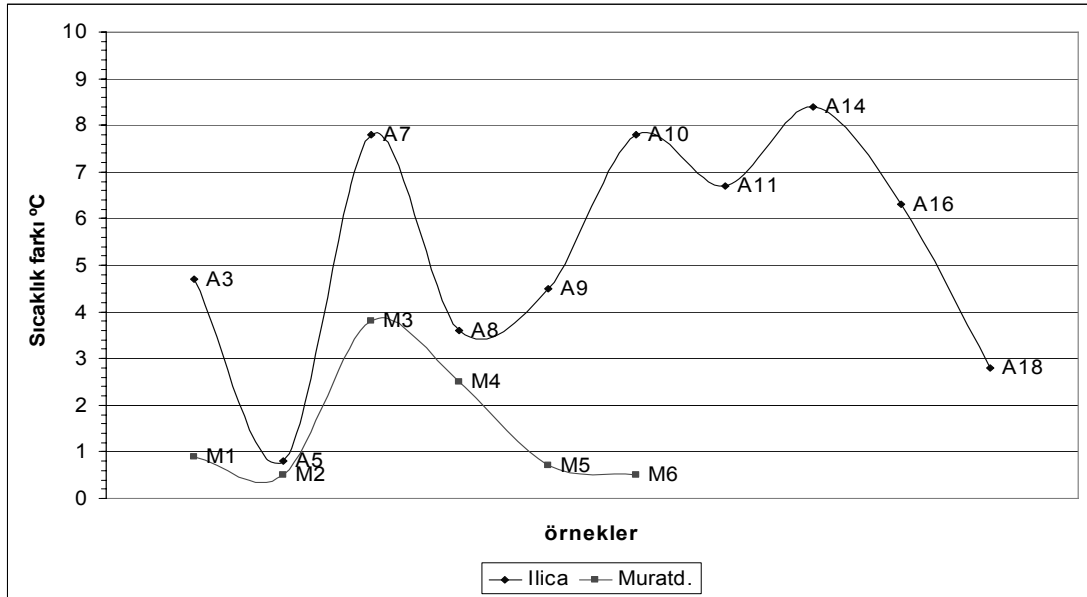
Ilıca alanın yaklaşık rezervuar sıcaklığı 124-170°C arasında ve rezervuar Cl içeriği 78 mg/l çıkmaktadır. SiO<sub>2</sub>-entalpi diyagramından maksimumda alınan 154°C ile ortalaması alındığında 162°C olan bir hazne sıcaklığı elde edilmektedir.

Suların diyagramda oluşturdukları çizgisellik A9 ve A14 numaralı örneklere göre, buhar kaybı ile başlayıp kondüktif bir soğuma ve son olarak soğuk sular ile karışım ile son bulmaktadır. Bu durumda, alandaki suların rezervuardan yükselimi ile birlikte ısı kayıpları başlamakta ve ısı içeriğinde çıkış noktasına göre %50'den fazla ısı kaybetmektedir. Rezervuara göre, Cl zenginleşmesi ancak buhar kaybı ile gerçekleşebilir. Bu durumda, A9-10-11-14-18 numaralı örneklerde buhar kaybı söz konusudur. A3-5-7-16 numaralı örneklerde ise, seyrelmeye bağlı bir ısı kaybı bulunmaktadır. A8 numaralı örnek ise, Cl içeriğini koruyarak kondüktif bir soğuma geçirmiştir.

Diyagram kullanımı, benzer özellikteki sahaların karşılaştırılmasında çok uygundur. Kıyaslamada Simav Jeotermal alanı kullanıldığında, örneklerin büyük kısmında buhar kaybına bağlı ısı kaybı gözükmemektedir.

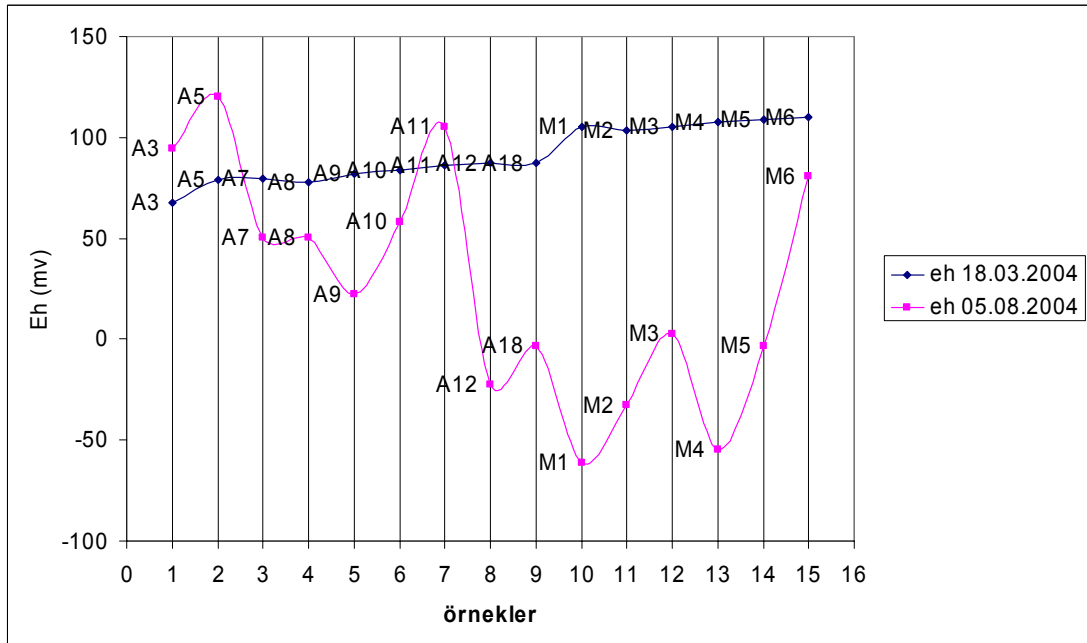
#### **6.4 Sularda Görülen Mevsimsel Değişiklikler**

Mevsimsel değişiklikler suların fiziksel verilerinde soğuk sular ile karışımlardaki verileri desteklemektedir. Sıcaklıklarda kış döneminde önemli değişiklikler vardır. Şekil 6.4'de yaz ve kış (yağmurlu dönem) dönemindeki sıcaklık farkları 8°C'yi bulmaktadır.



Şekil 6.6 Yağmurlu kış dönemi ve yaz dönemindeki sıcaklık farkları

Aynı şekilde Eh (redoks potansiyeli) değerlerinde mevsimsel olarak farklar vardır. Şekil 6.5’de verilen değerlerde yaz döneminde (05,08,2004) A5 ve A11 numaralı örnekler dışında diğerlerinde düşük değerler varken, kış döneminde (18,03,2004) soğuk sulardaki oksijen girişimi, Eh değerlerini daha yüksek potansiyellere çekmektedir.



Şekil 6.7 Yaz (05,08,2004) ve kış mevsimindeki (18,03,2004) soğuk sulardaki oksijen girişimi Eh değerlerini daha yüksek potansiyellere çekmektedir.

## **BÖLÜM YEDİ**

### **JEOTERMAL SİSTEMİN ÇEVRESEL ETKİLERİ**

#### **7.1. Giriş**

Bu bölümde, çalışma alanında jeotermal sistemin kullanılmasından kaynaklanan yüzeyselsu, yeraltısuyu, katı atık, toprak ve bitki örtüsü üzerine etkilerin değerlendirilmesi Çevre Kanunu'na istinaden çıkarılan yönetmelikler çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Zira, Yeraltısuyu Kanunu, Havza Koruma Yönetmelikleri ve TSE içme suyu standardı gibi farklı kanun, yönetmelik ve standartlarda yeralan sınıflandırma ve farklı amaçlar için kullanılabilirlik gibi değerler temel anlamda Çevre Kanunu Yönetmelikleri'nde verilmektedir.

Çevresel etkilerin belirlenmesinde, Ilica ve Muratdağı jeotermal alanlarındaki örnekleme noktalarından alınan soğuksu, içmesuyu ve yüzeyselsu numunelerinin analiz sonuçları; içmesuyu kalitesi, sulama suyu kalitesi ile yüzeyselsu ve yeraltısuyu sınıfının belirlenmesinde kullanılmıştır. Jeotermalsu örneklerine ait analiz sonuçlarında ise; katı atık kirliliği, toprak kirliliği ve bitki örtüsü üzerine etkiler değerlendirilmiştir.

Bölgede jeotermal sistemin değişik kullanım olanaklarından da yararlanılması konusu gündemde olduğundan ve benzeri sorunlarla karşılaşılması olasılığının bölge için yüksek olmasından dolayı, günümüze kadar global ölçekte jeotermal sistem uygulamalarının genel çevresel sorunlarının bu bölüm kapsamında verilmesi uygun görülmüştür. Jeotermal sistemlerdeki çevresel sorunların bertarafında ve/veya en aza indirilmesinde izleme çalışmalarının önemi kabul edilmiş bir gerçektir. Dolayısıyla, izleme çalışmalarında dikkat edilmesi gereken hususlar da çalışma alanı örneğinde bu bölüm kapsamında değerlendirmeye alınmıştır.

## 7.2. Jeotermal Sistemlerin Çevresel Etkileri

Jeotermal sistemler düşük atık oluşturan enerji sağlama tiplerinden biridir. Fosil yakıtlara oranla çok daha az çevresel etkilere sahip olan jeotermal enerji üretim tesisleri fosil yakıt kullanımından çok daha az atmosferik kirlilik yaratırlar ve göreceli olarak temiz enerji kaynaklarıdır. Türkiye’de de kömür, elektrik, doğal gaz, kalorifer yakıtı, LPG ve motorin gibi farklı konut ısıtma maliyetleri değerlendirildiğinde, jeotermal enerji en ucuz maliyetli olanıdır. Maliyet açısından değerlendirildiğinde de jeotermal elektrik santralının ilk yatırım maliyeti termik santrale göre yaklaşık %40 pahalı olmasına rağmen, elektrik üretim maliyeti jeotermal santralde 1,54 cent/kWh, termik santralde ise 2,44 cent/kWh’dir (DPT, 2001).

Trevor (2001)’e göre, jeotermal enerjinin çevresel etkilerinin çoğu yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerden kaynaklanır. Tablo 1’de jeotermal gelişimin olumlu çevresel etkileri düşük ve yüksek sıcaklıklı alanlar için özetlenmektedir. Tablo 2’de ise, jeotermal sistemlerin etki alanları ve önem dereceleri detaylı olarak verilmektedir.

### 7.2.1. Reenjeksiyonsuz Üretim

Reenjeksiyon yapılmadan jeotermal enerjinin kullanımında üç tür olumsuz etki sözkonusudur. Bunlar; yeraltı suyu alçalması, akarsuların hidrojeokimyasal ve termal etkilere maruz kalması ve atmosferdeki jeokimyasal etkiler ve yapay maddelerin (inhibitörlerin) doğal kaynaklara enjeksiyon uygulamalarıdır (Giesse, Dobberstain ve Gallo, 1999).

Tablo 7.1 Jeotermal Gelişimin Çevresel Etkileri, Trevor (2001). Yüksek Etki ▲, Orta Etki ◄►, Düşük Etki ▼, Etkisiz ☼.

	Düşük Sıcaklıklı Sistemler	Yüksek Sıcaklıklı Sistemler	
		Buhar Egemen	Sıvı Egemen
<b>Sondaj Çalışmaları</b>			
Erozyon ve Ormanlık Alanların Hasarı	▼	◄►	◄►
Gürültü	◄►	◄►	◄►
Işıklandırma	▼	▼	▼
Sondaj Çamurunun Yeraltısuyuna Etkisi	▼	◄►	◄►
<b>Akiferden Kuyularla Çekim</b>			
Termal Özelliklerin Bozulması	▼	◄►	▲
Zeminde Oturmalar	▼	◄►	▲
Yeraltısuyu Düşümleri	☼	▼	◄►
Hidrotermal Çıkışlar	☼	▼	◄►
Yüzeydeki Sıcaklık Değişimleri	☼	▼	◄►
<b>Atık Suyun Depolanması</b>			
Yüzeysel Depolamanın Organizmalara Etkileri	▼	▼	▲
Reenjeksiyon	☼	☼	☼
Yüzeysel Depolamanın Su Yollarına Etkileri	▼	▼	◄►
Yeraltısuyu Kirliliği Sismik etkiler	▼ ☼	▼ ◄►	▼ ◄►
<b>Atık Gazın Depolanması</b>			
Organizma Üzerine Etkileri	☼	▼	◄►
Sera Etkisi	☼	▼	▼

Tablo 7.2 Jeotermal tesislerin çevresel etkileri, Trevor (2001)

