

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SALİHLİ JEOTERMAL ALANLARININ**  
**HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL**  
**İNCELENMESİ**

**Tuğbanur ÖZEN**

**Temmuz, 2009**  
**İZMİR**

**SALİHLİ JEOTERMAL ALANLARININ  
HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL  
İNCELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Doktora Tezi**

**Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı**

**Tuğbanur ÖZEN**

**Temmuz, 2009**

**İZMİR**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**TUĞBANUR ÖZEN**, tarafından **PROF. DR. GÜLTEKİN TARCAN** yönetiminde hazırlanan “**SALİHLİ JEOTERMAL ALANLARININ HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Gültekin TARCAN

Yönetici

Doç. Dr. Ünsal GEMİCİ

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Doç. Dr. Kadriye ERTEKİN

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Necdet TÜRK

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde hazırlanan doktora tezi çalışması olup Dokuz Eylül Üniversitesi KB.FEN.016 No'lu "Salihli (Manisa) Jeotermal Alanları'nın Hidrojeolojik İncelenmesi" konulu Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Tez çalışmalarım süresince fikir, bilgi ve tecrübeleri ile çalışmalarına katkı sağlayan tez izleme komitesi hocalarım Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Ünsal GEMİCİ ve Fen Fakültesi Kimya Bölüm Öğretim Üyesi Doç. Dr. Kadriye ERTEKİN'e

Arazi çalışmalarım ve tez çalışmalarımın değerlendirilmesinde önemli katkısı olan ve ileride de birlikte çalışmayı umduğum Araş Gör. Ali BÜLBÜL'e,

Yüksek Lisans ve Doktora eğitimim süresince birlikte çalıştığımız, manevi desteğini her zaman hissettiğim sevgili arkadaşım Jeo. Yük. Müh. Mine Sezgül KAYSERİ'ye, mesleki bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, Öğretim Görevlisi Dr. Cem KINCAL'a,

Tezimin arazi ve laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Yük. Müh. Cihan GÜNEŞ, Dr. Füsün Servin TUT HAKLIDR, Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğrencilerinden K. Serkan EROL, Hale PAĞNIKLI, Buğra GÜNAY ve Soner TEZEL ile arkadaşlarım Ekin KIRAN ve Mustafa BOZ'a,

Arazide uzun süreli çalışmalarım sırasında sağladıkları imkânlar ve yardımlarından dolayı başta Salihli Belediyesi personeli Jeo. Yük. Müh. Kerem Kadir OĞUZ'a, Salihli Belediye Başkanlığı ve Kurşunlu Kaplıcası Jeotermal Isıtma Merkezi personeline,



Tez çalışmamın kontrolü ve düzeltmelerinde yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Müh. Duygu ÜÇBAŞ, Bilge ARSLANTAŞ ve emeği geçen diğer bütün arkadaşlarıma,

Çalışmalarım sırasında zaman zaman bilgilerinden yararlandığım Prof. Dr. Şevki FİLİZ, Yard. Doç Dr. Niyazi AKSOY ve Dr. Servet YILMAZER'e,

1999 yılından bu yana yüksek lisans ve doktora eğitimim süresince bilgi ve birikimlerinden daima yararlandığım; görüş ve önerileriyle mesleki açıdan gelişmeye ve hayatımda yeni bakış açıları yaratmama çok büyük katkısı olan, desteğini her zaman hissettiğim sevgili hocam ve danışmanım Prof. Dr. Gültekin TARCAN'a

Hayatımın her aşamasında yanımda olan ve eğitimim hayatım boyunca gösterdikleri sabır, maddi ve manevi desteklerinden dolayı her zaman minnettar olduğum sevgili annem Perizat ÖZEN, babam Hikmet ÖZEN, kardeşlerim Özge ÖZEN ve N. Özgün ÖZEN ile kuzenim Esin YALÇIN'a ve ailemin diğer tüm bireylerine,

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tuğbanur ÖZEN

# SALİHLİ JEOTERMAL ALANLARININ HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

## ÖZ

Salihli jeotermal alanları, Gediz Grabeni'nin güneyinde yer almaktadır. Çalışma alanı, Kurşunlu Kaplıcası, Sart, Üfürük ve Caferbey jeotermal alanları olmak üzere dört grupta incelenebilir. Bu çalışmada söz konusu sahalardaki termal hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanının temelini oluşturan Menderes Masifi metamorfiklerine ait karbonatlı kayalar karstik ve çok çatlaklı olmalarından dolayı geçirimsizliği yüksek olup, termal ve soğuk su kaynakları için akifer oluştururlar. Bazı yerlerde Menderes Masifi metamorfiklerine ait gnays ve kuvars-mikaşistler de jeotermal sistemlerin akiferi olma özelliği gösterirler. Bunları örten Neojen tortul birimler bölgede farklı fasiyelerden oluşmakta ve Acıdere, Göbekli ve Asartepe formasyonları olarak adlandırılmaktadır. Geçirimsiz veya az geçirimli olmaları nedeniyle jeotermal sistemlerin örtü kayacını oluşturmaktadırlar. Bölgede geniş bir yayılım sunan Kuvaterner alüvyon soğuk sular için akifer özelliğinde olması açısından önemlidir. Sıcak akışkanın taşınımı yeraltındaki fay ve kırık hatları ile sağlanmaktadır.

Salihli jeotermal alanındaki termal sular izotop içeriklerine göre meteorik kökenlidir. Kurşunlu Kaplıcası ve Caferbey Termal Suları genel olarak düşük trityum yüksek Cl ve EC değerlerine sahiptir. Bundan dolayı sıcak sular derin dolaşım ve yeraltında kalış süreleri uzundur. Sart-Çamur Kaplıcası Termal Suları ise yüksek trityum ve düşük Cl içeriğine sahip olup karışık su tipini yansıtmaktadır. İnceleme alanındaki tüm sıcak sular, karbonat minerallerini (kalsit, aragonit ve dolomit) çöktürücü özelliktedir. Kurşunlu Jeotermal Alanı'nda iki farklı re-enjeksiyon kuyusundan uranın kullanılarak izleyici deneyi yapılmıştır. Sonuçlar, Kurşunlu Jeotermal Alanı'nda permeabilitesi yüksek oldukça çatlaklı bir rezervuarı göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Salihli, jeotermal, hidrojeoloji, hidrojeokimya, izotop hidrolojisi, toprak kirliliği, izleyici testi

# **HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL STUDIES OF THE SALİHLİ GEOTHERMAL FIELDS**

## **ABSTRACT**

The study area is located in southern rims of the Gediz Graben. Salihli geothermal fields are geographically divided into four main groups; Kurşunlu, Caferbey, Üfürük and Sart geothermal fields. In this study, geothermal and hydrochemical characteristics of thermal waters in the geothermal fields are described. The basement of the study area consists of Menderes Massif rocks, which are formed by highly fractured karstic marbles, granodiorite, gneiss and quartz-schist units are aquifers of the geothermal systems in the study area. Neogene sedimentary units occur in different facies in this area and are called as Acıdere, Göbekli and Asartepe formations overlies the Menderes Massif rocks. These units include poorly cemented clayey levels, have very low permeability as a whole and may locally act as cap rocks for the geothermal systems. Alluvium that extends wide in the region is the most important unit for cold ground water aquifer. Transports of thermal fluids are via faults and fractured zones.

Results of environmental isotope analysis show that thermal waters are of meteoric origin. Kurşunlu Spa and Caferbey thermal waters have low tritium and high Cl and EC contents. Therefore thermal waters have long circulation velocity in depth. However, Sart-Çamur Spa thermal waters are also mixed water due to high tritium and low Cl contents.

Thermal waters in the study area are oversaturated with respect to carbonate minerals (calcite, dolomite and aragonite). Uranine was pumped into two different reinjection wells. As a result of the tracer tests indicated a geothermal reservoir with quite permeable fractures in the geothermal field.

**Keywords:** Salihli, geothermal, hydrogeology, hydrogeochemistry, isotope hydrology, sediment contamination, tracer test.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	v
ABSTRACT.....	vi
<b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı .....	1
1.2 Çalışma Alanın Yeri .....	2
1.3 Coğrafi Konum ve Morfoloji .....	2
1.4 İklim .....	4
1.5 Toprak ve Bitki Örtüsü.....	4
1.6 Çalışma Yöntemleri.....	5
1.6.1 Literatür Çalışmaları .....	5
1.6.1.1 Jeolojik, Tektonik ve Jeofizik Çalışmaları.....	5
1.6.1.2 Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve Jeotermal Amaçlı Yapılan Çalışmalar .....	9
1.6.2 Arazi Çalışmaları .....	14
1.6.3 Laboratuvar Çalışmaları .....	14
1.6.4 Büro Çalışmaları .....	15
<b>BÖLÜM İKİ – ÖRNEKLEME VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>16</b>
2.1 Örneklem Yöntemi .....	16
2.1.1 Kimyasal ve İzotopik Analizler için Yapılan Su Örneklemesi.....	16
2.1.2 Sediman ve Toprak Örneklemesi.....	17
2.2 Ölçüm Yöntemleri .....	18
2.2.1 Arazide Fiziksel Parametrelerin Ölçüm Yöntemleri.....	19
2.2.1.1 Sıcaklık, Eh, pH ve EC(Elektriksel Kondüktivite) Ölçümleri.....	19
2.2.1.2 Karbonat Türlerinin Analizi (Alkalinite, Asidite) .....	19

2.2.1.3 Hidrojen Sülfid (HS) Analizi .....	20
2.3 Laboratuvarda Ölçüm Yöntemleri.....	21
2.3.1 ICP-MS Yöntemi ile Suların Kimyasal Analizleri .....	21
2.3.2 Gravimetri (Çöktürme) Yöntemi ile Sülfat Analizi.....	21
2.3.3 İzotop Analiz Yöntemi .....	23
<b>BÖLÜM ÜÇ – JEOLojİ.....</b>	<b>24</b>
3.1 Temel Kayalar .....	24
3.1.1 Granodiyoritler .....	24
3.2 Tortul Kayalar .....	27
3.2.1 Salihli Grubu.....	27
3.2.1.1 Acidere Formasyonu.....	28
3.2.1.2 Göbekli Formasyonu.....	29
3.2.1.3 Asartepe Formasyonu .....	29
3.3 Adala Grubu .....	30
3.3.1 Filiztepe Formasyonu .....	30
3.3.2 Mevlütlü Formasyonu.....	30
3.4 Alüvyonlar.....	30
3.5 Yapısal Jeoloji .....	31
<b>BÖLÜM DÖRT – HİDROJEOLojİ .....</b>	<b>35</b>
4.1 Giriş .....	35
4.2 Su Noktaları.....	35
4.2.1 Kaynaklar.....	35
4.2.2 Sığ ve Derin Kuyular .....	36
4.2.3 Çeşmeler .....	36
4.2.4 Yüzey Suları .....	36
4.3 Hidrojeolojik Birimler .....	37
4.3.1 Temel kayalar .....	37
4.3.2 Neojen Karasal Tortullar .....	37

4.3.3 Alüvyon .....	38
4.4 Su Bütçesi .....	38
4.5 Yeraltı Su Seviyesi .....	40
4.6 Yeraltı Suyu Akifer Parametrelerinin Hesaplanması .....	41
4.7 Jeotermal Alanlar .....	45
4.7.1 Sart Jeotermal Alanı .....	46
4.7.2 Üfürük Jeotermal Alanı .....	47
4.7.3 Caferbey Jeotermal Alanı .....	48
4.7.4 Kurşunlu Kaplıcası Jeotermal Alanı .....	48
<b>BÖLÜM BEŞ – HİDROJEOKİMYA .....</b>	<b>52</b>
5.1 Giriş .....	52
5.2 Yeraltı Sularında Bulunan Önemli İyonlar .....	52
5.3 Yeraltı Sularında Bulunan İkincil İyonlar ve İstenmeyen Maddeler .....	56
5.4 Kimyasal Analiz Sonuçlarının Hidrojeokimyasal Değerlendirmesi .....	61
5.4.1 Hidrojeokimyasal Sınıflandırma .....	61
5.4.1.1 Suların Hidrojeokimyasal Fasiyes Kavramına Göre Sınıflaması ....	61
5.4.1.2 Piper ( Üçgen ) Diyagramı ile Suların Sınıflandırılması .....	75
5.4.3 Suda Çözünmüş Bileşenler Arasındaki İlişkiler .....	79
5.5.4 Jeotermometre Uygulamaları .....	83
5.5.4.1 Kimyasal Jeotermometreler .....	83
5.5.4.2 Birleşik Jeotermometreler .....	87
5.5.5 İnceleme Alanı'ndaki Temel Suların Kabuklaşma ve Mineral Doygunluk Özelliklerinin İncelenmesi .....	88
5.5.5.1 Kabuklaşma Tipleri .....	92
5.6 Su Kalitesi Açısından Değerlendirme .....	100
<b>BÖLÜM ALTI – İZOTOP JEOKİMYASI.....</b>	<b>108</b>
6.1 Giriş .....	108
6.2 Duraylı İzotoplar .....	108

6.3 Radyoaktif İzotoplar .....	111
6.4 Örnekleme ve Analiz Yöntemleri.....	112
6.5 İzotop Jeokimyası Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	112
<b>BÖLÜM YEDİ – TOPRAK KİRLİLİĞİ.....</b>	<b>123</b>
7.1 Giriş .....	123
7.2 Kimyasal Analizlerin Değerlendirilmesi.....	123
7.2.1 Igeo Sınıflaması .....	123
7.2.2 EF Sınıflaması .....	129
7.2.3 PI Sınıflaması.....	133
<b>BÖLÜM SEKİZ– İZLEYİCİ DENEYİ .....</b>	<b>136</b>
8.1 Giriş .....	136
8.2 Yeraltı Suyu Taşınımı .....	136
8.3 İzleyici Maddenin Özellikleri.....	140
8.4 Flüoresan Konsantrasyon Ölçüm Cihazı ve Ölçüm Metodu.....	141
8.4.1 İzleyicinin Re-enjeksiyon Kuyularına Verilmesi ve Örnekleme Yöntemi.....	142
8.5 İzleyici Madde Miktarı .....	144
8.6 Kurşunlu Jeotermal Alanı İzleyici Deneyi Çalışması .....	145
8.6.1 K-1 re-enjeksiyon Kuyusunda Yapılan İzleyici Deneyi.....	145
8.6.2 K-17 re-enjeksiyon Kuyusunda Yapılan İzleyici Deneyi.....	152
<b>BÖLÜM DOKUZ–SONUÇLAR .....</b>	<b>155</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>169</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>184</b>

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Çalışmanın Amacı

Batı Anadolu'da genleşme tektoniğine bağlı olarak bugünkü güncel morfolojilerini kazanan grabenler içerisinde birçok önemli jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Jeotermal alanlar bu güne kadar birçok araştırmacı tarafından farklı şekilde çalışılmıştır.

Bu jeotermal alanlardan Gediz Grabeni içerisinde yer alan Salihli jeotermal alanları gerek sıcaklık gerekse kullanım potansiyeli bakımından Türkiye'nin en önemli jeotermal alanlarından biri olma özelliğine sahiptir.

İnceleme alanı içerisinde çoğunlukla jeolojik çalışmalar başta olmak üzere hidrojeolojik, hidrojeokimyasal, izotop çalışmaları, jeofizik ve sondaj çalışmaları uzun yıllardan beri devam etmektedir. Bu güne kadar yapılan çalışmalarla alandaki jeotermal kaynakların genel olarak jeolojik ve hidrojeokimyasal yapısı ortaya konmaya çalışılmıştır. Tüm bu çalışmalara rağmen, jeotermal kaynaklara olan yatırımların artmasından dolayı, işletilme sırasında yeni problemlerle karşılaşmaktadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmaları jeotermal sular ile soğuk ve yüzey sularında yapılan çalışmalar olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Çalışmada öncelikle eski / yeni kaynak ve kuyular ile yüzey sularından kimyasal ve izotopik analizler için örneklemeler yapılmıştır. Önceki çalışmalar da dikkate alınarak, yapılan analizler çeşitli diyagramlarda ve kimyasal türleştirme programlarında değerlendirilerek suların bir bütün olarak köken ve hidrojeokimyasal özellikleri ortaya konulmuştur. Özellikle jeotermal kaynakların su kaynaklarına olabilecek olumsuz etkilerinin araştırılması amacıyla yüzey sularından su örneklemesine paralel olarak ilk kez sediman örnekleme çalışması yapılmıştır. Kurşunlu jeotermal alanında var olan ve işletilen kuyuların birbirleriyle ve re-



enjeksiyon kuyuları ile olan ilişkilerinin ve akifer yapısının ortaya konulması için gerekli olduğu düşünölen izleyici deneyi de ilk kez bu çalışma kapsamında yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarının ileride planlanması düşünölen ve çok önemli görölen yeni üretim ve re-enjeksiyon kuyularının yerlerinin seçiminde ışık tutacağı düşünölmektedir. Ayrıca bu çalışmanın, Kurşunlu Jeotermal Alanı'nın rezervuar hacminin tahmin edilmesinde de yeni yaklaşımlar getireceği umut edilmektedir. Çalışma kapsamında yakın gelecekte kullanılması düşünölen bölgedeki diğer jeotermal alanların işletilmesi sırasında karşılaşılabacağı düşünölen problemler ve çözüm önerileri de ortaya konmuştur.

Artan nüfus, kentleşme ve endüstriyel gelişim su kaynaklarımızın doğru planlamalarla kullanılması gerekliliğini göstermektedir. Bunun yanı sıra Gediz Grabeni içerisindeki jeotermal alanların işletilmesine yönelik yeni yatırımların planlanması bu projede yapılmak istenen çalışmaların önemini vurgulamaktadır.

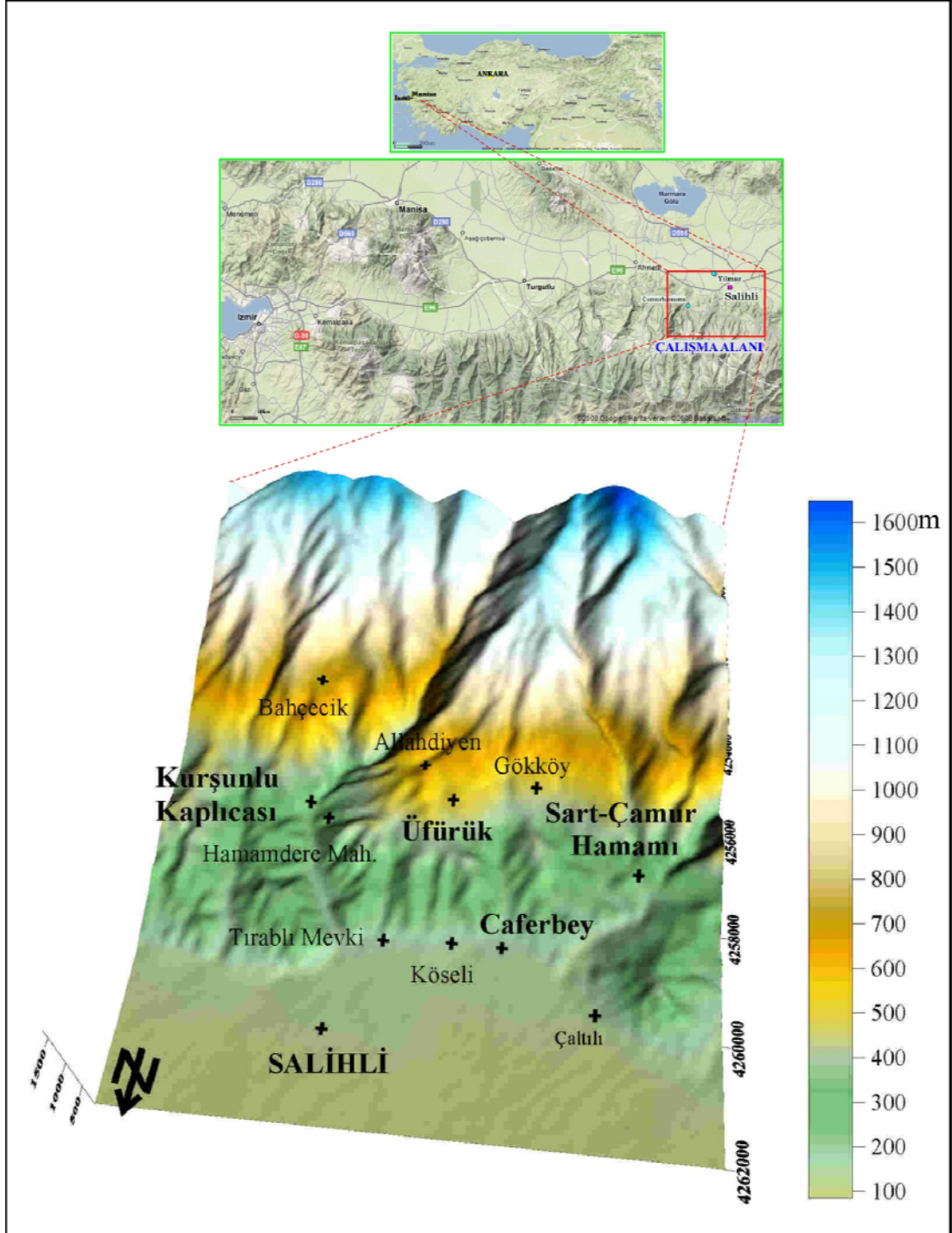
## **1.2 Çalışma Alanının Yeri**

Çalışma alanı, İzmir İli'ne 96 km ve Manisa iline 70 km uzaklıkta, Salihli ilçesi sınırlarında, Gediz Grabeni'nin güneyinde 1/25000 ölçekli topoğrafya haritalarında L20a1-a2, K19c3 ve K20d4 paftaları içinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Kuzeyde Gediz Nehri, güneyde Bozdağ, batıda Sart ve doğuda Gümüş Deresi ile sınırlandırılmıştır. Salihli ilçesi, coğrafi konum ve topoğrafik yapının uygunluğu nedeniyle gerek kendine bağlı yerleşimlerle, gerekse komşu ilçe ve illerle kolay bir ulaşım bağlantısına sahiptir. Bölgeye ulaşım, İzmir-Ankara E-96 devlet karayolu ile yapılmaktadır.

## **1.3 Coğrafi Konum ve Morfoloji**

Çalışma alanı UTM 35. dilim, 4245000-4266800K ile 586000-605000D koordinatları arasında Gediz Havzası'nın orta bölümünde 28 10' doğu, 38 10' kuzey konumunda yer almaktadır. Salihli İlçesi Bozdağ'ın kuzey yamacının eteklerinde Gediz Nehri kenarında bulunmaktadır. Bozdağ Yükseltisi, ilçenin güneyini

sınırlandırmakta olup, kuzey ve kuzeydoğuya bakan yamaçların daha nemli olması ilçenin yerleşim alanlarının seçiminde ve kent gelişiminde etkili rol oynamıştır.



Şekil 1.1 İnceleme alanının yeri ve sayısal yükseklik modeli .

Çalışma alanında en büyük yükseltiyi güneydeki Bozdağ Horstu (2159 m) oluşturmaktadır. Karakaya Tepe (1659 m), Kömürcü Tepe (1461 m), Düzağaç Tepe (1202 m) ve Sarıkaya Tepe (1044 m) bölgedeki diğer yükseltilerdir. Güneydeki dik topoğrafyanın düzlüğe açıldığı alanlarda yaygın alüvyon yelpazeleri ve taşkın alanları gelişmiştir.

Çalışma alanında en önemli akarsular Gediz Nehri ve Alaşehir Çayı'dır. Kurşunlu Deresi, Tabak Deresi, Sart Deresi, Gümüş Dere, Sağlık Deresi ve Kömürcü Deresi bölgedeki diğer önemli akarsulardır. Bu dereler inceleme alanının güneyindeki Bozdağ'ın yamaçlarından kuzeye doğru akmaktadırlar.

Demirköprü Baraj Gölü, sulama kanalları ve göletler de tarımsal amaçlı sulamada hayat damarı niteliğindedir. Ayrıca, Salihli Ovası içinde, çoğunluğu sulama amaçlı kullanılan, çok sayıda soğuk yeraltı suyu sondaj kuyusu bulunmaktadır.

#### **1.4 İklim**

Salihli'de yıllık sıcaklık ortalaması 16 °C civarında, yarı kurak Akdeniz İklimi görülür. Kış ortalaması 3-4 °C, yaz ortalaması ise 17 °C civarında ölçülmüştür. Ancak zaman zaman sapmalar da meydana gelmektedir. Salihli İlçesi'nde sıcaklığın ortalama +5 °C ile 30 °C arasında değiştiği söylenebilir. Yağışın önemli kısmı Aralık-Mart aylarındadır. Atmosferdeki en yüksek nemlilik değerleri Ocak ve Şubat, en düşük nemlilik değerleri de Temmuz-Ağustos aylarında olmaktadır. Yıllık ortalama yağış ise 500 mm civarındadır. Akdeniz Yağış Rejimi'nde olması dolayısıyla yağışın % 48'i kış, % 27'si ilkbahar, % 8'i sonbahar, % 7'si de yaz mevsiminde düşmektedir. Ancak bazı yaz aylarında hiç yağış düşmediği de görülebilmektedir. Yazın ayların çoğu kurak geçmektedir. Kuraklık yöredeki yeraltı suyu eksikliğine neden olmaktadır.

#### **1.5 Toprak ve Bitki Örtüsü**

Çalışma alanının güneyi Neojen'in karasal tortullarının oluşturduğu toprak örtüsü ile kaplıdır. Kuzeyde Salihli Ovası'nı oluşturan alüvyonal topraklar gelişmiştir.

Geniş bir alanı kaplayan makiler dağların kuzey ve batı yamaçlarında yer alır. Ormanlar genellikle 1000 m. üzerindeki yüksekliklerde ve meşe, dişbudak, karaağaç, karaçam, kızılçam, ardıç, yaban armudu ve çınar ağaçları bulunur. Yaygın maki türleri ise geniş yapraklı taş ihlamuru, mastık, kocayemiş, funda, ladin, zeytin ve az miktarda da defne, kuşkonmaz ve üvezdir.

Demirköprü Barajı'nın sağladığı sulama olanağı ovada hem çeşitli hem de verimli yüksek bir tarım hayatı ortaya çıkarmıştır. Ovada ve Bozdağ yamaçlarında pamuk, çekirdeksiz üzüm, tütün, zeytin, çeşitli meyve ve sebzeler üretilmektedir. Jeotermal enerjiden yararlanan ve gelişmekte olan seralarda da ihracata yönelik tarımsal ürünler (domates, biber vb.) yetiştirilmektedir.

## **1.6 Çalışma Yöntemleri**

### ***1.6.1 Literatür Çalışması***

Bu çalışma kapsamında öncelikle inceleme alanının 1/25.000'lik topoğrafik (L20a1-a2, K19c3 ve K20d4) ve jeoloji haritaları elde edilmiştir. Arazi çalışmalarında bu haritalardan faydalanılmıştır. Çalışma alanı ve yakın çevresinin bu güne kadar birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmaların bazıları aşağıda iki farklı bölüm olarak özetlenmiştir.

#### *1.6.1.1 Jeolojik, Tektonik ve Jeofizik Çalışmaları*

Erden (1965), Salihli-Alaşehir bölgesinin gravite etüdünü yapmıştır. Çalışmasında Salihli-Alaşehir arasında bölgesel derin bir kırık zonunun varlığını ortaya koymuştur.

Özçiçek (1968) tarafından Salihli-Allahdiyen ve çevresinde yapılan özdirenç etüdünde, Neojen birimlerin kalınlığı 300-1400 m olarak belirlenmiş ve yüksek özdirençli taban topoğrafyası saptanmıştır.

Arpat ve Bingöl (1969), Gediz Grabeni doğu bölümünün deprenselliğine ve tektonik özelliklerine dönük çalışmalarda, grabenin kuzey ve güney kenarlarının

doğu-batı gidişli faylarla sınırlanmış olduklarını ve graben dolgusunun egemen olarak kaba kırıntılı ve az olarak karbonatlı tortullardan oluştuğunu belirtmişlerdir.

Dewey ve Şengör (1979) yaptıkları çalışmada Ege ve yakın çevresinin tektonik gelişimini incelemişlerdir. Anadolu bloğunun Bitlis Yitim Zonu'ndan itibaren batıya kayması sonucu Ege Bölgesi'nin açılmaya bağlı bir tektonik gelişim sürdüğünü belirtmişlerdir.

Çağatay ve Arda (1980), Salihli güneyinde yayılım gösteren ve egemen olarak çakıltaşından oluşan kırıntılı tortulları, renklerine göre dört ayrı düzeyde ayırırlar.

Erol (1982), Gediz Çöküntüsü'nün asimetrik yapıda olduğunu ve güney kenarının aktif olabileceğini vurgulamıştır.

Şengör (1982), grabeni sınırlayan fayların sığ derinlikli ve listrik özellikte olduğunu belirtir. Batı Anadolu'nun doğu-batı yönünde sıkışma tektoniğine uğramasıyla kuzey-güney yönünde bir gerilmenin gerçekleştiği ve buna bağlı olarak da Ege Graben Sistemi'nin meydana geldiğini belirtir. Sözü edilen gerilme tektoniğinin yerel olarak doğrudan manto kökenli tipik bir rift volkanizması özelliği gösterdiğini vurgulamaktadır.

Şengör ve diğer. (1985), yaptıkları çalışmada Batı Anadolu'da sıkışma rejiminin Tortoniye'ye kadar sürdüğünü belirtmişlerdir. Araştırmacılar Bitlis Yitim Zonu boyunca Arap Plakası ile Avrasya Plakası'nın, Orta Miyosen'de (Langiyen-Serravaliyen) çarpışması neticesinde Anadolu Bloğu'nun Serravaliyen-Tortiyen zamanında oluşan kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fayları ile batıya kaçmasıyla Ege Bölgesi'nde K-G gerilmeli rejimin başladığını ileri sürmüşlerdir.

Erdoğan ve Sarı (1984), kabuktaki açılmalardan dolayı, plato yükselmesi ve mantoda kabuksal domlaşmaya bağlı olarak graben oluşumunun gerçekleştiğini belirtirler. Yazarlara göre Gediz Grabeni çöküntü alanları birer rift sistemi olup kıtasal kökenlidir.

Koçyiğit (1984), Batı Anadolu'daki graben sistemlerinin Geç Miyosen'de etkin olan kuzey-güney yönlü çekme kuvvetlerinin ürünü olduğunu vurgular. Araştırmacıya göre Tortoniyen (Üst Miyosen) sonunda, Türkiye'nin güneybatısı tümüyle yükselmeye başlayarak günümüzde de etkinliğini sürdüren çekme tektoniği rejimi denetiminde bölge blok faylanması uğramış ve gelişen çöküntü alanlarına Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı karasal birimler yağışlı iklimin denetiminde çökelmiştir.

Yağmurlu (1987), Gediz Grabeni'nde ve Salihli'nin güney bölümünde yer alan kaba kırıntılı tortulların depolanma koşullarının ortaya çıkarılmasını ve buna bağlı olarak grabenin tektonik evrimine değindiği çalışmada Salihli yöresindeki Neojen tortulların stratigrafik ve sedimentolojik özelliklerini incelemiştir. Gediz Grabeni'nin güney ve kuzey bölümlerinde yer alan tortul fasiyeslerin benzer olmayışı, graben açınımının başlangıçta asimetric bir gelişme gösterdiğini ve bu gelişimin Neojen süresi boyunca sürdüğünü belirtmiştir. Tortullaşmayı izleyen dönemde, olasılıkla Kuvaterner'de Gediz Grabeni'nin simetric bir graben özelliği kazanmaya başladığını söylemektedir.

Cohen ve diğer. (1995), Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin riftleşme ile eş yaşlı sedimantasyonu ve yapısal girişimleri üzerine yaptıkları araştırmalarda, Batı Anadolu'daki açılmanın tilitleşmiş 200-800m genişliğindeki fay bloklarında gözlemlenebileceğini ve bu fay blokları önlerinde alüviyal yelpaze çökellerinin geliştiğini belirtmişlerdir.

Ediger ve diğer. (1996), Gediz Grabeni içinde Alaşehir-Turgutlu civarında yüzlek veren Alaşehir ve Salihli formasyonlarına ait, genellikle göl ve akarsu ortamlarında çökelmiş, ince taneli, organik madde bakımından zengin klastik kayaları palinolojik açıdan incelemiştir. Bu kayaların havzadaki hidrokarbon oluşumunun gerçekleşebileceği en muhtemel petrol ana kaya adayı olduğunu belirtirler. Bu çalışmada, Salihli formasyonu Sart üyesinin yaşını Orta-Geç Miyosen olarak tespit etmişlerdir.

Emre (1996), Sart Mustafa (Salihli – Manisa) ile Dereköy (Alaşehir – Manisa) arasında Gediz Grabeni'nin jeolojisini ve tektoniğini incelemiştir. Yapılan çalışmada grabenin bir ayrılma fayı olan Karadut Fayı'nın oluşumu ile başlayan çökelim alanını kapsadığı belirtilmiştir. Bu fayın yaşının Erken Miyosen sonu veya Orta Miyosen olabileceği tahmin edilmektedir. Acıdere, Göbekli, Filiztepe, Asartepe ve Mevlütlü formasyonları ile alüvyonlar bu alanda biriken tortullardır. Bu tortulların en genci olan alüvyonlar Salihli - Alaşehir Ovası'nı oluşturmaktadır. Karadut Fay aynası üzerinde, taban bloğu ile tortul kayalar dokanağının yakınlarında yer yer gözlenen tavan bloğu temel kayaları, düşük eğimli bu normal faya bağlı olarak hareket etmiş ve üzerindeki tortul örtünün aşınması sonucunda yüzlek vermiş kütlelerdir. Gediz Grabeni, kenar fayı düşük eğim açılı olan, güney kenarı aktif bir yarım grabendir

Sözbilir (2001), Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinde yaptığı çalışmada, Batı Anadolu'nun grabenleşme evrelerinde oluşan havzaları üç evrede gruplamıştır. Ayrıca araştırmacı, aktif fayların tanınmasında yararlanılan havza içi uyumsuzluklar ve eğim analizi yöntemlerine de değinmektedir. Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinde blok rotasyon derecelerinin havza içine doğru azaldığını ve sıyrılmaya fayına en yakın olan fay basamağındaki bloğun en fazla rotasyona uğrayan blok olduğunu belirtmektedir.