OLASI SORUNLAR	ETKİ ALANLARI	ETKİ	ETKİ BÖLGESİ	ÖNCELİK
Tesis İnşaatı				
Kaynakların Çıkarılması	Çeşitli	Emisyonlar/gürültü/vb.	Y/B/G	D
Kaynakların Nakli	Çeşitli	Emisyonlar/gürültü/vb.	Y/B/G	D
Materyallerin İşlenmesi	Çeşitli	Emisyonlar/gürültü/vb.	Y/B/G	D
Üretim bileşenleri	Çeşitli	Emisyonlar/gürültü/vb.	Y/B/G	D
Bileşenlerin Nakli	Çeşitli	Emisyonlar/gürültü/vb.	Y/B/G	D
Sondaj Ve Yapı				
Sondaj/Yapı Çalışmaları/ Araç Trafığı	Çeşitli	Atmosferik emisyonlar	Y/B/G	D
Tesis				
Gürültü (Artan Trafik)	Genel Halk	Gürültü	Y	O
Görsel Etkiler	Genel Halk	Görsel etki	Y	O
Ekoloji				
Toprak Kullanımı/ Bitkilerin Etkilenmesi	Ekosistem	habitatın kaybı, erozyon	Y	D
Gürültü/İnşaat Uygulamaları	Ekosistem	Bozulma	Y	D
Su Kirliliği	Yerüstü ve yeraltı suları	Sondaj ve jeotermalsulardan kirlenme	Y	O
Gaz Emisyonları 2				
CO <sub>2</sub>	Çeşitli	Sera gazı	G	O
H <sub>2</sub> S	Çeşitli	Sağlık etkisi-sinir, öfke	Y	O
Amonyak	Halk	Sağlık etkisi-sinir, öfke	Y	D
Radon	Halk	Sağlık etkisi-kansorejen	Y	D
Arsenic	Halk	Sağlık etkisi-cilde korozif,kansorejen	Y	D
Cıva	Halk	Sağlık etkisi-nörolojik bozukluk	Y	D
Bor	Çeşitli	Sağlık etkisi-sinir,öfke, bitki zararı	Y	D
Sıvı Emisyonları			Y	D
Toxic Kimyasallar, (B, Li, As, H <sub>2</sub> S, Hg, Rb, NH <sub>3</sub> )	Sucul Ekosistem	Yeraltı ve yüzeysel su kirlenmesi; sedimentte birikim,sucul organizma	Y	D
Termal Kirlilik	Sucul Ekosistem	Organizmalarda stres; yaşam formlarında değişim kaybı	Y	D
Yeraltısu Değişimleri	Su Temini		Y	D
Yer Çökmeleri	Çeşitli	Yapılarda stabilite kaybı; yer kırılmaları, su yolu değişimleri	Y	D-O 3
Toprak Kullanımı	Ekosistem	Habitat kaybı, bozulma	Y	D
Tesis				
Görsel Etkiler	Halk	Görsel etkiler	Y	O-Yü 3
Gürültü	Halk	Gürültü etkileri	Y	O
Doğal Özellik Bozunumu	Halk		Y	D-O 3
Sismik Etkiye Neden Olma	Mal Mülk Arazi	Mal- mülk arazi zararları	Y	D
Kuyu Patlamaları	Çeşitli	Su kirliliği;halk sağlığı ve bitki	Y	D
Hidrotermal Patlama	Mal Mülk Arazi	Mal-mülk arazi zararları, halk sağlığı	Y	D
Toprak Kayması		Mal-mülk arazi zararları, halk sağlığı	Y	D

- <sup>1</sup> Kaynak çıkarma safhalarının etkileri, nakliye ve bileşenlerin üretimi burada ayrı olarak detaylandırılmamıştır. Kaynak çıkarma safhalarındaki emisyonlar ve diğer safhalardaki istenmeyen emisyonlar bu bölümde verilmektedir.
- <sup>2</sup> Sistem tipine bağlı olarak; reenjeksiyonun yer aldığı ve atık jeoakışkanın reenjektte edildiği dolayısı ile atık su deşarjının olmadığı kapalı çevrim sistemlerinde gaz emisyonları olmayabilir Örnek; Binary sistem.
- <sup>3</sup> Yer karakteristiklerine bağlı olarak.  
Y=yerel, B=bölgesel, G=global, D=düşük, O=orta, Yü=yüksek

Üretim oranı doğal yeraltı suyu beslenme miktarını aşarsa, rezervuar basıncı hızla düşebilir. Bunun sonucunda; küçük ölçekli kısa dönem etkiler (depresyon hunileri) ve büyük ölçekli uzun dönem etkiler (rezervuar basıncının düşmesi) gözlenebilir. Rezervuar basıncının teknik olarak düşmesi, teknik ve doğal sistemleri tehdit eder (Giesse ve diğer., 1999).

Teknik etkiler;

- kuyubaşı basıncının düşmesi ve boşalımın azalması,
- düzensiz kabuklaşma çökmesi,
- kendiliğinden olan çıkışın sona ermesi
- sıcaklık düşüşü ve ilavelerle kimyasal karakterin değişmesidir.

Doğal sisteme etkiler ise;

- kaynakların tamamem kurumması,
- kaynakların, buhar çıkış yerlerine dönüşmesi,
- buhar çıkışı yerlerinin soğuk gaz çıkış yerlerine dönüşmesi,
- doğal çökellerin çökeliminin kesilmesi,
- yeraltı suyunun geçerli rejiminin düzensizleşmesidir.

Çökmenin bağlı olduğu üretim ve reenjeksiyon sistemlerinde, kabuklaşma problemleri çok sık gözlenir. Tuzlu jeotermal sular döşeli ekipmanı veya depoları



çürütür. Özel yapay kimyasalların (inhibitörlerin) eklenmesi kabuklaşmayı veya korozyonu azaltabilir yada durdurabilir. İnhibitör içeriği çok düşük (mg/l) olmasına rağmen yüksek maliyet ve su sisteminin kirlenmesi şeklinde iki olumsuz etki sözkonusu olabilir. İnhibitör üretim kuyusuna, daha çok reenjeksiyon olmaksızın enjekte edilirse, alınan su kirlenecektir. İnhibitör rezervuara tekrar enjekte edilirse, yeraltı suyu da kirlenecektir. Bu durumun çevresel etkileri; rezervuar koşullarındaki maddelerin karakterleri ve muhtemelen oluşacak metabolitlerin karakteri ve niteliğinin bilinmesiyle tahmin edilebilir. İnhibitörler çok yararlı maddeler olmalarına rağmen, yeraltı su kaynakları korunmak zorundadır. İnorganik oligofosfatlar, organik fosfatlar, aminofosfosülfoorganikler veya benzer türler gibi birçok organik maddeler inhibitör olarak kullanılmaktadır. Değişken gruplar fenil veya benzil gibi aromalar olabilir. Aromalar gibi organikler, polisilik aromalar ve bunların bileşkeleri yeraltı suyu için zararlı maddelerdir (Giesse ve diğer., 1999).

### **7.2.2. Hava Kirliliği**

Atmosfer, aerosollar ve CO<sub>2</sub>, metan, su gazları ve N<sub>2</sub>O gibi atmosferik sera gazları ile ısı toplar. Endüstri devriminden sonra atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarı hızlı bir şekilde artmıştır. Bu artış temel olarak kömür ve petrol tüketimine dayanır. CH<sub>4</sub> gazının sera etkisi CO<sub>2</sub>'in etkisinden 30 kat fazladır. CH<sub>4</sub> yayılımının bir kısmı işletmeden ve fosil petrolerin kullanımıyla olmaktadır. Atmosferde toplanan ısının etkisi iklimsel değişiklikler yaratabilir. Su miktarı ve global okyanus seviyeleri gibi konvektif sistemler değişebilir ve sonuçta iklimsel felaket, sera gazları etkisinin artışı ve bunların işlevi sonucu oluşacak etkilerle kamçılanabilir. Jeotermal enerjinin kullanımında ise, daha az sera etkisi ve daha az atmosferik kirlenme sözkonusu olacaktır (Giesse ve diğer., 1999).

Jeotermal akışkanlar; karbondioksit (CO<sub>2</sub>), hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S), SO<sub>2</sub> (ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aerosolları), amonyak (NH<sub>3</sub>), azot (N<sub>2</sub>), hidrojen (H<sub>2</sub>), cıva (Hg), bor buharı (B), radon (Rn) ve metan (CH<sub>4</sub>) belki HF ve HCl gibi zararlı gazlar ve miktarı sıcaklıkla artan çözülmüş katı partiküller içerir (Giesse ve diğer., 1999; Günerhan, 2001). Yoğuşmuş

gazlar, jeotermal akışkanın ağırlıkça %0,3'ü ile %5'i arasındadır (Serpen, 1999). Bu gazlar içerisinde çevresel açıdan en önemlileri hidrojen sülfür, karbondioksit, amonyak, cıva ve bor iken; metan ve radon gibi hidrokarbonların çevreye zararlı etkileri nispeten daha azdır. Jeotermal sahalarda oluşan buhardaki kirleticilerin konsantrasyonları rezervuar jeokimyası ve güç üretimi şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Gerekli ise, başlangıçtaki buhar ayırımı sırasında rezervuardaki kirleticiler buharlaşabilirliklerine bağlı olarak kısmen ya da tamamen buhar faza transfer edilebilirler. Borik asit ve amonyak, buharlaşabilirliklerinin düşük olmasına karşın ayırımın gerekmediği buharın baskın olduğu sistemlerde buharda önemli konsantrasyonlarda bulunabilirler. Buna karşın hidrojen sülfür ve cıva daha buharlaşabilir ve karbondioksit çok buharlaşabilir olması nedeniyle çoğu ayırımında buhar faza transfer olurlar. Atık gazın atmosferde dağılma oranı; meteoroloji ve topografya, deşarjın yapısı (direkt atık ya da soğutma kulesi atığı olması) ve gaz kirleticilerin kimyasal stabilitesi gibi her jeotermal saha için farklı olabilecek çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerin potansiyel çevresel etkileri, çeşitli konsantrasyonlarda atmosfere verilme şartları ve atmosferde dağılımı hava kalitesi modellemeleri kullanılarak tahmin edilebilmektedir (Badruk, 2001).

Jeotermal sahalarda karbondioksit gazı sera etkisi nedeniyle global etkiye sahip iken; jeotermal alanların en önemli hava kirletici unsuru olan hidrojen sülfür, ekipman korozyonu ve asit yağmurlarına neden olması ve uzun süreli maruz kalmalarda hastalık yapıcı olması, nefes darlığına neden olması ve hatta öldürücü etkisi nedeniyle lokal bir etkiye sahiptir. Hidrojen sülfür gazı, özellikle yakın yerleşim bölgelerinde, vahşi yaşam ortamlarında ve üretim sahalarda gerçekleştirilecek izleme çalışmaları ile sürekli ölçümü ve izlenmesi gereken bir parametredir. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'ne göre hidrojen sülfür için kısa vadeli sınır değer  $40 \text{ g/m}^3$ , maksimum saatlik referans sınır değer ise  $100 \text{ g/m}^3$  olarak verilmektedir (Günerhan, 2001; Güneş ve Türkman, 2001).

Jeotermal sahalarda çevresel açıdan önemli bir diğer gaz olan radon seviyesinin gözlemlenmesi gerekmesine rağmen, jeotermal gaz emisyonları ile hissedilebilir

seviyelere çıktığı konusunda kanıt yoktur. Bor, amonyak ve cıva gazları, toprak ve bitki örtüsünü kirletirler. Bu kirleticiler ayrıca yüzey suları ve su canlıları üzerinde de etkilidir (Günerhan, 2001).

Jeotermal alanlarda izlenmesi gereken bir diğer parametre de tozluluktur. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'ne göre; 0,1, 1 ve 3 kg/h veya üzerindeki özel emisyon debileri için özel toz emisyonlarındaki sınır değerler sırasıyla; 20, 50 ve 75 mg/m<sup>3</sup> olarak verilmektedir (Güneş ve Türkman, 2001).

Kızıldere jeotermal alanında, sera etkisi olan CO<sub>2</sub> gazı yayılımı günde yaklaşık 500 t ve CO<sub>2</sub>/enerji oranı miktarı da 2,1 kg CO<sub>2</sub>/kWh'dir. Direkt uygulamaların eklenmesiyle bu oran 0,2'nin altına düşürülebilmesi mümkündür. Kömürlü elektrik santrallerinde bu oran 0,5, petrolü elektik santrallerinde 0,3 ve doğal gazla ısınmada 0,24'e kadar düşmektedir. Reenjeksiyon uygulamasız jeotermal üretim çevreye NH<sub>3</sub> ve H<sub>2</sub>S yayar. Atmosferik oksidasyon, H<sub>2</sub>S metabolizmasını sülfürik asit aerosolüne çevirmeye zorlar (Giesse ve diğer., 1999).



Rutubetli bölgelerde volkanik asit yağmurlarının etkileri gözlenebilir (örneğin, Acores'de São Miguel ormanlarında). Yarı kurak iklimlerde kuru yataklanmalar meydana gelmiştir (örneğin, Pamukkale çökellerindeki sülfidasyon). S-türleri bileşenleri yaşamı tehdit eder ve ekolojiyi yerel ve bölgesel olarak etkileyebilir. İtalya-Lardarello'da gaz emisyon-enerji oranı 3,5 g S/kWh, İzlanda-Krafla'da 6 değerlerindedir. Doğal gaz kullanımında bu değer 0,005, petrol ve kömür uygulamalarında ise 11'e yakındır (Giesse ve diğer., 1999).

İtalya'da iki ayrı jeotermal sahada gerçekleştirilen bir çalışmada, hava kalitesinin belirlenmesinde liken kullanılmıştır. Biyomonitör olarak liken kullanımı 1915'lere kadar dayanmaktadır. Çalışmada, güç santrallerinin çevresinde liken haritalaması yapılmış ve

liken çeşitliliğine bağlı olarak santrallerin 500 m'lik mesafelerinin dışında kötü hava koşullarının olmadığı tespit edilmiştir. Likenlere başlıca zararı H<sub>2</sub>S vermektedir. Likende tespit edilen iz elementler ise arsenik, bor ve sülfürdür (Loppi, 2000).

Japonya'da bir jeotermal güç istasyonundaki koku problemine ilişkin olarak gerçekleştirilen bir çalışmada, H<sub>2</sub>S konsantrasyonunun 6-60 ppb arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu istasyonda, yoğunlaşmış gazlar ve H<sub>2</sub>S konsantrasyonu üretilen buhar içerisinde 30–0,7 t/h aralığındadır ki bu değer diğer benzeri jeotermal güç istasyonlarındakinin 10 katı kadar daha yüksek bir değerdir (Takakashi ve Kuragaki, 2000).

Trevor'a (2001) göre, jeotermal enerjiden elektrik üretimi fosil yakıtlara oranla daha az sera gazlarını atmosfere bırakmaktadır. Atomik Enerji Ajansı (IAEA) değerlendirmesinde, bir kWh fosil yakıt ile 1 kWh jeotermal gücü yer değiştirildiğinde global ısınma etkisinin yaklaşık olarak %95 azalacağını tahmin etmektedir. Bu tahmin, tüm enerji zincirinden kaynaklanan güç üretimi için gerekli prosesleri içermektedir. Bu değer abartılı gibi görülebilirse de, fosil yakıtların çıkarılması, rafinerisi ve taşınımı önemli sera gazı emisyonları vermektedir. Pek çok jeotermal enerji üniteleri küçük miktarlarda da olsa akışkan içinden karbondioksit gazı (CO<sub>2</sub>) vermektedir. 1989'da bir ve 1992'de yapılan iki ayrı çalışmada her kWh net elektrik enerjisi için sırası ile 57 ve 40-42 gram CO<sub>2</sub> gazının atmosfere bırakıldığı saptanmıştır. Fosil yakıtlarda ise bu durum 460-1290 gram CO<sub>2</sub>/kWh'dir

Dünya genelinde jeotermal enerjinin elektrik ve direkt kullanımından tasarruf edilebilecek CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, ve NO<sub>x</sub> miktarları Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 7.3 Jeotermal enerji kullanılmasından tasarruf edilebilecek CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, ve NO<sub>x</sub> miktarları, Trevor (2001).

CO <sub>2</sub> (10 <sup>6</sup> ton)			SO <sub>x</sub> (10 <sup>6</sup> ton)			NO <sub>x</sub> (10 <sup>6</sup> ton)		
Doğal Gaz	Petrol	Kömür	Doğal Gaz	Petrol	Kömür	Doğal Gaz	Petrol	Kömür
19,4	82,2	95,9	0	0,51	0,54	4,5	15,5	15,5

Sülfür gazları emisyonları jeotermal kaynaklı kullanımda ortalama 0,03 g/kWh olmasına rağmen, kömür ve petrol kaynaklı kullanımdan sırası ile ortalama 9,23 ve 4,95 g/kWh'dir (Trevor, 2001). Barbier (2002)'e göre, hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) jeotermal sistemlerde önemli bir atmosferik kirleticidir. Emisyon değerleri genel olarak 0,5-6,8 g/kWh aralığındadır. H<sub>2</sub>S önce sülfür dioksit ve sonra sülfürik aside oksitlenerek asit yağmurlarına neden olabilir. Bununla birlikte, H<sub>2</sub>S emisyonu ile asit yağmurları arasında doğrudan bir bağlantı bulunamamıştır. Asit yağmurları toprak ve bitki türlerinin kirlenmesine neden olabilmektedir. Bu kirleticiler aynı zamanda yüzeysel su ve sucul yaşamı etkilemektedir. Jeotermal tesislerden çıkan sülfür emisyonları, kömür yakan tesislerin yarısı kadardır.

### **7.2.3. Su Kirliliği**

Jeotermal enerji gelişimleri sonucunda yüzeysel ve yeraltı sularının doğrudan veya dolaylı olarak kirlenmesi söz konusudur. Doğrudan kirlenme, atık sıvının direkt yüzeysel sulara deşarj edilmesi durumunda oluşur. Atık sıvıların reenjekte edildiği durumlarda ise, atık sıvı tamamı ile reenjekte edilse bile yüzeysel su–yeraltısu etkileşimleri veya gaz deşarjının ikincil etkileri nedeni ile kirleticiler yüzeysel sulara da zengin kalabilirler. Yeraltı sularının ve yüzeysel suların bu şekilde kirlenmesi ise dolaylı kirlenmedir (Badruk, 2001).

Gerek düşük gerekse yüksek sıcaklıklı sistemlerde akışkanın çıkarılmasında 500-2500 m derinliklerde kuyu açılması gerekmektedir. Bu durum, geniş kuyu açma donanımları gerektirir ve birkaç hafta ya da ay sürer. Bu çalışmalar sırasında yüzeysel ve yeraltısu kirlenmesi, toprak kirlenmesi, habitatın etkilenmesi, gürültü ve doğal örtünün bozulması ile karşılaşılmaktadır. Arama amaçlı sondaj açılması sırasında gerekli tedbirler alınmadığı takdirde genelde yeraltı suyu kirlenmesi söz konusudur. Sondaj açılırken akiferler geçildiğinde yeraltı suları ile sondaj akışkanlarının karışması olasıdır. (Günerhan, 2001; Güneş ve Türkman, 2001).

Su-kayaç etkileşimi sonrası, kıtasal jeotermal akışkanların toplam çözülmüş katı madde (TDS) miktarı 10 000 mg/kg'ı geçmemektedir. Tuzların yıkanması veya fosil tuzlu suların katılımı ile oluşan bir karışım varsa, TDS kolaylıkla 100 000 mg/kg'yi geçer. Salıverilen atık jeotermal su aşağıdakileri içerebilmektedir (Giesse ve diğer., 1999);

- yüksek miktarlarda tuz (örneğin, NaCl),
- ziraat için zararlı maddeler (örneğin, Bor),
- fiziksel zehirli maddeler (örneğin, Arsenik),
- su kirliliği yapan maddeler (örneğin,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ).

Kuyu ve soğutma sularının reenjeksiyon olmaksızın çevreye atılması, yerel ve bölgesel yüzey sularını etkiler. Akışkan atımının kimyasal kompozisyonu, her jeotermal saha için farklı olan rezervuar jeokimyasına ve santralin işletme koşullarına bağlıdır (Günerhan, 2001). Jeotermal akışkanlar; lityum, borik asit, arsenik, florür, hidrojen sülfür, cıva, amonyak, kurşun ve çinko gibi kimyasal kirleticiler ile birlikte büyük miktarda karbonat, silika, sülfat, klorür, antimuan, talyum, gümüş ve selenyum gibi tuzları da içerirler. Yüzeysel sular ayrıca kimyasalların dökülmesi veya kimyasal atıkların atılması ve santralin işletilmesi sırasındaki sızma nedeniyle de kirlenilebilirler (Günerhan, 2001; Badruk, 2001). Çevreye zararlı olabilecek derişimdeki bir çok elementi içeren jeotermal deşarj suları çoğunlukla yakın çevredeki akarsu, dere ve göl gibi alıcı su ortamlarına boşaltılmaktadır. Bu uygulamanın bir sonucu olarak, dünyadaki pek çok jeotermal saha çevresinde çevre kirliliği oluşmaktadır. Örneğin, Kızıldere atık suyunda 7 g/s B, 1500 g/s çözülmüş katı ve 0,4 g/s As yayılımı vardır. MtüApo-Filipinler jeotermal sahasında As, Los Azufres-Meksika jeotermal sahasında Fe, Mn, F, B, As ve MtüAmiata-İtalya jeotermal sahasında Hg (Loppi, 2001) kirliliğinin jeotermal akışkan üretimi ile orantılı olarak artış gösterdiği saptanmıştır.

Jeotermal enerjinin bir diğ er çevresel etki bileş eni de, jeotermal akış kanın bir nehre ya da gö le deş arj edildiğ i durumlarda sucul organizmalar üzerinde yarattığ ı termal ve kimyasal ş oklardır (Günerhan, 2001; Güneş ve Türkman, 2001). Organizmalar üzerinde ş ok yaratacak derecede oluş an bu etkinin nedeni jeotermal enerjinin yapısında doğ al olarak bulunan kimyasallardır. Bu kimyasalların etkileri sadece organizmalar üzerinde kalmamakta, doğ al olarak yeraltısuyu ve yüzeysel su kalitesini de etkilemektedir. Termal suların deş arjındaki önemi ortaya koymak için atık sınının fiziksel ve kimyasal özelliklerinden sadece sıcaklığ ını ve Bor konsantrasyonunu dikkate almak dahi yeterlidir. Alıcı ortam sıcaklığ ını, akarsuda 3°C'den fazla, deniz ve içsulara 2°C'den fazla, bir saatlik yapılan ölçümlerde ise 0,5°C'den fazla değ iştiren sıcaklıklara sahip atıksuların alıcı ortama verilmesi Su Kirliliğ i Kontrolü Yönetmeliğ i Teknik Usuller Tebliğ i'ne göre yasaklanmıştır. Alıcı ortama ait kabul edilebilir bor değ eri ise 3 mg/l'dir. Atıksuların radyoaktif maddeler içermesi durumunda ise deş arjı kesinlikle yasaklanmıştır (Güneş ve Türkman, 2001).

Jeotermal enerjinin tarım sektöründe kullanımı sera ısıtmacılığ ı ve ürünün kurutulması gibi alanlarla sınırlı kalırken, jeotermal akış kanın doğ al yapısındaki yüksek konsantrasyonlardaki bor ve diğ er bileş enler nedeniyle sulama amaçlı kullanımı mümkün değ ildir. Bor konsantrasyonu 2 mg/L'yi geçen suların sulama suyu olarak kullanımı Su Kirliliğ i Kontrolü Yönetmeliğ i Teknik Usuller Tebliğ i'ne göre zararlı olarak belirtilmiştır (Güneş ve Türkman, 2001).

Afyon-Akarçay Havzasında yapılan bir çalışmada, termal su karışımının göstergesi olarak kullanılan; Na+K, Cl, Li, B, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik parametrelerinin alansal dağılımı soğuk yeraltısuyundaki kirlenmenin jeotermal alanlara yakınlık ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Az sayıdaki tatlı yeraltısuyu üretim kuyusunda sulama, içme ve kullanma suyu kriterleri açısından jeotermal su katkısına bağılı kirlenmenin oluştuğ u belirlenmiştir. Halen yaklaşık 125 l/sn debili jeotermal akış kan her yıl Ekim-Nisan döneminde 6-7 ay süre ile ısıtmada kullanıldıktan sonra Akarçay Nehri'ne

boşaltılmaktadır Ayrıca, gelecek yıllarda projenin 625 l/sn'lik akışkan debisine ulaşacak şekilde genişletilmesi de planlanmıştır (Doğdu ve Bayarı, 2002).

Endonezya'da, jeotermal test kuyularının üretimlerinden kaynaklanan atık sıvının Tulis Nehri'ne ve tarımsal alanlara etkileri üzerine yapılan bir araştırmada, bazı su kirleticileri olarak; amonyak, bor, arsenik ve ağır metaller belirlenmiştir. Amonyak, jeotermal alanlardaki buhardan kaynaklanmaktadır. Bor kirliliği ise buhar-su ayırım proseslerinden gelmektedir. Arsenik kirliliği; buhar-su ayırım prosesinden sonra toplam sıvı fazda bor ya da arsenik konsantrasyonlarının %90'ı geçmesi halinde oluşmaktadır. Ağır metal kirliliği ise, yüksek sıcaklıkta veya yüksek tuzlulukta meydana gelmektedir (Widagda, Santosa ve Suwardiyono, 2000).

Kenya'da Olkaria jeotermal alanında gerçekleştirilen bir çalışmada bitki, toprak ve sular da iz elementlerin konsantrasyonları saptanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, kurşun, çinko, bakır, kadmiyum ve bor soğutma kulelerinden ve kuyulardan deşarj edilen jeotermal sular da ölçülmüştür. Bu elementler aynı zamanda jeotermal sularla etkileşim halinde olan bitki ve toprakta da gözlenmiştir. Doğal sıcak su çıkışlarında da bu değerler saptanmıştır. Sonuçlar, doğal deşarjlardaki metal konsantrasyonları ile çıkarılan jeotermal akışkandakinden farklı olmadığını göstermiştir. Toprak ile su arasındaki konsantrasyon faktörleri  $B < Cd < Pb < Cu < Zn$  şeklinde artmaktadır. Jeotermal su ile temas eden bitkilerdeki metal konsantrasyonları topraktaki seviyeler ile karşılaştırıldığında çok daha yüksek olduğu saptanmıştır. Yeşil alglerin jeotermal sulardaki metal konsantrasyonlarını yüksek kapasitede göstermesinden dolayı, jeotermal alanlardaki iz metal kirlenmesini gösteren iyi bir indikatör olabileceği belirtilmektedir. Çalışmada ayrıca bu tip olumsuz etkilerin kaldırılabilmesi için reenjeksiyonun gerekli olduğu vurgulanmaktadır (Simiyu ve Tole, 2000).



#### **7.2.4. Zemin Çökmeleri ve Sismik Tehlike**

Yeraltı rezervuarlarından büyük hacimlerde akışkan çıkarılıp yerine hiçbir şey konulmaması dolayısıyla üst tabaka basıncının gözenekli rezervuar kayacını sıkıştırması ve ısı üretimi sırasında kayalarda oluşan büzülme nedenleri ile yeraltında oluşan boşluklar çökme veya göçük tehlikesi olasılığını ortaya çıkarmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre, ısı üretimi nedeniyle, 100 MW enerji üretimine karşılık yılda yaklaşık 100 m<sup>3</sup> boşluk yaratıldığı bulunmuştur. Rezervuardan alınan sıvı oranında rezervuara sıvı enjekte edilmezse kütle kaybı nedeniyle gravite azalması oluşmaktadır. Bu nedenle, rezervuarda oluşan değişikliklerin belirlenmesi için, üretim boyunca yükseklik ve gravite değişikliklerinin ölçülmesi gerekmektedir (Serpen, 1999; Badruk, 2001). Üretime başlamadan önce bile rezervuar basınçları hidrostatik basınçtan düşük olan ve üretim sırasında da pek değişmeyen kuru buhar sahalarında göçme şimdiye dek gözlenmemiştir. Bununla birlikte, petrol sahalarında olduğu gibi su üretilen jeotermal sahalarda da göçme olmaktadır. Bu dünyada oldukça tanınmış Wairakei sahasında 28 yılda 7,6 m'ye erişmiştir. İzlanda'daki Swartsengi sahasında 4,5 cm'ye ulaştıktan sonra suyun tekrar basımı ile durdurulmuştur. Bazı sahalarda ise, atık suyun rezervuara tekrar basılması ile bu proses geriye döndürülmesi mümkün olmuştur. Önemli olan rezervuar basıncının korunmasıdır. Jeotermal sahalardaki basınç düşmesi, yüzeydeki ve yeraltındaki yapıların ek gerilimlere maruz kalmasına neden olmaktadır (Serpen 1999).