Yılmaz ve diğ. (2000), Ege Bölgesi'nin günümüzde K-G gerilme deformasyonu etkisinde olduğunu belirtmiş ve bu tektonik gelişimin başlıca iki etkin hareketin denetiminde geliştiğini, bunlardan ilkinin Anadolu Bloğu'nun batıya kaçış hareketi ve ikincisinin de Batı Anadolu'nun K-G yönlü açılma hareketi olduğunu eklemiştir. Buna bağlı olarak bölgede D-B yönlü grabenler gelişmekte ve bölge yılda 3-6 cm gerilirken normal faylanmalar oluşmaktadır.

Gökten ve diğ. (2001), Salihli ve çevresinde yapmış oldukları çalışmada, Menderes Masifi Metamorfikleri ve sedimanter örtü kayaçlarında gözlemledikleri yapısal ilişkilerle Menderes Masifi'nin Tersiyer gelişimini araştırılmıştır. Geç Miyosen'de bölgede D-B yönlü bir sıkışma rejiminin etkili olduğu belirtilmektedir.

Bozkurt ve Sözbilir (2004), Gediz Grabeni'nin tektonik evrimini inceledikleri çalışmada, bölgedeki Neojen birimler gruplandırılmıştır. Gediz Grabeni'ni oluşturan gerilmenin Geç Oligosen-Erken Miyosen döneminden Kuvaterner'e kadar olan dönemde önceki çalışmalarda da değinildiği üzere aralıklı kısa süreli kor-kompleks yükselim ve daha sonrasında geniş rift oluşumunun bir sonucu olduğu tartışılmaktadır. Gediz Grabeni, Batı Anadolu'daki D-B uzanımlı diğer grabenler gibi yaklaşık 4-5 Ma ya da olasılıkla daha geç oluşmuştur. Yazarlar, Alt Miyosen'de Kurşunlu veya Salihli grubu olarak adlandırılan birimlerin, Pliyosen-Pleyistosen döneminde Sart veya Asartepe formasyonlarının oluştuklarını belirtirler.

Purvis ve Robertson (2005), Gediz Grabeni'nde Neojen'den günümüze tortullaşmayı inceleyerek Batı Anadolu'daki alternatif tektonik modelleri ortaya koymaya çalışmışlardır. Yazarlar, Erken Miyosen'deki klastik çökellerin yaş tayinlerinin doğru yapıldığı varsayımına dayanarak grabenin Erken Miyosen'de aktive olduğunu ve uzun zamanlı genişleme modeline uyduğunu belirtmektedirler.

Çiftçi ve Bozkurt (2007), Gediz Grabeni'nin güney kenarını sınırlayan fay sisteminin fay eğimi ve doğrultusu yönünde inceleyerek grabenin günümüzdeki alansal yayılımını, depo-merkezlerin konumunu ve graben dolgusunun kalınlığını etkileyen aşamaları belirlemişlerdir.

#### *1.6.1.2 Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve Jeotermal Arama Amaçlı Yapılan Çalışmalar*

Ürgün (1968), Salihli-Kurşunlu Kaplıcası çevresinde jeotermal amaçlı ilk etütleri yapmıştır. Bu çalışmalar sonucunda jeofizik etüt ve sondaj yapılmasını önermiştir.

Gülay (1970), Salihli-Kurşunlu Kaplıcası ve çevresinde yapılan elektrik özdirenç çalışmalarında G-K doğrultulu bir profil boyunca eş rezistivite ve elektrik yapı kesitleri elde edilmiştir. Kesitlerin Menderes Grabeni içerisinde yapılan kesitlerle benzerlik göstermiştir. Horst-graben kantağı boyunca oluşan basamaklı faylar üzerindeki düşük özdirenç değerleri Gediz Gabeni içerisindeki jeotermal alanların



tektonik kökenli olduğunu kanıtlamıştır. Ayrıca Gediz Grabeni içerisinde kuzeye doğru derinleşen temel yapı ortaya çıkarılmış, Neojen çökelleri için 100m-400m aralığında kalınlık saptanmıştır. Kurşunlu ve Sart-Çamur kaplıcalarında birer sondaj önerilmiştir.

Karamenderesi ve diğ. (1983), Salihli-Alaşehir (Manisa) jeotermal alanları için derin sondaj önerisinde bulunmuşlardır. Ayrıca Menderes Masifi'nin Gediz Grabeni içerisindeki genç tektonik olaylarla ilişkisine yönelik çalışmalar yapmışlardır.

Karamenderesi ve Özgüler (1988), Salihli jeotermal alanı ile aynı graben sistemi içinde yer alan Turgutlu-Urganlı Jeotermal Alanı ile direkt bağlantılı oluşları, Alaşehir ve Kula bölgesinde görülen genç volkanitlerle de ısıtıcı yönünden direkt ilişkili olduğu, jeolojik gözlemler ve 1969 Alaşehir Depremi ile açıklığa kavuştuğunu belirtmişlerdir. Batı Anadolu Menderes Masifi jeotermal sistemlerinin ana yapısının volkanotektonik olaylarla doğrudan ilişkili olduğu ve kuzeyden güneye gençleştiğine değinilmiştir. Güneybatı Anadolu'daki jeotermal sistemlerin en genç olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz (1988), Kurşunlu ve Sart-Çamur termal su kaynaklarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan değerlendirilmesine yönelik yaptığı çalışmada, jeotermal alanlardaki hidrojeolojik birimlerin geçirgenlik özellikleri ortaya konulmuştur. Suların sınıflaması yapılmış ve Kurşunlu Kaplıcası termal sularının Na-HCO<sub>3</sub> ve Sart-Çamur Kaplıcası sularının Na-Ca-HCO<sub>3</sub> tipli sular oldukları belirlenmiştir. Yapılan gaz analizlerinden Üfük Jeotermal Alanı'ndaki mineralli suyun %99 oranında CO<sub>2</sub> içerdiği belirtilmiştir. Kimyasal jeotermometrelerle yaklaşık 200°C yüksek sıcaklıklı bir akifer sıcaklığı hesaplanmış ve tüm sonuçlara göre bölgede elektrik üretimini amaçlayan derin sondajların yapılması önerilmiştir.

Tarcan (1995), Salihli-Turgutlu bölgesinde yaptığı çalışmada bu alandaki jeotermal kaynakların hazne kayalarının mermerler, örtü kayalarının Neojen yaşlı tortulların killi düzeyleri olduğunu belirtmektedir. Termal sulardaki Na iyonunun yüksek, Ca iyonunun düşük olması, çok hızlı kalsiyum karbonat çökelişi ve iyon değişiminden kaynaklanmaktadır. Yazara göre, Na iyonunun sudaki kalsiyum

karbonat çözünlüğü nedeniyle artan Ca ile yer değiştirmesi sonucu oluşan yumuşatma reaksiyonu olasıdır.

Filiz ve Tarcan (1995), Gediz grabeninde yaptıkları çalışmada, sıcak su kaynaklarının yeraltı suyu akiferlerini etkilediğini ve bu suların tehlikeli boyutlarda bor kirliliğine yol açtığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar sıcak ve mineralli sulardaki borun denizel sedimanların metamorfizması sırasında oluştuğunu veya manto kaynaklı olabileceğini ifade ederler. Ancak sıcak su ve mineral sularında CO<sub>2</sub> gazında yapılan izotopik analizler sonucunda borun daha çok manto kaynaklı olduğunu, sıcak su ve mineral sularındaki yüksek borun başlıca HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> iyonu ile ilgili olduğunu saptamışlardır.

Özgür (1998), Menderes Masifi'ndeki jeotermal sistemlerde yaptığı çalışmada jeotermal sistemleri tektonik ve volkanizma yönünden detaylı incelemiştir. Bu çalışmada jeotermal sulardaki yüksek bor kökeninin su-kayaç etkileşimi yolu ile masifte yüzeylenen kayaçlar olacağını, diğer yandan CO<sub>2</sub>, HS<sup>-</sup> ve NH<sub>3</sub><sup>-</sup> gaz çıkışlarının magmatik bir kaynağı işaret edebileceğini belirlemiştir. Araştırmacıya göre Kurşunlu ve Çamurlu alanlarındaki sıcak sular Na<sup>+</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Ca<sup>+2</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> tipli sular özelliğindedir. Sıcak su örneklerinde δ<sup>18</sup>O, δ<sup>2</sup>H kararlı ve <sup>3</sup>H kararsız izotopları kökensel açıdan yeniden değerlendirilmiş ve sıcak suların meteorik kökenli oldukları belirlenmiştir.

Burck (1998), Kurşunlu Kaplıcası, Allahdiyen ve Gökköy çevrelerinde yaptığı çalışmada, Kurşunlu Kaplıcası'nın güney batısında bir silis şapka ve bunun batısındaki silisli epitermal cevherleşmelerden (antimonit, pirit ve arsenopirit)söz etmektedir. Bu kayaların mikroskopta kalıntı karbonat, mika, turmalin, rutil ve zirkon içeren yumrulara benzediğini belirtmiştir. Gerek ağır mineral kalıntıları gerekse kırıntılı karbonatların varlığına dayanarak bu epitermal cevherleşmelerin, çevre kayalardan da özümseyerek silisleşme ile birlikte gerçekleştiğini söylemiştir. Tüm bu verilere dayanarak günümüzde %90'ın üzerinde bir oranla CaCO<sub>3</sub> çökeltin Kurşunlu kaplıcalarının geçmişte yüksek ısı, silisli, cevher taşıyan fosil bir sistem olduğunu belirtmektedir.

Tarcan ve diğeri. (2000), Salihli jeotermal alanlarının hidrojeokimyasal incelenmesine yönelik yaptıkları çalışmada Menderes Masifi'ne ait mermerler, granodiyorit, kuvars şist ve gnaysların çatlaklı olmalarından dolayı jeotermal sistemlerin hazne kayacını oluşturduğunu, bölgedeki Neojen sedimanter kayaçların örtü kayaç özeliğinde olduğunu belirtirler. Termal suların yağış sularının yeraltına süzülüp tektonik hatlar boyunca tekrar yüzeylemesiyle oluşan devirli sistem özelliğindeki sular olduklarını belirtirler. Çalışma alanındaki termal suların  $Na^+ > (Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+)$  ve  $HCO_3^- > (Cl^- + SO_4^{-2})$  tipinde soğuk suların ise  $Ca^{+2}$  ve/veya  $Mg^{+2}$  katyonlarınca baskın, bazı soğuk suların ise herhangi bir baskın katyon içermeyen  $HCO_3^-$  ve/veya  $SO_4^{-2}$  anyonlarınca baskın oldukları belirtilir. Soğuk sulardan termal sulara doğru  $Na^+$  ve  $Ca^{+2}$  ve/veya  $Mg^{+2}$  katyonları arasındaki iyon değişimine bağlı olarak Na-HCO<sub>3</sub> suların oluştuğu ifade edilmiştir. Hidrojeokimyasal gelişimin su-kayaç etkileşimi ve buna bağlı iyon değişiminden kaynaklandığı vurgulanmıştır. Termal sularda jips, anhidrit ve kalsedon minerallerinin doymamış; kalsit, aragonit, dolomit ve magnezit minerallerinin aşırı doygun özelliği gösterdikleri belirtilir. Çalışmada Salihli jeotermal sularının akifer sıcaklıklarının 150-230 °C arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Vengosh ve diğeri. (2002), Batı Anadolu'daki bazı jeotermal sistemlerde yaptıkları çalışmada, denizel olmayan sıcak sularda farklı kökenli kayaçları ve farklı derin dolaşimleri yansıtan üç tip kimyasal bileşimli jeotermal sular ayırt etmişlerdir. Na-HCO<sub>3</sub> ve Na-SO<sub>4</sub> tipli sular derin dolaşimli olup, metamorfik kayaçlar ve gnayslarla ilişkili olduğu, Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> bileşimli suların karbonatlı kayaçlardaki yüzeysel dolaşımı ve soğuk yüzey suları ile karıştığını belirtirler. Çalışmada Salihli-Kurşunlu jeotermal sahasındaki termal suların Na-HCO<sub>3</sub> tipinde oldukları belirtilmiştir. Ayrıca bu çalışmada jeotermal sulardaki kimyasal veriler izotopik ( $B^{+3}$  ve  $Sr^{+2}$ ) veriler ile sentezlenmiştir. Batı Anadolu'da bulunan sıcak sulardaki yüksek borun, derin mantodan B(OH)<sub>3</sub> gazı olarak boşalımından çok su-kayaç ilişkisi yoluyla geldiğini gösterdiğini ve  $Sr^{+2}$  izotopunun sonuçlarına göre karbonatlı suların kaynağının volkanik ve metamorfik kökenli olduklarını belirtirler.

Tarcan ve diğeri. (2005), Gediz Grabeni'ndeki jeotermal alanlarını hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal olarak değerlendirdikleri çalışmada Gediz Grabeni'ndeki jeotermal alanları 7 ana grup olarak incelemişlerdir. Alandaki hidrojeolojik birimleri Prekambriyen-Paleosen Menderes masifi temel kayaları, Neojen karasal sedimanlar ve Kuvaterner alüvyon olarak üç ana gruba ayırmışlardır. Bu birimler jeotermal suların akiferi açısından incelenmiştir. Jeotermal suların baskın olarak Na-HCO<sub>3</sub> tipinde olduğu bu birlikteliğin katyon değişimi ve kalsit, dolomit ve silikatların çözülmesi ile açıklanabileceği belirtilmiştir. Sodyumun termomineral akiferdeki buharlaşma mineralleri veya silikatların çözünmesi sonucu oluşabileceğine değinilmiştir. Ayrıca bölgedeki jeotermal sulardaki yüksek bor içeriğine dikkat çekilmiştir. Jeotermal sulardaki borun kaynağını-su-kayaç etkileşimi ve magmatik kökenin ortak sonucu olarak açıklamışlardır. Jeotermal alanlarda özellikle karbonat minerallerinin (kalsit, aragonit ve dolomit) kabuklaşma problemi yaratacakları vurgulanmıştır.

Tarcan (2005), Türkiye'de <150 °C sıcaklıktaki jeotermal kuyulardan boşalan suların mineral doymuluk ve kabuklaşma eğilimlerini incelemiştir. Seçilen alanlarda bazı alanlar hariç genel olarak kalsit, aragonit ve sölestin minerallerinin aşırı doymuk, jips, anhidrit, florit, Ca-montmorillonit, anortit, düşük albit, jipsit, dolomit ve stronsiyanit mineralleri doymuluk sınırının altındadır. Salihli-Caferbey jeotermal alanı için re-enjeksiyon kuyularında 50 °C'den düşük sıcaklıklarda yapılacak enjeksiyonlarda kuyularda kalsit ve amorf silis minerallerinin çökeltme özelliği göstereceği belirtilmiştir.

Temimhan (2005), Salihli Jeotermal Alanları'nın jeotermal enerji potansiyelinin araştırılmasına yönelik CSAMT, elektrik özdirenç ve Doğal Gerilim (SP) çalışmaları yapmıştır. CSAMT ölçümlerinin WinGLINK yazılımı kullanılarak 2 boyutlu modellenmesi sonucunda, düşey kesitlerde olası sıcak suyun bulunduğu düşük özdirençli birimin (mermer), Caferbey yöresinde 250m ile 2000m arasında; Çamur kaplıcalarında ise 100 m ile 800 m arasında bulunduğu belirlenmiştir. Yatay özdirenç kesitleri, bu sonuçları destekler nitelikte olup; derinlik arttıkça düşük özdirençli birimin (mermer) kapladığı alanın genişlediği saptanmıştır. Kurşunlu jeotermal

alanında yapılan Doğal potansiyel ölçümleri yapı derinliğinin yaklaşık 200m olduğu görülmüştür. Yapılan değerlendirmeler sonucunda; olası rezervuarın ovada ve Caferbey yöresinde derinde bulunduğu belirlenmiştir. Bu alanlarda açılacak derin sondajlarla jeotermal potansiyelin geliştirilebileceği öngörülmüştür.

Yaman (2006), Menderes Masifi kıtasal rift zonlarında yer alan jeotermal sulardaki yüksek bor değerlerinin kökenine ilişkin yaptığı çalışmada Menderes Masifi'nde bulunan jeotermal sulardaki borun tümüyle magmadan kaynaklanmadığını belirtmiştir. Sığ rezervuar kayaç derinlikleri ve aktif fay sisteminin jeotermal alanlara yüksek oranda yeraltı suyu getirmesine neden olduğunu ve bu yüzden jeotermal suların sıcaklığının düşerek su-kayaç etkileşiminin azalmasına ve bor oranının düşmesine yol açtığı belirtilmiştir.

Tokçaeer (2007), Batı Anadolu jeotermal akışkanlarında borun jeokimyasal döngüsü ve izotop fraksiyonlaşması ile ilgili çalışmasında Salihli bölgesinde bor izotop oranları saptanamadığından bu bölge için izotoplara dayalı kaynak kaya yorumlaması yapılamamış ancak ısı kaynağına dayalı model, diğer veriler ve önceki çalışmaların beraber değerlendirilmesiyle, Menderes Masifi'nin metamorfik kayaları içindeki pegmatitik turmalinler, mikalar ve feldispatlar kaynak gösterilmiştir.

### ***1.6.2 Arazi Çalışmaları***

Arazi çalışmaları kapsamında 1/25.000 lik topoğrafik ve jeolojik harita kullanılmıştır (L20a1-a2, K19c3 ve K20d4). Örnekleme yapılacak su noktaları belirlenmiş ve bu lokasyonların arazide GPS cihazı ile koordinatları belirlenerek arazi defterine kaydedilmiştir. Çalışma alanındaki termal ve soğuk su noktaları ve kirlilik görülebilecek yüzey suları ve sedimanlardan kimyasal ve izotopik analizler için örnekleme yapılmıştır. Örnekleme sırasında arazide bazı parametreler yerinde ölçülmüştür. Bu ölçümler ve örnekleme yöntemleri Bölüm 2'de ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

### ***1.6.3 Laboratuvar Çalışmaları***

İnceleme alanındaki su noktalarından alınan su örneklerinin bazı kimyasal analizleri (anyon analizleri) DEÜ Jeoloji Mühendisliği Jeokimya Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Suların çoğu parametrelerinin ve sediman örneklerinin kimyasal analizleri Kanada ACME Analitik Laboratuvarı'nda, suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  analizleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Çevre ve Petrol Jeokimyası Laboratuvarı'nda, Trityum ( $^3\text{H}$ ) analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü Kütle Analiz Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

### ***1.6.4 Büro Çalışmaları***

İnceleme alanı ile ilgili literatür çalışmalarının yanı sıra çalışma alanının 1/25000'lik topoğrafik haritaları ve 1/50000'lik jeoloji haritası MapInfo 5.5 (MapInfo Corporation, 1995) programı kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan haritalar yardımıyla inceleme alanının sayısal yükseklik modeli (Şekil 1.1), 2 ve 3 boyutlu jeolojik haritaları (Şekil 3.2 ve Şekil 4.4), akaçlama ağı haritası (Şekil 4.2) oluşturulmuştur. Örnekleme yapılan su noktaları koordinat bilgileri kullanılarak sayısallaştırılan haritalar üzerine işlenmiştir. Diğer bilgisayar programları kullanılarak çalışma alanının üç boyutlu jeolojik haritası, örnekleme noktalarını ayrıntılı olarak gösteren değişik ölçekli lokasyon ve kontur haritaları oluşturulmuştur. Kimyasal analizlerden elde edilen sonuçlar AquaChem 5.1 (Calmbach, 1997) ve PhreeqC 2.15 (Parkhurst ve Appelo,1999) programları ile yorumlanmıştır.

## BÖLÜM İKİ

### ÖRNEKLEME VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Bu çalışma kapsamında arazi ve laboratuvar çalışmaları kapsamında yapılan örnek alımı ve analize hazırlanması, arazide yerinde ölçümler ve laboratuvar ölçüm yöntemleri ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

#### 2.1 Örneklem Yöntemi

##### 2.1.1. Kimyasal ve İzotopik Analizler için Yapılan Su Örneklemesi

Örneklem yöntemi bu çalışmanın önemli bölümlerinden birini oluşturmaktadır. Laboratuvar analizlerinin güvenilirliği açısından doğru örneklemenin yapılması gerekmektedir. Öncelikle örnekleme sayısı çalışma alanını temsil edebilecek çoklukta olmalıdır. Örneklem doğru yapılmazsa, ortaya çıkacak olan laboratuvar ölçüm hataları, laboratuvardaki analiz yöntemlerinden oluşabilecek hatalardan çok daha fazla olacaktır. Arazide bazı fiziksel ve kimyasal parametrelerin ölçümü, yerinde analizler de büyük önem taşımaktadır.

Çalışma alanındaki tüm suların örneklemede polietilen sızdırmaz kapaklı 50 ve 500 ml hacimli örnekleme şişeleri kullanılmıştır. Bu şişeler kullanımları sırasında örnekleme yapılacak sularla en az iki kez çalkalanmıştır. Örneklem yapılacak sular su filtrasyon seti yardımıyla 0,2 $\mu$ -0,45 $\mu$  geçirgenlikteki filtre kâğıdından süzölmüştür. Katyon analizleri için 50 ml'lik şişelere alınan sulara, pH'ı 2-3 aralığına indirmek için (çökelme ve yüzeye tutunmayı önlemek amacıyla) 0,1-0,2 ml arasında derişik yüksek saflıktaki (ultra saflıkta) HNO<sub>3</sub> ilave edilmiştir. Katyon analizi için eklenen HNO<sub>3</sub> ortamda gaz çıkışı oluşturduğundan örnekleme kabının kapağı gazın çıkması sağlandıktan sonra kapatılmıştır. Anyon analizleri için örnekleme 500 ml'lik şişelere hiçbir kimyasal koruma yapılmadan alınmıştır. Tüm örnekler polietilen şişelere hava kalmayacak şekilde doldurulmuştur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Arazi çalışmasında kullanılan örnekleme ve ölçüm ekipmanları.

$\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  ve Trityum ( $^3\text{H}$ ) analizleri için örnekleme, çalışma alanındaki farklı suları yansıtmaları dikkate alınarak termal sular, mineralli sular, soğuk sular, yüzey ve yağış sularından (yağmur ve kar suyu) yapılmıştır.

Çalışma alanındaki suların izotop analizi için örnekleme işleminde polietilen sızdırmaz kapaklı 50 ve 500 ml hacimli örnekleme şişeleri kullanılmıştır.

### 2.1.2 Sediman ve Toprak Örnekleme

500 mg'lık poşetlere temiz bir kürek yardımıyla yüzeyden sediman ve toprak örnekleme yapılmıştır. Sediman ve toprak örnekleri laboratuvarında oda sıcaklığını geçmeyen bir ortamda kurutulmuştur. Kurutulan örnekler taş, cam ve diğer atıklardan temizlenmiş ve 2 mm' lik elekten geçirilmiştir. Bu işlem sonrasında örnek malzemesi agat havanda öğütülmüştür. Örnekler daha sonra çeyrekleme metodu yapılarak 30 gr'lık poşetlerde analize hazır hale getirilmiştir. Sediman örneklerinin kimyasal analizi ACME Analitik Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır (AcmeLabs, 2009).



## 2.2 Ölçüm Yöntemleri

Su örnekleri fiziksel parametrelerini uzun süre koruyamayacaklarından bazı ölçümlerin arazide yapılması gerekmektedir. Bu fiziksel parametrelerin ölçüldüğü cihazların kalibrasyonları her arazi çalışmasından önce kontrol edilerek gerekli görüldüğü durumlarda kalibrasyonları yapılmıştır. Kullanılan prob ve elektrotlar her ölçüm öncesi ve sonrası saf su ile yıkanmıştır. Özellikle termal ve mineralli sularda  $\text{HCO}_3$  ve sülfid ( $\text{S}^{-2}$ ) içerikleri uzun süre korunamayacağından örnekleme sırasında yerinde (in-situ) analiz edilmiştir (Tablo 2.1 ve Şekil 2.1).

Tablo 2.1 Arazide yapılan fiziksel ve kimyasal parametrelerin ölçümü ile bazı kimyasal analiz çalışmalarının detayları.

<b>Fiziksel Parametreler</b>	<b>Birim</b>	<b>Yöntem</b>	<b>Ekipman</b>
<b>Sıcaklık</b>	°C	-	WTW LF 330 ve WTW TerraCon 325 Probu.
<b>pH</b>	-	-	WTW LF 330 kondüktometre ve WTW TerraCon 325 probu.
<b>EC</b>	$\mu\text{S}/\text{cm}$	-	WTW LF 330 kondüktometre ve WTW TerraCon 325 probu.
<b>Eh</b>	mV	-	Mettler Toledo MA130 İyon metre ve Eh elektrodu (Ag/AgCl elektrot).
<b>İyonlar</b>			
<b>CO<sub>3</sub> türleri (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)</b>	mg/l	Titrimetrik	Mettler Toledo MA130 İyon metre ve pH elektrodu, dijital büret (0,1M HCl), 200ml'lik cam beher, 50ml'lik cam pipet.
<b>Sülfid (S<sup>-</sup>)</b>	mg/l	Spektrofotometre	WTW Photolab S12

### **2.2.1 Arazide Fiziksel Parametrelerin Ölçüm Yöntemleri**

#### **2.2.1.1 Sıcaklık, Eh, pH ve EC (Elektriksel Kondüktivite) Ölçümleri**

Arazide Sıcaklık, pH ve EC değerlerinin ölçümleri WTW 340i multi parameter cihazı ile pH ve EC problemleri ile yapılmıştır. Sıcaklık birçok parametreyi etkileyen bir değer olup genellikle çözünürlük ile doğru orantılıdır. Elektriksel iletkenlik, cisimlerin elektriği geçirme özelliğidir. Elektriksel direncin karıştıdır ve birimi  $\mu\text{mho/cm}$  veya  $\mu\text{S/cm}$  dir. Her cismin elektriği geçirme özelliği farklıdır.  $1\text{cm}^3$  suyun elektriksel iletkenliğine “özgül elektriksel iletkenlik” denir. Suyun özgül iletkenliği iyon cinsine, derişime ve sıcaklığı ile doğru orantılıdır. İndirgen – yükseltgen ortamları yansıtan redoks potansiyeli ise çözülmüş oksijen ile doğrudan ilişkilidir. Suların Eh ölçümleri ise Metler Toledo MA130 iyon metre ve redoks probu ile yapılmıştır.

Bir çözeltinin pH’sı, hidrojen iyonlarının etkin konsantrasyonu olup, hidrojen iyon konsantrasyonunun 10 tabanına göre negatif logaritması “pH” değeri olarak tanımlanmaktadır. pH değeri, basınç ve sıcaklığın etkisindeki çözülmüş  $\text{CO}_2$  ve diğer  $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$  bileşikleri arasındaki dengeye bağlı olarak değişmektedir.  $\text{H}_2\text{S}$  veya bunun okside olmuş hali de pH’ı düşüren diğer önemli bileşiklerdendir. Arazide yapılacak pH ölçümleri, su-kaya etkileşimleri, jeotermal alanlarda kabuklaşma dengeleri gibi bazı etkileşim dengelerinin hesaplanmasında çok önemlidir.

#### **2.2.1.2 Karbonat Türlerinin Analizi (Alkalinite, Asidite)**

Yeraltı sularındaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki  $\text{CO}_2$ ’ den ve karbonatlı kütlelerin erimesiyle oluşmaktadır. Basınç altında çoğu zaman  $\text{CO}_2$  çözülmesi haldedir. Yüzeğe ulaşan yeraltı suları, atmosfer ortamından daha fazla içerdiği  $\text{CO}_2$ ’yi kaybetmeye başlar. Sistemden uzaklaşan çözülmesi  $\text{CO}_2$ , terk ettiği suyun çözelti dengesi ile pH’sının değişmesine neden olacak ve buna bağlı çökelmeler gelişecektir. Bu gelişmeler, örnekleme yaptığımız suyun akifer kimyasını yansıtmayan katyon ve anyon değerlerini elde etmemize neden olacaktır. Tüm bu

sonuçlar su kimyası ile ilgili hesaplamalarımızın doğruluğunu azaltacağı için suların bu parametrelerinin arazide ölçümü önemlidir.

Sudaki ( $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{CO}_3^{2-}$ ) ve asidite ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) değerlerini arazide titrasyon metodu ile bulmak mümkündür. Analizler, bir cam beher içine konulmuş 50 ml örnek numunesi, 0.1 Molar HCl (pH=4.3'e düşürmek için), indikatör olarak pH metre ve büret olarak dijital göstergeli büret kullanılmıştır. Beher içine otomatik büret ile alınmış 50 ml hacimdeki su örneğine otomatik dijital göstergeli büret ile pH'sı 4.2'ye düşünceye kadar sürekli karıştırılarak 0.1 Molar HCl ilave edilir. Elde edilen sarfiyat değerinden aşağıdaki formülle  $\text{HCO}_3^-$  hesaplanır (Appelo ve Postma, 1993).

$$\text{HCO}_3^- (\text{mg/l}) = \frac{c_{\text{HCl}} (\text{mmol/l}) * [V_A (\text{ml}) - 2 * V_B (\text{ml})]}{\text{rneknumunesi}(50\text{ml})} * 61.016 (\text{mg/mmole})$$

$c_{\text{HCl}}$  : 0,1 M HCl'nin eşdeğer gramı

$V_A$  : pH 4,2'ye düşünceye kadar sarf edilen asit miktarı,

$V_B$  : pH 8,2'ye düşünceye kadar sarf edilen baz miktarıdır.

### 2.2.1.3 Hidrojen Sülfid ( $\text{HS}^-$ ) Analizi

Sularda kükürt, Eh ve pH'ya bağlı olarak  $\text{S}^0$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HS}^-$  veya  $\text{HSO}_4^-$  formlarında bulunabilir. Özellikle termal sularda yaygın bulunan gazlardan biri olan  $\text{H}_2\text{S}$ , rezervuar kaya alterasyonu yolu ile veya magmatik kaynaklardan sisteme katılır.  $\text{H}_2\text{S}$  yüzeye çıkarken temas ettiği yan kayalar ile etkileşime girerek demir sülfid (pirit, kalkopirit vb.) minerallerini oluşturur ve zeltide tükenmeye başlar. zeltiden diğer bir ayrılma şekli ise, kaynama noktasında düşen basıncı ile gaz fazına geçmesidir. Özellikle termal sularda bu parametrenin arazide llmesi daha doğru olacaktır.  $\text{H}_2\text{S}$ , arazi koşullarında batarya ile alışan, WTW PhotoLab S12 marka taşınabilir spektrofotometre ile analiz edilmiştir.

### 2.3 Laboratuvarda Ölçüm Yöntemleri

Bu çalışmada suların bazı anyon analizleri ( $\text{SO}_4$ ) Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Jeokimya Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Katyon analizleri ve diğer kimyasal bileşenler olmak üzere toplam 72 element analizleri ise ICP-MS yöntemi kullanılarak Kanada ACME Analitik Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır (AcmeLabs, 2009).

#### 2.3.1 ICP-MS Yöntemi ile Suların Kimyasal Analizleri

Acme Laboratuvarı'ndaki suların kimyasal analizinde kullanılan ICP-MS cihazının analiz yöntemine burada kısaca değinilmiştir. ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometrisi, katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin hızlı, ucuz, hassas ve doğru biçimde, niteliksel, niceliksel ya da yarı-niceliksel olarak ölçülmesine olanak sağlayan ileri teknoloji ürünü bir analiz tekniğidir. Teknik elektromanyetik indüksiyonla 10,000 °K sıcaklığa ulaştırılan argon plazması tarafından örneğin iyonize edilmesi; iyonize elementlerin kütle spektrometresi tarafından ayrıştırılması ve element derişimlerinin elektron çoklayıcı bir dedektör tarafından ölçülmesi aşamalarını içerir. Örnekteki tüm elementlerin derişimleri 1 ile 2 dakika arasında değişen oldukça kısa bir sürede ölçülür. ICP-MS ölçüm tekniğinde sıvı örnekler Çözelti ICP-MS, katı örnekler ise çözeltiye alınarak Çözelti ICP-MS ya da doğrudan Lazer Aşındırma (LA-ICP-MS) teknikleri ile ölçülebilirler. Lazer aşındırma (laser ablation) kullanımının en önemli avantajı yarı-nicel analiz olup bilinmeyen örneklerin kompozisyonu hakkında fikir vermesidir. Acme Laboratuvarı'nın 72 elementin alt deteksiyon limitleri Tablo 2.2'de verilmiştir (AcmeLabs, 2009).

#### 2.3.2 Gravimetri (Çöktürme) Yöntemi ile Sülfat Analizi

Dokuz Eylül Üniversitesi Jeokimya Laboratuvarı'nda, gravimetri (çöktürme) yöntemi ile sülfat analizleri yapılmıştır (APHA-AWWA-WPCF, 1985). Bu yöntem, baryum sülfatın ( $\text{BaSO}_4$ ) düşük çözünürlüğünden yararlanarak çözelti içindeki

kükürt türevlerini  $\text{SO}_4$ 'a yükseltgeyip çözeltiyeye  $\text{BaCl}_2$  ekleyerek çöktürme şeklindedir. Analiz edilecek suyun  $\text{SO}_4^{2-}$  içeriğine göre 50–100 ml örnek suyu kullanılır.

Tablo 2.2 Suların 72 element kimyasal analizlerindeki alt deteksiyon limitleri (AcmeLabs, 2009).