Jeotermal akışkanın kullanımı veya reenjeksiyon durumunda rezervuar kayacının gerilme koşulları değişir. Bu durum, deprem olasılığı riskini arttırmaktadır. Ancak, büyük miktarda su aktif faylara basılırsa sismik aktivite ortaya çıkmaktadır. Bu gibi durumlardan kaçınmak gerekir. Bununla birlikte, çeşitli jeotermal sahalarda, jeotermal sahanın yüksek sismik aktiviteli alanlarda oluşmasından dolayı, jeotermal alandan çekimle tümüyle ilgisi olmayan mikrosismik olaylar sık sık oluşmaktadır. Ancak, zarar verici sarsıntılar yok denecek kadar azdır. Jeotermal sistemler aktif olarak üretilsin ya da üretilmesin bu sismik aktivite hep vardır ve yeraltı suyunun akışı ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Yerkabuğundaki gerilimlerin küçük yerel sarsıntılarla sık sık boşalımı,

bu alanlar üzerinde yüksek gerilimlerin yeterli derecede toparlanıp büyük depremlerin oluşmasını önlemektedir. Mikro deprem aktivitesinin araştırıldığı pek çok jeotermal sahadan elde edilen verilerin, jeotermal enerjinin işletilmesi sırasında sismik riskinin çok düşük olduğunu göstermesi ile beraber, jeotermal sahaların uzun dönemlerde izlenmesi bu davranışın genelleştirilmesini de doğrulayacaktır (Serpen, 1999; Badruk, 2001).

#### ***7.2.5. Sosyo-Ekonomik ve Kültürel Yapı ile İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri***

Jeotermal enerjinin insan üzerine etkileri, sosyo-ekonomik ve kültürel etkiler ile sağlık etkileri olmak üzere iki grupta incelenebilmektedir.

Uluslararası anlaşmalar, protokoller ve yasalar gereği, herhangi bir jeotermal projenin karar, planlama ve yönetim aşamalarında sosyal konuların da göz önünde bulundurulması zorunluluk haline getirilmiştir. Projenin büyüklüğüne göre değişebilen sosyo-ekonomik parametreler, aşağıdaki gibi sıralanabilirler (Günerhan, 2001; Güneş ve Türkman, 2001; Tökmeci, 2002):

- demografi (nüfus yoğunluğu ve karakteristikler, hastalık ve ölüm oranları, üretkenlik seviyeleri),
- toplumun hayat standardı, ihtiyacı ve problemleri, gelir ve iş durumu (statü, iş sağlanabilirliği, gelir seviyesi, harcama şekilleri, kredi koşulları), yaşam stiline kırsaldan endüstriyel/ekonomik konuma doğru gelişimi, göç nedeniyle nüfus artışı,
- kültürel adaptasyon, kültürel-ekonomik gelişmeler iyi idare edilmezse, kültürel erozyon tehlikesi, estetik ve insanların ilgi alanlarına olan etkiler,
- konutlar ve tesisler (konut sağlanması, su, enerji, kanalizasyon ve drenaj sistemleri için uygun tesisat),
- sosyo-politik organizasyon (yerel hükümet yapısı ve liderlik, kurumsal kapasiteler, bağlantılar, politik ilişkiler, hükümet dışı organizasyonlar),

- ekonomik indisler (mal ve toprak fiyatları, gelirler, vergiler, fonlar),
- sosyo-kültürel problemler (yerleştirme şekilleri, malların bedeli, kültürel miras, arkeolojik, doğal ve estetik kaynakların bozulması),
- yerleşik halka ucuz, stabil ve emniyetli elektrik temini,
- yerel barış ve düzen,
- halk sağlığına olan etkiler, halka sağlık programlarının uygulanması,
- projenin halk tarafından kabulü.

Jeotermal sahaların işletilmesinde, gürültü ve vibrasyon etkisi, insan sağlığı üzerine doğrudan etkileri nedeniyle doğrudan izlenmesi gereken bir parametredir. Hacim ısıtma uygulamalarında üretilen gürültü ısı üretim merkezinde kalıp ihmal edilebilecek düzeyde iken, havayla sondajlarda ve buhar kuyuları çevresindeki gürültü seviyeleri; fiziksel, fizyolojik, psikolojik ve performans kaybı şeklindeki etkilere neden olabilmektedir (Güneş ve Türkman, 2001). Tablo 7.4'de çeşitli jeotermal aktiviteler sonucu oluşan ses seviyeleri verilmiştir.

Tablo 7.4 Jeotermal aktivitelerdeki çeşitli gürültü kaynaklarının ses seviyeleri (Serpen, 1999).

Gürültü Kaynağı	Ses Seviyesi (dBA)	Açıklama
Havayla Sondaj	114	Buhar girişi de ekleniyor
Buhar Kuyusu	89-92	Dar borudan buhar akışı
Buhar Kuyusu	84	Susturucudan buhar akışı
Buhar Kuyusu	105-110	Kısıtlanmamış akış

Jeotermal enerjinin insan sağlığı üzerine bir diğer etkisi, zararlı ve toksik atık sıvıların yüzeysel sulara ve atık gazların atmosfere yayılmasıyla oluşturabileceği etkidir. Atık sıvılarda bulunan bor, insan sağlığını olumsuz etkiler; yüksek Bor konsantrasyonlu içme suyu insanda kilo kaybı ve bağırsak sistemi rahatsızlıklarına neden olur. Yüksek konsantrasyonda arsenik içeren yiyecek ve içecekler zamanla oluşan akut zehirlenmeye neden olurlar. Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), arsenik'in kanserojen bir madde olduğu ve dikkatle izlenmesi gerektiğini belirtmektedir. Civanın insanlar tarafından alımı içme

suyundan ziyade özellikle yiyecekler yoluyla oluşmaktadır. Ancak, sonuçta zehirlenmeye neden olur. Civanın kanserojen olup olmadığı henüz kanıtlanmamış olmasına karşın, besin zincirinde birikim yaptığı ve sindirim yoluyla alınabildiği bilinmektedir. Civanın solunum yoluyla alınmasında ise, yaklaşık %80 kadar büyük bir miktarı vücutta kalır ve böbreklerde depolanır. İlk etkileri böbreklerde göstermesine rağmen merkezi sinir sistemi kritik organdır; buhar etkisine uzun süreli maruz kalınması titreme ve sonunda deliliğe neden olur. Suda çözülmüş halde bulunan H<sub>2</sub>S'in insan sağlığını olumsuz etkileyecek kadar yüksek konsantrasyonlarda bulunması olası değildir. Ancak, çürük yumurta kokusu ile çok düşük konsantrasyonlarda algılanabilir ve insan yaşamında ya da çalışma ortamında koku problemi nedeniyle sorun yaratabilir; ayrıca yüksek konsantrasyonlarda insan sağlığına etkileri çok önemlidir. H<sub>2</sub>S içeren su kokabilir ve çok düşük konsantrasyonlarda bile tadı lezzetsiz olabilir. İçme sularında çözülmüş amonyak bulunması, tat ve renk problemleri oluşturabilmesine rağmen, insan sağlığını direkt olarak etkilemez. İçme suyunda tuzluluğunun artması; ağırlık kaybı, süt ya da yumurta üretimi azalmasına neden olur. Atık gazlardan ise, karbondioksit'in atmosferdeki normal seviyesinin üstüne çıkması durumunda insan sağlığına direkt etkisi vardır. (Badruk, 2001).

### **7.3 Ilıca ve Muratdağı Jeotermal Sahalarındaki Çevresel Etkiler**

31 Aralık 2004 tarih ve 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde su ortamlarının kalite sınıflandırılması, kıta içi yüzeysel sular için; Sınıf I (yüksek kaliteli su), Sınıf II (az kirlenmiş su), Sınıf III (Kirli su) ve Sınıf IV (çok kirlenmiş su) olmak üzere 4 gruba ayrılmıştır. Yönetmeliğe göre; bir su kaynağının bu sınıflardan herhangi birine dahil edilebilmesi için bütün parametre değerlerinin o sınıf için verilen değerlerle uyumlu olması gerekmektedir. Yönetmeliğin, Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği'ne göre su kaynaklarının sınıflandırılmasında, numune alma sıklığı, minimum süresi ve numunelere uygulanacak analizler verilmektedir.

Derbent Deresinden tarımsal sulama amaçlı olarak yararlanılmaktadır. Dolayısıyla, deredeki örnekleme noktaları olan; termalsu karışimsız A1 ve termal su karışimli A6 ve kullanılmış termal atıksu karışimli A17 noktaları su kalite sınıfının belirlenmesi ve sulama suyu kalite kriterleri açısından iki ayrı şekilde değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Tablo 7.5'den de görüleceği üzere;

- Derbent deresi termal su karışimsız A1 noktası; SO<sub>4</sub> Ni ve B parametreleri açısından, A6 ; Na, SO<sub>4</sub>, T, Mn, Cu, Ni, Fe ve B parametreleri açısından, A17; Na, SO<sub>4</sub>, Ni, F ve B parametreleri açısından Sınıf IV'e dahildir. Yönetmeliğe göre, Sınıf IV'e dahil suların ancak bir üst kalite sınıfına iyileştirilmeleri suretiyle kullanımlarına izin verilebilmektedir. Mevcut kalitesi ile Derbent deresi tarımsal sulama amaçlı olarak kullanılmamalıdır.
- Tablo 7.5'de yer alan A13; Na, Cl, SO<sub>4</sub>, Mn, Fe, As, Zn, Ni, F, Al, B değerleri açısından çeşmenin içme suyu amaçlı kullanım için uygun olmadığı saptanmıştır. Kalite sınıfı olarak; Na, SO<sub>4</sub> ve B değerleri açısından YAS III'e girmektedir.
- A19 numaralı Bayram Bayburt çeşmesi analiz sonuçları değerlendirildiğinde; Cl, ÇO, Fe, As değerleri açısından Sınıf II'ye girmesine rağmen, sadece Ni değeri ile bu çeşme kalite sınıfı III'e düşmektedir.
- A20 numaralı Ilıca alanının 1 km doğusundaki çeşmenin analiz sonuçları değerlendirildiğinde; Cl, Fe ve Ni değerleri açısından Sınıf II kalitesinde olduğu saptanmıştır.
- M7 numaralı Muratdağı jeotermal alan girişindeki çeşmenin analiz sonuçları değerlendirildiğinde; Fe, Zn ve Ni değerleri açısından Sınıf II kalitesinde olduğu belirlenmiştir.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, YAS II ve YAS III kalite sınıfa giren suların doğrudan içme suyu amaçlı kullanımları uygun değildir. Çalışma kapsamında yukarıda kalite sınıflandırmasına tabi tutulan örnekleme noktalarının mevcut kaliteleri ile kullanım alanları Tablo 7.6'da verilmektedir.

Muratdağı kaynakları ve Derbent deresi Gediz Çayı'nı beslemekte ve nihayetinde diğer yan kolların da katılımıyla Gediz Nehri'ne ulaşmaktadır. Dolayısıyla, Derbent deresindeki jeotermal kaynaklı kirleticilerin etkilediği alan havza bazında değerlendirildiğinde oldukça geniştir. Ilıca jeotermal alanında işletilmekte olan tesislerden ve boşalım yapan kaynaklardan Derbent deresi'ne 22 l/sn debisinde jeotermal atıksu deşarjı bulunmaktadır. Jeotermal akışkanın çözünmüş bileşen içeriğine göre; toplamda ılıca alanında 5,7 ton/gün değerinde alıcı ortama bir yükleme söz konusudur. Isıtma amaçlı kullanım ile reenjeksiyonun başarısız olması durumunda alıcı ortamlara olan yükleme çok daha yüksek değerlere varabileceği kuşkusuzdur.

Tablo 7.5 Su kalite sınıfının belirlenmesi ve sulama suyu kalite kriterleri açısından çalışma alanı örnekleme noktalarının değerlendirme sonuçlarında kullanılan analiz sonuçları (Ec=μS/cm).

Element	Su Kalite Sınıfları				A1			A6			A17		
	I.Sınıf	II.Sınıf	III.Sınıf	IV.Sınıf	Min	Max	Ortalama	Min	Max	Ortalama	Min	Max	Ortalama
mg/l													
Na	125	125	250	> 250	26	36	29	64	418	257	66	448	311
Ca	-	-	-	-	71	175	113	79	178	117	113	280	174
Mg	-	-	-	-	54	108	88	62	96	75	65	97	79
Cl	25	200	400 <sup>b</sup>	> 400	22	25	24	25	52	44	27	74	61
SO <sub>4</sub>	200	200	400	> 400	230	375	328	252	728	542	373	953	733
ÇO	8	6	3	< 3	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6-9	>6-9<	6,9	8,6	7,4	6,8	8,1	7,0	7,5	8,3	7,8
T	25	25	30	> 30	8,0	23,0	15,1	11,7	45,4	33,4	15,2	37,5	29,2
Ec	-	-	-	-	990,0	1349,6	1198,4	1075,5	2896,8	2092,0	1196,5	3252,0	2457,0
Li	-	-	-	-	0,028	0,053	0,038	0,075	0,724	0,444	0,138	1,230	0,721
Sr	-	-	-	-	0,400	3,800	1,500	1,000	5,800	2,750	1,200	7,700	3,300
Mn	0,1	0,5	3	> 3	0,020	0,054	0,033	0,063	0,154	0,108	0,028	0,109	0,062
Fe	0,3	1	5	> 5	0,069	0,191	0,133	0,148	0,548	0,353	0,266	2,250	0,942
As	0,02	0,05	0,1	> 0,1	0,0085	-	-	0,078	-	-	0,1363	-	-
Zn	0,2	0,5	2	> 2	0,010	0,235	0,079	0,002	0,145	0,049	0,015	0,103	0,069
Cu	0,02	0,05	0,2	> 0,2	0,002	0,015	0,008	0,002	0,017	0,010	0,003	0,015	0,009
Ni	0,02	0,05	0,2	> 0,2	0,004	0,059	0,035	0,040	0,073	0,052	0,043	0,100	0,069
F	1	1,5	2	> 2	0,200	0,300	0,250	0,300	3,200	1,750	0,500	4,700	2,600
HCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	195,2	537,0	385,0	379,5	927,5	698,3	405,2	921,4	730,0
CO <sub>3</sub>	-	-	-	-	0,0	22,8	11,4	-	-	-	0,0	43,2	21,6
Al	0,3	0,3	1	> 1	0,055	0,705	0,250	0,031	0,674	0,323	0,061	0,642	0,337
SIO <sub>2</sub>	-	-	-	-	25,4	36,7	29,6	39,0	78,7	61,0	26,5	84,0	65,7
B	1	1	1	> 1	0,175	0,871	0,525	3,01	4,69	3,81	5,09	7,61	5,93
Ba	1	2	2	> 2	0,054	-	-	0,054	-	-	0,093	-	-

Tablo 7.5 Su kalite sınıfının belirlenmesi ve sulama suyu kalite kriterleri açısından çalışma alanı örnekleme noktalarının değerlendirme sonuçlarında kullanılan analiz sonuçları (üstten devam).

Element	Su Kalite Sınıfları				A13			A19			A20			M7	
	mg/l	I.Sınıf	II.Snf	III.Snf	IV.Snf	Min	Maks	Ort	Min	Maks	Ort	Min	Maks	Ort	Min
Na	125	125	250	> 250	26	264	88	2	40	15	18	38	31	1	15---6
Ca	-	-	-	-	122	234	165	32	40	34	73	88	80	3	20---13
Mg	-	-	-	-	84	97	91	113	140	122	82	97	88	52	70---60
Cl	25	200	400 <sup>b</sup>	> 400	24	44	29	7	70	29	13	70	33	5	10---7
SO <sub>4</sub>	200	200	400	> 400	353	611	473	21	68	50	111	189	152	6	31---18
ÇO	8	6	3	< 3	-	-	-	6,6	-	-	-	-	-	-	----
pH	6,58,5	6,5-8,5	6-9	>6-9<	6,7	7,5	7,1	7,2	7,5	7,4	7,6	8,1	7,8	7,1	7,6---7,4
T	25	25	30	> 30	14,8	21,7	18,7	11,0	21,1	15,9	7,5	22,8	15,7	7,2	11,9---9,8
Ec	-	-	-	-	1401	2150	1732	1014	1142	1093	844	1114	979	425	480---463
Li	-	-	-	-	0,048	0,568	0,231	0,005	0,021	0,011	0,031	0,041	0,036	0,001	0,002—0,002
Sr	-	-	-	-	1,200	3,700	2,050	0,500	0,900	0,700	1,200	1,300	1,270	0,100	1,300—0,533
Mn	0,1	0,5	3	> 3	0,000	0,021	0,008	0,000	0,051	0,020	0,007	0,010	0,008	0,004	0,097—0,028
Fe	0,3	1	5	> 5	0,000	0,790	0,285	0,015	0,496	0,224	0,148	0,440	0,263	0,043	0,582—0,190
As	0,02	0,05	0,1	> 0,1	0,005	0,025		0,042	-	-	0,022	-	-	0,004	-----
Zn	0,2	0,5	2	> 2	0,019	0,059	0,047	0,014	0,061	0,033	0,007	0,016	0,012	0,003	0,433—0,119
Cu	0,02	0,05	0,2	> 0,2	0,000	0,020	0,010	0,001	0,007	0,005	0,002	0,005	0,004	0,002	0,008—0,004
Ni	0,02	0,05	0,2	> 0,2	0,000	0,079	0,023	0,036	0,132	0,084	0,008	0,053	0,030	0,005	0,035—0,022
F	1	1,5	2	> 2	0,200	1,100	0,650	0,100	0,200	0,133	0,200	0,400	0,300	0,000	0,600—0,2
HCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	468,3	789,1	614,3	805,4	828,6	815,6	499,1	662,6	564,2	330,7	351,4—339,9
CO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	0,0----0,0
Al	0,3	0,3	1	> 1	0,006	0,820	0,293	0,005	0,208	0,097	0,141	0,208	0,174	0,031	0,249—0,091
SIO <sub>2</sub>	-	-	-	-	35,1	81,0	50,5	47,8	70,7	55,5	23,7	37,8	30,5	23,7	31,4---28,7
B	1	1	1	> 1	2,01	2,43	2,22	0,12	0,77	0,44	0,03	0,26	0,14	0,0	0,0----0,0
Ba	1	2	2	> 2	0,028			0,078			0,031			0,005	-----



Tablo 7.7 Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre yüzeysel ve yeraltı suyu kalite sınıfları ile çalışma alanı örnekleme noktalarının değerlendirme sonuçları.

<b>Yüzeysel Kalite Sınıfları ve Kullanım Yerleri</b>	<b>Yeraltı suyu Kalite Sınıfları ve Kullanım Yerleri</b>	<b>Örnekleme Noktalarının Kalite Sınıfları</b>
<p><b>Sınıf I</b> Yüksek kaliteli su -yalnız dezenfeksiyon ile içme suyu temini, - rekreasyonel amaçlar - alabalık üretimi, - hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı, - diğer amaçlar.</p>	<p><b>Sınıf YAS I</b> Yüksek kaliteli yeraltı suyu Gerektiğinde uygun bir dezenfeksiyon işleminden sonra içme suyu olarak kullanılabilirler. Sadece havalandırma ile gerekli oksijenin sağlanması şartıyla, Sınıf I yüzeysel sulara ait kalite parametrelerini sağlayan yeraltı sularıdır</p>	-
<p><b>Sınıf II</b> Az kirlenmiş su - ileri veya uygun bir arıtma ile içme suyu temini, - rekreasyonel amaçlar, - alabalık dışında balık üretimi, - kriterleri sağlamak şartıyla sulama suyu olarak, - Sınıf I dışındaki kullanımlar</p>	<p><b>Sınıf YAS II</b> Orta kaliteli yeraltı suyu Sınıf II yüzeysel sulara ait kalite parametrelerini sağlayan sularıdır. Demir, amonyum, mangan ve çözülmüş oksijen için konulmuş sınırların bu sınıfa giren sulara sağlanması gerekli değildir. Bir arıtma işleminden sonra içme suyu olarak kullanılacak sularıdır. Bu sular tarımsal su ve hayvan sulama suyu veya sanayide soğutma suyu olarak herhangi bir arıtma işlemine gerek duyulmadan kullanılabilir.</p>	<b>Sınıf YAS II</b> A20, M7
<p><b>Sınıf III</b> Kirlenmiş su gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren endüstriler hariç olmak üzere uygun bir arıtmadan sonra endüstriyel su temininde kullanılabilir.</p>	<p><b>Sınıf YAS III</b> Düşük kaliteli yeraltı suyu Sınıf YAS I ve YAS II kalite parametreleri karşılamayan sularıdır. Bu suların kullanım yeri, ekonomik, teknolojik ve sağlık açısından sağlanabilecek arıtma derecesi ile belirlenir.</p>	<b>Sınıf IV</b> A1, A6 ve A17  <b>Sınıf YAS III</b> A13, A19
<p><b>Sınıf IV</b> Çok kirlenmiş su Sınıf III için verilen kalite parametrelerinden daha düşük kalitede olan ve üst kalite sınıfına iyileştirilerek kullanılacak yüzeysel sularıdır</p>		

#### 7.4. İzleme Çalışmaları

Jeotermal kaynaklara sahip pekçok ülkede izleme çalışmaları 1980'li yılların ilk yarısında başlamıştır. Gerçekleştirilen izleme çalışmaları jeotermal kaynağın;

- işletmeye alma aşamasından önce,
- işletme aşamasında

olmak üzere iki grupta toplanabilir. Jeotermal sistemlerin doğal yapılarının işletme öncesinde izlenmeye başlanması, işletme aşamasında jeotermal akışkan/ısının üretimiyle meydana gelen değişimleri ortaya koyması açısından oldukça önemlidir. İzleme çalışmalarında her iki aşama için de geçerli olan ve ağırlıklı olarak üzerinde durulan konular ise;

- jeotermal sistem davranışındaki değişimler,
- yüzeysel ve yeraltı suyu kaynaklarındaki değişimler,
- hava kalitesindeki değişimler,
- toprak ve bitki örtüsündeki değişimler,
- jeotermal sistemin etki alanının saptanması,
- toplum üzerindeki sosyo-ekonomik ve sağlık etkileri

olarak sıralanabilmektedir.

Çalışma alanı kapsamında, önceki bölümlerde gerçekleştirilen çalışmalar; jeotermal sistem davranışının hâlihazırdaki mevcut durumunun ortaya konması, yüzeysel su ve yeraltı suyu kaynaklarının hâlihazır durum değerlendirmesi ve jeotermal sistemin etki alanının havza bazında değerlendirilmesi konularıyla sınırlı kalmıştır. Ilıca jeotermal alanında halihazırda 20-30 l/sn aralığında jeotermal atıksuyun Derbent Deresi'ne deşarjı söz konusudur. Uygulamaya geçilmesi düşünülen ısıtma projesi ile bu değer

reenjeksiyonun gerçekleştirilememesi durumunda çok daha yüksek değerlere ulaşacağı açıktır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre, “yeraltından çıkarılarak enerji üretme ve ısıtma gibi çeşitli amaçlarla kullanılan jeotermal kaynak sularının debisi 50 l/sn ve üzerinde ise suyun alındığı formasyona reenjeksiyon ile bertaraf edilmesi zorunludur. Reenjeksiyon ile bertaraf etmeyenlere işletme ruhsatı verilemez. Reenjeksiyonun mümkün olmadığı bilimsel olarak ispatlanmış bu tür termal suların bertaraf yöntemi yapılacak bir çevresel etki değerlendirmesi sonucu belirlenir.” denmektedir. Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında verilen değerlendirmeler bölge için yapılacak bir çevresel etki değerlendirmesi çalışmasına baz olacak niteliğe sahiptir.

## BÖLÜM SEKİZ

### SONUÇLAR

Kütahya İli'nin 91 km güneydoğusunda yer alan Gediz İlçesi, Türkiye'nin önemli jeotermal enerji potansiyeline sahip yerlerinden birisidir. Coğrafik olarak -Ilıca kaplıcaları ve Muratdağı kaplıcaları olmak üzere iki ayrı alan bulunmaktadır. Bölgede, Akdeniz İklimi ile karasal iklimin arasında ılıman bir iklim hâkimdir. Ilıca jeotermal alanı, Gediz-Simav karayolu üzerinde Gediz ilçe merkezine 18 km uzaklıktadır. Muratdağı ise, Gediz ilçesinin doğusunda ve ilçe merkezine 30 km uzaklıktadır.

Alanlarda temeli oluşturan Paleozoyik yaşlı gnays ve Sarıcasu formasyonu ile temsil edilen Menderes Metamorfikleri, Mesozoyik yaşlı İzmir-Ankara Zonu kayaları tarafından tektonik olarak üzerlenir. İzmir-Ankara Zonu, çalışma alanında, Dağardı melanjinin eşleniği olan Muratdağı melanji ve Budağan kireçtaşları ile temsil edilir. Menderes Metamorfikleri ve İzmir-Ankara Zonu kayalarını, Senozoyik yaşlı karasal çökellerden oluşan Yeniköy formasyonu ve volkanik birimler üstler ve yanal geçişler sunar. Kuvaterner'e ait alüvyon ve traverten en genç oluşumlardır.

Tektonik olarak en önemli yapısal zon, Simav Grabeni ve Simav Fayı'dır. Doğrultularına göre; D-B Simav fayı, KD-GB, KB-GD doğrultulu faylar bulunmaktadır.

Menderes masifinin kuzey sınırında bulunan ve çalışma alanında temeli oluşturan gnays ve şistlerden oluşan masif birimlerinin, geçmişinde etkisi altında kaldığı tektonik gerilmelerle oluşan (yapraklanma, makaslama, fay, sürüklenme düzlem ve zonlarının oluşturduğu birbiri ile bağlantılı ağlar) yapısal süreksizlikler içerdiği ve bu süreksizliklerin akışkanın taşınımında birincil rol oynadığı düşünülmektedir. Masif Neotektonik aktivitelerin sonucu olarak kazandığı geçirimsizliğinden ilk rezervuar olarak tanımlanabilir.

Budağan, Üst Kretase ve Sarıcasu formasyonuna ait mermer ve kireçtaşları yüksek geçirimsizliği bulunan bir üst rezervuarlar olarak düşünülmektedir. Sulardan alınan kimyasal veriler ve kaynaklar çevresindeki kalsit çökelimleri bu birimlerle olan ilişkilerin sonuçları olarak görülmektedir. Sarıcasu formasyonuna ait mermer ve diğer birimlerin çatlak ve faylanma ile ilgisi dışında geçirimsiz olduğu ve ilk örtü birimler olarak değerlendirilebilir.

Jeotermal alanlarda Geçirimsiz birimler olarak Muratdağı melanjının eşleniği olan Dağardı melanji, Batı Anadolu'da yer yer 700 m kalınlıklara ulaşan Yeniköy formasyonunun kil ve siltli seviyeleri, Hisarcık formasyonunun kiltası ve marnlı seviyeleridir. Bu duruma ek olarak Menderes masifi birimlerinin kırıklanma gibi etkilerin az olduğu yada kırıklanma olmuş olsa bile basınç etkisi ile daralan kırıkların bir tür ters etki ile geçirimsiz zonlar oluşturduğu düşünülmektedir.

Ilıca alanında Simav Fayı'nın KB-GD uzanımını kesen, özellikle KD-GB yönlenmeli fayların kesiştiği zonlar ki şu an bütün kaynak çıkışları bu zondadır, dolaşımın en önemli çıkış noktasıdır. Kaynaklar 22 l/sn debi ile Dağardı melanji ve Yeniköy formasyonu dokanağından boşalım yapmaktadırlar.

Hidrojeoloji ve diğer jeolojik haritalardan görüldüğü gibi morfolojik olarak Simav Grabeni çöküntü alanı içinde bulunan Ilıca alanı beslenme yolu olarak kuzey batıdaki Şaphane dağı ve güneyindeki Gnays biriminden beslenmesi muhtemeldir. Muratdağı alanı ise yükseltisi itibarı ile kendi içinde beslenmesi olduğu düşünülebilir.

Bölgede yeraltı ve yüzey sularını temsilen Ilıca alanında 6 adet Muratdağı alanında ise bir adet soğuk su örnekleme noktası seçilmiştir. Sıcak su noktası olarak ise Ilıca jeotermal alanında 15 adet örnekleme, Muratdağı jeotermal alanında ise 6 adet örnekleme noktası seçilmiştir. Ilıca jeotermal alanında MTA tarafından açılan üç adet sondaj kuyusundan sadece bir tanesinden bir kez örnekleme yapılabilmektedir.