<b>Element Adı</b>	<b>Deteksiyon Limiti (ppb)</b>	<b>Element Adı</b>	<b>Deteksiyon Limiti (ppb)</b>
Ag	0,05	Na	50
Al	1	Nb	0,01
As	0,5	Nd	0,01
Au	0,05	Ni	0,,2
B	5	P	20
Ba	0,05	Pb	0,1
Be	0,05	Pd	0,2
Bi	0,05	Pr	0,01
Br	5	Pt	0,01
Ca	50	Rb	0,01
Cd	0,05	Re	0,01
Ce	0,01	Rh	0,01
Cl	1	Ru	0,05
Co	0,02	S	1
Cr	0,5	Sb	0,05
Cs	0,01	Sc	1
Cu	0,1	Se	0,5
Dy	0,01	Si	40
Er	0,01	Sm	0,02
Eu	0,01	Sn	0,05
Fe	10	Sr	0,01
Ga	0,05	Ta	0,02
Gd	0,01	Tb	0,01
Ge	0,05	Te	0,05
Hf	0,02	Th	0,05
Hg	0,1	Ti	10
Ho	0,01	Tl	0,01
In	0,01	Tm	0,01
K	50	U	0,02
La	0,01	V	0,,2
Li	0,1	W	0,02
Lu	0,01	Y	0,01
Mg	50	Yb	0,01
Mn	0,05	Zn	0,5

1 mg BaSO<sub>4</sub>'da, 0,4115 mg SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> vardır. Buna göre, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\text{SO}_4^{-2} \text{ (mg/l) } = 0,4115 \times 1000 \times \text{mg BaSO}_4 / \text{ml olarak alınan numune hacmi}$$

Gravimetrik sülfat metodununun relatif standart sapması %4,7 ve relatif hatası ise %19'dur. Ölçüm alt limiti ise 0,1 mg/l'dir.

### **2.3.3 İzotop Analiz Yöntemi**

Suların δ<sup>18</sup>O ve δ<sup>2</sup>H analizleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Çevre ve Petrol Jeokimyası Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Bu laboratuvarda kullanılan yöntem kısaca şöyledir:

EA-GC/IRMS cihazının su analizleri çıktılarının kalibrasyonunda kullanılan IAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu) su standartları ve δ<sup>18</sup>O ve δ<sup>2</sup>H değerleri belli uluslararası standart olan SMOW, GISP ve YTW (lab standardı) standartları ile analizi yapılacak olan su örnekleri, cihazın elementel analizör kısmından her iki örnekten ikişer adet olmak üzere otosampler yardımıyla verilir. Örnekler elementer analiz cihazında δ<sup>2</sup>H için 1070 °C civarında ve <sup>18</sup>O için 1230 °C fırında pirolize uğrar ve sırasıyla Hidrojen ve karbonmonoksit gazına dönüşür. Bu sırada cihaza referans olarak δ bilinen <sup>2</sup>H için Hidrojen ve <sup>18</sup>O için karbonmonoksit gazları verilmektedir. Piroliz sonucu çıkan gazlar örnek gazı olarak algılanır ve referans gazı ile karşılaştırılarak su örnekleri için kalibre edilmemiş <sup>2</sup>H ve <sup>18</sup>O izotop değerleri bulunmuş olur. Daha sonra aynı batch içindeki uluslararası standartlardan, değerleri sırasıyla 0 (vSMOW), -189.5 (vSMOW) ve -82.1 (vSMOW) olan IAEA-SMOW, IAEA-GISP ve laboratuvarı standardı YTW'nin izotop değerleri ile analiz edilen su örneklerinin izotop değerleri Excel programında karşılaştırılarak grafiksel yolla kalibre edilir.

Tritiyum (<sup>3</sup>H) analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü Kütle Analiz Laboratuvarı'nda sıvı parıldama yöntemi ile yaptırılmıştır.

## BÖLÜM ÜÇ

### JEOLOJİ

Bu bölümde inceleme alanındaki ve içerisinde bulunduğu Gediz Grabeni'nde görülen jeolojik birimler bir bütün olarak incelenmiştir. İnceleme alanının içerisinde yer aldığı Gediz Grabeni'nde, temeli Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfik ve kristalin kayaları, örtüyü Neojen yaşlı kırıntılı tortullar ve Kula volkanitleri oluşturur. Bunların üzerine Kuvaterner yaşlı alüvyon birimleri gelir (Emre, 1996; Şekil 3.1). İnceleme alanının jeolojik birimleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te görülmektedir.

#### 3.1 Temel Kayalar

Çalışma alanının güney kısmında yüksek kotlu kesimleri oluşturan metamorfik kayalar yer yer kırmızımsı kahverengimsi ince bir toprak örtüyle kaplıdır. Çok değişik renkler sunan bu kayalarda genelde gri renk egemendir. Metamorfitler birçok farklı kaya türlerinden oluşur. Bunlardan en baskın olanları mikaşistlerdir. Bunların yanında ince taneli gnays, granat-mika şist, muskovit-kuvars şist, metakuvarsit ve mermerler bölgede yüzeyleyen diğer kaya türleridir. Mermerler, şistler içinde değişik boyutta mercerkler oluşturur. Genellikle bol çatlaklı olan kayanın dış yüzeyleri kahverengimsi gri, taze yüzeyleri kirli beyazdır. Metakuvarsitler şistler arasında, genellikle ara katkı ve mercerk, zaman zaman şistleri kesen damarlar şeklindedir. Damar ve mercerklerin kalınlıkları 1-50 cm, boyları 2-20 m arasındadır (Emre, 1996).

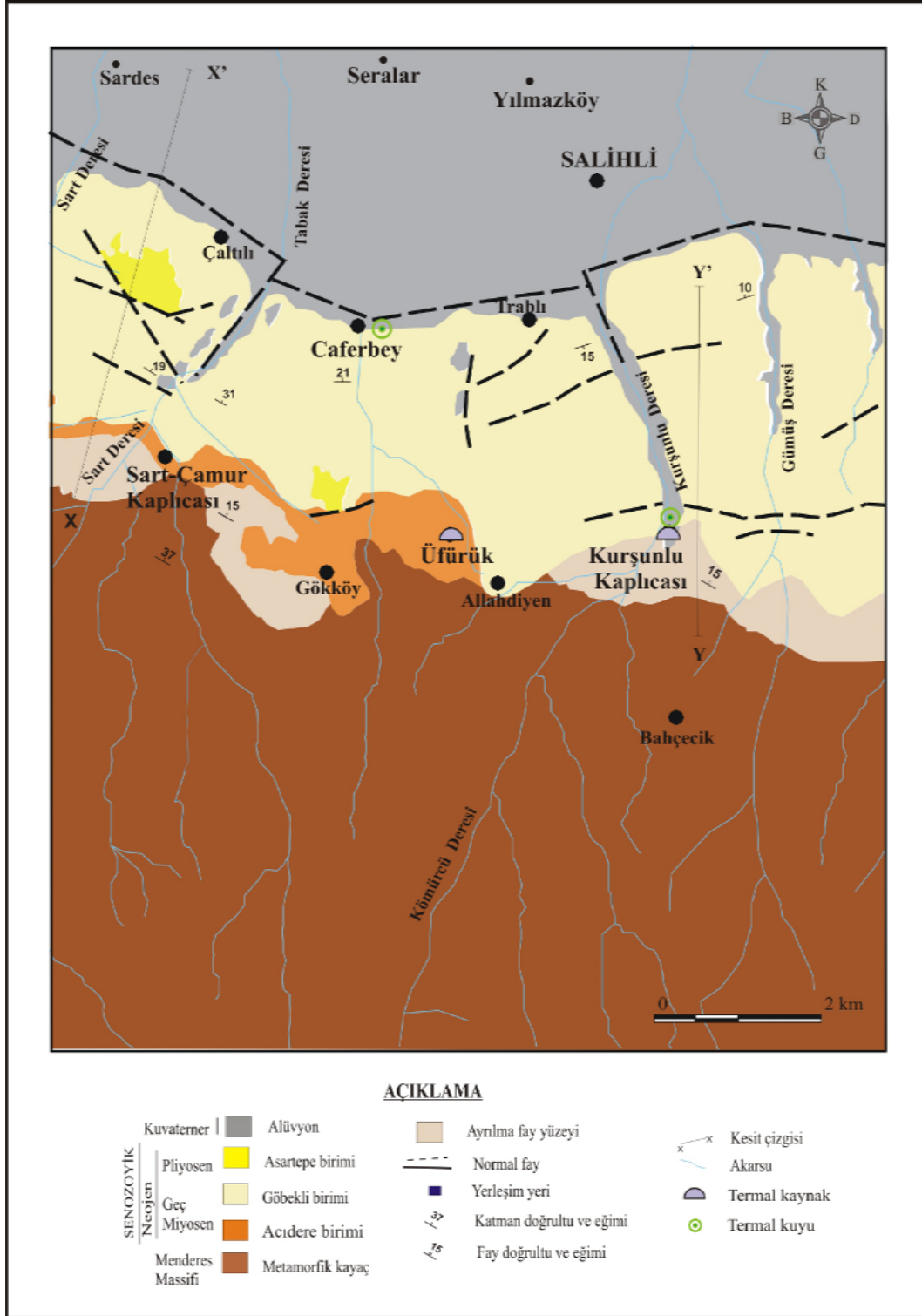
##### 3.1.1 Granodiyoritler

Granodiyoritler, açık grimsi-beyazımsı sokulum kayaları olup, inceleme alanının güneydoğusunda küçük bir alanda yüzeyler. Ancak bu alanın geniş bir kesimi kataklastik zona ait kayalar tarafından kaplanmıştır. Kataklastik etkisi görülen granodiyoritler yer yer aşırı derecede ayrılmıştır. Asidik ve ortaç bileşimdeki bu magmatik kayada kuvars, feldispat ve biyotit mineralleri makroskobik boyutta gözlenebilmektedir.

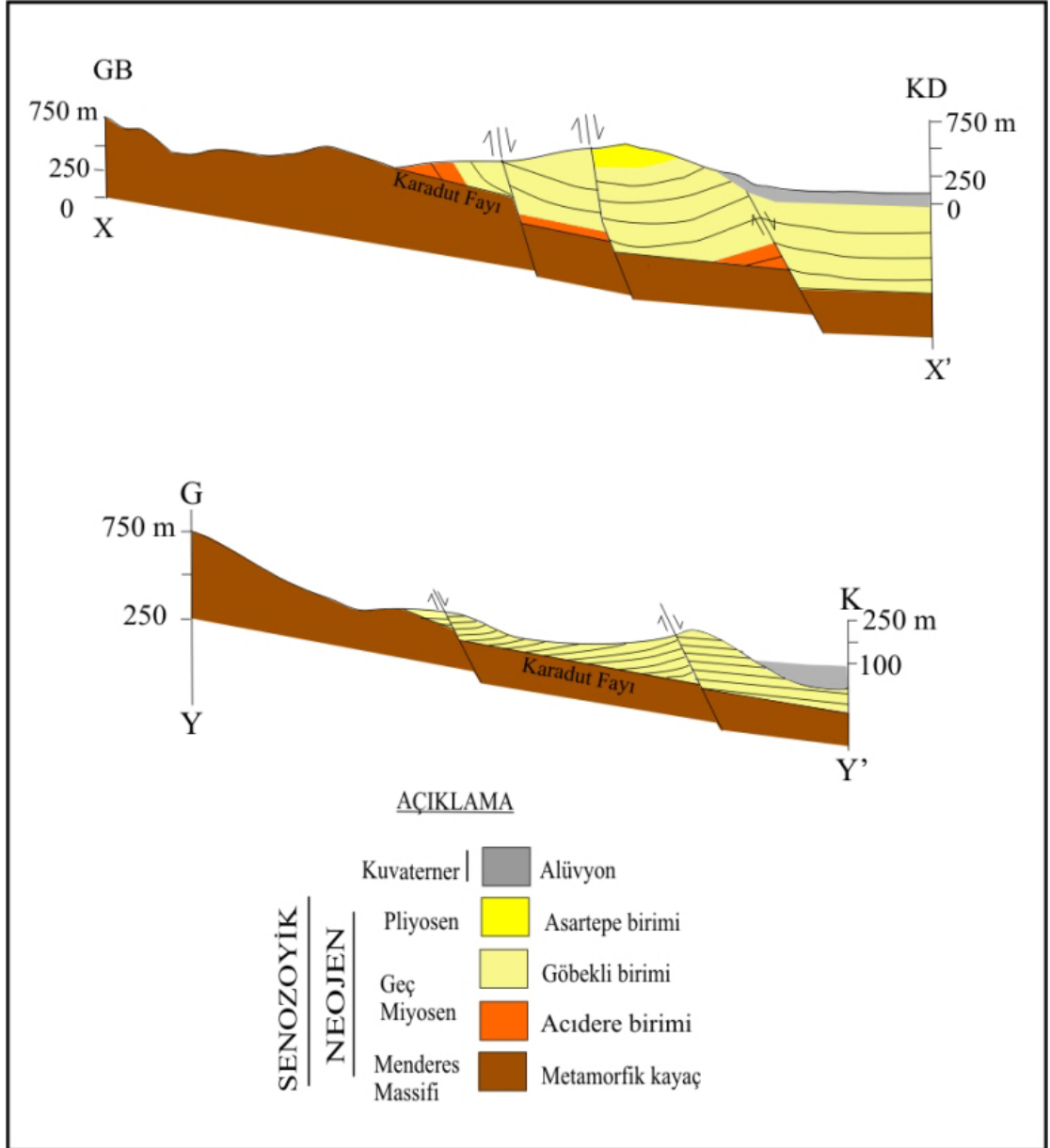
		Güney		Kuzey	
Y.AŞ	Kaya Birimi	Kalınlık	LİTOLOJİ	Kaya Birimi	LİTOLOJİ
KUVATERNER	Holo-	?	Gevşek, kıl, kum, çakıl <b>UYUMSUZLUK</b>	Alüvyon	Gevşek, kıl, kum, çakıl <b>UYUMSUZLUK</b>
	Pleistosen	400	Bejimsi-gri renkli çakıltaşı, kumtaşı	<b>Kula Bazalt</b>	Siyah renkli, alkali olivin bazalt <b>UYUMSUZLUK</b>
NEOJEN	Pliyosen	1000	Alacalı renkli çakıltaşı kumtaşı, çamurtaşı	Adana Grup	Gri, bej, sarı renkli çakıltaşı, kumtaşı, Ender kireçtaşı kilaşı düzeyleri
TERSİYER	Göbekli Formasyonu	1000	Alacalı renkli çakıltaşı kumtaşı, çamurtaşı	Filiztepe Formasyonu	Kumtaşı ve çakıltaşı mercekli bej renkli kireçtaşı <b>UYUMSUZLUK</b>
Menderes Masifi Kayaları	Geç Miyosen?	500	Bordo renkli çakıltaşı, kumtaşı, kilaşı  Taban kireçtaşı merceği	MENDERES MASİFİ KAYALARI	Ayrıtlanmamış metamorfikler
			Ayrıtlanmamış metamorfikler ve granodiyorit		ÖLÇEKSİZ

Şekil 3.1 Gediz Grabeni'nin kuzey ve güney kesiminin stratigrafik kolon kesiti (Emre, 1996'dan değiştirilerek).





Şekil 3.2 İnceleme alanının jeolojik haritası (Emre, 1996'dan değiştirilerek).



Şekil 3.3 İnceleme alanının GB-KD ve K-G yönlü enine jeoloji kesitleri.(X-X' kesiti Emre, 1996'dan alınmıştır).

Bu kayalar holokristalin dokuda olup, bolluk sırasına göre kuvars, plajyoklas, K-K-feldispat, hornblend, muskovit, biyotit, opak mineraller, piemontit (manganlı epidot), sfen ve eser miktarda apatit içerir (Emre, 1996).

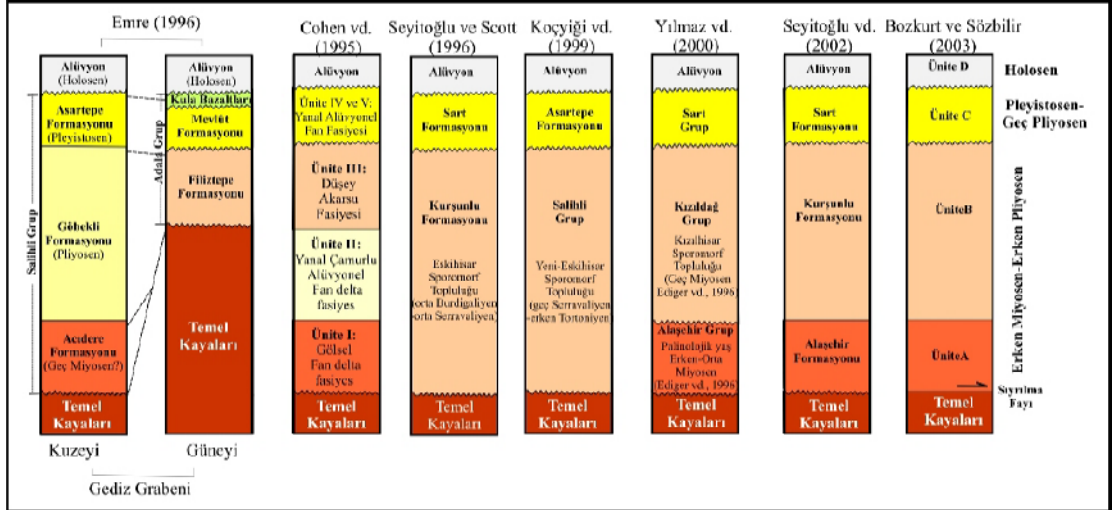
## 3.2 Tortul Kayalar

### 3.2.1 Salihli Grubu

Gediz Grabeni içerisinde yer alan kırıntılı tortullara ait birçok çalışma (Yağmurlu, 1987, Hetzel vd., 1995; Cohen ve diğ., 1995; Dart ve diğ., 1995, Purvis ve Robertson, 1997, 2005; Yusufoglu ve diğ., 1998; Koçyiğit ve diğ., 1999; Yılmaz ve diğ., 2000; Sözbilir, 2001) yapılmış ve bu sedimentler değişik şekilde adlandırılmışlardır (Şekil 3.4). Bu çalışmada sedimanter birimlerin adlandırılması Emre (1996)'ya göre yapılmıştır.

#### 3.2.1.1 Acidere Formasyonu

İnceleme alanı içerisinde Allahdiyen Köyü'nden başlayarak doğuya doğru 7 km uzunluktaki kesim hariç, doğrudan temel kaya-Neojen dokanağı boyunca gözlenen Acidere formasyonu kataklastik zon boyunca da yer yer yamalar şeklinde bulunmaktadır. Çalışma alanında kırmızı-bordo rengiyle gözlenen formasyon çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve kıltaşı-çamurtaşından yapıldır. Tabanda baskın olan ince taneli kırıntılılar, az oranda CaCO<sub>3</sub>'lü çamurtaşı, ender olarak da kireçtaşı arakatkıları içerir. Üst düzeylerde ise çakıltaşı-kumtaşı ardalanması baskındır. Genelde alt düzeylerdeki çakıl boyutları üst düzeylerdekilere göre oldukça küçüktür. Çakıltaşlarının öğeleri çokluk sırasına göre şist, fillit, metakuvarsit ve granodiyorit çakıllarından oluşur. Dokusal ve geometrik özellikleri dikkate alındığında formasyon az eğimli, düşük enerjili, durgun bir ortamda çökelmeye başlamıştır. Formasyonun üst düzeyleri ise bol yağışlı bir iklim ve yüksek eğimli bir topoğrafyanın ürünü olan yüksek enerjili suların denetimindeki alüvyonal yelpaze ortamında çökelmiştir. Kil düzeylerinin hiçbir spor ve polen içermemesi, belirtilen çökel ortamının bir diğer kanıtıdır (Emre, 1996).



Şekil 3.4 İnceleme alanındaki sedimanter birimlerin çeşitli araştırmacılara göre adlandırılması (Emre, 1996 ve Bozkurt ve Sözbilir, 2004'ten değiştirilerek)

### 3.2.1.2 Göbekli Formasyonu

Çalışma alanında çok geniş bir alanı kaplayan, değişik renklerde çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ardalanmaları ve bunların ara katkılarında yapılı olan birim, az oranda çamurtaşı, kıltaşı, siltaşı arakatıkları da içerir. Katman kalınlıkları çoğunlukla 15-20 cm arasındadır. Gri ve kırmızı baskın olmak üzere bej, açık kahverengi, turuncu sarı gibi alacalı bir renk sunan birim, Acidere Fayı'na yakın kesimlerde içerdiği kükürt nedeniyle sarı renklidir. Acidere formasyonuna göre dokusal olgunluğu daha iyi olan ve daha küçük taneli kırıntılardan yapılı olan Göbekli formasyonu örtülü akarsu ürünüdür Yaygın olarak görülen düzlemsel katmanlanma yanı sıra, yer yer görülen çapraz katmanlanma, tane derecelenmesi, çakıltaşı ve kumtaşlarının birbirlerinin mercleklerini içermeleri, çakıltaşı kanal dolguları, kiremitvari çakıl dizilimi ve çakıl dizilimi ve çakıl uzun eksen yönlenimi gibi tortul yapılar, bu görüşü destekler niteliktedir (Emre, 1996).

### 3.2.1.3 Asartepi Formasyonu

Gediz Grabeni içinde dik yarlı vadiler ve sarp yamaçlı sivri tepeleriyle belirgin olan birim, çalışma alanının batısında Sart Mustafa batı ve güneydoğusunda oldukça küçük bir alanda yüzlek vermektedir. Genellikle bejimsi-turuncumsu, gri ve boz

renkli olan birim, başlıca, kumtaşı arakatman ve arakatıkları içeren çakıltaşlarından yapılıdır (Emre, 1996).

Formasyon akarsu denetimli alüvyon yelpazesi dolgularından yapılıdır. Değişik boyutta gereç içermesi, alüvyon yelpazesinin oluşumunu sağlayan akıntıların enerjilerinin zaman içinde değiştiğini gösterir. Tektonizma etkisi ile sürekli yükselmekte ve alüvyon yelpazesi çökelleri oluşmaktadır (Emre, 1996).

### **3.3 Adala Grubu**

#### ***3.3.1 Filiztepe Formasyonu***

Başlıca kireçtaşlarından yapılı olan birim, Adala kuzeydoğusu ve Filiztepe çevresinde yaklaşık 9 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yüzeylemektedir. Dış yüzeyi gri-bej, taze yüzeyi açık gri-bej-beyaz renkli olan kireçtaşları oldukça iyi pekleşmiş, dayanımlı, orta kalın katmanlıdır. Yaygın olarak saz fosilleri ve Gastropoda fosilleri içerir. Bol erime boşluklu ve gözeneklidir. Kalınlığı 1 m'yi aşmayan killi, kumlu ve çakıllı küçük merccekler ve oluşuk içi çakıltaşları kapsar. Karbonatlı kil ve kumdan oluşan bir ara madde ile tutturulmuş olan taban çakıltaşları, dereceli olarak kireçtaşlarına geçer (Emre, 1996).

#### **3.3.2 Mevlütlü Formasyonu**

Salihli-Alaşehir ovaları ile metamorfik kayalar arasında, KB-GD doğrultusunda yayılım gösteren birim, çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve çamurtaşı araldanmasından yapılıdır. Genel olarak gri, bej, turuncu ve yeşilimsi renklerde olan bu yüzeyler az pekleşmiş ve az dayanımlı olan bu düzeyler, ender olarak ince kireçtaşı merccekleri içerir. Tabanda baskın olan çakıltaşları, üst kesimlere doğru yerini kumtaşı ve çamurtaşlarına bırakır. Gözlenen tortul yapılar örgülü akarsu ortamındaki bir çökeli mi yansıtır (Emre, 1996).

### 3.4 Alüvyonlar

Çalışma alanında Sart-Çamur Kaplıcası ve Allahdiyen Köyü'nün kuzey kesimlerinde bazı akarsuların kenarında asılı kalmış şekiller oluşturan yaşlı alüvyonlar, birkaç metre kalınlıktadır. Temel kayalar ve Neojen tortullardan türeme gereçlerin büyüklüğü, silt ile iri blok arasında değişmektedir.

Salihli ve Alaşehir ovalarını oluşturan genç alüvyonlar, güncel akarsuların yatakları boyunca şerit şeklinde uzanırlar. Benzer şekilde, silt-iri blok boyutunda, temel ve Neojen yaşlı kayalar gereçlerinden yapıldır.

### 3.5 Yapısal Jeoloji

Anadolu Levhası'nın batıya hareketinin bir sonucu olarak Batı Anadolu Geç Oligosen'den günümüze K-G doğrultusunda genişleyen bir bölge olarak kabul edilmektedir (Seyitoğlu ve Scott, 1996). Batı Anadolu K-G yönlü gerilmeler sonucu yılda 3-6 cm genişlemektedir (Yılmaz ve diğ., 2000). Bunun sonucunda, bölgenin jeolojisinde egemen yapı unsurları olarak D-B doğrultulu düşük ve yüksek açılı normal faylarla sınırlanan grabenler gelişmektedir (Arpat ve Bingöl, 1969, Hetzel ve diğ., 1995; Emre 1996; Emre ve Sözbilir 1997; Koçyiğit ve diğ., 1999; Yılmaz ve diğ., 2000; Seyitoğlu ve diğ., 2002; Bozkurt, 2004). Grabenlerin kenar fay zonları, 100-150 km devamlılık gösteren ve zon uzunlukları çoğunlukla 8-10 km'yi geçmeyen kısa faylardan oluşmuş bir fay demeti halindedir. Bu fayların üzerinde, sürekli bir sismik aktivite kaydedilmektedir (Yılmaz ve diğ., 2000). Bu bölgelerin dünyanın en aktif ve hızlı deformasyon gösteren bölgelerinden birini oluşturduğu bir çok araştırmacı tarafından belirtilmektedir (Jackson ve McKenzie, 1984; Eyidoğan ve Jackson 1985; Ambraseys ve Jackson, 1998, Le Pichon ve diğ., 1995; Reilinger ve diğ., 1997; Altunel, 1999).

Emre 1996'ya göre ayrılma faylarıyla oluşan yarım graben alanlarında (Büyük Menderes Grabeni) tortullar depolanırken, bir yandan da granitik sokulumlar, ayrılma fay zonunun yukarı doğru kavislenerek bükülmesine neden olmaktadır. Son

yıllarda yapılan çalışmalarda, graben çökellerinin temeli niteliğindeki Menderes Masifi'nin bir metamorfik çekirdek kompleksi olduğu görüşü yaygındır (Bozkurt ve Park, 1994; Seyitoğlu ve Scott, 1996; Emre ve Sözbilir, 1997; Koçyiğit ve diğ., 1999; Yılmaz ve diğ., 2000). Genel olarak, masifte Bozdağ Horstu'nun hızlı yükselmesi, yüksek sismik aktivite ve erozyon ile Pliyosen-Kuvaterner yaşlı çok kalın, iri taneli alüvyal ve flüvyal sedimentler Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz Grabeni'nde birikmişlerdir (Möller ve diğ., 2004). Gediz Grabeni içerisindeki Turgutlu ve Salihli granodiyoritleri, Bozdağ çekirdek kompleksini oluşturan granitik-granodiyoritik yükselimin değişik noktalarda yüzeyleşmiş bir uzantısı şeklindedir (Emre ve Sözbilir, 1997). Granodiyoritleri kesen Karadut Fayı'nın Erken Miyosen yaşlı olduğu ve Karadut Fayı ile yaklaşık 200km uzunluktaki Gediz Grabeni'nin oluşum sürecinin başladığı tahmin edilmektedir (Emre, 1996). Karadut Fayı, düşük eğim açılı (12-20°), K, KKB veya KKD'ye eğimli normal bir faydır. Fay aynası, temel-Neojen dokanağı boyunca (yaklaşık 40 km), hemen hemen kesintisiz olarak, temel kayaları üzerinde, sabit eğimli yüzeyler oluşturur. Çok dayanımlı olan bu yüzeyler, aynı zamanda güncel topoğrafya yüzeyinin oluşturduğu için, Karadut fayı haritaya fay yüzeyi olarak yansımaktadır. Küçük ölçekte bakıldığında, göz alabildiğine düzgün yüzeyler şeklinde dikkati çeken fay yüzeyi, bölgesel ölçekte hafif dalgalı ve aynı yükseklikte olmayan yüzeyler şeklindedir. Fay yüzeyinin oluşturduğu yamaçlar üzerinde, yer yer yamalar şeklinde korunmuş Neojen yaşlı tortullar veya fayın tavan bloğundaki Menderes Masifi'ne ait kayalar bulunur. Bu faylanma sonucu "kataklastik zon" olarak adlandırılan ve kalınlığı yaklaşık 10 m ile 60 m arasında değişen, milonitik bir zon gelişmiştir. Bu zonun Turgutlu çevresine değin uzanabildiği düşünülmektedir. Milonitik zonun renk, doku ve bileşiği temeldeki ana kayaya bağlıdır. Yüzeyden derinlere doğru gidildikçe ana kayaya dereceli geçişlidir. Karadut Fayı zonu boyunca, sıcak su ve maden suyu kaynakları, H<sub>2</sub>S çıkışları (Göbekli ve Allahdiyen köyleri) ile hemen üzerindeki tortullarda kükürt konsantrasyonları olağandır (Üfürük). Granodiyoritleri üzerleyen kısımlarda, düşük tenörlü pirit, arsenopirit ve zinober cevherleşmesi görülür. Tüm bu özellikleriyle Karadut Fayı'nın bir detachment (ayrılma) fayı olduğu söylenmektedir. Grabenin uzanımına koşut düşey ya da yüksek eğimli faylar daha çok K-G, KD-GB, KB-GD

doğrultulu faylar olup Karadut Fay Yüzeyi'ni parçalara ayırırlar. Bu fayların sıcak su ve H<sub>2</sub>S gazının çıkışında büyük rol oynadıkları düşünülmektedir (Emre, 1996).

Karadut Fayı tavan bloğunda gelişen genleşmeli tortul havzada, önce Geç Miyosen (?) yaşlı, alüvyal yelpaze ortamı ürünü Acıdere formasyonu depolanmıştır. Pliyosen'de grabenin güney kenarında Göbekli formasyonu, kuzeyinde ise Filiztepe formasyonu çökelmiştir. Göbekli formasyonunu üstleyen Asartepe formasyonu ve Filiztepe formasyonunu üstleyen Mevlütlü formasyonları Pleyistosen'de çökelmiştir. Pleyistosen sonlarında, 1.1 - 0.01 milyon yıl yaşlı (Erinç, 1970; Borsi ve diğ., 1972; Tekkaya, 1976) Kula bazaltlarının son iki evresine ait (Ercan ve Öztunalı, 1982) lav akıntıları, Gediz Nehri vadisini izleyerek, çalışma alanının kuzeyinde Adala kasabasına kadar ulaşmıştır (Emre, 1996).

Havza denetiminde doğrudan rol oynayan fayların en önemlileri olan Keserler, Acıdere, Dereköy ve Yenipazar fayları, grabenin uzanımına koşut olarak kilometrelerce uzunluktadırlar. Arazi verilerine göre bu fayların yaşı, bazı araştırmacıların da belirttiği gibi (Koçyiğit, 1984; Dart ve diğ., 1995), havza kenarından havza ortasına doğru ilerledikçe (Salihli - Alaşehir ovalarına yaklaştıkça) gençleşir. Salihli-Alaşehir ovalarını sınırlayan Yenipazar - Dereköy ve Mevlütlü fayları, Pleyistosen sonrası tektonizma ürünüdür. Grabenin uzanımına dik yönde gelişen faylardan, "accommodation" fayı (Şengör, 1987) olarak nitelendirilen yüksek açılı fayların oluşumu (>45°), arazi verilerine göre, Asartepe formasyonunun çökelişinden öncedir. Yüksek eğim açılı bu normal fayların Salihli-Alaşehir ovaları boyunca Göbekli ve Asartepe birimlerinin aniden kesilmesi, Dereköy ve Yenipazar faylarının alüvyonlarca örtülmüş olduklarını düşündürmektedir. Mevlütlü Fayı da benzer şekilde yorumlanmıştır.

Gediz Grabeni içerisinde Salihli-Alaşehir ovalarının kuzey ve güneyinde kalan bölümler, morfolojik ve yapısal yönden birbirinden farklı özelliktedir. Güney kesiminde Neojen yaşlı kayalar, metamorfik temel ile söz konusu ovalar arasında genişliği 3 km ile 7 km arasında değişen, sarp ve engebeli bir topoğrafya sunar. Dar vadiler ve keskin sırtlar oluşturan yarlarla dikkati çeken alanın tümü göz önüne



alındığında, en yüksek ve en alçak noktaları arasındaki yükseklik farkı 780m'dir. Kuzeydeki Neojen tortullar ise, 6-10 km genişlikte, çok az engebeli bir alanda yer alırlar. Bu faylara ait belirgin bir fay verisine rastlanılmamıştır. Grabenin güney kesiminde, ayrılma fayından kalıtsal bloklar fay yüzeyi üzerinde eğim yönünde hareket ederken, mezo - makro boyutta yüksek açılı normal faylar gelişmiştir. Tortullaşma ile yaşıt veya daha sonra oluşmuş çok sayıda sentetik ve antitetik mezoskopik fayların doğrultuları, K74° - 47°B arasında yoğunlaşır. Makroskopik boyuttaki sentetik ve antitetik fayların tümü, eğim atımlı normal faylardır (Emre, 1996).

Salihli - Alaşehir ovalarının kuzeyinde, Filiztepe formasyonunun çökelmeye başladığı andan günümüze kadar geçen sürede, Mevlütlü Fayı dışında, tortul kayaları etkileyen herhangi bir kırık hattı oluşmamıştır. Katmanlar çoğu kez yataydır veya yataya yakın konumdadır. Grabenin güney kenarında ise tortul kayaların eğim açıları oldukça yüksek değerler almakta ve sık sık eğim yönleri değişmektedir Grabenin güney kesiminde çökelen tortulların, daha sonra GB yönünde eğimlenmeleri, Karadut fay yüzeyi üzerindeki blokların hareketleriyle açıklanabilir (Anders ve Schliche, 1994; Emre, 1996). Grabenin güney kesiminde günümüzde de süren oldukça aktif bir tektonizmanın etkili olduğunu gösteren kanıtlar: 1) Güneyde tortulların hızlı bir aşınmayı yansıtan sarp ve engebeli topoğrafyası 2) Kataklastik, kristalin ve metamorfik kayaları da aşındıran genç - dar vadiler ve bazı vadi yamaçlarında asılı kalmış taraçalar 3) Fay hatları boyunca yaygın olan oldukça büyük boyutlu heyelanlar ve kayma açılımları 4) Graben boyunca zaman zaman önemli hasarlara yol açan depremlerdir. Grabenin kuzey kesiminde kayda değer bir tektonik etkinlik olmadığını, engebeyesiz veya çok az engebeli bir topoğrafyada derin olmayan dereler ve yayvan sırtlar bulunması ile açıklanabilir (Emre, 1996).

## **BÖLÜM DÖRT HİDROEOLJİ**

### **4.1 Giriş**

Salihli Jeotermal alanlarının içerisinde bulunduğu Gediz Grabeni jeolojik ve tektonik özelliklerinden dolayı sıcaklık bakımından da Türkiye'nin önde gelen 15 önemli jeotermal alanlarından biridir (Akkuş, 2003). Bu çalışma kapsamında jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanı içerisindeki mevcut soğuk su kuyularının yeraltı su seviye ölçümleri kullanılarak yeraltı suyu akım yönü belirlenmiştir. Meteorolojik veriler ışığında bölgeye düşen yıllık yağışlar değerlendirilmiş ve bölgede meteorolojik su bütçesi yapılmıştır.

### **4.2 Su Noktaları**

İnceleme alanı içerisindeki su noktaları kaynaklar, sığ ve derin kuyular, çeşmeler ve akarsular olmak üzere başlıca dört gruba ayrılır.

#### **4.2.1 Kaynaklar**

Çalışma alanı içerisindeki kaynaklar termal ve mineralli kaynaklar ile soğuk su kaynakları olarak ayırt edilmiştir. Termal su kaynakları Kurşunlu Kaplıcası (Örnek No: 29) ve Sart-Çamur Kaplıcası (Örnek No:41-41) jeotermal alanlarında görülmektedir. Erişen ve diğer., (1996), Kurşunlu ve Sart-Çamur jeotermal alanlarında 20'ye yakın sıcak su kaynağının gözlendiğini belirtmişlerdir. Ancak günümüzde Kurşunlu Jeotermal Alanı'nda açılan jeotermal kuyular nedeniyle bu alandaki kaynakların neredeyse tamamı kaybolmuştur.

Mineralli su kaynakları, Kurşunlu Kaplıcası (Örnek No:27) ve Üfürük (Örnek No:39) jeotermal alanlarında yer almaktadır. Termal ve mineralli su kaynakları dışındaki soğuk su kaynakları ise bölgenin yüksek kesimlerinde Bahçecik, Gökköy ve Allahdiyen köyleri çevresinde olup, debileri oldukça düşüktür.

#### **4.2.2 Stığ ve Derin Kuyular**

Çalışma alanı içerisinde içme ve sulama amaçlı Devlet Su İşleri, İller Bankası, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü ve özel şahışlar tarafından açılmış derinlikleri 60-150 m arasında değişen soğuk su kuyuları (rnek No: 15, 16, 17, 21, 26, 31-37, 42-44, 47-50) bulunmaktadır. Alanda bilinçsiz açılan sondajlarda kuyuların borulanması, akifer düzeylerinin kontrolu yapılmaksızın, bir kapalı boru, bir filtre boru olarak teçhiz edilmektedir. Bu durum da hem kuyu verimlerini etkilemekte, hem de ilerideki bölümlerde değinileceği gibi akifer seviyelerinin karışarak birbirini etkilemesine ve sıcak suların da etkisiyle kalitelerinde (bor kirliliği gibi) bazı bozukluklar oluşmasına neden olmaktadır.

Soğuk su kuyularına ait detaylı bilgiler EK-1'de verilmiştir. Yaz aylarındaki tarımsal sulamalar yeraltı suyu seviyesinin düşmesine ve dolayısıyla su azalışına neden olmaktadır. Jeotermal amaçlı kullanılmak üzere jeotermal alanlarda 80-1000 m arasında çeşitli derinliklerde araştırma ve üretim kuyuları (rnek No: 1-14, 30, 34,38,45,46) bulunmaktadır. Termal kuyulara ait kuyu logları EK-2'de verilmiştir.

#### **4.2.3 eşmeler**

İnceleme alanı içerisindeki çeşmeler, daha yüksek kesimlerdeki kaynak sularının kullanımı şeklinde-dir. İnceleme alanı içerisinde Bozdağ, Bahçecik, Gökköy, Allahdiyen köyleri ve çevresinde yer almaktadırlar (rnek No: 18).

#### **4.2.4 Yüzey Suları**

İnceleme alanındaki en önemli akarsular Gediz Nehri ve Alaşehir ayı'dır. Kula doğusundan doğan Gediz Nehri, inceleme alanında Salihli İlçesi'nin kuzeydoğusundan Salihli Ovası'na girer ve güneyden Kemalpaşa Ovası'ndan gelen Nif ayını alarak Foça tepelerinin güneydoğusundan İzmir Körfezi'ne dökülür. Gediz Nehri'nin debisi kiş aylarında 20-25 m<sup>3</sup>/s, yaz aylarında 3 m<sup>3</sup>/s dir. Alaşehir ayı, Gediz Nehri'nin bir koludur ve Salihli Ovası'nda nehre kavuşur. Bu iki büyük

akarsu dışında çalışma alanında batıdan doğuya Sart Deresi ve ona bağlı Sağlık ve Filiz dereleri, Tabak Deresi, Kurşunlu Deresi ve Gümüş Deresi bulunmaktadır. Bu dereler Bozdağ eteklerinden doğup güneye, Gediz Nehri'ne doğru akarlar. Kurşunlu Deresi ve Tabak Deresi her mevsim akan derelerdir. Çalışma alanındaki yüzey sularından su örneklemeleri yapılmıştır (Örnek No: 19, 20, 22-25, 28, 51-59).

### **4.3 Hidrojeolojik Birimler**

#### ***4.3.1 Temel Kayalar***

Çalışma alanında gözlenen Karadut Fayı'nın taban bloğunda yer alan Menderes Metamorfikleri içerisindeki mermerlerin çok çatlaklı yapıları ve erime boşlukları içermesinden dolayı jeotermal alanların hazne kayacını oluşturlar. Mermerler şistler içerisinde merccekler şeklinde olup Sart-Çamur Kaplıcası çevresinde geniş yayılım gösterirler. Kuvars şist ve mikaşistler de yer yer termal ve soğuk suların akiferi özelliğindedirler. Beslenme alanının yüksek kesimlerinde bulunan gnayslar ise ikincil permeabilite kazanmışlardır. Kurşunlu ve Caferbey Jeotermal Alanları'nda açılan kuyularda jeotermal akışkan üretim zonları başlıca mermer ve şist-mermer ardalanması gösteren seviyelerdir. Bu seviyelerdir bol piritli, gri-siyah renkli ve çatlaklıdır (EK-2).

#### ***4.3.2 Neojen Karasal Tortullar***

Çalışma alanında oldukça geniş alanı kaplayan Neojen yaşlı karasal tortullar içerdikleri killi seviyelerden dolayı geçirimsizlikleri oldukça düşük olup jeotermal sistemlerin örtü kayacı özelliğindedirler. Karadut Fay Zonu (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3) boyunca bu tortullar içerisinde kükürt konsantrasyonları görülmektedir. Jeotermal kuyularda örtü kayacı olarak kesilen Neojen kayalar kırmızı-bordo renkli konglomera, çakıl, kil ve siltli gevşek malzemeler şeklindedir (EK-2).

### 4.3.3 Alüvyon

Çalışma alanının kuzeyinde Salihli-Alaşehir ovalarını oluşturan Kuvaterner alüvyon soğuk suların akiferi olması açısından oldukça önemlidir. Çalışma alanı içerisinde içme ve kullanma amaçlı Devlet Su İşleri ve İller Bankası, Köy Hizmetleri ve şahıslar tarafından açılan kuyular bölgede içme ve sulama amaçlı kullanılmaktadır. Bölgede açılmış soğuk su kuyularında kesilen formasyonlar incelendiğinde, (EK-1). alüvyon içerisindeki iri blok, çakıllı, kumlu geçirgen seviyelerin baskın olduğu kısımlar akifer, killi ve siltli seviyelerin baskın olduğu kısımların ise akiklödleri oluşturduğu söylenebilir. Düşey ve yanal yönde değişimler gösterdiği tahmin edilen birimlerin bu özellikleri nedeniyle birçok akifer ve akiklöd katmanlarını içerdiği düşünülmektedir. Bu katmanların bazıları basınçlı akiferleri, bazılarıysa serbest akiferleri oluşturmaktadır. İnceleme alanında açılan sondajlarda da çeşitli basınçlı ve serbest akifer seviyelerinden ortak üretim yapıldığı gözlenmiştir.

### 4.4 Meteorolojik Su Bütçesi

Salihli ilçesinde 1939–2003 yılları arasındaki meteorolojik verilere (EK-3) göre yıllık ortalama toplam yağış 488,7 mm'dir. En az yağış Ağustos (7,5 mm), en fazla yağış ise Aralık (81,2 mm) aylarında olmaktadır. 1971–2002 yılları arasındaki meteorolojik verilere göre yıllık ortalama sıcaklık 16,31°C' dir. Temmuz ayları en sıcak (27,12°C), Ocak ayları en soğuk (6,13°C) aylardır. 1991–2002 yılları arasındaki meteorolojik verilere göre yıllık toplam dolulu gün sayısı 5'tir.

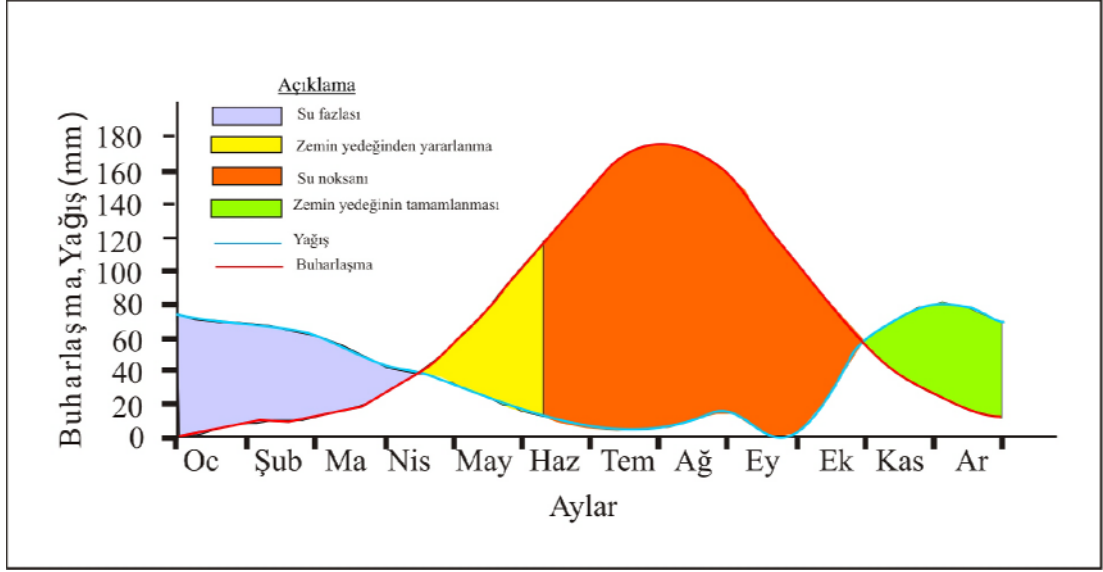
Salihli İlçesi'ne ait 1939–2003 yılları arası 64 yıllık uzun dönem “Yağış - Sıcaklık” verileri Thornthwaite Yöntemi'ne göre değerlendirilmiştir. Bu yöntemle potansiyel ve gerçek buharlaşma – terleme değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Thornthwaite, 1948'e göre Salihli İlçesi'nin 1939–2003 yılları arasındaki karşılaştırmalı meteorolojik su bütçesi (EK-3'deki verilere göre hesaplanmıştır).

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
Enlem: 38'													
Aylık sıcaklık (°C)	6,13	7,3	10,12	15,18	20,1	25,12	27,12	26,5	22,32	16,6	11,1	7,45	
Yağış (P)	72	67,7	61,4	42,7	33,3	15,9	6,1	4,5	13,4	33,7	56,8	81,2	488,7
Etp (Düzeltilmiş)	9,05	12,2	26,1	56,3	102,4	151,8	174,7	157,4	103,71	57,6	24,8	0	
P-Etp	62,95	55,5	35,3	-13,6	-69,1	-135,9	-168,6	-152,9	-90,31	-23,9	32	81,2	
Su rezervi	100	100	100	86,4	17,4	0	0	0	0	0	32	100	
Eta (Gerçek buh.)	9,05	12,22	26,1	56,3	102,4	33,3	6,1	4,5	13,4	33,7	24,8	0	321,8
Su noksanı	0	0	0	0	0	118,5	168,6	152,9	90,31	23,9	0	0	
Su fazlası	63,0	55,5	35,3	0	0	0	0	0	0	0	0	13,2	
YAS'na sızan su (I)	34,8	45,1	40,2	20,1	10,1	5,0	5,03	1,26	0,63	0,3	0,2	6,68	169,44
P-I	37,2	22,56	21,18	22,6	23,3	10,9	10,87	3,24	12,77	33,39	56,6	74,5	

Tablo 4.1' de görüldüğü üzere; Salihli İlçesi'nde yıllık düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 875,98 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 321,78 mm olarak elde edilmiştir. Mart ayı sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr' ye eşit olur. Nisan ayı başından Kasım ayına kadar zemin rezervi olan ve teorik olarak 100 mm kabul edilen su kullanılır. Mart ayı sonuna kadar yeraltı suyu rezervi doludur. Nisan'dan Mayıs sonuna kadar yedekten kullanılmakta, Haziran başından Ekim sonuna kadar yeraltı su rezervi olmamakta ve tarımsal su açığı gözlenmektedir. Aralık başına kadar ise yeraltı suyu rezervi dolmuş olmaktadır. Bu verilere göre Haziran – Ekim ayları arası “Kurak Dönem”, Kasım – Mayıs ayları arası “Yağışlı Dönem” olarak adlandırılmıştır. Ortalama yağış ve düzeltilmiş Etp' nin aylık değişimleri Şekil 4.1'de verilmiştir.

1939-2003 yılları arasındaki Salihli Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılarak yapılan su bütçesi hesaplamalarına göre yıllık 169,5 mm'lik suyun yeraltına süzülmesi hesaplanmıştır. Buna göre Salihli istasyonu için yıllık yağış miktarı 488,7 mm üzerinden hesaplanırsa,  $169,5 / 488,7 = 0,35$  değeri bulunur. Kabaca bir değerlendirme yapılacak olursa, Salihli İstasyonu verilerine göre yağışın % 35'i yeraltına süzülmemektedir.



Şekil 4.1 Salihli İlçesi'nde 1939–2003 yılları arasındaki yağış ve düzeltilmiş Etp'nin aylık değişim grafiği.

#### 4.5 Yeraltı Su Seviyesi

İnceleme alanında DSİ, İller Bankası ve özel şahıslara ait içme ve sulama amaçlı açılan bazı kuyuların kuyu yeri koordinatları, kotları (h) ve statik su seviye bilgileri (Tablo 4.2), Surfer 8 ve MapInfo 8.0 programlarına girilerek inceleme alanının yeraltı su seviye haritası oluşturulmuştur. İnceleme alanındaki yeraltı suyu seviye haritasından, bölgedeki yeraltı suyu akım yönü G-K olarak belirlenmiştir (Şekil 4.2). Yeraltı suyu akım yönü dikkate alındığında inceleme alanındaki yeraltı sularının beslenme alanı güneydeki yükseltiler, boşalım alanı da Salihli Ovası'dır. Güneydeki yükseltiler aynı zamanda termal suların da beslenme bölgesidir. Çalışma alanının kuzeyindeki Gediz Nehri ve Alaşehir Çayı yüzey ve yeraltı suları tarafından beslenmektedir. Bu nedenle bu akarsular bölgedeki yüzey ve yeraltı suları akiferlerinde olası endüstriyel, tarımsal ve jeotermal kaynaklı kirliliklerden etkilenmektedirler.

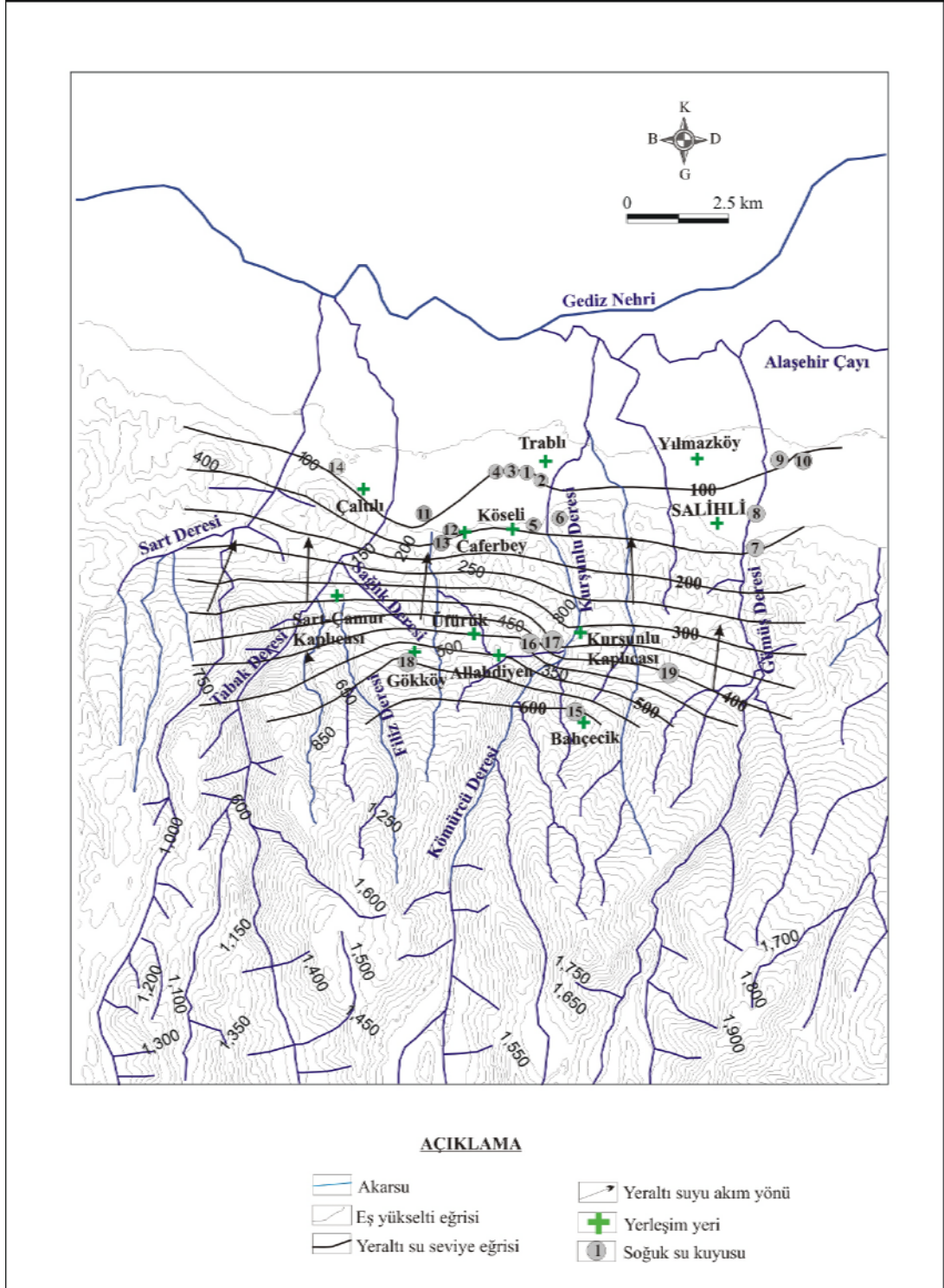
Tablo 4.2 Yeraltı su seviye haritasının oluşturulmasında kullanılan soğuk su kuyuları ve kuyu bilgileri (Statik ve dinamik seviyeler yüzeyden derinliklerdir).

Kuyu No	Kuyu Adı	UTM 35. Dilim		Kot (h) m	Kuyu Derinliği (m)	Statik S. (m)	Dinamik S. (m)	Debi (l/sn)
		X	Y					
1	45/2913	596090E	4260250K	120	100	26,20	26,70	30
2	45/200	596190E	4260170K	120	98	17,65	18,30	32
3	L12	595670E	4260330K	121	80	20,25	22,60	45
4	45/3269	595300E	4260330K	118	90	16,20	17,46	25
5	26814	596290E	4259320K	140	97	34,96	38,39	30
6	27196	596920E	4259650K	125	60	26,85	32,13	26
7	L15	601520E	4258470K	140	96	28,70	30,35	40
8	L8	601590E	4259250K	123	112	19,30	21,95	42
9	İB-25	602150E	4260530K	111	69	1,80	26,60	46
10	İB-26	602590E	4260450K	110	73,50	4,25	32,00	42
11	Caferbey	593040E	4259168K	130	127	64	-	-
12	Caferbey	593678E	4258846K	150	131	45	-	-
13	Caferbey	593604E	4258719K	160	131	66	-	-
14	L2	590675E	4261555K	101	122	9,78	12,62	10
15	Bahçecik	597270E	4253914K	680	100	25	-	-
16	Allahdiyen	595991E	4255942K	490	85	30	-	-
17	Hamamdere	596858E	4255965K	340	80	20	-	-
18	Gökköy	592945E	4255545K	570	80	17	-	-
19	Karaağaç	599393E	4254946K	500	100	70	-	-

#### 4.6 Yeraltı Suyu Akifer Parametrelerinin Hesaplanması

Çalışma alanında yeraltı suyu edinme amaçlı kullanılmak üzere açılan kuyuların büyük çoğunluğu inceleme alanının kuzeyindeki alüvyon birimin içerisinde. Bölgede DSİ tarafından 1998 yılında açılan 52472 no'lu kuyunun (607750D/4267700K) pompalama deneyleri sonuçları (Tablo 4.3), JACOP yaklaşık yöntemiyle değerlendirilmiş ve inceleme alanında akifer özelliğindeki birimlerin geçirgenlik, iletkenlik ve depolama katsayısı gibi parametreleri (K,T,S parametreleri) hesaplanarak olası yeraltı suyu hızı tahmin edilmeye çalışılmıştır.



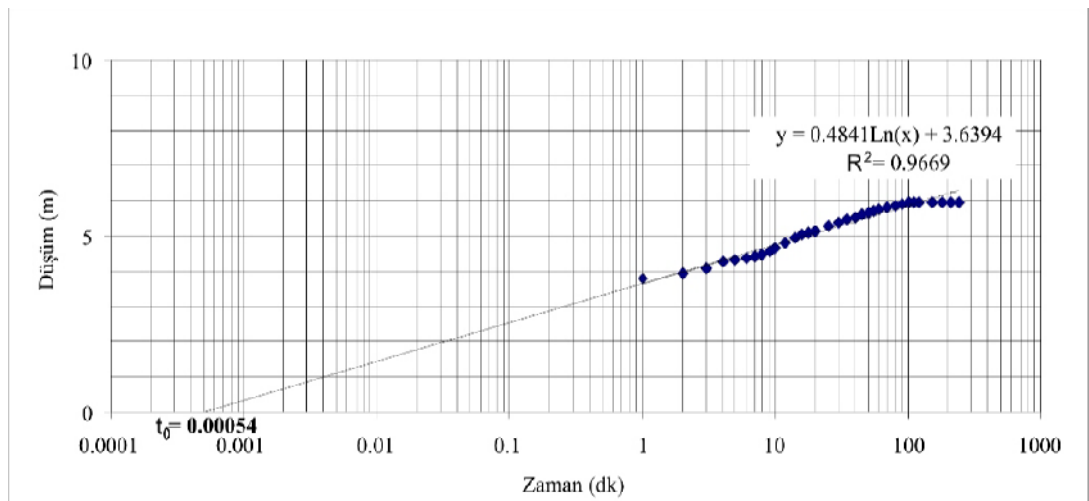


Şekil 4.2 İnceleme alanının yeraltı su seviye eğrileri ve akaçlama ağı haritası (Meteorolojik veriler 1939-2003).

Tablo 4.3 DSİ tarafından yapılmış pompalama deney sonuçları (DSİ, 1998).

Süre(dakika)	Düşüm (metre)	Süre(dakika)	Düşüm (metre)
0	0	30	5.38
1	3.8	35	5.46
2	3.92	40	5.54
3	4.1	45	5.61
4	4.3	50	5.67
5	4.34	55	5.72
6	4.38	60	5.76
7	4.43	70	5.83
8	4.49	80	5.88
9	4.57	90	5.92
10	4.65	100	5.96
12	4.8	110	5.97
14	4.93	120	5.97
16	5.03	150	5.97
18	5.09	180	5.97
20	5.16	210	5.97
25	5.28	240	5.97

Bu veriler yarı logaritmik kâğıda çizilerek Jacop eğrisi elde edilmiştir (Şekil 4.3). Eğrinin en uygun kısmından eğilim doğrusu geçirilip, uzatılarak  $t_0$  noktası ve bir logaritmik evreye karşılık gelen düşüm değerleri bulunmuştur. Eğim denkleminde  $y=0$  alınırsa  $t_0=0,00054$  dk = 0.032597371 saniye olur. Pompaj debisi ise 20 lt/sn=20\*10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/sn olur. Akifer kalınlığı ise  $b = 44m'$  dir (sondajda filtrelenen düzeylerin kalınlığı alınmıştır).



Şekil 4.3 DSİ 52472 No'lu kuyuya ait düşüm-zaman grafiği (Jacob eğrisi).

Genel Jacop denkleminde;

$$\text{Düşüm} = \Delta = \frac{0,183 * Q}{T} \log\left(2,25 * \frac{T * t}{r^2 * S}\right) \quad (\text{JACOB genel bağıntısı}) \text{ alınarak, bir}$$

logaritmik evreye karşılık gelen düşüm ( $d\Delta$ ) = 1.31 m olarak hesaplanmıştır.

$$d\Delta (\Delta_1 - \Delta_2) = 1.31 \text{ m}$$

$$d\Delta = \frac{0,183 * Q}{T}, \quad S = \frac{2,25 * T * t_0}{r^2} \quad R = 1,5 * \sqrt{\frac{T * t_{\max}}{S}} \text{ bağıntıları}$$

uygulandığında;

$$T = \frac{0,183 * Q}{d\Delta} = (0,183 * 20 * 10^{-3}) / 1.31 \text{ bağıntısından}$$

Yeraltı suyunun iletimliliğine karşılık gelen Transmissivite değeri  $T = 2,794 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sn}$  olarak hesaplanmıştır.

Transmissivite (iletimlilik katsayısı) akifer kalınlığı ile geçirgenlik (permeabilite) değerinin çarpımına eşittir.

$T = K * b$  bağıntısından permeabilite değeri  $K = 6,9847 * 10^{-5} \text{ m/sn}$  olarak hesaplanır. Hesaplanan bu K değeri geçirimlilik (permeabilite) sınıflamasında düşük-orta geçirgenliğe ve ince-orta, kaba kum arasında değişen tane bileşenlerine karşılık gelmektedir. geçirimliliğe karşılık gelmektedir.

Gözlem kuyusu olmadığından, kuyunun yarıçapı ( $r$ ) dikkate alınarak depolama katsayısı hesap edilebilir. Kuyunun çapı  $R=12$  inç olarak verilmiştir. Yarıçapı ( $r = 6$  inç =  $15,24 \text{ cm} = 0,1524 \text{ m}$ 'dir.

$$S = \frac{2,25 * T * t_0}{r^2} \text{ denkleminde bilinenler yerine konduğunda, depolama katsayısı}$$

$S=0,000164$  olarak hesaplanır.

Darcy Yasası'na göre yeraltı suyu akım hızı;  $Q = - K A i$  olduğundan, birim alandan geçen akım (hız);  $V_{\text{görünür}} = - K * i = Q/A$  olur. Yeraltı suyunun gerçek hızı ise;

$$V_{\text{gerçek}} = \frac{K * i}{n_{\text{etkin}}} \text{ olarak yazılabilir.}$$

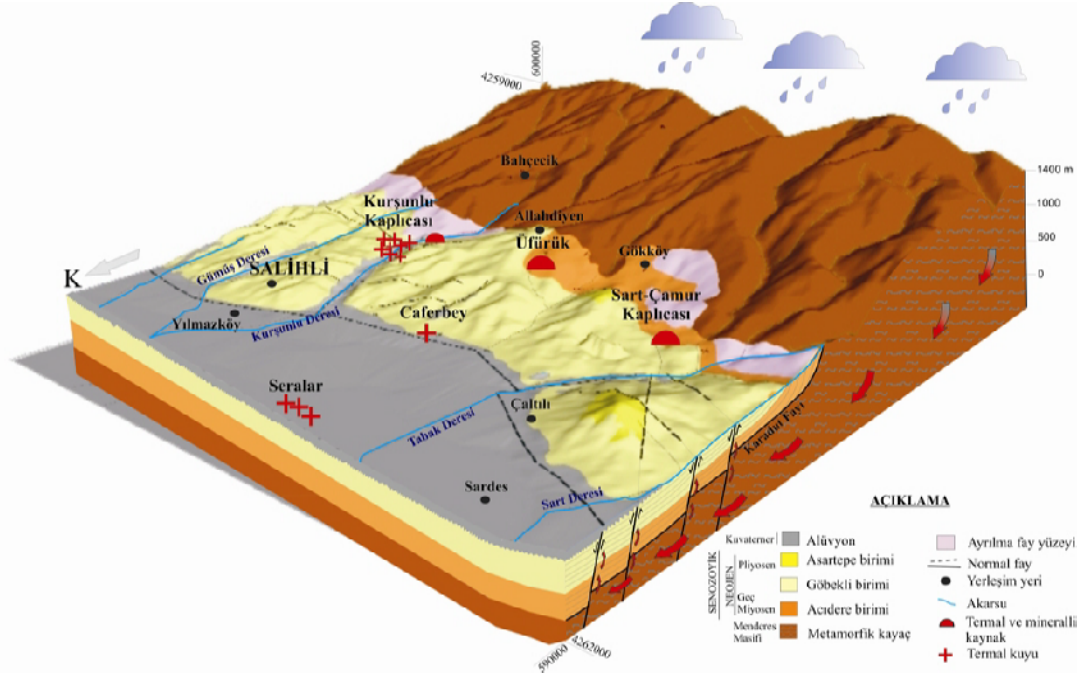
Etkin gözeneklilik ( $n_{\text{etkin}}$ ) depolama katsayısına (S) eşit olarak varsayılırsa;

$$V_{\text{gerçek}} = \frac{K * i}{S} \text{ 'dir.}$$

İnceleme alanının genelinde hidrolik eğim,  $i=0,016667$  (%) ile  $i=0,2$  (%) arasında değişmektedir. İnceleme alanında topoğrafyanın yüksek olduğu bölgelerde hidrolik eğim yüksektir. Hesaplamalar Darcy formülünde yerine konulduğunda  $V_{\text{gerçek}}=7,101 \times 10^{-3}$  m/s ile  $V_{\text{gerçek}}=8,5215 \times 10^{-2}$  m/s arasında değiştiği hesaplanmıştır. Yeraltı suyu ile herhangi bir kirleticinin taşınımının bir günde yaklaşık 6 cm ile 76 cm arasında değişen hızlarda olacağı tahmin edilmektedir.

#### 4.7 Jeotermal Alanlar

Çalışma alanındaki jeotermal alanlar batıdan doğuya doğru Sart Jeotermal Alanı, Caferbey Jeotermal Alanı, Üfürük Jeotermal Alanı ve Kurşunlu Jeotermal Alanı olarak dört grupta incelenmiştir. Jeotermal alanların oluşumu ve termal akışkanın taşınımı, Gediz Graben sistemini kontrol altında tutan faylar ve bu faylara bağlı kırık hatları ile sağlanmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 İnceleme alanının MapInfo 5.5 programı kullanılarak oluşturulan 3D jeoloji modeli ve jeotermal alanlarının gösterimi.

#### 4.7.1 Sart Jeotermal Alanı

Sart Jeotermal Alanı Bozdağ eteklerinde, Sardes Antik Kenti'nin ve Salihli İlçesi'ne bağlı Çamurhamamı Köyü'nün de içinde bulunduğu alandır. Halk arasındaki adıyla "Çamur Hamamları", Salihli'ye 11 km, Manisa'ya ise 68 km uzaklıktadır (Şekil 4.5).

Kaplıcalara ulaşım İzmir-Ankara karayolundan Sardes harabelerine ayrılan yoldan devam eden Bozdağ yolundan ulaşılmaktadır. Sart-Çamur Kaplıcası'nın tarihi Lidya Krallığı dönemine kadar gitmektedir. Termal kaynağın kaynak çıkış sıcaklığı 52 °C, debisi ise 5 l/sn'dir. Termal tedavi amaçlı romatizma, nevrалji, cilt ve kadın hastalıklarının tedavisinde yararlanılmaktadır. Kaplıca son yıllarda termal suların kullanımının artmasıyla birlikte toplam 150 yatak kapasiteli, 75 banyolu odaların bulunduğu bir tesis olarak işletilmektedir.



Şekil 4.5 Sart-Çamur Kaplıcası ve termal kaynaktan görünümüler.

#### 4.7.2 Üfürük Jeotermal Alanı

Üfürük Jeotermal Alanı, Sart-Çamur Kaplıcası ile Gökköy arasında yer almaktadır. Alanda, mineralli kaynaklar ile doğal gaz ( $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{S}$ ) çıkışları gözlenmektedir. Bu alandaki suların doğal kaynak çıkış sıcaklığı  $31\text{ }^\circ\text{C}$  olup, yaklaşık  $0.4\text{ l/s}$  debiye sahiptirler (Tarcan ve diğer. 2000). Kaynaklar mevsimsel değişikliklere göre birçok yerden yüzeye çıkmaktadırlar (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Üfürük mineral kaynaklarından görünümüler.