Hidrotermal sistemlerin hidrojeokimyasal modellenmesinde yüksek kalitede analitik verilerin kullanımı çok önemlidir. Analitik hatalı sonuçların yorumlanmasında birçok belirsizlikler ve hatalar ortaya çıkmaktadır. Silis kimyası, reenjeksiyon ve üretim sırasında kabuklaşma ile rezervuar sıcaklığının tahmininde hayati öneme sahip olduğundan çok iyi derecede örnekleme ve analitik kaliteye ihtiyaç vardır. Bu da yapılacak çalışmalarda örnekleme ve koruma yöntemlerinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu yüzden Si analizleri için örneklerin ayrıca alınıp hem belirli oranlarda seyreltme uygulayarak hemde örneğin bazikleştirilmesi gerekmektedir.

Ilıca alanında arazide yapılan HCO<sub>3</sub> analizleri laboratuvarında yapılan analizlere göre %0,2-44,2 aralığındaki fark değerlerinde ve ortalama %10 daha yüksek değerler vermektedir.

Ancak, Muratdağı alanında düşük mg/l değerlerinde arazide yapılan analizler laboratuardaki değerlerden daha düşüktür. Bu alanda, fark değerleri %0,3-15,2 arasında ve ortalama ise %6'dır. Her iki jeotermal alanda da yapılan analizlerde uygunsuz olarak karşılaşılan değerler de bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre, bikarbonat analizlerinde önemli hatalar olduğu ve bu hataların metot ve çalışma koşulları ile bağlantılı olduğu söylenebilir. Bu durumda jeotermal sularda karbonat türlerinin ve silisik ve borik alkalinitelerinin de hesaplanması gereklidir. İyon metre cihazı ile yapılan karbondioksit sonuçlarının arazide yapılan karbonat türlerinin toplamından CO<sub>2</sub>'nin hesaplanması ile yapılan karşılaştırmada iyonmetre cihazı ile yapılan ölçümler uygunsuz sonuçlar vermektedir. İyonmetre cihazı ile ölçümler sırasında, istenilen standart şartların sağlanmasında büyük zorluklar bulunmaktadır.

Ilıca alanındaki termal sular genel olarak Na-SO<sub>4</sub> veya Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> Muratdağı termal suları ise Mg-SO<sub>4</sub> tipindedir. Ilıca alanındaki termal su tiplerine bakıldığında, kurak dönemden yağışlı döneme Na-SO<sub>4</sub> tipinden Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> tipine bir evrimleşme göze çarpmaktadır. Aynı durum, Muratdağı alanındaki sularda bulunmamaktadır. Bu durum, Ilıca alanında mevsimsel yağışların etkisiyle yüzeysel akiferlerin jeotermal sulara girişimi ile suların HCO<sub>3</sub>'ca zenginleştiğini ve suların sığ yeraltı suları ile karışımının yağışlı dönemde arttığını göstermektedir. Dönemsel olarak soğuk sulara bakıldığında ise, Derbent deresi sularında (örnek A1) ve İller Bankası içme amaçlı sondajında (örnek A13) kurak dönemden yağışlı döneme Mg-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> tipinden Mg-SO<sub>4</sub> su tipine bir değişim olmasına rağmen, A19 ve A20 numaralı kaynaklarda herhangi bir değişim gözükmemektedir. Bu durumda, mevsimsel yağışlardan etkilenmeyen Ilıca alanında A19 ve A20 numaralı soğuk su örnekleri ile Muratdağı tüm örnekleri dışında kalan Ilıca suları Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'ca bir zenginleşmeye maruz kalmaktadır.

Aynı özellikler, Piper diyagramında da görülmekte ve özellikle Ilıca alanındaki soğuk sularda sıcak sulardan etkilenmeleri sonucu sıcak suların karakterlerine yaklaşımlar görülmektedir.

Jeotermal suların sınıflanmasında ve türsel kaynağının ortaya konmasında Cl-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> üçgen diyagramı oldukça yararlıdır. Diyagram üzerinde, çalışma alanının dışında Türkiye'deki önemli jeotermal sahaların değerleri de gösterilmektedir. Batı Anadolu'daki bazı sahaların yüzeysel sular sınıfında kalmaları HCO<sub>3</sub>/Cl oranının yüksek olmasındandır. Bu alanlardaki HCO<sub>3</sub>/Cl oranının yüksek olması, suyun parçalı kaynayarak yüzeye erişimine

kadar buhar baskınlığı ve üst akiferlerde karbonatlardaki girişiminin bir sonucudur. Gediz jeotermal alanları bu grafikte buhar ısıtılmalı alanlar sınıfına girmektedir. Cl miktarlarındaki düşük değerlerden; suların haznedenden yükselimi sırasında Cl'ün akışkan kısımda kaldığı ve H<sub>2</sub>S ve CO<sub>2</sub> gibi uçucuların buhar ile yükselerek sığ rezervuarların oluşturduğu ve buna bağlı olarak da sularda SO<sub>4</sub> zenginleşmesi olduğu ya da üst akiferlerde jipsli katmanların varlığı sonucu çıkmaktadır. Ancak, jipsli katmanların çözünürlüklerinin düşüklüğü de unutulmamalıdır. H<sub>2</sub>S sığ soğuk su akiferlerinde çözülmüş oksijen ile karşılaştığında oksidasyona uğramakta ve sülfatları oluşturmaktadır. Normal şartlarda sülfat derin jeotermal akışkanda 50 mg/l'den düşük bir değerdedir.

Aynı graben içinde bulunan Simav jeotermal alanlarının temel karakteristikleri ile Gediz Ilıca ve Muratdağı jeotermal alanları karşılaştırıldığında, temel, rezervuar ve örtü birimleri Simav jeotermal alanı ile benzerdir. Ancak, tektonik olarak Simav bölgesinde daha yoğun bir kırıklanma görülmektedir. Bunun sonucu olarak, sıcaklık ve debiler yüksektir. Su tipleri, Simav alanında Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> iken; Ilıca alanında, Na-SO<sub>4</sub>-(HCO<sub>3</sub>) ve Muratdağı alanında ise, Mg-SO<sub>4</sub> tipindedir. Simav jeotermal alanlarındaki suların çözülmüş bileşenlerine bakıldığında, Na, K ve Cl değerleri benzerdir. Ancak, pH ve SiO<sub>2</sub> değerleri oldukça yüksek olmasına karşın; Ca, Mg, HCO<sub>3</sub>-CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> ve iletkenlik değerleri düşüktür. Gediz Ilıca alanında soğuk Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tip bir akifer, jeotermal sular ile karışmaktadır. Bu duruma karşın sığ bir rezervuar bulunma olasılığı da mümkündür. Simav alanında jeotermal akışkandan buhar fazın ayrılması (~%10) çözülmüş bileşenlerde, uçucu olmayan bileşenlerin değerlerini yükseltmekte ve bazı bileşenlerin çökmesine neden olmaktadır. Bu durum, Gediz alanları için daha yoğun gözükmekte uçucuların neden olduğu bir konsantrasyon artışı göze çarpmaktadır (S türleri, CO<sub>2</sub>, B ve F). Simav alanında rezervuar pH değeri, yüzeyde uçucuların kaybına bağlı olarak yükselmektedir. Bu noktadan sonra soğuk su akiferleri ile bir karışım varsa da çok az ya da hiç yoktur. Gediz alanlarında ise, yüksek bir karışım söz konusudur. Ayrıca, Gediz Ilıca alanında rezervuardan sıcak suların akışkan bazında beslenimi kısıtlıdır. Ilıca termal alanı ana rezervuarının derin olduğu ve gnays ve şist birimleri içinde bulunduğu ve rezervuarın beslenme ve boşalımının kısıtlı olduğu düşünülmektedir. Sarıcasu, Budağan ve Dağardı birimlerinin ikincil karışım rezervuarları oluşturduğu ve bu rezervuarın alt rezervuardan uçucu ve az miktarda akışkan ile beslendiği ve son olarak da Miyosen çökellerin sığ bir rezervuar karakteri ile ikincil rezervuarlardan beslendiği düşünülmektedir.

Sahada görülen travertenlerden alınan iki örnekte, CaO oranındaki yükseklik ortamdaki CaCO<sub>3</sub> çökeliminin egemenliğini sunmaktadır. Bunun yanında, SiO<sub>2</sub> çökelimi de göz ardı edilemez.

Na-K-Mg jeotermometre diyagramına baktığımızda jeotermal akışkanın Mg'ca zengin soğuk akifer suları ile karışımları, iyon değişimine bağlı Na azalması (sularda yumuşama reaksiyonları) gibi reaksiyonlar suların izdüşümlerini doğrudan etkilemektedir. Sınıf olarak olgunlaşmamış sular sınıfında yer alan her iki jeotermal alan, eş sıcaklık olarak Ilica alanı suları 220-240°C arasına karşılık gelirken, Muratdağı alanı suları için bir şey söylemek zordur. Olgunlaşmamış sular sınıfında yer alma termal suların büyük oranda soğuk sularla karışmış olması ve göreceli olarak Mg içeriğindeki yükseklik ile açıklanabilir. Ayrıca yine ham sular bölgesine karşılık gelmesi hazne sıcaklığı için de katyon jeotermometrelerine güvenilmemesi gerektiğini göstermektedir. Diyagrama göre Türkiye'deki örnek gösterilen sahaların hiçbirisi tam dengeli sular değildir. Ayrıca aynı jeotermal alandaki suların Na-K-Mg içerikleri arasında farklılıklar gözükmektedir. Aynı sahada farklı analiz sonuçlarında bir hata yapılmadığı ön düşüncesi ve tüm sahaların dengelenmemiş olması, Batı Anadolu'daki sahalarda çökeltme, iyon değişimi, kondüktif ve adiyabatik soğuma, buharlaşma ve karışımlar söz konusu olduğunu göstermektedir.

SiO<sub>2</sub>-entalpi diyagramına göre çıkış sularının karışım oranları Ilica %54-70 oranında hazne ana akışkanını, Muratdağı ise %29-45 oranında hazne ana akışkanını içermektedir. Jeotermal alanların yaklaşık rezervuar sıcaklıkları, Ilica 139-154 °C, Muratdağı 84 °C, Simav 194 °C'dir

SiO<sub>2</sub> değerlerinde çok küçük değişimlerle ve içsel entalpinin yüksek değişiminin olduğu Muratdağı suları özel bir karakter sunmaktadır. Alanda haznenin çok düşük SiO<sub>2</sub> içermesi hazne kayalarının özellikleri ile uymamaktadır. Kondüktif bir ısınma ile buhar ısıtmalı tatlı suların özel bir karakteri bu alanda görülmektedir. Hazne sıcaklığının düşük olması da bu veriyi desteklemekte ve karışım oranının yanıtıcı olarak çıktığı sonucuna vararak ana hazne akışkanının bu sularda bir etkisi olmadığını göstermektedir. Bu verilere ek olarak Bor-Flüorür ve Bor-Cl diyagramlarına baktığımızda Muratdağı alanında bir doğrusallık görülmemektedir ki buda aynı sonucu desteklemektedir.



Ilıca alanı jeotermal suları bir çizgisellikten uzak farklı karışım ve entalpileri ile karışık bir görünüm oluşturmaktadır. Sularda hem ısı hemde SiO<sub>2</sub> kaybı bulunmaktadır. SiO<sub>2</sub> miktarı aynı fakat entalpileri farklı olan sular bir ısı alma çizgisi üzerinde olup buradaki ısı buhar ısıtmalı bir görünüm verirken, tersi durumda SiO<sub>2</sub> yükselimi ana akışkanın sular üzerindeki etkisini göstermektedir. Diğer yandan bir soğuma ile ısı kaybı ve karışımdan kaynaklanan seyrelme olarak bakıldığında sulara soğuk su girişimi ile soğuma ve seyrelme gerçekleşmektedir.

Ilıca jeotermal suları rezervuardan gelen ana akışkanı içerdiğinin kanıtı olarak Bor-Flüorür ve Bor-Cl diyagramlarına baktığımızda doğrusal bir ilişki sunmaktadır.

Cl-entalpi diyagramı SiO<sub>2</sub>-entalpi diyagramı gibi eş özellikler içermektedir. Diyagramdan suların karışım oranları, Ilıca jeotermal alanında ki çıkış suları %62-70 oranında hazne ana akışkanını içermektedir. Muratdağı alanı sıcak ve soğuk sularının Cl içerikleri çok düşük ve aralarında bir fark yoktur. Bu durumda entalpilerinden gelen farklar suların karışım oranlarını belirlemede yeterli değildir.

Ilıca alanın yaklaşık rezervuar sıcaklığı 124-170 °C arasında ve rezervuar Cl içeriği 78 mg/l çıkmaktadır. SiO<sub>2</sub>-entalpi diyagramından maksimumda alınan 154 °C ile ortalaması alındığında 162 °C olan bir hazne sıcaklığı elde edilmektedir.

Suların diyagramda oluşturdukları çizgisellik A9 ve A14 numaralı örneklere göre buhar kaybı ile başlayıp kondüktif bir soğuma ve son olarak soğuk sular ile karışım ile son bulmaktadır. Bu durumda alandaki suların rezervuardan yükselimi ile birlikte ısı kayıpları başlamakta ve ısı içeriğinde çıkış noktasına göre %50'den fazla ısı kaybetmektedir. Rezervuara göre Cl zenginleşmesi ancak buhar kaybı ve üst rezervuarlardaki (tortul birimlerden) yeni dengelerden gerçekleşebilir. Bu durumda A9-10-11-14-18 numaralı örneklerde buhar kaybı veya üst akifer karakterleri söz konusudur. A3-5-7-16 numaralı örneklerde ise seyrelmeye bağlı bir ısı kaybı bulunmaktadır. A8 numaralı örnek ise Cl içeriğini koruyarak kondüktif bir soğuma geçirmiştir.

Mevsimsel değişiklikler suların fiziksel verilerinde soğuk sular ile karışımlardaki verileri desteklemektedir. Sıcaklıklarda kış döneminde önemli değişiklikler vardır. yaz (05,08,2004)

ve kış (yağmurlu dönem 18,03,2004) dönemleri arasındaki sıcaklık farkları 8 °C'yi bulmaktadır.