### **3.7.3 Caferbey Jeotermal Alanı**

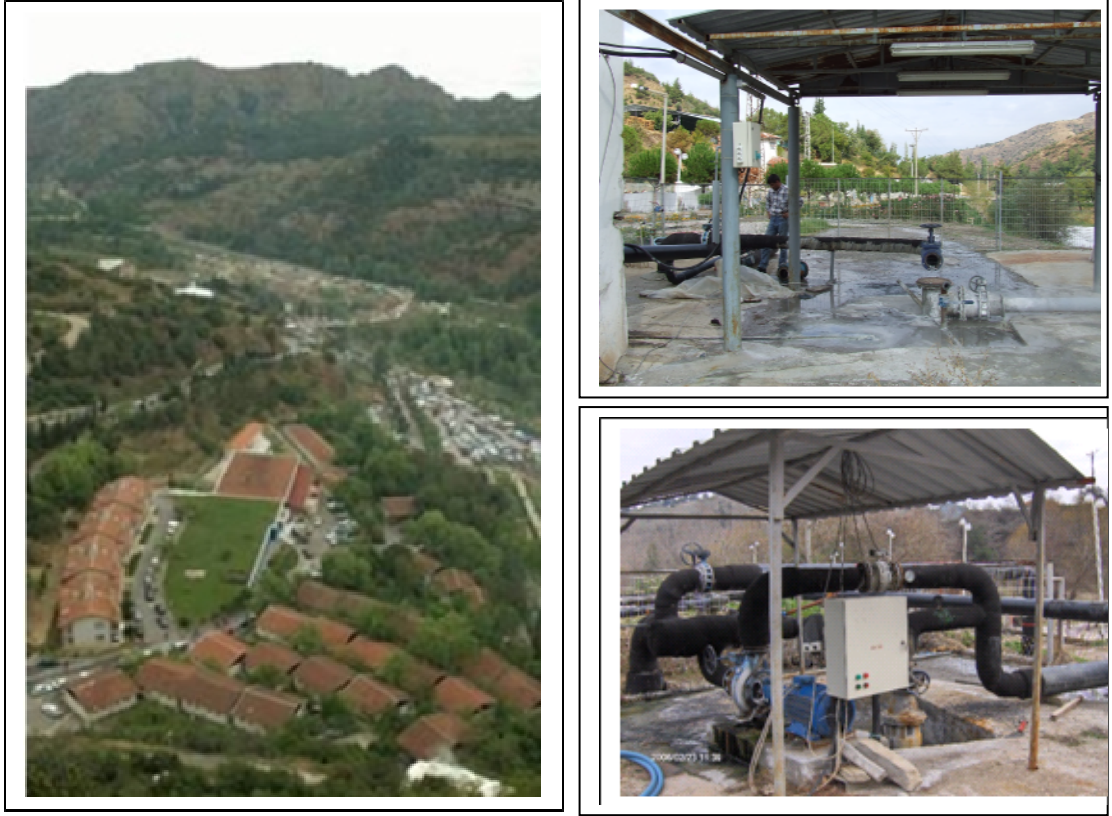
Caferbey Jeotermal Alanı Gediz Grabeni içerisindeki en önemli jeotermal alanlardan biridir. Saha, Caferbey Köyü'nü içine alan bölgede İzmir-Ankara karayolundan 2km içeride olup Salihli İlçesi'ne yaklaşık 6 km uzaklıktadır. 1990 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından alanda açılan en derin kuyu 1189.10 m derinliktedir (EK-2). Maksimum sıcaklık 155 °C ve elde edilen debi 2 l/s'dir. Alan jeolojik, jeomorfolojik, jeofizik (elektrik, gravite, CSAMT ve sismik) etütler ile araştırılmış bir sahadır. 1300 m derinlikli eş rezistivite haritasına göre 15 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır (Karamandere, 1988). Gediz vadisinin tüm Neojen sedimanter birimleri ve Menderes Masifi'nin metamorfite 766-1189,10 m arasında kesilmiştir (EK-2). Düşük debi nedeniyle günümüze kadar işletilmeyen bir sahadır. Ancak son dönemde bu sahanın yeniden değerlendirilmesi söz konusudur. Bu kuyunun doğrultusunda kuzeyde yaklaşık 6 km uzaklıktaki alanda şahıslar tarafından sera ısıtmacılığı amaçlı açılmış 800-950 m derinlikteki kuyulardan 80 °C ve debi 50-60 l/s'debide termal sular elde edilmiştir.

### **3.7.4 Kurşunlu Kaplıcası Jeotermal Alanı**

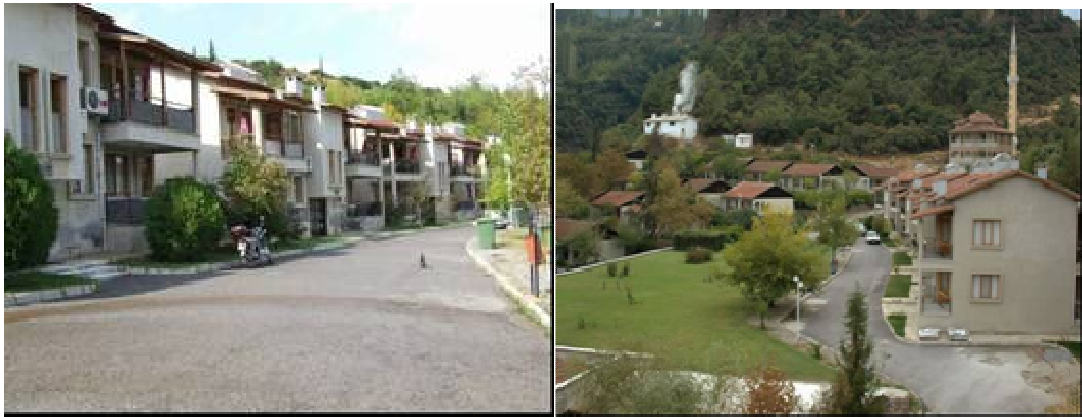
Türkiye'nin önemli 15 jeotermal alanlarından birisi olan Kurşunlu Jeotermal Alanı İzmir-Ankara karayolu üzerinde Salihli İlçe Merkezi'ne yaklaşık 6 km mesafede yer almaktadır. Kurşunlu Vadisi olarak adlandırılan bölge, dört mevsim yeşil dokusu ve manzarası nedeniyle, kaplıca özelliğinin yanı sıra piknik ve günü birlik tatil için kullanım amacıyla da rağbet görmektedir (Şekil 4.7).

Salihli Belediyesi tarafından işletilen kaplıcada toplam 86 adet apart ev, 2 adet kapalı yüzme havuzu, 2 adet sauna, 8 adet özel oda ile Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Merkezi bulunmaktadır (Şekil 4.8). Bu tesisin dışında 4 yıldızlı bir otel de hizmete girmiştir. Termal sular kimyasal özelliklerine bağlı olarak özellikle romatizma, siyatik ve kadın hastalıklarının tedavisinde kullanılmaktadır.





Şekil 4.7 Kurşunlu Jeotermal Alanı ve kuyular.



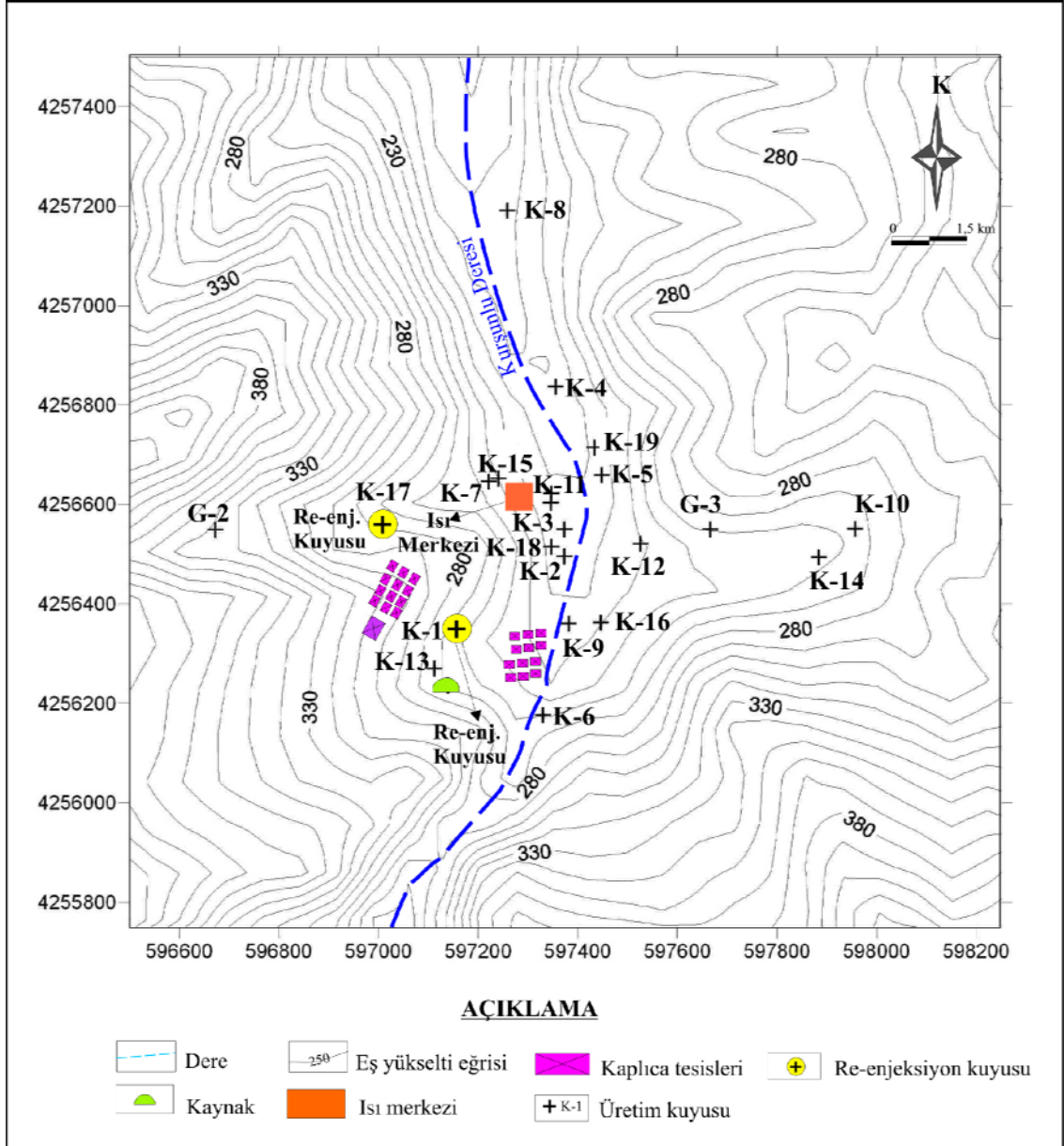
Şekil 4.8 Kurşunlu Kaplıcası'ndan görünüm.

Sahada, 1968 yılından beri Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından sürdürülen çalışmalar sonrasında 1979 yılında ilk sondaj kuyusu açılmıştır. Bunu takip eden yıllarda yine MTA tarafından 4 adet daha kuyu açılmış, 2000 yılına kadar kaplıcalarda kullanılmışlardır. 2000 yılında faaliyete geçen jeotermal şehir ısıtma projesi ile Mart 2001'den itibaren Salihli İlçesi'nde konut



ısıtılmaya başlanmıştır. 2003 yılında jeolojik-jeofizik çalışmalara devam edilmiş ve özel firmalara jeotermal sondajlar açtırmaya başlanmıştır. 2003 yılında jeolojik-jeofizik çalışmalara devam edilmiş ve özel firmalara jeotermal sondajlar açtırmaya başlanmıştır. Her geçen gün artan abone taleplerini karşılamak amacıyla yeni kuyuların açılmasına devam edilmektedir. Sahada açılan ve açılmaya devam edilen kuyularla birlikte toplam 21 adet kuyu bulunmaktadır (Şekil 4.9). Salihli İlçesi'nde şu an 5900 konut ısıtılmaktadır.

Kurşunlu Jeotermal Alanı'nda bulunan kaynakların neredeyse tamamına yakını, günümüzde açılan kuyular sebebiyle kurumuş durumdadır. Alandaki kaynak çıkış sıcaklıkları 42-55 °C'dir (Tarcan ve diğ. 2000). Sahada açılan kuyulardan 51-114 °C arasında değişen sıcaklıklar elde edilmiştir. Bu kuyuların debileri ise 20-60 l/s arasında değişmektedir. Açılan kuyulardan 6 tanesi (K-2, K-5, K-11, K-12, K-15 ve K-19) konut ısıtmacılığı, sera ısıtmacılığı ve termal tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Kış sezonu boyunca toplam 160 l/s debide üretim yapılmaktadır. Çeşitli amaçlarla kullanılan termal akışkan üretim yapılan havzaya 2 adet re-enjeksiyon kuyusundan (K-1 ve K-17) geri basılmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki jeotermal kuyu ve kaynakların yeri.

## BÖLÜM BEŞ

### HİDROJEOKİMYA

#### 5.1 Giriş

Çalışma alanındaki termal ve mineralli su kaynakları ile beslenme alanındaki soğuk su kaynakları, çeşmeler, sondaj kuyuları ve yüzey sularından yağışlı ve kurak dönemi yansıtacak şekilde kimyasal analiz için 58 farklı su noktasından toplam 83 adet su örnekleme yapılmıştır. Ayrıca önceki çalışmalarda yapılmış kimyasal analiz sonuçlarından da karşılaştırma yapmak amacı ile yararlanılmıştır. Bu çalışmalarla, jeotermal alanlardaki termal ve mineralli suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi, yeraltı suyu sistemi ve bu sistem içerisinde geçirdikleri fizikokimyasal süreçlerin ortaya konulabilmesi ve çevresel etkilerinin aydınlatılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma alanındaki yeraltı sularının kimyasal analiz sonuçları AquaChem 5.1 (Calmbach, 1997) ve PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) türleştirme programlarında değerlendirilerek, yeraltı sularının kalitesi ve kullanım alanlarının belirlenmesi, su-kayaç ilişkileri, termal ve mineralli suların genel kullanılabilirlik özellikleri, rezervuar sıcaklıklarının tahmini, akifer kimyası, mineral doygunlukları, kabuklaşma özellikleri incelenmiştir.

#### 5.2 Yeraltı Sularında Bulunan Önemli İyonlar

Bu çalışma sırasında belli başlı anyon ve katyon değerlerinin kökenlerine ilişkin yorumlamalar, aşağıda verilen çeşitli, genel literatür bilgilerinin ışığında yapılmaya çalışılmıştır.

**Kalsiyum ( $\text{Ca}^{+2}$ ):** Doğal sularda kalsiyumun kaynağı kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), aragonit ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit ( $(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ), flüorit ( $\text{CaF}_2$ ), plajiyoklas (anortit,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), piroksen (diyopsit,  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ) ve amfiboller ( $\text{NaCa}_2(\text{Mg,Fe,Al})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ ) olabilmektedir. Suda bulunan  $\text{H}^+$  iyonu kalsiyumun eritilmesini kolaylaştırır. Atmosfer basıncının ve sıcaklığın artması, sudaki kalsiyum miktarını fazlaştırır. Genel olarak yeraltı sularında  $\text{Ca}^{+2}$  miktarı 10–100 mg/l arasında olup, bazen bu miktarın 500–1000 mg/l' ye ulaştığı görülebilir.

Minerallerin çözünlüğünü etkileyen faktörler jeotermal akışkanlardaki  $Ca^{+2}$  seviyesini de etkiler. Özellikle  $CO_2$  basıncı önemlidir. Sularda kaynama sırasında  $CO_2$  miktarının azalışı, kalsit çökelişini ifade etmektedir. Yüksek Na/Ca oranı rezervuardan hızlı yükselimi gösterir. Ancak kabuklaşma ile kalsiyum kaybı gerçekleşiyorsa bu oran gerçeği yansıtmayabilir. Kalsiyum deniz suyunda 10800 mg/l, jeotermal suda 14000 mg/l, kirlenmemiş yeraltı suyunda 1–200 mg/l ve nehir suyunda 6,3 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

**Magnezyum ( $Mg^{+2}$ ):** Kalsiyumdan sonra yeraltı sularında en fazla rastlanan katyondur. Doğal sularda magnezyumun kaynağı dolomit evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend) ve metamorfik kayalarda bulunan (serpantin, talk, tremolit) mineralleridir. Yüksek sıcaklıktaki jeotermal akışkanlarda magnezyumun ikincil alterasyon minerali olarak illit, montmorillonit ve özellikle kloritin yapısına kolayca katılmasından dolayı genellikle çok düşük değerlerdedir (Tarcan, 2003). Yüksek konsantrasyondaki  $Mg^{+2}$  değeri yüzeye yakın yersel kayalardan  $Mg^{+2}$  yıkanmasını (leaching) veya nispeten  $Mg^{+2}$ 'ce zengin yeraltı sularıyla ilişkiyi işaret eder.  $Mg^{+2}$  konsantrasyonu, nehir suyunda 15 mg/l, kirlenmemiş yeraltı suyunda 1–100 mg/l, deniz suyunda 1290 mg/l ve jeotermal suda maksimum 2000 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

**Sodyum ( $Na^+$ ):** Sodyum en fazla deniz suyunda bulunmaktadır ve NaCl şeklindedir. Çoğunlukla yeraltı sularına, plajiyoklazların ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışır. Magmatik ve metamorfik kayalar içinden çıkan bazı kaynaklarda 1–20 mg/L sodyum bulunmaktadır. Deniz suyunda bu miktar 10.000 mg/L civarındadır. Yeraltı sularındaki sodyumun bulunuşu mineral cinsine ve miktarına pH'a, bozunma süresine, yeraltı sularının akım hızına, ortamdaki kalsiyum iyon derişimine, yapay ve doğal kirlenme gibi etkenlere bağlıdır. Yeraltı suları sulama amaçlı kullanıldığında, özellikle killi topraklar için sodyum miktarı çok önemlidir (Tarcan 2003).  $Na^+$  konsantrasyonu, nehir suyunda 6,3 mg/l, kirlenmemiş yeraltı suyunda 1–200 mg/l, deniz suyunda 10800 mg/l ve jeotermal suda maksimum 2000 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

**Potasyum ( $K^+$ ):** Potasyum ve sodyum yer kabuğunda yaklaşık olarak eşit miktarda bulunurken; magmatik kayalarda sodyum, çökel kayalarda ise potasyum egemendir. Deniz suyundaki sodyum, potasyumun yaklaşık 28 katıdır. Yer kabuğunda potasyum miktarının büyük bir kısmı feldspatlarda bulunur (Tarcan, 2003).  $K^+$  konsantrasyonu, nehir suyunda 2,3 mg/l, kirlenmemiş yeraltı suyunda 0,5–12 mg/l, deniz suyunda 399 mg/l ve jeotermal suda maksimum 2000 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

Sodyum ( $Na^+$ ) ve Potasyum ( $K^+$ ) konsantrasyonu mineral-akışkan dengesine bağlı olarak, sıcaklıkla kontrol edilir ve jeotermal akışkandaki major katyonlardır. Ancak jeotermal sularda potasyum, sodyuma göre daha düşük seviyelerde bulunur (kabaca  $Na^+$  konsantrasyonunun onda biri kadar  $K^+$ ). Düşük  $Na^+ / K^+$  oranı, yüksek sıcaklıklı zonlar için önemli bir izleyicidir. Yüksek  $Na^+ / K^+$  oranları ise daha çok yatay akışın olduğu, sığ yüzey reaksiyonları ve kondüktif soğumayı gösterir (Nicholson, 1993).

**Karbonat Konsantrasyonu ( $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$  ve  $H_2CO_3$ ):** Sulardaki karbonat türlerinin ( $HCO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $H_2CO_3$ ) çoğu atmosfer ve topraktaki  $CO_2$ ' den ve karbonatlı kütlelerin erimesiyle oluşmaktadır. Bu nedenle karbonat ve bikarbonat miktarı  $CO_2$  miktarına ve suyun pH 'sına bağlı kalmaktadır. Derin kökenli akışkanda, kaynama sırasında  $CO_2$  gazının azalması, çözeltinin pH değerini artırır ve sular alkali özellik kazanır. pH değeri yaklaşık 6–10 arasında ise, çözeltide bikarbonat iyonları ( $HCO_3^-$ ) baskındır. Daha düşük pH değerlerinde, ortamda karbonik asit ( $H_2CO_3$ ) hakim olur; daha alkali sularda ise karbonat ( $CO_3^{2-}$ ) baskın iyondur.  $pH \leq 3,8$  ise bu sularda çözülmüş  $CO_3^{2-}$ , karbonik asit olarak; pH değeri 8 civarında ise ortamda  $HCO_3^-$  bulunur (Nicholson, 1993). Suların içerdikleri karbonat konsantrasyonu suların yeraltında geçirdikleri mola süreleri ile ilişkili olarak artar. En kısa yoldan ve en kısa sürede rezervuardan yüzeye ulaşan suların kayaçlar ile olan reaksiyon süreleri de kısa olacağından, karbonatlı kayaçlardan ve çatlak sistemlerindeki karbonatlı minerallerden çözecekleri  $HCO_3^-$  değerleri en düşük seviyede olacaktır (Nicholson, 1993). Yüksek  $HCO_3^-$  değeri ile yüksek  $Ca^{+2}$  değerleri suların kireçtaşları ile yüksek  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  değerleri ise dolomitik kayaçlar ile etkileşime girmiş olduklarını belirtir. Ayrıca yüksek  $K^+$  içerikli Na- $HCO_3$  tipi suların plajiyoklaz, feldispat ve piroksen mineralleri içeren magmatik ve volkanik

kayaçlar ile tepkimeye girmiş olabilir (Mazor, 1997). Karbonat konsantrasyonu, nehir suyunda 50 mg/l, kirlenmemiş yeraltı sularında genellikle 10–500 mg/l ve jeotermal sularda ise 7500 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

**Klorür (Cl<sup>-</sup>)** : Yeraltı sularındaki klorür, deniz suyundan, evaporitlerden, yağmur ve kar suyundan ya da atmosferden gelebilir. Bunların içinde yeraltı sularına en fazla klorür veren kaynak deniz suyudur. Bu bakımdan kıyılardan uzaklaştıkça yeraltı sularındaki klorür miktarı önemli oranda azalır (Tarcan, 2003). Jeotermal kaynaklarda yüksek klorür (Cl<sup>-</sup>) konsantrasyonları, doğrudan derin bir rezervuar kayaçtan beslenmeyi işaret eder (Nicholson, 1993). Bu durumda, soğuma veya soğuk su ile karışım en alt düzeyde olmalıdır. Sıcak veya kaynayan sulardaki düşük Cl<sup>-</sup> seviyeleri, yer altı suyu seyrelmelerini yansıtır. Cl<sup>-</sup> içeriğinin artması deniz suyu kirlenmesi ilişkisini de gösterir. 1000 mg/l ve üzerinde klorür içeren sular Cl<sup>-</sup> tipli sulardır. Cl<sup>-</sup> konsantrasyonu, nehir suyunda 7,8 mg/l, kirlenmemiş yeraltı sularında genellikle 1–250 mg/l, deniz suyunda 19500 mg/l ve jeotermal sularda ise maksimum 30000 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

**Sülfat (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>)** : Yeraltı suları bünyelerinde bulunan sülfatın büyük bir kısmını jips ve anhidritten almaktadır. Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan demir sülfattan, magnezyum ve sodyum sülfattan da gelebilir. Derin kökenli jeotermal akışkanlarda SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> konsantrasyonu genellikle düşüktür ancak hidrojen sülfürün (HS<sup>-</sup>) oksidasyonu ile SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> konsantrasyonu artar (Nicholson, 1993). Cl<sup>-</sup> konsantrasyonlarından büyük ya da yaklaşık eşit olan yüzey sularındaki yüksek SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> konsantrasyonları genellikle yüzeye yakın sular içinden buhar yoğunlaşmasının varlığını gösterir. Sülfat konsantrasyonu, nehir suyunda 11 mg/l, kirlenmemiş yeraltı sularında genellikle 1–250 mg/l ve jeotermal sularda ise maksimum 1000 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

**Silisyum (Si )** : “Silis” anlamı SiO<sub>2</sub> 'dir ve doğal sularda silisyumun (Si) yerine kullanılır ancak SiO<sub>2</sub> hidratlaşmış halde H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> veya Si(OH)<sub>4</sub> şeklindedir. Doğal sularda çözülmüş silisin büyük bir kısmı, silikat minerallerinin kimyasal bozunumundan gelmektedir. Doğal sularda silis miktarı, genellikle 1–30 mg/l

arasındadır. Yüzey sularında ortalama 14 mg/l, yeraltı sularında ise 17 mg/l 'dir. Silisin çözünürlüğünü etkileyen bir diğer neden pH'dır. Silis asit ortamda çok az çözünür. pH'ın yükselmesi ile silisin çözünürlüğü artar, pH, 9'un üzerinde ise silis önemli miktarda çözünür. Si konsantrasyonu, deniz suyunda 0.0017 mg/l, nehir suyunda 0,002 mg/l, kirlenmemiş yeraltı sularında <0,001–0,05 mg/l ve jeotermal sularda ise >12 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

### 5.3 Yeraltı Sularında Bulunan İkincil İyonlar ve İstenmeyen Maddeler

Magmatik ve metamorfik kayalarda, magmatik ve hidrotermal maden yataklarında yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında oluşan elementler duraylı halde bulunurlar. Bu kayalar ve maden yatakları içerisinde hareket eden akışkan, çevresi ile sürekli etkileşim halindedir. Etkileşim süresine ve fizikokimyasal koşullara bağlı olarak elementler toprak ve sulara geçerek yeraltı ve yüzey sularının jeokimyasal özelliklerini değiştirirler.

**Lityum (Li<sup>+</sup>)** : Magnezyum gibi ikincil alterasyon minerallerine kolaylıkla katılabilir olduğundan, jeotermal suyun artan yatay yöndeki hareketi ile konsantrasyonunda azalmaya neden olarak yüzeye ulaştığında rezervuar konsantrasyonundan farklı değerlere sahip olur. Li<sup>+</sup> konsantrasyonu, nehir suyunda 0,003 mg/l, kirlenmemiş yeraltı sularında genellikle 0,01–0,5 mg/l, deniz suyunda 0,17 mg/l ve jeotermal sularda ise maksimum 25 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

**Krom (Cr)** : Krom magmatik kayalarda minör bileşen olarak özellikle bazik ve ultrabazik kayalarda bulunur. Doğada oksitlenmiş ortamlarda, çoğunlukla Fe<sup>+3</sup> ve Al<sup>+3</sup> mineralleri ile birlikte daha çok Cr<sup>+6</sup> ve Cr<sup>+3</sup> değerliklerinde gözlenmektedir. En önemli minerali kromittir (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Kıtasal kabuk kayalarında 185 ppm krom bulunur (Hitchon ve diğer., 1999). Kayaların ayrışması esnasında kil ve kumlarla birlikte taşınır. Doğal sularda çok az çözünen krom yüzey sularında ortalama  $1 \times 10^{-3}$  mg/l kadar bulunabilir (Şahinci, 1991). Sulardaki krom içeriği volkanik kayalardan bazalt ve ultramafik kayalarda çoğunlukla bulunur. Sedimanter kayalarda ise bolluk oranı en yüksektir. Endüstriyel kullanımlardan ve tarımsal kaynaklı da gözlenmektedir. Krom, deniz suyunda 0,0003 mg/l, kirlenmemiş yeraltı suyunda

0,001-1,0 mg/l ve maksimum <10 mg/l ve termal sularda >400 mg/l'dir (Hitchon ve diğ er., 1999).

**Mangan (Mn<sup>+2</sup>)** : Kimyasal davranışları demire benzer ve minerallerin yapısında çoğ unlukla demir ile beraber bulunur. Yerkabuğ unda 1000 ppm kadar bulunan manganezin 171 minerali bulunmakla beraber en önemli mineralleri hausmanit, braunit, pyrolusit, manganit, vernadit, pisilomelan, rodokrozit, manganokalsit ve laurittir. Manganezin ç özünür lüğ ünü geniş ölçüde Eh-pH etkiler. Asidik ve hafif alkali sularda Mn<sup>+2</sup>, alkali ortamlarda Mn<sup>+4</sup> iyonu şeklinde bulunur. Yeraltı sularında 200 mg/l'den az bulunur (Ş ahinci, 1991). Yüksek mangan içeren yeraltı sularının çoğ u termal kaynaklıdır (Hem, 1985).

**Demir (Fe)** : Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçlardaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunan bir elementtir. Piroksen, amfibol, biyotit, magnetit ve olivinlerde demir içeriğ i oldukça yüksektir. Sedimanter kayaçlarda hematit, magnetit ve götit mineralleri şeklinde görülür. Artıca kükürt cevherlerinde ve kömür damarlarında demir sülf it olarak bulunur (Hem, 1985). Yüzey ve yeraltı sularında bulunan demir; kayaçlardan, endüstriyel atıklardan, kömür küllerinden, kömür yatakları drenaj sularından, asidik madenlerin drenaj sularından, madencilik endüstrisi atıklarından, çeş itli alanlarda kullanılan demir ve ç elik malzemenin korozyonundan kaynaklanır. Demir sularda Fe<sup>+2</sup> (ferri) ve Fe<sup>+3</sup> (ferro) şeklinde bulunur. Sularda bulunan demir, çoğ unlukla 2 değ erli demirin oksidasyonu ile 3 değ erli hale geç miş şekildedir. Suda değ iş ik şekillerde bulunan demir miktarı, analiz sonucunda, toplam olarak mg/l cinsinden verilir. Yeraltı sularında 0,5 mg/l 'den fazla demir bulunması, sondaj kuyularındaki filtrelerin ve su borularının tıkanmasına sebep olur. Demirin deniz suyundaki konsantrasyonu 6x10<sup>-5</sup> mg/l, kirlenmemiş yeraltı suyunda 0,01-1,0 mg/l, maksimum 8000 mg/l ve termal sularda >20 mg/l'dir (Hitchon ve diğ er., 1999).

**Brom (Br<sup>-</sup>)** : Deniz suları 67 mg/l ve doğ al tuzlu sular 100–1000 mg/l Br<sup>-</sup> iç erir. Jeotermal sularda Br<sup>-</sup> genel olarak düş üktür. Ancak jeotermal sulara deniz suyu



karışımı olduğunda  $\text{Br}^-$  oranı yükselir.  $\text{Br}/\text{Cl}$  ve  $\text{Br}/\text{I}$  oranı sulara deniz suyu karışımı olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılan iyi bir göstergedir (Nicholson, 1993).

**Bakır (Cu) :**Yerkabuğundaki kayalarda nabit bakır, bakır sülfürler (kalkopirit, kalkozin) ve karbonat mineralleri (malahit, azurit) halinde bulunur. Bununla birlikte bakır minerallerinin çözünürlükleri düşük olduğundan sulardaki bakır miktarının çok az kısmı doğal kökenlidir. (Hem, 1985). Bakır deniz suyunda  $3 \times 10^{-4}$  mg/l, yeraltı sularında  $<0,001-0,1$  mg/l ve termal sulara  $\sim 0,05$  mg/l'dir (Hitchon ve diğer., 1999).

**Çinko (Zn) :** Kıtasal kabukta ortalama 80 ppm kadar çinko bulunur. En önemli minerali çinkoblend ve simitsonit'tir. İlksel silikat ve oksitlerin yapısında izlenen çinko, bu minerallerin kimyasal bozunumu ile suda iyonlaşır. Çinko sülfitlerin kimyasal bozunumu oksitlenme tarafından kontrol edilir. Sülfitlerin yıkanması sonucu ortaya çıkan asit maden suları demir çelik sanayi ve diğer endüstriyel artıkların, kömür ve kül tozlarının yüzey sularına karışması sonucu yüzey ve yeraltı sularında çinko konsantrasyonunun artmasına sebep olur (Şahinci, 1991). Çinko konsantrasyonu deniz suyunda  $4 \times 10^{-4}$  mg/l, kirlenmemiş yeraltı suyunda  $0,001-0,1$  mg/l, maksimum  $\sim 30$  mg/l ve termal sulara  $>0,1$  mg/l'dir (Hitchon ve diğer., 1999).

**Kadmiyum (Cd) :** Doğada kadmiyum yalnızca bileşikler halinde bulunur ve bazı durumlarda diğer bir kısım elementlerin yerini alır. Kadmiyum mineralleri genellikle çinko yataklarının bozunumundan ortaya çıkan kadmiyum iyonları tarafından oluşturulur. Kadmiyumun kimyası çinkoya benzer bu nedenle çoğu kez sfalerit kadmiyum içerir (Şahinci, 1991). Örneğin KB Sardunya'da, Montevecchio kurşun-çinko yatağında kirlenmiş yüzey sularında kadmiyum konsantrasyonu  $0,06 - 1,05$  mg/l ve Kolerado epitermal altın yatağındaki yeraltı suyunda  $4,4$  mg/l olarak ölçülmüştür. Kadmiyum konsantrasyonu deniz suyunda  $8 \times 10^{-5}$  mg/l, nehir suyunda  $1 \times 10^{-5}$  mg/l, kirlenmemiş yeraltı suyunda  $<0,0001-0,005$  mg/l, ve dünya üzerinde ölçülmüş olan değerlere bakıldığında maksimum  $3$  mg/l'dir (Hitchon ve diğer., 1999).

**Kurşun (Pb) :** Kurşun  $Pb^{+2}$  ve  $Pb^{+4}$  değerlikli olup en sık rastlanan ve duyarlı olan  $Pb^{+2}$ 'dir. Başlıca minerali galen olup doğada metal olarak bulunabilir. Magmatik ve metamorfik kayalarda özellikle potasyumlu feldspat ve mikalarda daha fazla bulunur.

**Civa (Hg) :** Civa ve bileşikleri kayalardan, endüstriyel kaynaklardan ve tohumlarda kullanılan ilaçlardan sulara karışmaktadır. Civanın  $Hg^{+1}$  ve  $Hg^{+2}$  halinde çeşitli bileşikleri vardır. Başlıca civa bileşikleri,  $Hg_2Cl_2$ ,  $HgCl_2$ ,  $HgSO_4$ ,  $(CH_3)_2Hg$ ,  $Hg(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ ,  $HgO$ ,  $HgS$ ,  $Hg(CN)_2$ ,  $Hg(SCN)_2$ 'dir. Dimetil civa,  $(CH_3)_2Hg$  ve mono metil civa,  $CH_3Hg^+$  diğer civa bileşiklerine göre çok daha zehirli ve zararlıdır. Mono metil civa suda çözünebilir yapıdadır. Dimetil civa ise suda çözünmez fakat uçucu özelliğe sahiptir. Dimetil civaya dönüşümü mono metil civaya göre çok çok yavaştır. Düşük pH şartları su ortamlarında  $Hg^{+2}$  nin metil civaya dönüşümünü hızlandırır. Düşük pH şartlarında dimetil civa yerine daha fazla mono metil civa oluşur. Güçlü kimyasal duyarlılığı, kolay soğurulması, yüksek zehirleyici etkisi ve çok yavaş salgılanması nedeniyle, metil civa suda yaşayan canlılar için çok zararlıdır. Metil civa ( $CH_3Hg$ ), civadan 25 kez daha zehirlidir. Yer kabuğunda ve hemen hemen tüm magmatik kayalarda benzer miktarlarda bulunur. Bazı çinko ve altın- kuvars damarlarında (kobalt tipi) boldur. Civa konsantrasyonu deniz suyunda  $2 \times 10^{-6}$  mg/l ve nehir suyunda  $1 \times 10^{-5}$  mg/l'dir (Hitchon ve diğer., 1999).

**Antimon (Sb) :** Antimonun birçok minerali hidrotermal damarlarda ve bunların oksitleşme zonlarında bulunur. Arsenikle her ortamda karışarak arsenik-antimon alaşımlarını oluştururlar. Toksik bir element olup içme sularında istenmeyen elementlerdendir (Şahinci, 1991).

**İyot (I) :** İyot uçucu bir element olup, okyanus suyu kaynaklı iyot atmosferde çevrim halindedir. Yüksek seviyelerdeki iyot içeriği organik maddelerce zengin sedimanter kayalar ile ilişkilidir (Nicholson, 1993). Deniz suyu ve yeraltı sularında  $I^-$  ve  $IO_3^-$  şeklinde bulunur. Deniz suyunda 0,056 mg/l, nehir suyunda 0,007 mg/l, yeraltı sularında maksimum 130 mg/l ve termal sularda 16 mg/l'dir (Hitchon ve diğer., 1999).

**Alüminyum ( $Al^{+3}$ )** : Yeraltı sularında doğal süzülme nedeniyle, alüminyum oldukça azdır. Alüminyum yer kabuğunda önemli miktarlarda bulunmasına karşın; az çözünmesi nedeniyle, yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. pH, 5–9 aralığında ise alüminyum, sularda 1 mg/l'den azdır. Genellikle, yeraltı sularında 0,005 – 0,3 mg/l arasında alüminyum izlenir; asit sularda, bu değer 100 mg/l'ye erişebilir. Açık denizlerde ise alüminyum miktarı 0,001 mg/l kadardır (Tarcan 2003).

**Bor ( $B^{+3}$ )** : Gerek yeraltı suları, gerekse termal sistemler, yüzeye önemli oranda bor taşırlar. Jeotermal sistemlerde  $B^{+3}$  ve  $Cl^-$  genellikle suların kökenini ve sistemler içinde farklı rezervuarlar arasındaki karışımı belirlemek amacıyla kullanılır (Truesdell, 1976; Arnorsson, 1985; Arnorsson ve Andrésdóttir, 1995; Yaman 2006). Her iki elementin de mutlak ve göreceli oranları değişkenlik sunar. Bu nedenle farklı rezervuarlar, karakteristik  $Cl^-/B^{+3}$  oranlarına sahiptir. Deniz suları, yüksek  $Cl^-/B^{+3}$ ; magmatik uçucular, düşük  $Cl^-/B^{+3}$ ; bazaltların yıkanması (leaching) ile oluşan sular orta  $Cl^-/B^{+3}$  ve yüzey suları değişken ancak genellikle yüksek  $Cl^-/B^{+3}$  olarak tanımlanır (Aggarwal vd., 2000).  $Cl^-$  ve  $B^{+3}$  jeotermal sularda çözünürlüğü yüksek olan elementlerdir.  $Cl^-$  ve  $B^{+3}$  özellikle  $>100$  °C'nin üstündeki jeotermal sularda, ikincil mineral olarak yer alabilirler (Ellis ve Mahon, 1964). Düşük sıcaklıklarda  $B^{+3}$  absorpsiyon yolu ile kil minerallerinden veya ikincil minerallerden taşınabilir (Keren ve Mezuman, 1981; Seyfried ve diğer., 1984). Arnorsson ve Andrésdóttir (1995) yüksek sıcaklıktaki jeotermal sistemlerde düşük  $Cl^-/B^{+3}$  oranını magmatik uçucuların girişimi ya da faz ayrımı ile açıklar. Borun deniz suyundaki konsantrasyonu 4,5 mg/l, nehir suyunda 0,01 mg/l, kirlenmemiş yeraltı suyunda 0,05–1 mg/l, maksimum 200 mg/l, termal sularda ~300 mg/l'dir.

**Arsenik (As)** : Arsenik kalkofil bir element olup hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni, Co gibi elementlerle, Ni-Co sülfid yataklarında, bazı uranyum damarlarında bakırlı şeyl ve kumtaşlarında, fosfatlı kayalarda ve oksitlerde izlenir (Şahinci, 1991). Çok zehirli olan arsenik elementinin içme ve kullanma sularında bulunması istenmez. Yeraltı sularında yüksek arsenik konsantrasyonunun en önemli nedeni fillosilikat, demiroksit ve sülfid minerallerinden ayrılan arseniktir (Pal ve diğer, 2002). Arsenik, deniz suyunda  $17 \times 10^{-4}$  mg/l, nehir suyunda 0,002 mg/l, yeraltı

sularında <0,001-0,05, maksimum 100mg/l ve termal sularda >12 mg/l'dir (Hitchon ve diğeri., 1999).

#### **5.4 Kimyasal Analiz Sonuçlarının Hidrojeokimyasal Değerlendirmesi**

Bu çalışma kapsamında inceleme alanı ve çevresindeki termal sulardan, yüzey sularından ve soğuk yeraltı sularından yağışlı ve kurak dönemde olmak üzere toplam 80 adet örneğin su kimyası analizi yapılmıştır. Çalışma alanında örnekleme yapılan su noktalarının yeri toplu olarak Şekil 5.1'de verilmiştir. Suların majör kimyasal analiz sonuçları Tablo 5.1, Tablo 5.2 ve Tablo 5.4 ve minör kimyasal analiz sonuçları Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'da verilmiştir. Bazı hidrojeokimyasal değerlendirmeler her jeotermal alan için ayrı ayrı incelenmiştir.

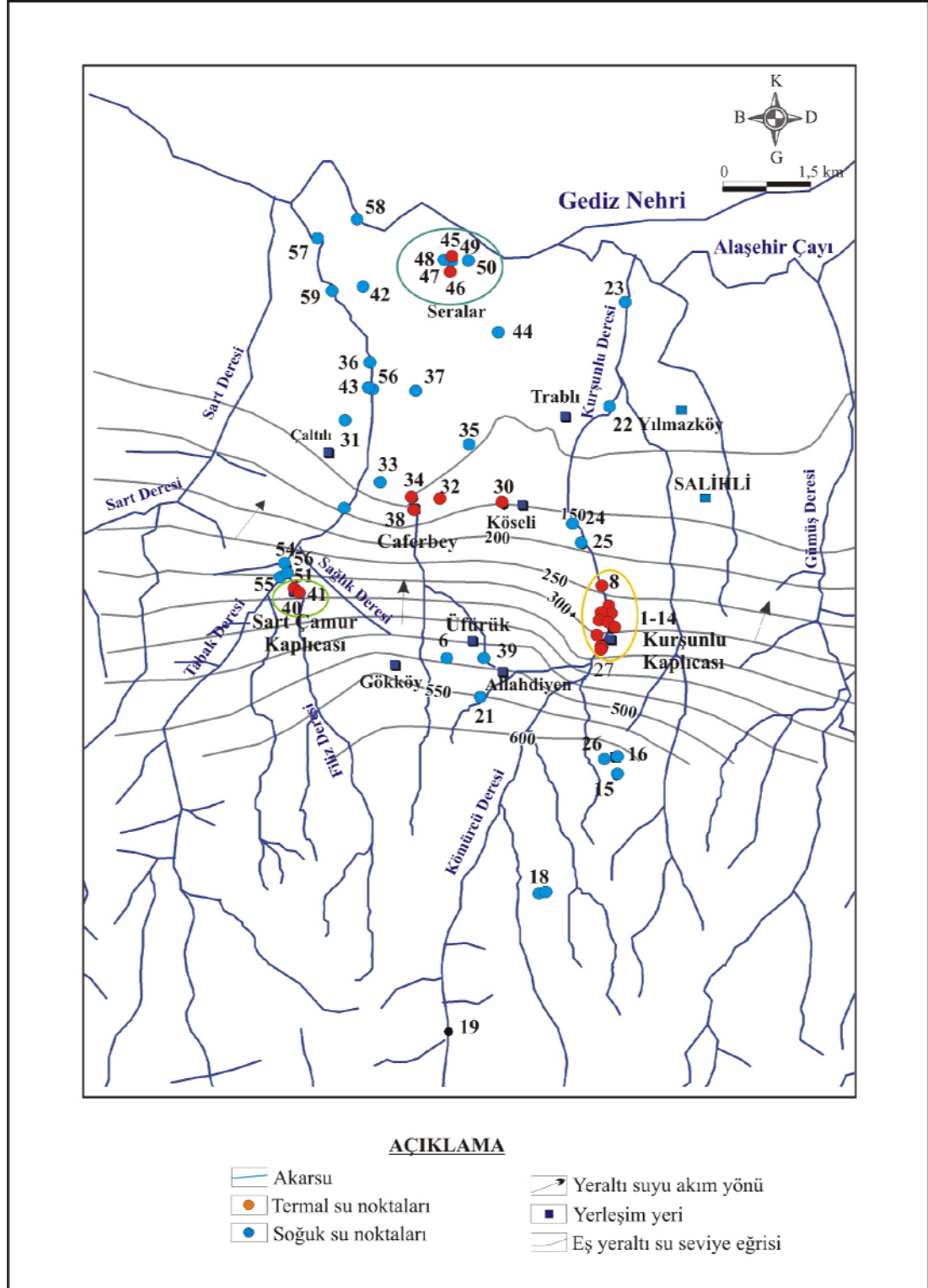
##### **5.4.1 Hidrojeokimyasal Sınıflandırma**

###### *5.4.1.1 Suların Hidrojeokimyasal Fasiyes Kavramına Göre Sınıflaması*

Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki izdüşüm yerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/l cinsinden %50 den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. İncelemeye konu olan sudaki kimyasal karakteristiklerin en iyi şekilde temsil edilebilmesi için yüzde kategorileri uygun şekilde seçilmelidir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (International Association of Hydrogeologists, IAH) Sıcak ve Mineralli Sular Komisyonu'nun çalışma raporunda belirtilen sınıflamada ise mek/l cinsinden olmak üzere suda % 20' den fazla çözünmüş bulunan iyonlar (anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere) su tipini belirtmektedir (IAH, 1979; Başkan ve Canik, 1984; Tarcan 2003). Sınıflama, önce katyonlar sonra anyonlar sırasıyla yazılarak yapılır. İnceleme alanındaki suların hidrokimyasal

fasiyes kavramına göre sınıflamasında IAH (1979) sınıflaması dikkate alınmıştır (Tablo 5.6, Tablo 5.7, Tablo 5.8 ve Tablo 5.9).



Şekil 5.1 İnceleme alanındaki su noktalarının yeri.

Tablo 5.1 Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki jeotermal kuyuların majör kimyasal analiz sonuçları (örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır).

No	Örnekleme Yeri	Tarih	Sıcaklık °C	pH	EC uS/cm	K mg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	H <sub>2</sub> S mg/l
1	K-1 kuyusu (reenj.)	29.09.2006	39	7,25	2230	49,71	407,33	83,19	16,48	0,03	77	80,89	1403,4	231,05	28,70
	K-1 inhibitörsüz	13.02.2008	31,6	7,05	2160	53,29	378,49	79,24	14,43	0,06	123	146,80	1183,7	90,13	146,8
	K-1 inhibitörlü	13.02.2008	36,8	6,54	2010	46,40	332,1	89,50	15,82	0,04	129	134,82	1088,1	78,38	134,82
2	K-2 kuyusu	29.09.2006	44,5	7,91	2630	84,42	660,22	46,82	13,92	0,03	125	68,90	1339,9	322,11	24,45
	K-2 inhibitörsüz	13.02.2008	59,3	7,64	2200	53,87	391,57	62,94	13,44	0,02	71	167,78	1195,9	86,58	167,78
	K-2 inhibitörlü	13.02.2008	65,3	7,23	2110	54,47	400,98	64,34	13,50	0,02	72	134,82	1141,0	85,71	134,82
3	K-4 kuyusu	29.09.2006	34	6,44	1705	18,68	167,11	182,25	35,09	0,17	38	182,76	1310,6	99,65	64,84
	K-4 kuyusu	30.08.2007	41,5	6,18	1757	25,19	203,33	169,73	33,98	0,12	41	166,58	1460,7	105,45	61,65
4	K-5 kuyusu	30.08.2007	54,9	6,59	2270	51,07	388,89	96,46	18,73	0,05	65	86,16	1460,7	187,21	31,89
	K-5 kuyusu	29.09.2006	27,9	6,45	1909	38,57	306,55	84,27	17,17	0,11	64	68,90	1451,0	205,79	20,19
	K-5 inhibitörsüz	13.02.2008	42,6	7,83	2070	47,90	341,25	104,33	18,10	0,03	65	137,82	1206,9	84,16	137,82
	K-5 inhibitörlü	13.02.2008	57,2	7,4	2080	50,27	355,19	106,12	19,15	0,03	67	140,81	1232,5	84,01	140,81
5	K-6 kuyusu	30.08.2007	64,9	6,62	2130	51,78	422,93	43,37	5,16	0,06	61	28,72	1328,9	160,99	10,63
6	K-7 kuyusu	12.09.2008	56,3	6,71	2680	73,93	540,74	48,40	9,35	0,04	92	25,85	1701,1	282,15	9,57
7	K-8 kuyusu	12.09.2008	57	6,67	1967	31,20	241,87	191,40	37,50	0,11	53	140,73	1249,6	104,91	52,09
8	K-11 kuyusu	29.09.2006	42,3	7,4	2210	51,05	423,21	84,90	16,33	39,32	78	77,89	1028,7	224,50	27,64
	K-11 inhibitörsüz	13.02.2008	55	7,3	2200	51,33	359,52	86,81	16,47	0,88	68	155,79	1244,7	87,22	155,79
	K-11 inhibitörlü	13.02.2008	60,2	7,44	2170	54,16	385,94	89,72	16,59	0,03	69	155,79	1245,7	91,71	155,79
9	K-12 kuyusu	29.09.2006	46	6,86	2220	51,10	408,90	82,75	18,63	0,05	77	77,89	1305,7	217,41	27,64
	K-12 inhibitörsüz	13.02.2008	51,1	7,69	2160	52,13	379,4	84,65	16,05	0,03	63	131,82	1060,5	85,95	131,82
	K-12 inhibitörlü	13.02.2008	55,4	7,84	2140	53,54	382,42	90,92	16,50	0,02	69	143,81	1206,9	89,32	143,81
10	K-15 kuyusu	29.09.2006	38,6	6,52	2610	82,14	639,90	31,34	7,86	0,12	130	26,96	1684,0	396,06	9,57
	K-15 inhibitörsüz	13.02.2008	63,5	7,66	2330	62,85	443,26	69,82	12,79	0,03	81	155,79	1326,5	106,78	155,79
	K-15 inhibitörlü	13.02.2008	53,3	7,94	2370	63,18	447,69	69,64	12,83	0,03	78	155,79	1294,6	107,90	155,79
11	K-16 kuyusu	30.08.2007	63,2	6,55	2100	49,92	388,85	7,12	13,04	0,55	56	54,57	1344,8	137,45	20,20
12	K-18 kuyusu	29.09.2006	43,6	7,74	2730	91,49	658,57	62,39	10,56	0,04	129	68,91	1706,0	381,51	24,45
13	K-19 inhibitörsüz	13.02.2008	35,1	7,34	2010	47,68	340,24	97,92	17,42	0,03	65	143,81	1161,9	82,72	143,81
	K-19 inhibitörlü	13.02.2008	47,8	7,6	2040	48,03	349,26	99,39	17,46	0,03	64	140,81	1153,2	81,97	140,81
14	K-20 kuyusu	12.09.2008	52	6,74	2730	51,29	518,59	101,36	22,52	0,261	60	11,49	1814,6	148,37	4,25

Tablo 5.2 Kurşunlu Jeotermal Alanı mineral suları ile çevresindeki soğuk yeraltı ve yüzey sularının kimyasal analiz sonuçları (örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır).

Örnek No	Örnekleme Yeri	Tarih	Sıcaklık °C	pH	EC uS/cm	K mg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	H <sub>2</sub> S mg/l
15	Kocapınar kuyu	16.11.2006	13,1	7,95	235	1,75	5,49	32,56	4,87	0,001	4	38,95	112,3	17,45	13,82
		12.09.2008	15,6	8,82	229	1,62	4,44	38,34	5,13	1,030	3	26,96	111,0	13,99	9,57
16	Bahçecik kuyu	16.11.2006	13,2	7,98	198	1,74	5,06	32,52	4,34	0,002	5	26,96	97,6	15,16	9,57
17	Bahçecik kuyu	16.11.2006	14	6,41	422	3,76	10,22	63,43	14,10	0,002	11	92,87	85,4	21,26	32,95
18	Kırkoluk çeşmesi	30.11.2006	10,9	6,72	190	0,73	3,58	31,53	4,94	0,001	5	23,97	101,3	11,28	8,50
		12.09.2008	14,1	8,97	197	0,65	3,36	35,08	5,15	1,130	3	17,98	118,4	9,61	6,38
19	Kömürcü dere	30.11.2006	8,7	8,7	234	3,54	11,00	26,30	8,65	0,008	9	40,94	100,1	20,51	14,88
		12.09.2008	18,9	8,95	366	2,40	7,59	29,41	9,20	0,005	5	29,96	85,4	13,36	10,60
20	Bozdağ yolu dere	30.11.2006	10,5	5,76	183	1,91	10,77	16,40	6,23	0,003	10	32,95	36,6	28,67	11,69
21	Lokanta kuyu	30.11.2006	13,2	7,06	406	1,63	8,41	64,31	6,12	0,001	7	50,93	108,6	17,28	18,07
		12.09.2008	15,7	7,1	400	1,71	8,32	84,40	6,96	0,810	5	47,93	101,3	17,32	16,06
22	Kursunlu Deresi	15.03.2007	10,4	8,36	428	5,31	37,84	46,75	8,70	7,760	50	56,92	231,9	23,23	2,19
23	Kursunlu Deresi	15.03.2007	10,4	9,64	382	4,49	40,63	40,03	7,92	4,080	30	59,92	170,8	8,82	21,26
24	Kursunlu Deresi	15.03.2007	9,8	7,81	438	5,38	38,73	46,03	8,53	4,950	22	56,92	158,6	23,71	20,20
25	Kursunlu Deresi	15.03.2007	9,3	6,97	405	4,64	33,17	45,17	8,05	0,016	16	47,93	115,9	22,39	17,01
26	Bahçecik kuyu	12.09.2008	15,9	7,92	367	1,99	8,37	65,48	10,24	0,524	7	23,97	156,0	14,12	8,50
27	Kurşunlu mineral su	12.09.2008	26	6,71	1906	5,186	20,45	388,24	63,19	0,31	20	284,33	1037,3	29,82	105,24
28	Kurşunlu Deresi	02.08.2007	23,7	7,8	664	7,67	34,41	93,58	13,06	0,057	8	77,54	109,8	26,06	28,70
29	Kurşunlu kaynak	27.03.2008	15,5	6,3	1378	4,84	37,33	205,45	72,51	0,338	126	387,72	543,0	32,49	143,51
30	Gülнар kooperatifi	18.09.2008	29,8	5,9	926	12,42	60,20	110,19	33,75	0,816	34	37,34	543,0	38,25	13,82

Tablo 5.3 Sart, Caferbey ve Üfürük jeotermal alanlarındaki suların majör kimyasal analiz sonuçları (örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır; \*Karamanderesi, 1997'den alınmıştır).

Örnek No	Örnekleme Yeri	Tarih	Sıcaklık °C	pH	EC uS/cm	K mg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	H <sub>2</sub> S mg/l
31	Kiremit Fabrikası	23.02.2007	14,7	7,63	736	4,42	36,92	102,14	17,95	1,43	18	83,88	412,5	20,81	29,76
32	Caferbey kuyu	02.08.2007	31,1	6,66	1381	5,907	66,52	196,90	98,30	3,10	33	107,84	1031,2	50,74	38,26
33	Caferbey kuyu	23.02.2007	19,7	6,95	928	4,59	36,03	119,20	45,03	4,78	30	164,76	411,9	28,37	58,46
34	Caferbey kuyu	23.02.2007	27,4	6,65	1220	5,36	52,98	132,47	62,47	1,05	51	86,88	602,8	32,05	30,82
		02.08.2007	27,5	7,10	1180	9,20	47,95	165,35	67,14	0,68	53	92,87	549,1	37,051	32,95
35	Caferbey kuyu	23.02.2007	22,4	6,41	835	6,84	41,52	98,81	40,99	0,80	20	92,87	533,9	34,49	32,95
36	Hasalan, sulama kuyusu	02.08.2007	20,6	7,33	785	3,94	42,93	100,95	27,478	0,12	16	62,912	329,5	23,595	22,32
37	Caferbey kuyu	02.08.2007	22,4	6,94	1054	3,71	52,11	138,92	48,493	2,04	19	71,889	549,1	31,159	25,505
38	*Caferbey-1 kuyusu	1990	90	7,8	2700	70	680	42	6,1	-	115	34	1983	214	-
39	Üfürük mineral suyu	30.11.2006	8,2	5,69	3650	22,23	57,89	808,47	251,11	1,02	62	2387,81	219,7	33,33	847,21
		18.09.2008	22	4,90	3560	11,95	56,72	709,84	249,84	2,80	54	3591,90	20,7	67,47	1274,30
40	Sart kaplıcası kaynak	16.11.2006	40,7	6,61	1575	21,14	164,03	183,77	24,62	0,23	32	65,91	793,2	108,03	23,39
		18.09.2008	43	6,33	1506	24,99	155,30	197,70	24,63	0,29	27	71,90	976,3	98,63	25,51
41	Sart-Çamur atığı	15.03.2007	38	7,8	1282	20,21	152,19	115,75	22,94	0,12	33	69,91	655,9	99,17	22,32
42	Sulama suyu kuyusu	22.05.2008	23,6	6,07	1409	7,32	84,93	207,69	36,56	0,38	18	60,31	256,3	53,00	22,32
43	Sart-Çamur yakını kuyu	22.05.2008	28,3	8,76	399	4,41	35,71	31,93	14,52	0,09	12	51,70	198,9	18,00	19,13
44	Sera yakını sulama kuyusu	22.05.2008	18,1	6,65	471	4,21	31,09	59,69	10,06	0,01	19	60,31	180,6	22,47	22,32
		30.08.2007	21,9	7,44	398	3,17	26,25	45,42	10,32	0,43	12	25,85	228,2	29,00	9,57
45	Sera termal su kuyusu-1	30.08.2007	54	7,54	1991	7,34	494,18	8,69	2,40	0,02	81	209,66	906,7	113,89	77,60
46	Sera termal su kuyusu-2	22.05.2008	36,3	7,75	1963	7,09	461,73	6,18	1,35	0,04	79	209,66	984,8	94,00	77,60
47	Sera sulama kuyusu	30.08.2007	20,5	6,94	506	3,93	31,13	65,55	15,80	0,31	8	17,32	317,3	28,41	6,38
48	Sera yakını sulama kuyusu	30.08.2007	23	399	7,68	2,92	28,78	45,45	9,98	0,65	8	22,98	347,8	32,6	8,50
49	Sera içme suyu kuyusu	22.05.2008	24	7,65	365	3,26	32,98	39,68	8,22	0,85	11	37,34	169,6	35,00	13,82
50	Sulama suyu kuyusu	22.05.2008	23,5	7,46	565	4,18	27,21	69,46	12,81	0,24	28	60,31	214,8	22,00	22,32



Tablo 5.3'ün devamı....

Örnek No	Örnekleme Yeri	Tarih	Sıcaklık °C	pH	EC uS/cm	K mg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	H <sup>2</sup> S mg/l
51	Tabak Deresi şelale	16.11.2006	14,2	6,52	515	4,82	27,93	77,43	14,27	0,02	13	56,92	219,7	28,59	20,20
		18.09.2008	28	8,03	942	13,06	88,39	117,90	22,44	0,02	18	86,88	275,8	63,70	30,82
52	Tabak Deresi	16.11.2006	14,3	8,4	535	6,03	35,62	76,87	14,90	0,03	14	62,91	231,9	30,19	22,45
53	Sağlık Deresi	15.03.2007	13,9	8,22	903	17,40	129,82	49,20	20,04	0,01	32	68,90	463,7	84,06	24,45
54	Tabak Deresi	15.03.2007	12,1	7,85	559	5,34	35,27	71,39	14,13	0,01	13	50,93	256,3	26,67	18,07
55	Tabak Deresi	15.03.2007	12	7,81	541	4,38	28,86	77,81	13,70	0,02	12	50,93	238,0	24,93	18,07
56	Tabak Deresi	15.03.2007	10,7	8,06	457	4,93	35,98	52,86	13,82	0,01	199	119,83	169,6	21,59	42,52
57	Gediz Nehri	22.05.2008	22,4	7,51	589	7,34	49,88	67,25	17,83	0,05	31	83,29	259,9	20,00	30,83
58	Gediz Nehri	22.05.2008	26,8	7,49	1350	23,43	144,37	86,88	28,23	0,32	98	120,62	199,5	25,00	44,65
59	Hasalan GD'su dere	22.05.2008	24,8	7,98	531	5,91	41,95	58,55	15,85	0,07	16	66,06	280,7	21,00	24,45

Tablo 5.4 Kurşunlu jeotermal alanı ve çevresindeki suların ikincil iyon kimyasal analiz sonuçları (örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır).

Örnek No	Örnekleme tarihi	Al ppb	As ppb	B ppb	Br ppb	Cd ppb	Co ppb	Cr ppb	Cu ppb	Fe ppb	Hg ppb	Li ppb	Ni ppb	Pb ppb	Sb ppb	Zn ppb
1	29.09.2006	31	106,2	43771	241	<0,05	0,06	0,6	1,5	267	0,2	2443,5	<0,2	0,3	420,36	3,9
	13.02.2008	82	2208,0	36001	213	<0,05	1,5	5,3	4,3	617	<0,1	3508,1	185,9	1,7	184,86	26,1
	13.02.2008	46	1800,7	31037	195	<0,05	0,45	2,7	3,0	1964	<0,1	2950,5	52,6	0,9	20,76	29,0
2	29.09.2006	46	367,0	60407	432	<0,05	0,10	2,3	2,6	1368	<0,1	5140,6	<2	1,0	356,12	6,9
	13.02.2008	75	2512,6	38350	226	<0,05	0,63	2,3	8,5	312	<0,1	3376,9	100,6	3,4	154,45	19,0
	13.02.2008	25	2317,0	38937	207	<0,05	0,42	0,9	2,2	181	0,1	3542,9	15,4	0,4	93,16	5,4
3	29.09.2006	10	2,9	15716	116	<0,05	0,11	3,0	1,5	24987	<0,1	881,6	1,1	0,1	0,34	2,3
	30.08.2007	69	41,1	19848	120	<0,05	0,27	2,6	4,8	7879	0,1	1377,1	<0,2	0,3	1,85	140,1
4	29.09.2006	39	49,8	29886	212	<0,05	0,11	3,0	1,5	68071	<0,1	1932,4	3,2	0,4	22,64	8,8
	30.08.2007	120	571,8	40220	173	<0,05	0,13	11,3	3,0	1619	<0,1	2615,3	<0,2	0,2	4,73	21,3
	13.02.2008	20	1125,4	34044	217	<0,05	0,21	2,0	3,0	18	0,1	2876,7	13	1,0	126,99	6,1
	13.02.2008	16	1196,3	35259	196	<0,05	0,29	3,5	0,6	<10	<0,1	3108,8	2,4	0,4	11,89	8,6
5	30.08.2007	83	8,6	38533	164	<0,05	0,12	<0,5	2,6	99	<0,1	2857,5	4,3	0,1	39,12	40,7
6	12.09.2007	58	1062,4	57039	240	<0,05	0,1	1,0	2,4	845	0,1	3759,9	0,8	0,4	16,2	372,7
7	12.09.2007	50	49,9	22982	134	<0,05	0,19	0,5	3,4	132	<0,1	1578,4	3,1	<,1	1,88	25,3
8	29.09.2006	41	204,6	44289	266	<0,05	0,06	0,9	1,5	119	0,2	3077,6	<0,2	0,4	314,13	11,5
	13.02.2008	305	1617,9	36268	231	0,16	1,68	12,5	5,2	229	0,1	3264,7	72,1	3,5	224,0	25,9
	13.02.2008	36	1824,6	37314	234	<0,05	0,9	17,4	8,1	543	<0,1	3306,6	144,6	3,0	224,0	13,0
9	29.09.2006	33	83,9	41256	252	<0,05	0,10	1,5	12,6	3915	<0,1	2651,8	4,5	1,9	0,30	30,9
	13.02.2008	45	3455,5	35879	180	<0,05	0,56	57,0	2,4	144	<0,1	3223,6	97,5	1,1	89,28	5,8
	13.02.2008	13	1627,6	37282	201	<0,05	0,22	1,0	2,1	93	<0,1	3233,2	18	0,3	48,89	2,1
10	29.09.2006	153	45,3	61403	420	<0,05	0,59	4,0	5,9	38,8	<0,1	4492,3	9,5	1,3	44,47	9,9
	13.02.2008	22	1726,1	44405	234	<0,05	1,34	1,9	2,4	114	0,1	4024,4	34,7	0,5	35,0	3,4
	13.02.2008	70	2256,7	43474	237	<0,05	2,16	12,4	6,1	282	0,4	3965	253,9	2,2	38,0	8,5
11	30.08.2007	5	694,3	38620	145	<0,05	0,09	28,9	0,4	27	0,3	2285,1	9,8	<0,1	13,57	1,5
12	29.09.2006	214	363,2	62264	413	0,06	0,16	2,1	3,4	1397	<0,1	4534,6	<2	1,5	41,9	9,9

Tablo 5.4'ün devamı...

Örnek No	Örnekleme tarihi	Al ppb	As ppb	B ppb	Br ppb	Cd ppb	Co ppb	Cr ppb	Cu ppb	Fe ppb	Hg ppb	Li ppb	Ni ppb	Pb ppb	Sb ppb	Zn ppb
13	13.02.2008	20	158,7	34183	215	<0,05	0,29	2,7	3,4	149	<0,1	2967,7	48	0,5	26,47	3,8
	13.02.2008	40	150,99	33549	193	<0,05	0,68	2,5	3,7	221	<0,1	2972,4	112,7	1,0	20,36	7,5
14	12.09.2007	46	6,9	35543	171	<0,05	<0,05	0,25	1,1	2	5217	<0,1	2644,5	29,3	0,1	0,46
15	16.11.2006	18	5,0	81	5	<0,05	0,04	0,9	0,9	23	<0,1	2,2	<0,2	0,7	0,21	8,6
	22.05.2008	32	6,1	10	12	<0,05	<0,02	<0,5	1,3	<10	<0,1	1	<0,2	0,6	0,1	4,8
16	16.11.2006	40	4,8	75	11	<0,05	0,06	0,6	4,1	42	<0,1	1,4	<0,2	0,9	0,18	6,6
17	30.11.2006	25	1,0	143	24	<0,05	0,17	0,7	4,6	61	<0,1	7,2	18,0	0,9	0,17	12,6
18	30.11.2006	14	1,5	89	8	<0,05	0,04	<0,5	,8	<10	<0,1	2,1	0,5	0,4	0,28	11,6
	15.09.2008	23	1,8	<5	13	<0,05	<0,02	<0,5	1,6	<10	<0,1	1,3	<0,2	0,4	0,21	10,6
19	30.11.2006	22	1,4	89	21	<0,05	0,19	<0,5	1,6	25	<0,1	1,4	14,0	0,4	0,28	17,7
	22.05.2008	44	3,5	5	17	<0,05	0,04	<0,5	1,2	26	<0,1	1,9	<0,2	0,3	0,3	5,1
20	30.11.2006	14	<0,5	75	16	<0,05	0,08	<0,5	1,2	<10	<0,1	1,6	2,9	0,3	0,08	30,0
21	30.11.2006	19	<0,5	75	10	<0,05	0,05	0,8	2,0	19	<0,1	<0,2	<0,2	0,7	0,11	39,0
	22.05.2008	18	0,8	6	19	<0,05	<0,02	<0,5	1,0	<10	<0,1	3,8	<0,2	0,7	<0,05	10,3
22	15.03.2007	56	87,6	2309	29	<0,05	0,14	1,0	2,9	59	<0,1	203,2	6,9	1,0	61,14	48,8
23	15.03.2007	68	23,1	2321	23	<0,05	0,14	0,9	3,5	59	<0,1	169,6	0,5	1,3	32,0	40,4
24	15.03.2007	57	91,1	2380	25	<0,05	0,10	0,8	2,5	53	<0,1	198,5	<0,2	0,5	68,98	39,4
25	15.03.2007	29	68,4	1870	18	<0,05	0,11	0,6	2,3	69	<0,1	168,1	<0,2	0,3	39,0	49,4
26	22.05.2008	388	6,3	11	24	0,09	1,18	0,7	1,6	875	<0,1	2,5	5,7	3,2	0,14	11,9
27	22.05.2008	7	173,9	141	42	<0,05	0,22	<0,5	11,9	<10	<0,1	29,7	<0,2	<0,1	2,05	16,8
28	02.08.2007	42	5,7	368	22	<0,05	0,33	<0,5	2,7	107	<0,1	220,8	14	<0,1	10,57	18,0
29	27.03.2008	89	35,3	164	69	0,07	1,46	1,5	5,3	6504	0,2	44,8	67,3	0,6	1,45	76,6
30	12.09.2007	87	7,6	853	95	0,56	0,68	0,9	6,7	1146	<0,1	156,1	18,2	0,1	1,76	81,8

Tablo 5.5 Sart, Caferbey ve Üfürük jeotermal alanlarındaki suların ikincil iyon analiz sonuçları (örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır).