Aynı şekilde Eh (redoks potansiyeli) değerlerinde mevsimsel olarak farklar vardır. Yaz döneminde A5 ve A11 numaralı örnekler dışında diğerlerinde düşük değerler varken, kış döneminde soğuk sulardaki oksijen girişi Eh değerlerini daha yüksek potansiyellere çekmektedir.

Soğuk suların çevresel açıdan değerlendirilmesi su kirliliği yönetmeliğine göre, Derbent deresi A1 noktası; SO<sub>4</sub> Ni ve B parametreleri açısından, A6; Na, SO<sub>4</sub>, sıcaklık, Mn, Cu, Ni, Fe ve B parametreleri açısından, A17; Na, SO<sub>4</sub>, Ni, F ve B parametreleri açısından Sınıf IV'e dahildir. Yönetmeliğe göre, Sınıf IV'e dahil suların ancak bir üst kalite sınıfına iyileştirilmeleri suretiyle kullanımlarına izin verilebilmektedir. Mevcut kalitesi ile Derbent Deresi tarımsal sulama amaçlı olarak kullanılmamalıdır.

A13; A19 A20 M7 numaralı örneklerin analiz sonuçları değerlendirildiğinde; içerdikleri bileşenler açısından düşük kaliteli sular sınıflarında olduğu belirlenmiştir. Burada termal suların soğuk su akiferlerine karışımlarının sonucu ortaya çıkmaktadır.

Muratdağı kaynakları ve Derbent deresi Gediz Çayı'nı beslemekte ve nihayetinde diğer yan kolların da katılımıyla Gediz Nehri'ne ulaşmaktadır. Dolayısıyla, Derbent deresindeki jeotermal kaynaklı kirleticilerin etkilediği alan havza bazında değerlendirildiğinde oldukça geniştir. Ilıca jeotermal alanında işletilmekte olan tesislerden ve boşalım yapan kaynaklardan Derbent deresi'ne 22 l/sn debide jeotermal atıksu deşarjı bulunmaktadır. Jeotermal akışkanın çözünmüş bileşen içeriğine göre; toplamda ılıca alanında 5,7 ton/gün değerinde alıcı ortama bir yükleme söz konusudur. Isıtma amaçlı kullanım ile reenjeksiyonun başarısız olması durumunda alıcı ortamlara olan yükleme çok daha yüksek değerlere varabileceği kuşkusuzdur.

## KAYNAKLAR

- Akdeniz, N. ve Konak, N. (1979a). Simav-Emet-Tavşanlı -Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi: *MTA Rap.*, 6547.
- Akdeniz, N. ve Konak. (1979b). Menderes masifinin Simav dolayındaki kaya birimleri ve metabazik, metault-rabazik kayaların konumu: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 22, 175-184.
- Alvis-Isidro R., Urbino G.A. & Pang Z. (2000). Results of the 2000 IAEA interlaboratory comparison of geothermal water chemistry. *Report, IAEA*, 40p.
- Alvis-Isidro R., Urbino, G.A. & Gerardo-Abaya J. (1999). 1999 İnterlaboratory comparison of geothermal water chemistry under iaea regional project RAS/8/075. *Preliminary Report, IAEA*, 39p.
- APHA-AWWA-WPCF. (1985). Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. (Sixteenth edition), Copyright by American Publik Health Association; Washington, 1269p.
- Armijo, R. Lyon-Caen, H., Papanastassiou, D. (1992). East-West extension and holocene normal-fault scarps in the hellenic arc. *Geology*, 20, 491-494.
- Back, W. (1966). Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of atlantic coastal plain. *U.S. Geol.Survey Proffessional paper*, 498-A, 42p.
- Badruk, M. (2001). Jeotermal enerji uygulamalarında çevre sorunları, jeotermal enerji, doğrudan ısıtma sistemleri temelleri ve tasarımı seminer kitabı, Editör: Prof. Dr. Macit Toksoy, 259-271, İzmir: TMMOB Makine Mühendisleri Odası, MMO Yayın No: MMO/2001/270.
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview, renewable and sustainable energy reviews, *Pergamon*, ed: 3–65.

- Başkan, M. E. & Canik, B. (1983). IAH map of mineral and thermal waters of Turkey Aegean Region: *MTA No.* 189, Ankara, 80 p.
- Bingöl, E. (1977). Muratdağı jeolojisi ve anakayaç birimlerinin petrolojisi, *TJK Bülteni*, 20,13-66.
- Borsi, J., Ferrara, G., Innocenti, F. & Mazzuoli, R. (1972). Geochronology and petrology of recent volcanics in the eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesvos Iceland). *Bullettin of Volcanology*, 36, 473-496.
- Bozkurt, E. (2000). Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications, in: E. Bozkurt, J.A. Winchester, J.D.A. Piper (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, vol. 173, *Geological Society of London Special Publication*, 73, 385–403.
- Bozkurt, E. (2001a). Neotectonics of Turkey, a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Bozkurt, E. (2001b). Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 728-44.
- Bozkurt, E. ve Oberhänsli, R. (2001). Menderes Massif (western Turkey): Structural, metamorphic and magmatic evolution. *International Journal of Earth Sciences, Special Issue*, 89, 679-882.
- Bozkurt, E. ve Sözbilir, H. (2004). Geology of the Gediz Graben: new field evidence and tectonic significance. *Geological Magazine*, 141, 63-79.
- Brunn, J.H., Dumont, J.F., De Graciansky, P.C., Gutnic, M., Juteau, T., Marcoux & J. Poisson, A. (1971). Outline of the geology of the Western Taurides. In *Geology and History of Turkey* (ed A.S. Campwell), *Petroleum Exploration Society of Libya*, Tripoli, 225-257.

- Catlos, E.J. & Çemen, İ. (2005). Monazite ages and the evolution of the Menderes Massif, western Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 94, 204-217.
- Collins, A.S. & Robertson, A.H.F. (1998). Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episodic thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, SW Turkey. *Journal of the Geological Society, London*, 155, 759-772.
- Dewey, J. F. & Şengör. A.M.C. (1979). Aegean and surrounding regions: complex multi-plate and continuum tectonics in a convergent zone, Geol. Soc. America Bull. Part 1. 90. 84-92 p.
- Dogliani, 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. *Virtual Explorer*, 8, 169-183.
- Dogliani, C., Innocenti, F., Manetti, P., Agostini, S. & Savaşçın, M.Y. (2003). Tectonic asymmetries and applications to the Aegean Sea rift, The South Aegean Active Volcanic Arc; Present Knowledge and Future Perspectives, Milos Island Greece, pp. 12-13.
- Doğdu, Ş. M., Bayarı, C. S. (2002). “Akarçay Havzasında (Afyon) Jeotermal Kökenli Kirlenme2. yeraltısuyu kirliliği” Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni *Yerbilimleri*, 25,sf, 35-49, Ankara.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Dürr, S. & Oberhänsli R. (1995). New evidence on the geotectonic evolution of the Menderes Massif: in: Pişkin, Ö., Ergün. M., Savaşçın, M.Y. & Tarcan, G. (eds.): Proc. *International Earth Science Colloquium on the Aegean Region*, 9-14 October 1995, İzmir-Güllük, Turkey, 1, 53-72.
- DPT. (2001). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu, Ankara.

- Dürr, S. (1975). Über Alter und geotektonische Stellung des Menderes Kristallins / SW – Anatolien und seine Äquivalente in der Mittleren Aegean. Habilitation Thesis, *University of Marburg*.
- Ellis A.J. (1976). The IAGC interlaboratory water analysis comparison programme. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v.40, p.1359-1374.
- Emre, T. & Sözbilir, H. (1997). Field evidence for metamorphic core complex, detachment faulting and accommodation faults in the Gediz and Büyük Menderes Grabens (Western Turkey), in: Ö. Pişkin, M. Ergün, M.Y. Savaşçın, G. Tarcan (Eds.), *IESCA Proceedings*, 73-94.
- Emre, T. (1996). Gediz Grabeninin jeolojisi ve tektoniği, *Turkish Journal of Earth Science*, 5, 171-185.
- Ercan T (1982) Batı Anadolu'nun genç tektoniği ve volkanizması: In: Batı Anadolu'nun genç tektoniği ve volkanizması paneli 1982:5-14
- Ercan, E., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A. & Günay, A. (1978). Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi (Geology of the Neogene basins in Uşak region). *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 21, 97-106.
- Ercan, T. & Öztunalı Ö. (1982). Characteristic features and "base surges" bed forms of Kula volcanics. *Bulletin of Geological Society of Turkey*, 25, 117-125.
- Ercan, T., Satır, M., Kreuzer, H., Türkecan, A., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M. & Can, B. (1985). Batı Anadolu Senozoyik volkanitlerine ait yeni kimyasal, izotopik ve radyometrik verilerin yorumu (Interpretation of new chemical, isotopic and radiometric data on Cenozoic volcanics of western Anatolia). *Bulletin of Geological Society of Turkey*, 28, 121-136.
- Erdogan B, Güngör T (1992). Stratigraphy and tectonic evolution of the northern margin of the Menderes Massif. *Bull Turk Assoc Petrol Geol*. 4:9-34.

- Erdoğan B, Güngör T (2004). Stratigraphy and tectonic evolution of the northern margin of the Menderes Massif. Turkish Assoc Petrol Geol Bull 2:1-20
- Ersoy, Ş. (1990). Batı Toros naplarının yapısal öğelerinin ve evriminin analizi. Jeoloji Müh. Derg. 37, 3-16.
- Ersoy, Ş. (1991). 'Datça yarımadasının stratigrafisi ve tektoniği'. Türkiye Jeoloji Bült. 34, 1-14.
- Fetter, C.W., (2001). Uygulamalı Hidrojeoloji 4. Baskı çevirenler DoçDr. Mustafa Afşin, Doç.Dr Kamil Kayabalı, ISBN 0-13-0888239-9 Gaz, Kitabevi.
- Ford ,D.C. ve Ewers, R.O. (1978). The Development Lime stone cave systems in the dimensions of length and depth. Canadian Journal of Earth Science 15:1783-98.
- Gemici, U., Tarcan, G. (2002). Hydrogeochemistry of the Simav geothermal field, western Anatolia, Turkey. J Volcanol Geoth Res 116 (3-4): 215-233.
- Gerardo-Abaya J., Schueszler C., Groening M. (1998). Results of the interlaboratory comparison for water chemistry in natural geothermal samples under RAS/8/075. *Report, IAEA*, 18p.
- Gessner, K., Piazzolo, S., Güngör, T., Ring, U., Kröner, A. & Passchier, C.W. (2001a). Tectonic significance of deformation patterns in granitoid rocks of the Menderes nappes, Anatolide belt, southwest Turkey, *International Journal of Earth Science*, 89, 766–780.
- Gessner, K., Ring, U., Christopher, J., Hetzel, R., Passchier, C. W. & Güngör, T. (2001b). An active bivergent rolling-hinge detachment system: central Menderes metamorphic core complex in western Turkey. *Geology*, 29, 611-14.
- Giese, L.B. (1997). Geotechnische und umwelt geologische aspekte bei der forderung und reinjection von thermal fluiden zur nutzung geothermischer energie am beispiel

des geothermal feldes Kizildere und des umfeldes, W-Anatolien/Turkei. Ph.D. thesis FU Berlin:201 pp.

Giesse, L.B, Dobberstain, L. & Gallo, A. (1999). “ Environment and Geothermal Energy- A Case Study In Western Anatolia, Turkey”, European Geothermal Conference, September 28-30, Basel, Switzerland.

Giggenbach W.F., Goguel R.L. & Humaphries W.A. (1992). IAEA interlaboratory comparative geothermal water analysis program. Geothermal Investigations with Isotope and Geothermal Techniques in Latin America. *IAEA-TECDOC-641*, IAEA, Vienna p. 439-456.

Giggenbach, W. F. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.

Gökmenoğlu, O., Erdoğan, H.İ., Burçak, M., (2005) Kütahya-Gediz (Abide) Jeotermal sahasının beslenme alanları ile dolaşım sürelerinin duraylı izotoplarla belirlenmesi, II Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, İzmir s.353-364.

Graciansky, P. C. (1972). Reserches géologiques dans le Taurus Lycien occidental. Thèse Doctorat d'Etat, Université de Paris-Sud Orsay no. 896, 762 pp.

Günerhan, G.G. (2001). Jeotermal enerji uygulamalarının çevresel etkileri, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (Yeksem '2001), Bildiriler kitabı, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, sf: 76-83, Ocak, İzmir.

Güneş, C. (2000). “Kütahya Gediz-Abide ve Muratdağı Jeotermal Alanlarının Jeolojik-Hidrojeolojik İncelenmesi Sıcak ve Soğuk Suların Jeokimyasal Yorumlanması”, Staj Raporu, DEÜ Müh. Fak. Jeoloji Müh. Böl., Yöneten Yrd.Doç. Dr. Gültekin Tarcan, Kasım, İzmir.



Güneş, S.T. ve Türkman, A. (2001). "Jeotermal Enerjinin Çevresel Etkileri", Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (Yeksem 2001), TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir. sf: 33-38, .

Güngör T., Erdoğan, B., (2001). Emplacement age and direction of the Lycian nappes in the Söke-Selçuk region, western Turkey, *International Journal of Earth Sciences*, 89, 874-882.

Gürültü Kontrol Yönetmeliği (1986): R. Gazete No. 19308.

Hasözbeç, A. (2003). Geology, Petrology And The Evolution Of The Egrigöz Magmatic Complex DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, Danışman: Prof.Dr. Özkan Pişkin.

Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (1986): R. Gazete No. 19269.

Hayward, A.B. & Robertson, A.H.F. (1982). Direction of ophiolite emplacement inferred from Cretaceous and Tertiary sediments of an adjacent autochthon, the Bey Dağları, Southwest Turkey, *Geological society of America Bulletin*, 93, p. 68-75.

Hetzl, R. & Reischmann, T., (1996). Intrusion age of Pan-African augen gneisses in the southern Menderes Massif and the age of cooling after Alpine ductile extensional deformation , *Geol. Mag.*, 565-572,

Hetzl, R., Ring, U., Akal, C. & Troesch, M. (1995). Miocene NNE-directed extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. *Journal of Geological Society*, London, 152, 639-654.