Örnek No	Örnekleme tarihi	Al ppb	As ppb	B ppb	Br ppb	Cd ppb	Co ppb	Cr ppb	Cu ppb	Fe ppb	Hg ppb	Li ppb	Ni ppb	Pb ppb	Sb ppb	Zn ppb
31	23.02.2007	10	1,7	1720	37	0,09	0,07	1,8	1,5	<10	<0,1	127,3	<0,2	0,3	0,39	50,8
32	02.08.2007	40	3,5	1048	127	0,1	2,35	<0,5	7,4	44	<0,1	95	0,2	0,6	0,13	44,9
33	23.02.2007	16	3,3	467	51	0,20	0,15	1,7	7,4	43	<0,1	38,3	0,7	0,6	0,35	32,7
34	23.02.2007	22	2,7	504	112	0,27	0,29	1,4	9,5	46	<0,1	63,8	4,3	1,0	0,23	69,8
	02.08.2007	23	1,6	491	109	<0,05	0,24	0,7	7,3	<10	<0,1	78,2	<0,2	0,6	0,13	41,6
35	23.02.2007	21	2,1	1286	44	0,18	0,98	2,2	4,8	95	<0,1	58,6	1,5	1,2	0,19	49,5
36	02.08.2007	25	2,1	1036	48	<0,05	0,12	<0,5	2,5	<10	<0,1	90,9	<0,2	<0,1	0,29	13,4
37	02.08.2007	20	1,4	1251	61	0,08	1,11	<0,5	3,9	49	<0,1	45,8	<0,2	<0,1	0,12	15,4
39	30.11.2006	132	2,1	545	21	0,07	4,2	2,5	6,2	12681	<0,1	73,0	4,3	1,1	<0,5	62,7
	22.05.2008	124	14,9	<50	132	0,56	0,59	12,0	65,8	21207,1	<1	57,2	<2	10,8	2,31	629,6
40	16.11.2006	15	12,8	13954	83	<0,05	0,07	1,7	1,2	<10	<0,1	1014,1	<0,2	1,1	0,19	208,2
	22.05.2008	25	21,2	10592	92	<0,05	<0,02	<0,5	1,4	<10	<0,1	1361,2	<0,2	0,5	<0,05	5,7
41	15.03.2007	95	20,4	13282	79	0,18	0,10	1,9	9,7	31	<0,1	1046,6	<0,2	4,5	0,16	91,8
42	22.05.2008	32	134,2	1463	54	0,07	1,37	0,9	3,2	3725	<0,1	233,9	5,7	<0,1	1,05	510,7
43	22.05.2008	10	8,3	1711	25	<0,05	0,16	<0,5	52,6	<10	<0,1	208,8	6,6	0,4	0,59	43,3
44	30.08.2007	88	2,3	1253	42	<0,05	0,12	<0,5	1,7	133	<0,1	98,6	0,8	<0,1	0,93	8,1
	22.05.2008	105	68,7	1254	33	<0,05	0,22	1,1	1,8	719	<0,1	41,9	18,5	<0,1	0,39	26,2
45	30.08.2007	102	198,8	18354	490	<0,05	0,17	0,5	15,5	781	<0,1	223,3	7,6	0,4	5,77	22,2
46	30.08.2007	73	69,2	18002	464	<0,05	0,14	1,4	1,7	1397	<0,1	220,8	12,5	<0,1	0,61	18,7
47	22.05.2008	41	16,8	1332	28	<0,05	0,44	<0,5	3,4	280	<0,1	40,2	18,6	<0,1	0,10	30,5
48	30.08.2007	70	106,5	1049	27	<0,05	0,23	<0,5	1,1	996	<0,1	36,8	16,4	<0,1	0,14	7,4
49	22.05.2008	27	106,1	997	33	<0,05	0,26	2,3	1,3	392	<0,1	43,3	38,5	<0,1	0,16	42,8
50	22.05.2008	29	4,5	1087	61	<0,05	0,25	<0,5	2,2	<10	<0,1	86,3	0,4	<0,1	2,53	40,6
51	16.11.2006	31	2,5	1185	32	<0,05	0,11	0,5	4,6	53	<0,1	109,1	0,5	1,2	0,51	8,5
	22.05.2008	20	4,9	5962	57	<0,05	<0,02	<0,5	1,0	49	<0,1	722	<0,2	0,4	0,73	4,7
52	16.11.2006	190	4,5	1506	30	<0,05	0,47	0,9	2,9	314	<0,1	147,8	40,9	8,0	0,56	18,8
53	15.03.2007	39	23,0	10676	70	<0,05	0,09	0,7	4,1	35	<0,1	888,0	0,6	0,5	0,40	15,2

Tablo 5.5'in devamı...

<b>Örnek No</b>	<b>Örnekleme tarihi</b>	<b>Al ppb</b>	<b>As ppb</b>	<b>B ppb</b>	<b>Br ppb</b>	<b>Cd ppb</b>	<b>Co ppb</b>	<b>Cr ppb</b>	<b>Cu ppb</b>	<b>Fe ppb</b>	<b>Hg ppb</b>	<b>Li ppb</b>	<b>Ni ppb</b>	<b>Pb ppb</b>	<b>Sb ppb</b>	<b>Zn ppb</b>
54	15.03.2007	48	4,9	1670	23	<0,05	0,09	1,9	2,9	<10	<0,1	171,7	0,8	0,5	0,44	23,3
55	15.03.2007	35	3,5	1292	19	0,06	0,11	0,7	3,1	124	<0,1	128,7	2,5	0,5	0,43	58,2
56	22.05.2008	31	9,6	1518	44	<0,05	0,08	3,1	2,4	54	<0,1	168,2	0,7	0,4	0,50	18,4
57	22.05.2008	63	26,6	1830	64	<0,05	0,49	1,3	8,0	173	<0,1	185,1	56,7	<0,1	2,97	116,6
58	22.05.2008	74	90,4	2156	123	0,07	0,91	14,0	20,8	417	0,1	87,4	64,8	0,5	2,88	143,6
59	22.05.2008	123	26,1	2123	40	<0,05	0,46	1,1	3,3	255	<0,1	194	35,1	<0,1	2,43	43,0

Tablo 5.6 Kurşunlu jeotermal alanındaki termal suların IAH (1979)'ya göre su tipi sınıflaması

No	Örnekleme yeri	Tarih	Su tipi
1	K-1 kuyusu (re-enjeksiyon)	29.09.2006	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-1 inhibitörsüz	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-1 inhibitörlü	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
2	K-2 kuyusu	29.09.2006	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-2 inhibitörsüz	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-2 inhibitörlü	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
3	K-4 kuyusu	29.09.2006	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
	K-4 kuyusu	30.08.2007	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
4	K-5 kuyusu	29.09.2006	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-5 kuyusu	30.08.2007	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-5 inhibitörsüz	13.02.2008	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
	K-5 inhibitörlü	13.02.2008	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
5	K-6 kuyusu	30.08.2007	Na-HCO <sub>3</sub>
6	K-7 kuyusu	12.09.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
8	K-8 kuyusu	12.09.2008	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
8	K-11 kuyusu	29.09.2006	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-11 inhibitörsüz	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-11 inhibitörlü	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
9	K-12 kuyusu	29.09.2006	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-12 inhibitörsüz	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-12 inhibitörlü	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
10	K-15 kuyusu	29.09.2006	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-15 inhibitörsüz	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-15 inhibitörlü	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
12	K-16 kuyusu	30.08.2007	Na-HCO <sub>3</sub>
12	K-18 kuyusu	29.09.2006	Na-HCO <sub>3</sub>
13	K-19 inhibitörsüz	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
	K-19 inhibitörlü	13.02.2008	Na-HCO <sub>3</sub>
14	K-20 kuyusu	12.09.2008	Na-HCO <sub>3</sub>

IAH sınıflamasına göre Kurşunlu jeotermal alanındaki termal suların su tipi incelendiğinde; K-4, K-5 ve K-8 kuyuları Na-Ca-HCO<sub>3</sub> su tipinde, diğer bütün kuyular ise Na-HCO<sub>3</sub> su tipindedir ( Tablo 5.6).

IAH'ye göre, Caferbey jeotermal alanındaki termal sular Na-HCO<sub>3</sub>, Sart jeotermal alanındaki termal sular ise Ca-Na-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Üfürük jeotermal alanındaki sular ise Ca-Mg-SO<sub>4</sub> tipinde olup mineral su özelliğindedirler (Tablo 5.7)

Tablo 5.7 Sart, Caferbey ve Üfürük jeotermal Alanları'ndaki termal ve mineralli suların IAH (1979)'ya göre su tipi sınıflaması (\*Karamanderesi, 1997'den alınmıştır).

No	Örnekleme yeri	Tarih	Su tipi
34	Caferbey kuyu	23.02.2007	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
35	Caferbey kuyu	23.02.2007	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
39	Üfürük kaynak suyu	30.11.2006	Ca-Mg-SO <sub>4</sub>
		17.09.2008	Ca-Mg-SO <sub>4</sub>
38	*Caferbey-1 kuyusu	1990	Na-HCO <sub>3</sub>
40	Sart-Çamur Kaplıcası termal kaynak	18.09.2008	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
		16.11.2006	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
41	Sart-Çamur kaplıca atığı	15.03.2007	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
45	Sera termal su kuyusu-1	30.08.2007	Na-HCO <sub>3</sub>
46	Sera termal su kuyusu-2	22.05.2008	Na-HCO <sub>3</sub>

Bu alanlardaki içme suyu ve sulama suyu amaçlı açılmış kuyulara ait soğuk sular ise baskın katyon olarak Ca<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup> ve Mg<sup>+2</sup>, baskın anyon olarak ise HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> iyonlarını içeren su tipindedirler. Yüzey suları ise genel olarak Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> su tipini yansıtır (Tablo 5.8 ve 5.9).

Tablo 5.8 Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki soğuk yeraltı ve yüzey sularının IAH (1979)'ya göre su tipi sınıflaması

No	Örnekleme yeri	Tarih	Su tipi
42	Sulama kuyusu	22.05.2008	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
30	Gülner koop.	12.09.2007	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
29	Kurşunlu kaynak	27.03.2008	Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
27	Kurşunlu mineral suyu	22.05.2008	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
26	Bahçecik kuyu	13.09.2008	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
15	Kocapınar kuyu	16.11.2006	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
		09.12.2008	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
16	Kocapınar kuyu	16.11.2006	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
17	Bahçecik kuyu	16.11.2006	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
18	Kırkoluk çeşmesi	30.11.2006	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
		14.09.2008	Ca-HCO <sub>3</sub>
19	Kömürcü Dere	30.11.2006	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
		15.09.2008	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
21	Lokanta kuyu	30.11.2006	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
		16.09.2008	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
22	Kurşunlu Deresi	15.03.2007	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
23	Kurşunlu Deresi	15.03.2007	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
24	Kurşunlu Deresi	15.03.2007	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
25	Kurşunlu Deresi	15.03.2007	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
28	Kurşunlu Deresi	02.08.2007	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>

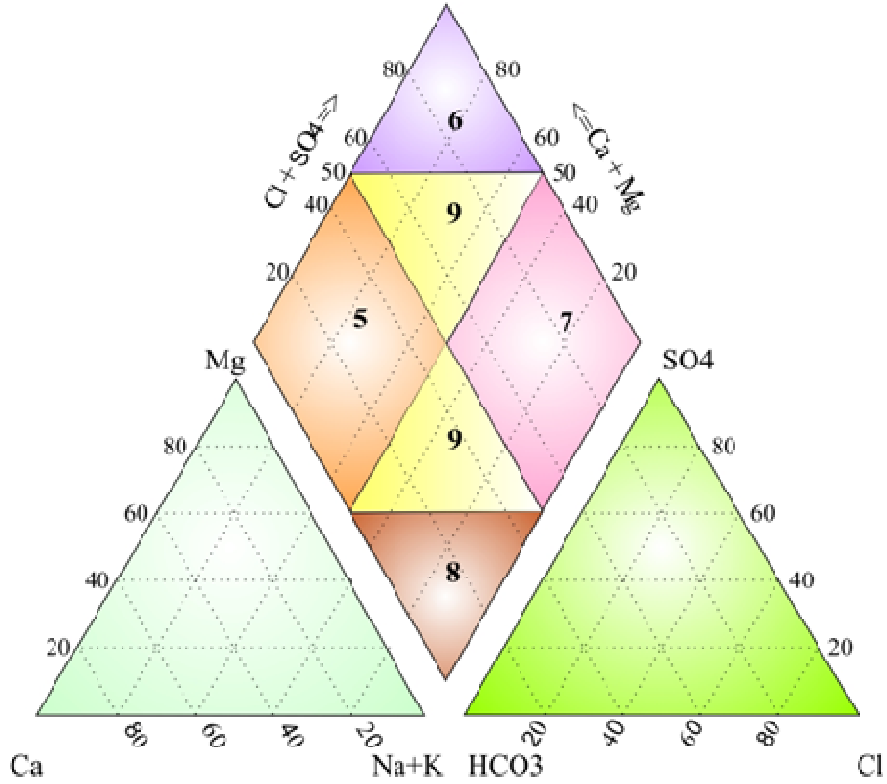


Tablo 5.9 Sart, Caferbey ve Üfürük Jeotermal Alanları'ndaki soğuk yeraltı suyu ve yüzey sularının IAH (1979)'ya göre su tipi sınıflaması

No	Örnekleme yeri	Tarih	Su tipi
20	Bozdağ yolu dere	30.11.2006	Ca-Mg-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
31	Kiremit fabrikası	23.02.2007	Ca-HCO <sub>3</sub>
32	Caferbey kuyu	02.08.2007	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
33	Caferbey kuyu	23.02.2007	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
34	Caferbey kuyu	23.02.2007	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
		02.08.2007	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
35	Caferbey kuyu	23.02.2007	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
36	Hasalan güneyi sulama kuyusu	02.08.2007	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
42	Sulama kuyusu	22.05.2008	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
43	Sart-Çamur yakını kuyu	22.05.2008	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
44	Sera yakını sulama suyu kuyusu	30.08.2007	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
		22.05.2008	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
47	Sera sulama kuyusu	30.08.2007	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
48	Sera yakını sulama kuyusu	30.08.2007	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
50	Soğuk kuyu	22.05.2008	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
51	Tabak Deresi şelale	16.11.2006	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
		19.09.2008	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
52	Tabak Deresi	16.11.2006	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
53	Sağlık Deresi	15.03.2007	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
54	Tabak Deresi	15.03.2007	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
55	Tabak Deresi	15.03.2007	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
56	Tabak Deresi	15.03.2007	Ca-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
57	Gediz Nehri	22.05.2008	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
58	Gediz Nehri	22.05.2008	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
59	Hasalan GD'sundaki dere	22.05.2008	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
49	Sera içme suyu kuyusu	22.05.2008	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>

#### 5.4.1.2 Piper ( Üçgen ) Diyagramı ile Suların Sınıflandırılması

İyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardan biri Piper (Üçgen) diyagramıdır (Piper, 1979). Piper diyagramı anyon ve katyonların (% meq/l cinsinden ) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır (Şekil 5.2). Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır (Şekil.5.2).



Şekil 5.2 Piper Üçgen Diyagramı ve sınıflaması (Piper, 1979).

Üçgenler üzerindeki iki örnek noktasından merkezdeki dörtgene doğru uzatılan çizgilerin kesişim noktası, mojar iyon bileşimini yüzde cinsinden ifade eden noktayı verir. Dörtgen beş ayrı sınıflamaya ayrılmıştır:

5 nolu alan: Karbonat ( $\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^{-}$ ) sertliği %50'den fazla olan sular;

6 nolu alan: Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ );

7 nolu alan: Karbonat olmayan alkalitesi %50'den fazla olan sular,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır.

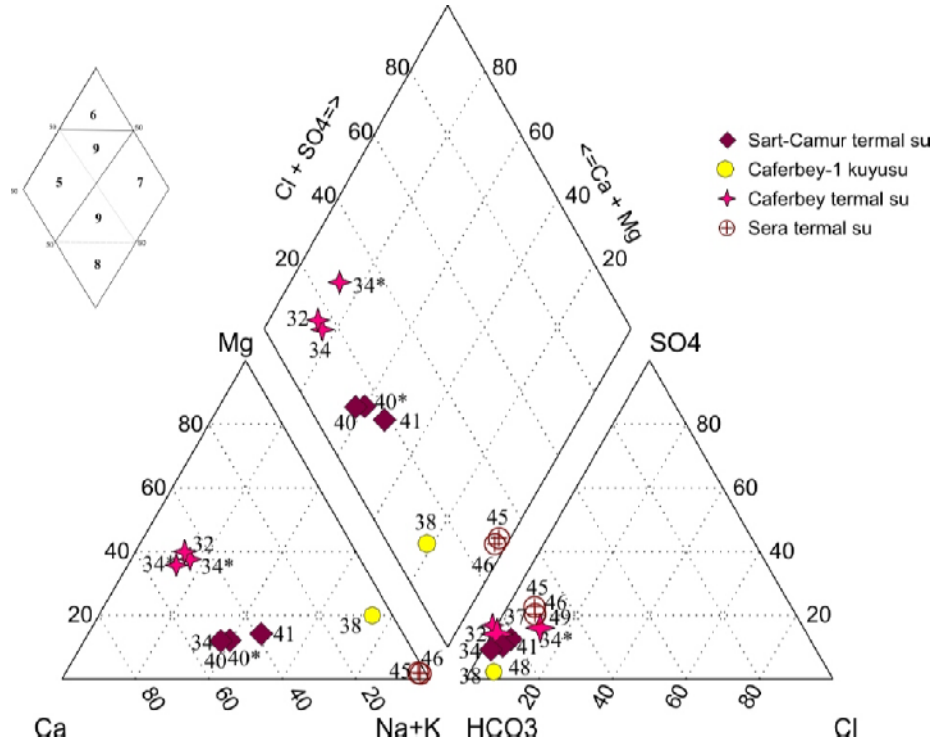
8 nolu alan: Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular;

9 nolu alan: İyonların hiçbirini %50'yi geçmeyen, karışık sular bu arana girer.

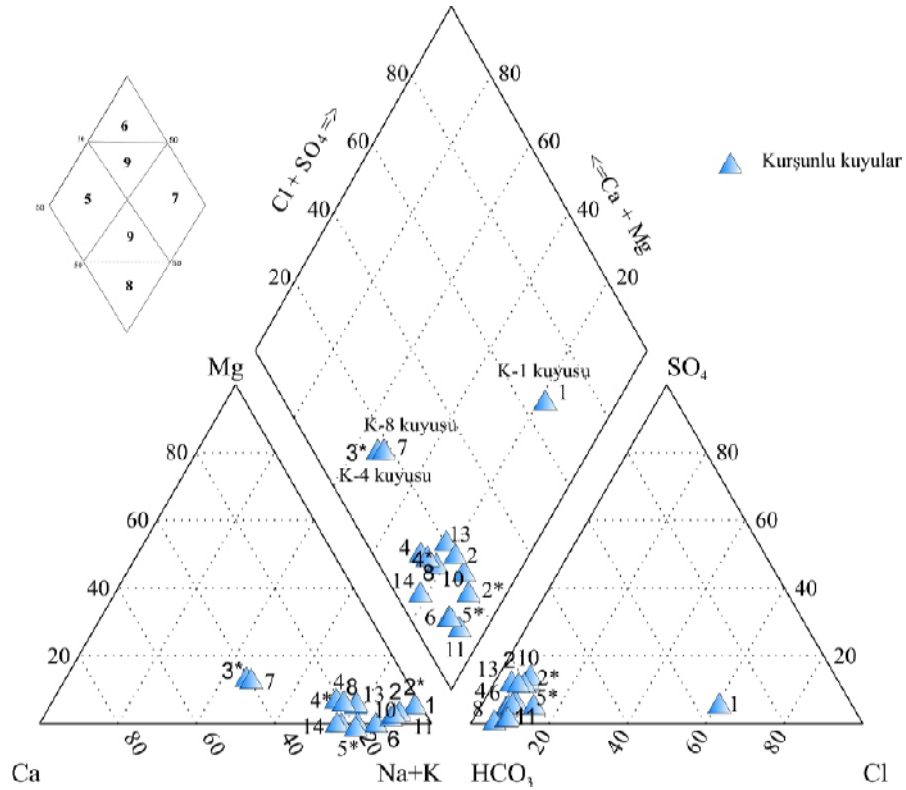
Sart ve Caferbey Jeotermal Alanları'ndaki termal suların Piper Üçgen Diyagramı'ndaki konumları Şekil 5.3'de görülmektedir. Diyagramdaki konumlarına göre termal sular iki gruba ayrılmıştır. Sart-Çamur Kaplıcası termal suları Piper Üçgen Diyagramı'nda karbonat sertliği %50'den fazla olan sular (5 no'lu alan) ile iyonların hiçbirini % 50'yi geçmeyen, karışık suların bulunduğu (9 no'lu) alanda gözlenirler. Caferbey jeotermal alanında açılmış Caferbey-1 derin sondajı ve sera termal suları ise karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular (8 no'lu alan) tipindedir.

Kurşunlu jeotermal alanındaki termal suların Piper Üçgen Diyagramı'ndaki konumlarına bakıldığında ise termal sular genellikle Caferbey-I termal suyu gibi karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular (8 no'lu alan) tipindedir (Şekil 5.4).

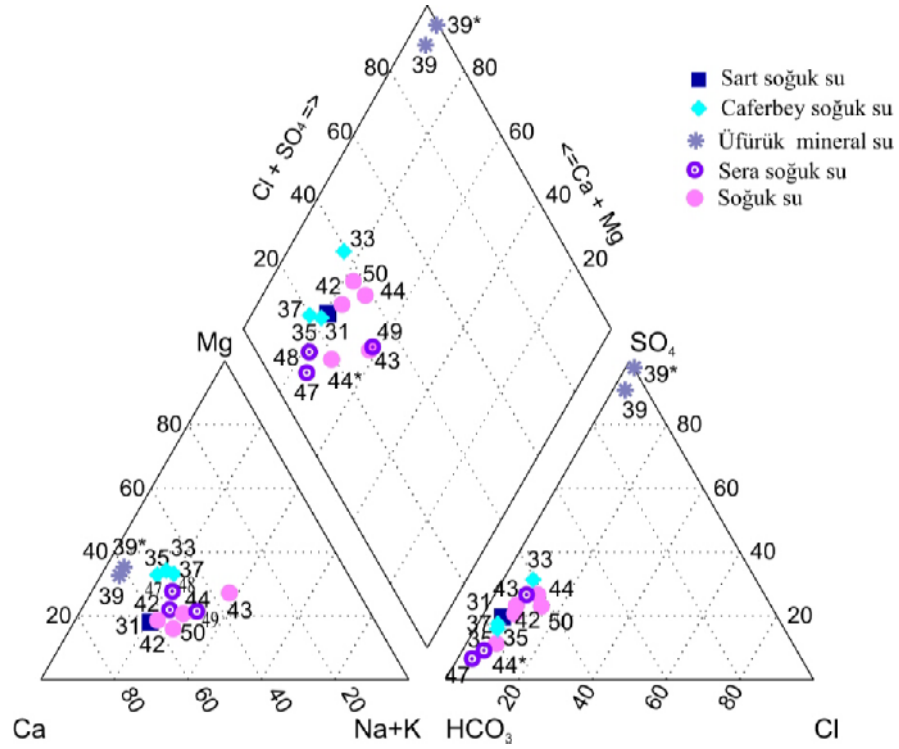
Seçilen soğuk su ve yüzey suyu örnekleri ise pek fazla baskın iyon içermeyen karışık su tipindedirler (Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7). Tüm sular birlikte değerlendirildiğinde ise su-kayaç etkileşiminin bir sonucu olarak gelişen iyon değişimiyle, soğuk sulardan termal sulara doğru  $\text{Ca}^{+2}$  ve/veya  $\text{Mg}^{+2}$ 'daki azalma ve  $\text{Na}^+$  iyonundaki artışa bağlı olarak  $\text{HCO}_3$  zenginleşmesi görülmektedir.



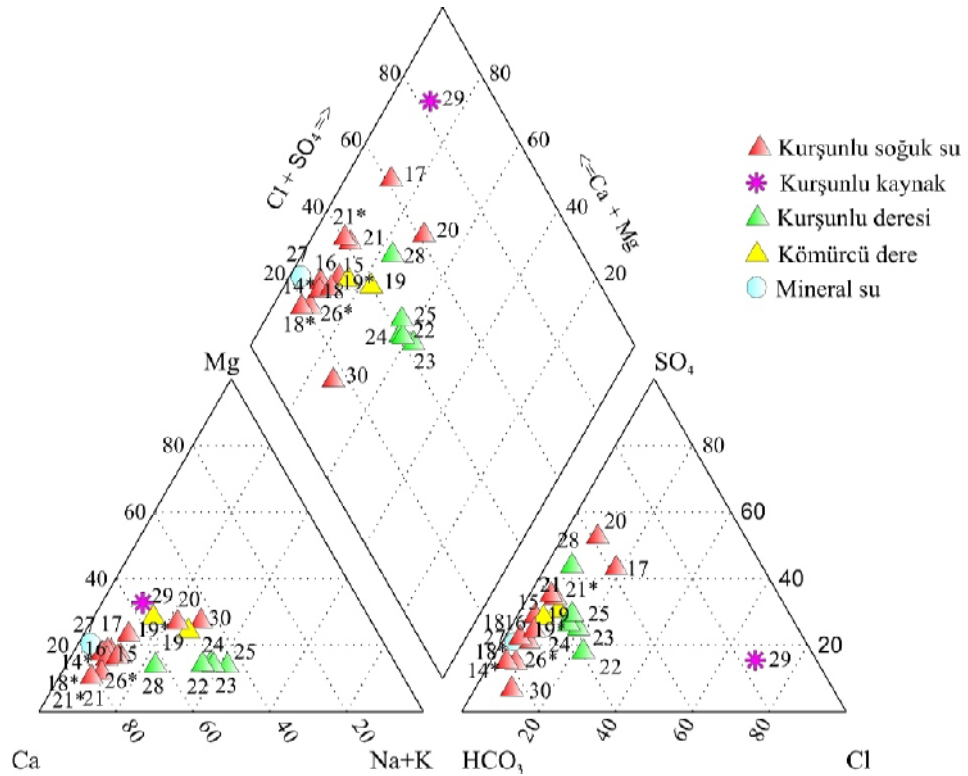
Şekil 5.3 Sart, Caferbey jeotermal alanlarındaki termal suların Piper Üçgen Diyagramı'ndaki konumları (örnek numaraları Tablo 5.2 ile aynıdır; \* kurak dönem örneklemesini göstermektedir).



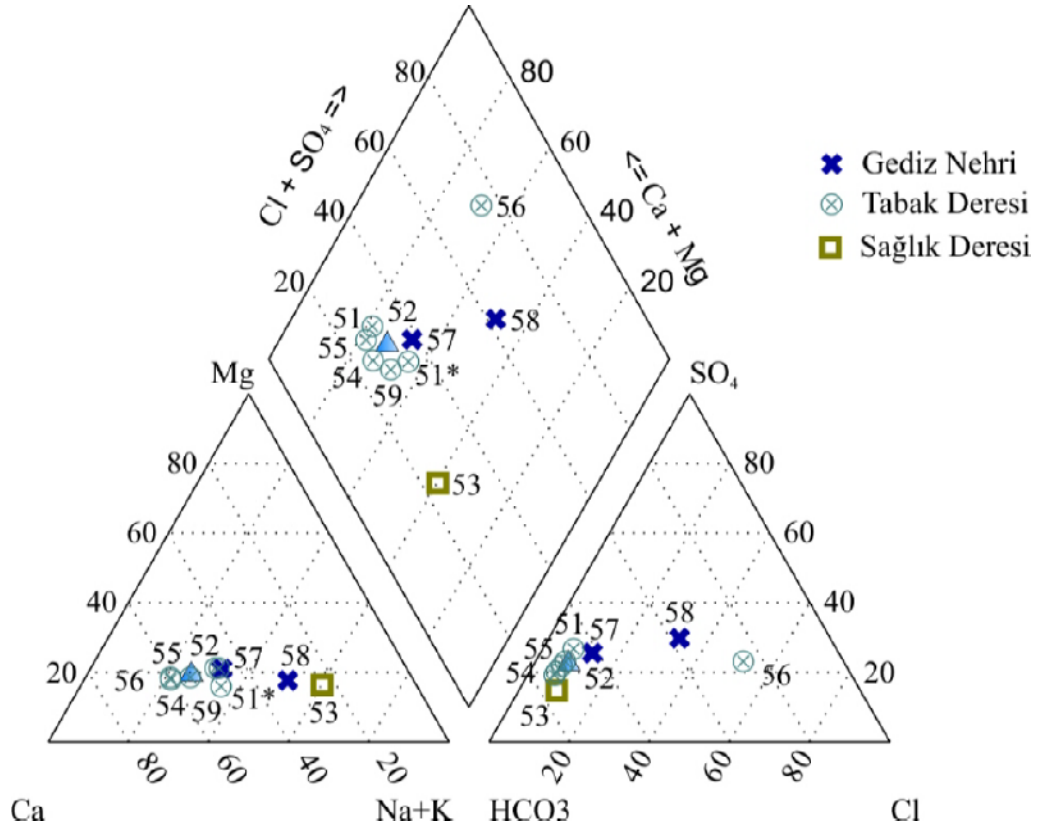
Şekil 5.4 Kurşunlu Jeotermal Alanları'ndaki termal suların Piper Üçgen Diyagramı'ndaki konumları (örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır; \* kurak dönem örneklemesini göstermektedir).



Şekil 5.5 Sart, Caferbey jeotermal Alanları'ndaki soğuk yeraltı sularının Piper Üçgen Diyagramı'ndaki konumları (örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır; \* kurak dönem örneklemesini göstermektedir).



Şekil 5.6 Kurşunlu Jeotermal Alanları'ndaki soğuk yeraltı sularının Piper Üçgen Diyagramı'ndaki konumları (örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır; \* kurak dönem örneklemesini göstermektedir).



Şekil 5.7 İnceleme alanındaki yüzey sularının Piper Üçgen Diyagramı'ndaki konumları (örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır; \* kurak dönem örneklemesini göstermektedir).

### 5.4.3 Suda Çözünmüş Bileşenler Arasındaki İlişkiler

Suda başlıca çözülmüş maddeler ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{-2}$  ve  $SiO_2$ ) arasındaki ilişkiler hidrojeokimyasal değerlendirmelerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Özellikle alandaki var olan ve/veya baskın hidrojeokimyasal süreçleri belirlemede oldukça önemlidir. Bu açıdan Şekil 4.11'de inceleme alanındaki termal suların kimyasal analiz sonuçlarından elde edilen iyonlar arasındaki ilişki incelenmiştir. Bileşenler arasındaki ilişki regresyon analizi ile verilmiştir.