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

- Innocenti, F., Agostini, S., Vincenzo G. Di, Doglioni, C., Manetti, P., Savaşçın, M.Y. ve Tonarini, S., (2005). Neogene and Quaternary volcanism in western Anatolia: magma sources and geodynamic evolution. *Marine Geology, Special Issue- Eastern Medditerranean*.
- Işık, V. & Tekeli, O. (2001). Late orogenic crustal extension in the northern Menderes Massif (western Turkey): evidence for metamorphic core complex formation. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 757-65.
- Işık, V., Seyitoğlu, G. & Çemen, İ. (2003). Ductile-brittle transition along the Alasehir shear zone and its structural relationship with the Simav detachment, Menderes massif, western Turkey. *Tectonophysics*, 374, 1-18.
- Işık, V., Tekeli, O. & Seyitoğlu G. (2004). The  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age of extensional ductile deformation and granitoid intrusions in the northern Menderes core complex: Implications for the initiation of extensional tectonics in western Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 23, 555-566.
- Jackson, J. & McKenzie, D. (1984). Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77, 185-264.
- Jolivet, L., Rimmelé, G., Oberhänsli, R., Goffé, B. & Candan, O. (2004). Correlation of synorogenic tectonic and metamorphic events in the Cyclades, the Lycian Nappes and the Menderes Massif. Geodynamic implications: *Bulletin de la Société Géologique de France*, 175, 217-238.
- Kaya, O. (1972). Tavşanlı yöresi ofiyolit sorununun ana çizgileri , *TJK Bült.*, 15, 26-108.
- Koçyiğit, A., (1984). Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim, *TJK Bült.*, 24/1, 1-16.

- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. & Bozkurt, E. (1999a). Evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society*, London, 156, 605-616.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. & Bozkurt, E. (1999b). Reply to 'Discussion on evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society*, London, 156, 1240-1242.
- Konak N (1982). Geology of Simav region and the evolution of metamorphic rocks. *Istanbul Üniversitesi Mühendislik fakültesi Yerbilimleri Dergisi* 3:313-337.
- Koralay, O.E., Dora, O.Ö., Chen, F., Satır, M. & Candan, O. (2004). Geochemistry and geochronology of orthogneisses in the Derbent (Alasehir) area, Eastern part of the Ödemiş-Kiraz submassif, Menderes Massif: Pan-African magmatic activity. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 13, s. 37-61.
- Lips, A.L.W., Cassard, D., Sözbilir, H., Yılmaz, H. & Wijbrans, J. (2001). Multistage exhumation of the Menderes Massif, western Anatolia (Turkey), *International Journal of Earth Science*, 89, s. 781-792.
- Loppi, S. (2000): "Lichen Biomonitöring as a Tool for Assessing Air Quality in Geothermal Areas", *Proceedings World Geothermal Congress*, p: 645-648.
- McKenzie, D.P. (1978a). Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: The Aegean sea and its surrounding regions, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 55, s. 217-254.
- Minareci, F. (2005). Karaağaç-(Gediz-Kütahya), Baklan (Banaz-Uşak) Çevresindeki (Muratdağı Masifi) Ofiyolit, Granit ve Volkanizmayla İlişkili Bazı Çevherleşmelerin Minerolojik İncelenmesi, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, Danışman: Prof.Dr. Özkan Pişkin.
- MTA, (1996). Türkiye Termal Ve Mineralli Sular Envanteri Kütahya (43), MTA web sayfası (3.12. 2004), <http://iis.mta.gov.tr/show.asp?reportid=10184&pageid=0019>

- MTA, (2002). Türkiye Jeoloji Haritası İzmir, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Düzenleyen; Neşat Konak. Ankara, Turkey.
- Muffler LJP & Cataldi R.(1978). Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*;7. s. 53-89.
- Nicholson K. (1993). *Geothermal fluids. chemistry and exploration techniques*. Springer-Verlag. Berlin.
- Okay Aİ (1984). Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. In: Dixon JE, Robertson AHF (eds) The geological evolution of the eastern Mediterranean. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 17. s. 455-466
- Okay Aİ (1989b). An exotic eclogitic/blueschist slice in a Barrovian-style metamorphic terrain, Alanya nappes, southern Turkey. *J Petrol*. 30 s. 107-132
- OKAY, A. & .Siyako, M., (1991). The new position of the İzmir –Ankara Neo-Tethyan suture between İzmir and Balıkesir, in; Turgut S. (Ed.) Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and surrounding regions, Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, pp. 333-355.
- Okay, A., Siyako, M., Birkan, K. (1991). Geology and evolution of the Biga Peninsula, Northwest Turkey, *Bulletin of the Technical University, İstanbul.*, 44, s. 155-219.
- Oygür, V. (1997). Bir epitermal cevherleşmenin anatomisi: Mumcu (Balıkesir-Sındırgı) İç Batı Anadolu, *MTA Dergisi*, 119, s. 63-72.
- Öngür, T. (2005). Jeotermal Enerji seminer Kitabı, TMMOB Makine Müh. Odası, 7. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Oda Yayın No: E/2005/393-2 ISBN 975-395-968-0, Jeotermal Sahalarda Jeolojik ve Jeofizik Arama İlke ve Stratejileri s. 21-40.

- Özcan A, Göncüoğlu MC, Turan N, Uysal S, Şentürk K, Işık, A. (1988). Late Palaeozoic evolution of the Kütahya-Bolkardağ belt. *METU J Pure Appl Sci* 21. s. 211-220.
- Özer, S. & Sözbilir, H. (2003). Presence and tectonic significance of Cretaceous rudist species in the so-called Permo-Carboniferous Göktepe Formation, central Menderes Massif, western Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 92, s. 397-404.
- Palmer, A. N. (1984). Recent trends on karst geomorphology. *Journal of Geochemical Education* 32. s.247-253.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., (1999). User's Guide to PHREEQC (Version 2.8) Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations.
- Purvis, M. & Robertson, A.H.F. (2004). A pulsed extension model for the Neogene–Recent E–W-trending Alaşehir Graben and the NE–SW-trending Selendi and Gördes Basins, western Turkey, *Tectonophysics*, 391, s. 171-201.
- Rimmelé, G., Jolivet, L., Oberhänsli, R. & Goffé, B. (2003a). Deformation history of the high-pressure Lycian Nappes and implications for tectonic evolution of SW Turkey. *Tectonics*, 22, s. 1007-1029.
- Rimmelé, G., Oberhänsli, R., Goffé, B., Jolivet, L., Candan, O. & Çetinkaplan, M. (2003b). First evidence of high-pressure metamorphism in the ‘Cover Series’ of the southern Menderes Massif. Tectonic and metamorphic implications for the evolution of the SW Turkey. *Lithos*, 71, s. 19-46.
- Ring, U. & Collins, A.S. (2005). U-Pb SIMS dating of synkinematic granites: timing of core-complex formation in the northern Anatolide belt of western Turkey. *Journal of Geological Society*, London, 162, s. 289-298.

- Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R. & Gessner, K. (2003). Tectonic denudation of a Late Cretaceous-Tertiary collisional belt: regionally symmetric cooling patterns and their relation to extensional faults in the Anatolide belt of western Turkey. *Geological Magazine*, 140, s. 421-441.
- Saatçiler, R., Ergintav, S., Demirdağ, E., İnan, S. (1999). Character of Active faulting in the North Aegean Sea. *Marine Geolgy*, 160, s. 339-353.
- Serpen, Ü. (1999). Türkiye'de Jeotermal Enerjinin Çevreyle Uyumlu Kullanımı", *2000'li Yıllarda Jeotermal Enerji Yaz Okulu Ders Notları*, Editörler: Prof. Dr. M. Yılmaz Savaşçın, Yrd. Doç. Dr. Mahmut G. Drahor, Dr. Dilek Kumlutaş, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi (Jenarum), Eğitim Dizisi No:1, s. 127-136.
- Seyitoğlu, G and Scott, B.C., (1992). The age of the Büyük Menderes Graben (West Turkey) and its tectonic implications, *Geological Magazine*, 129, s. 239-242.
- Seyitoğlu, G. & Scott, B.C. (1991). Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. *Geological Magazine*, 128, s. 155-166.
- Seyitoğlu, G. & Scott, B.C. (1996). The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: Tectonic escape vs. Back-arc spreading vs. Orogenic collapse. *Journal of Geodynamics*, 22, s. 145-153.
- Seyitoğlu, G., Çemen, İ. & Tekeli, O. (2000). Extensional folding in the Alasehir (Gediz) graben, Western Turkey. *Journal of the Geological Society*, London, 157, s. 1097-1100.
- Seyitoğlu, G., Işık, V. & Çemen, İ. (2004). Complete Tertiary exhumation history of the Menderes massif, western Turkey: an alternative working hypothesis. *Terra Nova*, 16, s. 358-364.

- Seyitođlu, G., Tekeli, O., Ćemen, İ., Ően, S. & IŐık, V. (2002). The role of flexural rotation/rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alasehir graben, western Turkey. *Geological Magazine*, 139, s. 15-26.
- Simiyu, G. & Tole, M. (2000). Concentrations of Trace Elements in Waters, Soils, and Plants of the Olkaria Geothermal Field, Kenya, Proceedings World Geothermal Congress, Mayıs-10 Haziran, Japonya, sf: 681-688, 28.
- Sözbilir, H. (2002). Geometry and origin of folding in the Neogene sediments of the Gediz Graben, western Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 15, 277-288.
- Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği (2004): R.Gazete No. 25, s. 687.
- Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği (1991): R.Gazete No. 20748.
- Őengül, F., Türkman, A.(1998): Su ve Atıksu Analizleri, TMMOB Ćevre Mühendisleri Odası Yayınları;285-6, 152 sayfa.
- Şengör, A.M.C. & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan Evolution of Turkey: A Plate Tectonic Approach. *Tectonophysics*, 75, s. 181-241.
- Şengör, A.M.C. (1987). Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey. From Coward, M.P., Dewey, J.F., Hancock, P.L. (eds.), 1987, Continental Extensional Tectonics. *Geological Society Special Publication*, 28, s. 575-589.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, in; Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), Strike-slip faulting and Basin Formation, *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sp. Pub.*, 37,, pp. 227-264.

- Şengör, A.M.C., Satır, M. Akkök, R. (1984). Timing of tectonic events in the Menderes massif, Western Turkey: Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, 3, s. 693-707.
- Takahashi, K., Kuragaki, M. (2000): Yanaizu-Nishiyama Geothermal Power Station H<sub>2</sub>S Abatement System, Proceedings World Geothermal Congress, Japonya s. 719-722.
- Tarcan, G., (2002) Jeotermal Su Kimyası, Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi (Jenarum) Yaz Okulu Ders Notları, İzmir, s. 230-272.
- Tarcan, G. (2004). Mineral saturation and scaling tendencies of waters discharged from wells (>150°C) in geothermal areas of Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 142 (2005) s. 253-283.
- Taymaz, T., Jackson, J. & McKenzie, D. (1991). Active tectonics of the north and central Aegean, *Geophysical Journal International*, 106, s. 433-490.
- Tokçaeer M., Agostini S., Savaşçın M.Y., (2005). Geotectonic Setting, Origin And Emplacement Model Of The Youngest Kula Volcanics in Western Anatolia, *Turkish Journal of Earth Sciences*.
- Tökmeci, İ. (2002). Jeotermal Enerjinin Çevresel Etkileri ve Yasal Mevzuat Bitirme Projesi, Danışman: Yrd.Doç.Dr. Sevgi Tokgöz Güneş, Yayınlanmamış, Temmuz, İzmir.
- Trevor, M. H., (2001). Five Lectures On Environmental Effects Of Geothermal Utilization, United Nation University, Geothermal Training Programme, Reykjavik, Iceland
- Truesdell, A. H. and Fournier, R. O., (1975). Calculation of deep temperatures in geothermal systems from the chemistry of boiling spring waters of mixed origin.



*Proceedings, Second U.N. Symposium on Geothermal Resources*, San Francisco, CA, s. 837-844.

Truesdell, A.H. and Fournier, R.O., (1976). Conditions in the deeper parts of the hot spring systems of Yellowstone National Park, Wyoming. *US Geological Survey Open-File Report*, 76-428, 22 p.

Truesdell, A.H. and Fournier, R.O., (1977). Procedure for estimating the temperature of a hot water component in a mixed water using a plot of dissolved silica vs enthalpy. *US Geol. Survey J. Res.*, 5, s. 49-52.

Uzun vadeli Strateji ve Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı 2001-2005, Haziran (2002) <http://vizyon2023.tubitak.gov.tr/kaynaklar/dpt.pdf>.

Verma M.P. (2003a). An assessment of interlaboratory comparisons for  $\text{HCO}_3^-$  determination in geothermal waters: revised analytical method for  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{CO}_3^{2-}$ . *J. Volcan. Geotherm. Research*, Submitted.

Verma, M.P. & Santoyo S. (2002). An assessment of the results of the IAEA interlaboratory comparisons for geothermal water chemistry. Proc. 27<sup>th</sup> Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford, p.436-443.

Verma, M.P., (2003b). Geochemical techniques in geothermal development: an update, international summer school on geothermal geochemistry with additional contributions on: new geothermal approaches, geothermal district heating, geothermal reservoir engineering, 2-15 June 2003 İzmir/Turkey

Vizyon 2023 Teknoloji Öngörü Projesi, Enerji ve Doğal Kaynaklar Panel Raporu, Temmuz (2003), Ankara

Widagda, L., Santosa, A.P., Suwardiyono (2000): The Capability of Tulis River to Receive Liquid Waste from Production Test of Geothermal Wells and Relationships

by Irrigation in Dieng Central Jawa, Proceedings World Geothermal Congress, p: 737-740, 28, Japon.

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

Yılmaz, Y. (1989). An approach to the origin of young volcanic rocks of Western Turkey. In A. M. C. Şengör (Editor), Tectonic evolution of the Tethyan Region. *Kluwer Academic Publishers*, s. 159-189.

Yılmaz, Y. (1990). Comparison of young volcanic associations of western and eastern Anatolia formed under a compressional regime: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, s.1-19.

Yılmaz, Y. (1997). Geology of Western Anatolia, In Active tectonics of NW Anatolia - The Marmara poly -project, eds Schindler and Pfister. VDF, ETH Zurich, s. 31-54.