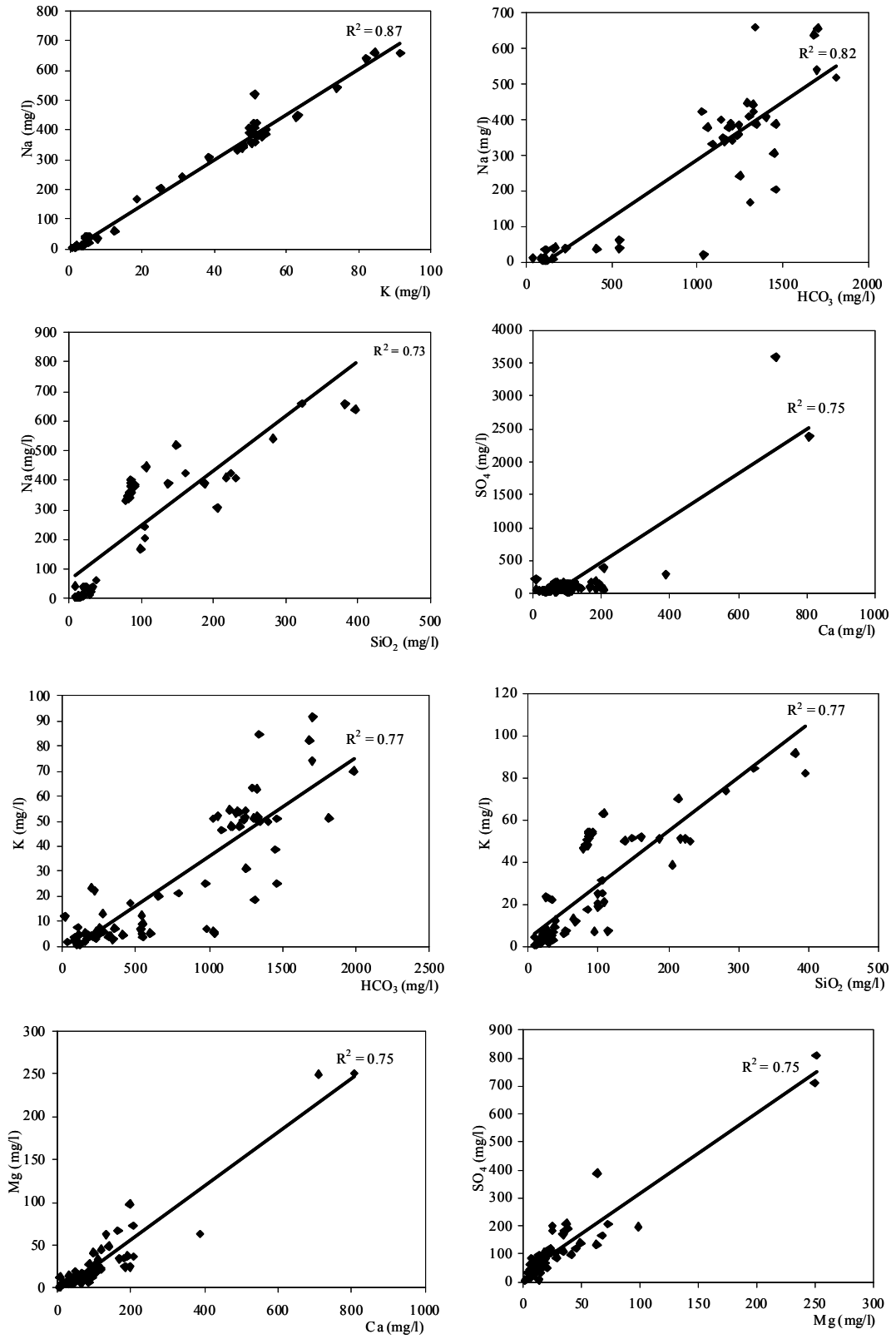
$$y = a + bx$$

şeklinde tanımlanan bir doğru a doğrunun y eksenindeki kestiği noktayı, b ise doğrunun eğimini yansıtır. Yani a sabit katsayı, b ise eğim katsayısı olarak da adlandırılabilir. Doğrunun iyi bir doğrusallık ilişkisinde olup olmadığı hesaplanan korelasyon katsayılarının (r) değerlendirilmesiyle anlaşılır. Pozitif (+) korelasyon iki

parametre arasındaki doğru orantıyı, negatif (-) korelasyon ise ters orantıyı belirtir. Korelasyon katsayısı sıfır ile bir arasında değişen ( $0 < r < 1$ ) bir parametre olup, 1'e yaklaşan değerler iyi bir doğrusal ilişki olduğunu belirtir (Tarcan, 2003).

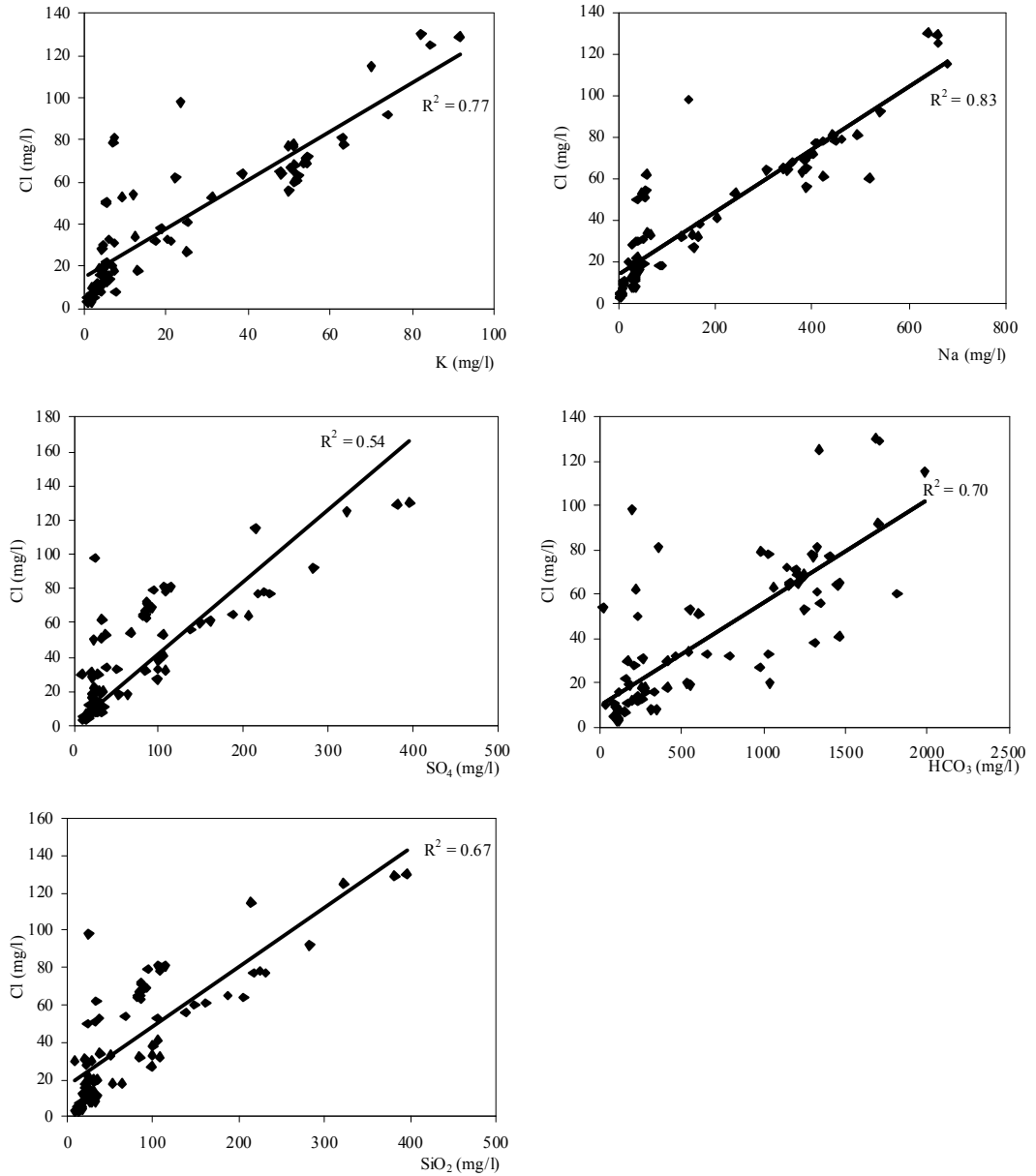
Şekil 5.8'e göre  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$  ve  $SiO_2$  arasında korelasyon katsayısı 0,73–0,87 aralığında değişen doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Özellikle termal suların etkileşimde buldukları akifer kayalardaki karbonat ve silikatlara bağlı çözünürlük tepkimelerinin etkisinde olduklarını göstermektedir.  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  ve  $SO_4^{-2}$  arasındaki pozitif korelasyon ( $R^2=0,75-0,77$ ) termal suların çeşitli derinliklerde karışım tepkimelerinden (soğuk yeraltı suları ile olan etkileşim) de etkilenmiş olabileceklerini göstermektedir.

Şekil 5.9'da görüldüğü gibi inceleme alanındaki sulara  $Cl^-$  ile  $K^+$ ,  $Na^+$  ve  $HCO_3^-$  ve  $SiO_2$  arasında da oldukça iyi pozitif bir korelasyon ( $R^2=0,54-0,83$ ) bulunmaktadır. Bu doğrusal ilişki özellikle termal suların uzun süre akifer kayalarla etkileşimde olabileceğinin bir göstergesidir.



Şekil 5.8 Suların Na, K, Ca, Mg,  $\text{HCO}_3$  ve  $\text{SO}_4$  iyonları arasındaki ilişkiler.

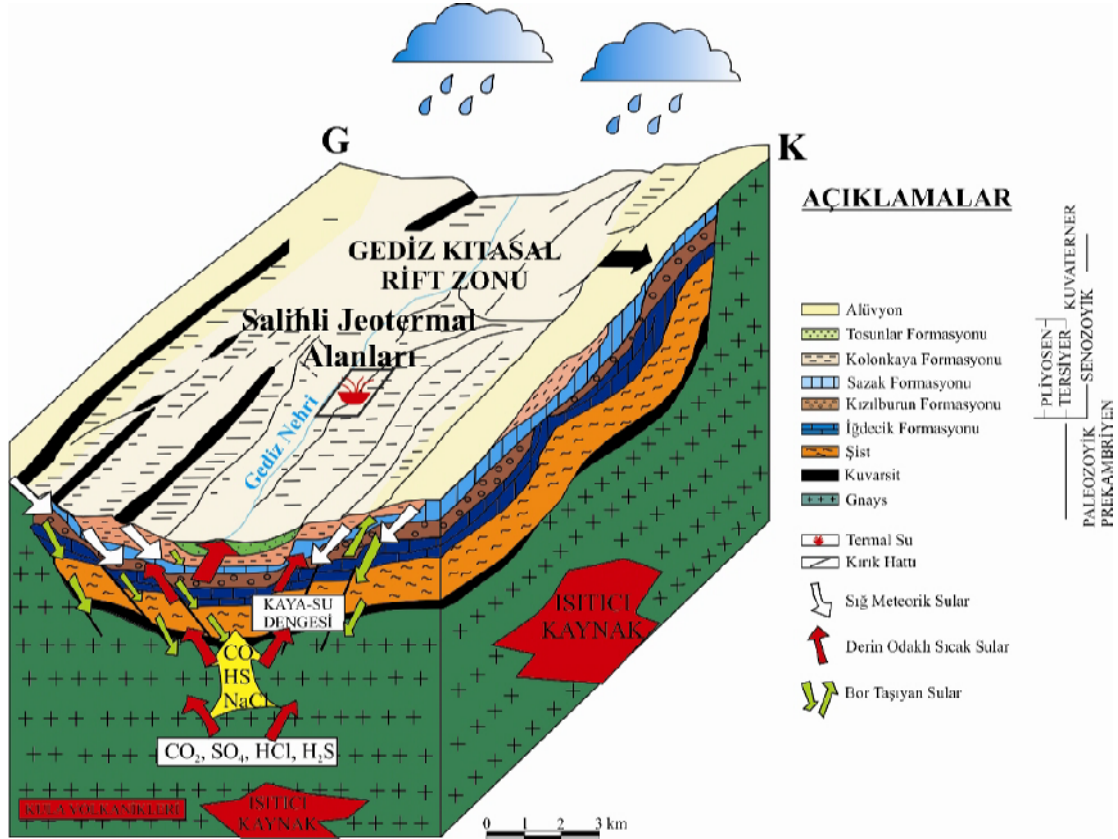




Şekil 5.9 İnceleme alanındaki suların  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  ve  $SiO_2$  ile  $Cl^-$  arasındaki ilişkiler.

Gediz kıtasal rift zonunda bulunan meteorik kökenli termal suların oluşumu ve bor zenginleşmesiyle ilgili üç boyutlu kavramsal model Şekil 5.10'da verilmiştir. (Yaman, 2006). Bu modelde termal sulardaki bor zenginleşmesinin su-kayaç etkileşimine ve hazne kaya özelliği taşıyan birimlere bağlı olduğu ortaya konmuştur. Gediz kıtasal rift zonunda bulunan Menderes Masifi metamorfikleri içerisinde yer alan gnays ve mikaşistler termal sulardaki bor zenginleşmesinin kaynağıdır. Bor bazı

feldspatlarda Al yerinegeçer. İkincil Na ve K-feldspatlarda bor bu minerallerin yapısına katılır (Yaman, 2006).



Şekil 5.10 Menderes Masifi kıtasal rift zonunda bulunan termal suların oluşumu ve bor zenginleşmesini gösteren 3D modeli (Özgür,1998'den değiştirilerek).

#### 5.5.4 Jeotermometre Uygulamaları

##### 5.4.4.1 Kimyasal Jeotermometreler

Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklığının tahmin edilmesi termal suların uygun şekilde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Jeotermal kaynakların araştırılmasında jeokimyanın en önemli uygulamalarından birisi kimyasal jeotermometreler ile akışkanın yeraltındaki sıcaklığının tahmin edilmesidir. Kimyasal jeotermometreler

sıcaklığa bağlı su-kayaç dengesine dayalıdır ve su kayaç ilişkisindeki son denge sıcaklığını verir (Tarcan, 2003). Akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesinde çok değişik kimyasal jeotermometre hesaplamaları kullanılmaktadır. İnceleme alanındaki termal suların akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesine kullanılan kimyasal jeotermometre hesaplamaları Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.10 Akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesinde kullanılan kimyasal jeotermometre hesaplamaları (Tarcan 2003).

Ref. No	Jeotermometreler	Bağntılar	Kaynaklar
1	SiO <sub>2</sub> (Kuvars)	$t = 1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier (1977)
2	SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier (1977)
3	SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	$t = 1032 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier (1977)
4	SiO <sub>2</sub> (Kalsedon, cond..soğ.)	$t = 1112 / (4.91 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
5	SiO <sub>2</sub> ( $\alpha$ Kristobalit)	$t = 1000 / (4.78 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier (1977)
6	SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1264 / (5.31 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
7	SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1021 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
8	SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1164 / (4.9 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
9	SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1498 / (5.7 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
10	SiO <sub>2</sub> (Kalsedon) (mol)	$t = 1101 / (0.11 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
11	Na/K	$t = 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Truesdell (1976)
12	Na/K	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier (1979)
13	Na/K	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
14	Na/K	$t = 1319 / (1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson ve diğer. (1983)
15	Na/K	$t = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Giggenbach ve diğer. (1983)

Kimyasal jeotermometre hesaplamalarının tümü her jeotermal alan için sağlıklı sonuçlar vermeyebilir. Bu yüzden kullanılacak jeotermometrenin sahaya uygunluğu önem taşır. Ancak hangi jeotermometre kullanılacak olursa olsun bunlar için bazı kabuller vardır (Truesdell, 1976; Fournier, 1977);

- Jeotermometre uygulamalarında kullanılan iyonların konsantrasyonları sadece sıcaklığa bağımlı mineral-akışkan dengesi ile kontrol edilir.

- Akışkan-kaya sisteminde bu minerallerin ve/veya çözülmüş türlerinin bol miktarda var olduğu düşünülür.
- Reaksiyon rezervuar koşullarında dengeye ulaşmış kabul edilir. Daha sonra dengeyi değiştirecek herhangi bir konsantrasyon değişimi olmamalıdır (buharlaşma ile konsantrasyon artışı veya seyrelme ile konsantrasyon azalışı gibi).

Fournier (1979), termal suyun yeryüzüne doğru düşük bir hızla yükselmesi ve yüzeye ulaşmadan önce sığ derinliklerde bir bölümünün hareket yönünü değiştirmesi veya yatay yönde akış kazanmasının termal suyun ısını kondüktif olarak kaybetmesine ve yan kayaçlar tarafından soğutulması ile sonuçlanacağını belirtmiştir. Kondüktif soğuma sonucu, suyun bileşimi büyük oranda aynı kalacaktır. Bu tür soğuma çeşitli derinliklerde meydana gelebilmektedir. Termal sular derinlerde veya yeryüzüne yükselmesi sırasında ani basınç değişimi nedeniyle kaynama veya soğuk yeraltı sularının karşılaşması sonucu da soğuyabilmektedirler. Soğuk yeraltı suları ile karışan termal su seyrelmenin etkisiyle orijin bileşimini kaybeder ve sıcaklığı azalır.

Çalışma alanındaki termal ve/veya termal özellik gösteren suların silis jeotermometrelerine göre hesaplanan akifer sıcaklıkları genel olarak 83 °C ile 230 °C arasında değişmektedir (Tablo 5.11). Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan akifer sıcaklıkları ise 99 °C ile 300 °C arasındadır. Tablo 5.11'den de görüleceği inceleme alanında açılan jeotermal kuyu ve termal kaynakların 52–155 °C arasında değişen kaynak ve akifer sıcaklıkları değerleri dikkate alındığında bazı silis jeotermometrelerinin (Ref No: 5, 6 ve 7) diğer silis ve katyon jeotermometrelerine göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 5.11 İnceleme alanındaki suların kimyasal jeotermometrelerle hesaplanan akifer sıcaklıkları (Tablo 5.10'daki jeotermometre hesaplamalarının referans numaralarına göre düzenlenmiştir. “\*” Sıcaklıklar kaynak veya kuyuların akifer sıcaklıklarıdır. “□” akifer ve kaynak sıcaklıklarından daha düşük sıcaklık değerlerini göstermektedir. Örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır).

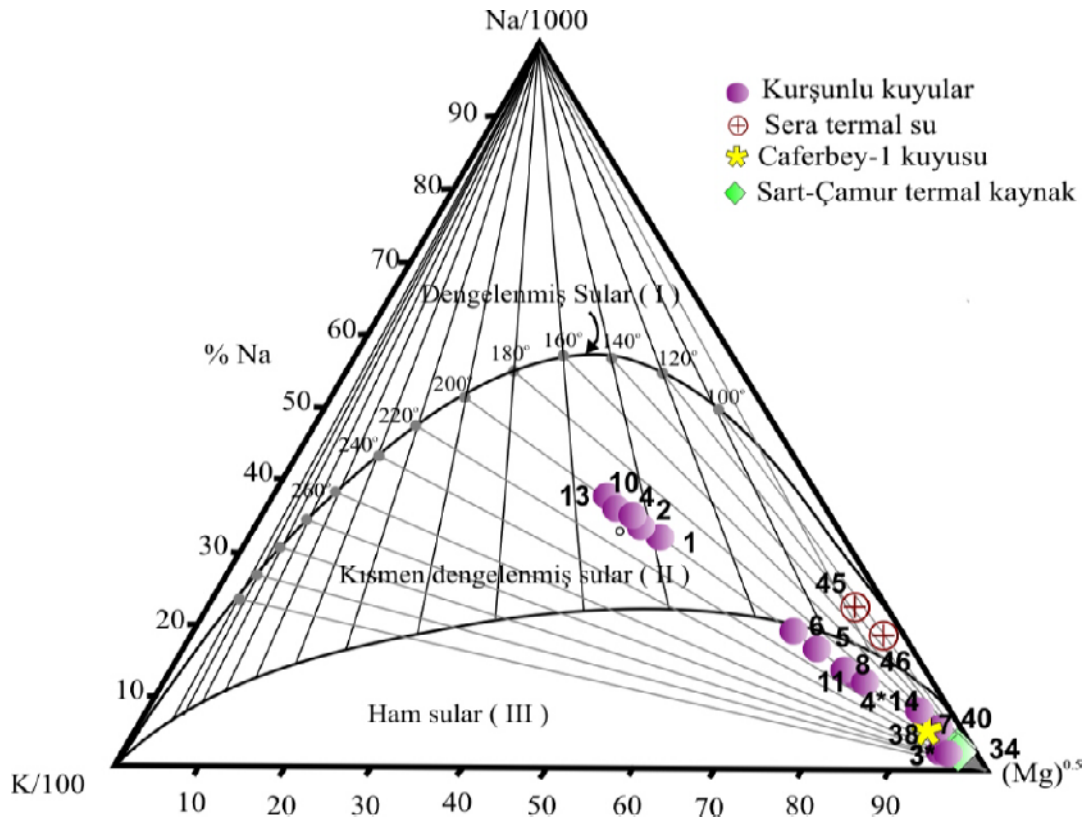
Örnek No	Örnekleme yeri	*Sıcaklık T (°C)	SiO <sub>2</sub> 1	SiO <sub>2</sub> 2	SiO <sub>2</sub> 3	SiO <sub>2</sub> 4	SiO <sub>2</sub> 5	SiO <sub>2</sub> 6	SiO <sub>2</sub> 7	SiO <sub>2</sub> 8	SiO <sub>2</sub> 9	SiO <sub>2</sub> 10	Na/K 11	Na/K 12	Na/K 13	Na/K 14	Na/K 15
1	K-1 kuyusu	92	190	176	170	164	141	156	166	186	176	163	210	244	216	232	249
2	K-2 kuyusu	94	215	196	200	190	167	178	195	213	196	189	216	249	221	236	253
3	K-4 kuyusu	58	137	133	110	109	86	109	106	128	132	108	200	236	207	224	241
4	K-5 kuyusu	83	175	164	154	148	126	143	149	170	164	148	290	306	290	285	303
5	K-6 kuyusu	80	166	156	142	138	115	134	138	159	156	137	211	245	217	232	249
6	K-7 kuyusu	120	205	188	188	179	156	169	183	202	188	179	224	255	229	241	259
7	K-8 kuyusu	57	140	135	113	112	89	111	109	131	134	111	217	250	222	236	253
8	K-11 kuyusu	104	188	175	168	161	139	154	163	184	174	161	209	243	215	231	248
9	K-12 kuyusu	98	186	173	165	159	136	152	161	181	172	158	213	247	219	234	251
10	K-15 kuyusu	115	141	136	115	113	83	115	115	136	138	116	□	□	236	246	263
11	K-16 kuyusu	73	156	148	131	128	105	125	127	148	147	127	216	249	222	236	253
12	K-18 kuyusu	112	229	207	216	204	182	190	211	229	207	204	226	257	231	243	260
13	K-19 kuyusu	52	127	124	99	98	76	99	95	117	123	97	227	258	232	244	261
14	K-20 kuyusu	-	160	152	137	133	110	130	132	153	151	132	187	225	194	215	231
38	Caferbey-1 kuyusu	155	185	172	164	158	□	□	160	180	171	157	191	229	198	218	235
40	Sart-Çamur, kaynak	52	142	136	115	113	91	113	111	133	135	113	217	250	222	236	253
45	Sera-1 termal kuyu	80	145	139	119	117	94	115	115	136	138	116	□	99	□	101	115
46	Sera-2 termal kuyu	83	134	130	107	105	83	106	103	125	129	105	□	101	□	102	117

#### 5.4.4.2 Birleşik Jeotermometreler

Termal suların akifer sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için kullanılan bir diğer yöntem ise Giggenbach (1988), tarafından geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleştirilmiş jeotermometresidir. Bu üçgen diyagram ile hem termal suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de daha önce belirtilen katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınanmaktadır. Fournier (1990), bu diyagram üzerinde bazı yenilemeler yaparak, en güvenilir sonuçların bu üçgen diyagramdan oluşan jeotermometre uygulaması ile alınabileceğini öne sürmüştür. Diyagram kısaca, su kayaç ilişkisinin dengede olduğu, su kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), su kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu sular olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri “Olgunlaşma İndeksi”nin (MI=Maturity Index), MI=2.0 olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların bileşimiyle oluşmuştur (Tarcan 2003).

İnceleme alanındaki termal suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumlarına bakıldığında (Şekil 5.11), Caferbey-1 kuyusu (Örnek No: 38), Sart-Çamur Kaplıcası (Örnek No:40) ve Kurşunlu jeotermal alanındaki K-4, K-6, K-7, K-8, K-11, K-12, K-16, K-18 ve K-20 kuyularına ait termal ham sular sınıfında yer aldığı görülmektedir. Sera termal suları (Örnek No: 45 ve 46) ile Kurşunlu Jeotermal Alanı’ndaki K-1 (re-enjeksiyon kuyusu), K-2, K-5, K-15 ve K-19 kuyuları termal suları ise kısmen dengelenmiş sular kısmında yer almaktadırlar. Diğer taraftan üçgen diyagramda akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesinde kullanılan sıcaklık doğruları dikkate alındığında Kurşunlu Jeotermal Alanı’ndaki termal sular genel olarak 200 °C doğrusu üzerinde yer almaktadırlar. Caferbey ve Sart-Çamur Jeotermal Alanı’ndaki termal suları ise 220 °C doğrusu üzerinde bulunmaktadırlar. Sera termal suları da 120 °C sıcaklığı göstermektedirler. Tablo 5.11’deki kimyasal jeotermometre sonuçları ile bu üçgen diyagramından elde edilen akifer sıcaklıkları karşılaştırıldığında, katyon jeotermometreleri için her iki yöntemle hesaplanan akifer sıcaklıkları yaklaşık olarak birbirlerine yakındır. Giggenbach, (1988), ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması

gerektiğini belirtmektedir. Ancak kısmen dengelenmiş sular kısmında yer alan Kurşunlu kuyularının katyon jeotermometrelerle hesaplanan akifer sıcaklıkları önerilen (Ref. No: 5, 6 ve 7) silis jeotermometreleri ile hesaplanan akifer sıcaklıklarından daha yüksektir (Tablo 5.11 ve Şekil 5.11). Bu durum jeotermometre hesaplamalarında sözü edilen dengeyi değiştirecek herhangi bir konsantrasyon değişimi (buharlaşma ile konsantrasyon artışı veya seyrelme ile konsantrasyon azalışı gibi) nedeniyle olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 5.11 İnceleme alanındaki termal suların Na-K-Mg Üçgen Diyagramı'ndaki konumları (örnek numaraları Şekil 5.1 ile aynıdır).

### 5.5.5 İnceleme Alanı'ndaki Termal Suların Kabuklaşma ve Mineral Doymuluk Özelliklerinin İncelenmesi

Jeotermal akışkanlar, kullanım sırasında termodinamik davranışlarıyla metal yüzeylere etki ederek, kabuklaşma ve korozyon sorunlarına neden olan çözülmüş gaz ve katı maddeler içermektedir. Bu akışkanların kimyasal bileşimleri çok değişik katı eriyik içeren sıcak sulardan oluştuğu için, kabuklaşma ve korozyon için tek bir

çözüm bulmak oldukça güçtür. Bununla birlikte, jeotermal akışkanların kimyasal bileşimleri ve buna bağlı olarak kabuklaşma ve korozyon sorunları çok değişik olsa da bazı genel ilke ve öneriler verilebilir.

Herhangi bir mineralin sudaki çözünürlüğü, sıcaklık, basınç, pH ve redoks potansiyeline (Eh) bağlıdır. Çözünürlüğü kontrol eden bu parametrelere bağlı olarak mineraller suda çözünürler veya çökelirler. Bu konuda hazırlanmış programlar, denge ayrıştırma hesapları, sıvı fazdaki serbest iyon ve iyon çiftlerini hesaplamaktadır. Çökeltme koşulları ve çökelebilecek mineraller de saptanabilmektedir. Bu programlar herhangi bir basınç ve sıcaklık koşullarındaki akışkan kimyasını kullanarak, (geriye) rezervuara doğru veya (ileri) kullanım aşamalarında suyun kimyasının nasıl değişeceğini hesaplamaktadır (Aksoy 2007).

Jeotermal alanlarda termal suların mineral doygunlukları su içindeki iyonların ve minerallerin Gibbs serbest enerjileri ( $\Delta G^0$ ) ile iyon etkinliklerinin bilinmesi ile ilişkilidir. Su içindeki kimyasal bir tepkimenin Gibbs serbest enerjisi ( $\Delta G^0$ ) ile tepkimedeki iyon veya bileşiklerin derişimleri arasındaki ilişki aşağıdaki global denklemlerle yazılabilir (Parkhurst, 1995).

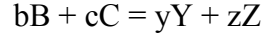
$$\Delta G^0 = - RT \ln K$$

Bağıntıdaki; R, gazların sabiti (0,001987 kcal/mol), T, sıcaklık derecesi (Kelvin), ln doğal logaritma ve K, tepkimenin denge sabitidir. Bu bağıntı hidrojeokimyada oldukça önemli bir yer tutar. Çünkü kimyasal tepkimelerin serbest enerjileri bilinirse kimyasal denge sabitleri, çözünmüş iyonların çökelebilmeye özellikleri, iyon değişimi ve kimyasal bozunum şekilleri önceden tahmin edilebilir. Standart koşullarda kimyasal tepkimelerin standart serbest enerji değişim miktarları tepkime sonu ortaya çıkan maddelerin serbest enerjileri toplamları ( $\Sigma \Delta G^0_{ts}$ ), ile tepkime başlangıcındaki maddelerin toplam serbest enerjileri ( $\Sigma \Delta G^0_{tb}$ ) farkına eşittir.

$$\Delta G^0 = \Sigma \Delta G^0_{ts} - \Sigma \Delta G^0_{tb}$$



Standart koşullarda herhangi bir kimyasal tepkime şu şekildedir.



Denge sabiti ile tepkime bileşenlerinin derişimleri arasındaki ilişki tepkimeye giren maddelerin iyon etkinlikleri toplamı ile tepkimedenden çıkan maddelerin iyon etkinlikleri toplamı dikkate alındığında aşağıdaki şekilde gelişir.

$$K = (aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c$$

Denklemden a ilgili iyonun etkinliğini (etkin derişimini) tanımlar ve;

$$a = \gamma C$$

ile tanımlanır; Bu denklemde de  $\gamma$  iyon etkinlik katsayısını, C ise molalite olarak iyon derişimini belirtir.  $\Delta G^0 = -RT \ln [(aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c]$ , denklemde ilgili parametreler (standart koşullarda) yerine konur ve ondalık logaritmaya çevrilirse;

$$\log K = - \Delta G^0 / 1,3641$$

$$\log [(aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c] = - \Delta G^0 / 1,3641$$

denklemini elde edilir. Bu denklemde tepkimeye giren ve çıkan maddelerin dengede olması durumunda eşitliğin her iki yanı birbirine eşittir. Denge durumunun değişmesi ile eşitlik bozularak, tepkimeye girenler veya çıkanlar yönünde değişecektir. Bu yönün tahmin edilmesi mineral doygunluğu hesaplamalarının temelini oluşturmaktadır. Buradan yola çıkılarak doygunluk indeksi (Dİ; saturation index = SI) kavramı geliştirilmiştir.

$$Dİ = \log [(aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c] / (- \Delta G^0 / 1,3641) = \log (Q/K)$$

Yukarıdaki tepkimede büyük parantez içindeki ifade tepkime oranını (Q) belirtir. Tepkime denge sabitine benzer, farkı tepkimenin dengede olmayabilirliğidir. Tepkimedeki mineral (katı faz) bileşik olarak yazıldığında (bütün katıların iyon etkinlikleri 1 kabul edilir) denge sabiti  $K = (aY)^y (aZ)^z$  (tepkimeden çıkan maddelerin iyon etkinlikleri toplamı =AP) olacağından denklem de şu şekilde gelişecektir.

$$Dİ = \log [(aY)^y (aZ)^z] / (- \Delta G^0 / 1,3641) = \log (AP/K)$$

Özetle, Dİ (SI)  $\log (Q/K)$  veya  $\log (AP/K)$  şeklinde de gösterilebilen logaritmik bir kavramdan oluşur. Her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişen değerler içerir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indeksi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanır (Parkhurst, 1995).

SI ( $\log Q/K$ ) = 0 ise su ilgili mineral ile dengededir.

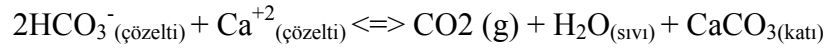
SI ( $\log Q/K$ ) >0 ise su ilgili minerale aşırı doygunudur. Çökelme meydana gelir.

SI ( $\log Q/K$ ) <0 ise su ilgili minerale doygun değildir. Çökelme olmaz, söz konusu minerali bir miktar daha suda çözmek mümkündür.

Mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması jeotermal alanlarda suların üretim ve iletimi aşamasında borularda oluşabilecek kabuklaşma problemlerinin çözümü açısından çok önemlidir. Kabuklaşma, jeotermal akışkanın geçtiği kuyu, boru hattı, ısı değiştiricileri vb. yerlerde akışkanın içerisindeki element ve bileşiklerin uygun koşullarda çökerek mineral ve katı bileşikler oluşturmasıdır ve üretimin azalmasına neden olur. Oluştugu yerlerdeki mekanik tesisatın çalışmasını engellerler. Isı transferini olumsuz etkiler ve bütün bunların sonunda daha az enerji üretilmesine neden olur. Uygun önlem alınmazsa üretim ve re-enjeksiyon kuyularının tıkanarak kaybedilmesine neden olur. Verimsiz çalışmanın yanı sıra, doğuracağı ilave masraflarla projeye ekonomik yükler getirir. Bu nedenle kabuklaşma, jeotermal kaynak değerlendirme ve finansal risk analizinde ihmal edilmemesi gereken bir faktördür.

### 5.5.5.1 Kabuklaşma Tipleri

Jeotermal alanlarda kalsiyum, silisyum, sülfür ve sülfür çökelmeleri en çok karşılaşılan türlerdendir. Kalsiyum karbonat jeotermal sularda çok bol bulunan bir bileşiktir. Kalsit, aragonit ve vaterit kalsiyum karbonatın mineral çeşitleridir. Vaterit çok kararlı değildir ve kalsite dönüşür. Sonuç olarak kalsiyum karbonat, kalsit ve aragonit formlarında çöker. Kalsit çözünürlüğü, kısmi karbon dioksit basıncı ile ilgilidir. Karbon dioksit kısmi basıncı azalırken, CO<sub>2</sub>(gaz) buhar fazına süratle geçer, akışkanın pH'ı yükselir. Akışkan kalsite karşı aşırı doygun hale gelir ve kalsit çöker. Kalsit çökmesi (Nicholson, 1993):

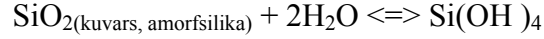


Kalsit çözünürlüğü karbon dioksit gazının basıncı ile doğru, sıcaklıkla ters orantılıdır. Her iki parametre de bir ölçüde kontrol edilebilen değerler olup, kalsiyum karbonat kabuklaşması için önemli bilgiler verirler. Bunlar:

- Kabuklaşma kaynama ile başlar.
- Akış basıncı karbondioksit kısmi basıncının üzerinde tutulması durumunda, kabuklaşma olmaz.
- Kalsit çözünürlüğü sıcaklıkla ters orantılıdır. Bu nedenle düşük sıcaklıkta daha çok kalsit çözünür.

Silika kabuklaşması, jeotermal santrallerin en önemli sorunudur. Silika rezervuarda denge halinde bulunur. Sıcaklık arttıkça çözünen silika miktarı artar ve bu nedenle rezervuar sıcaklığını tahmin etmek için iyi bir jeotermometredir. Silikaya doygun olan jeotermal su, buharlaştıktan sonra silikaya aşırı doygun hale gelir ve silika çökelmeye başlar. Silika çökmesi başlıca pH, sıcaklık, silika konsantrasyonuna ve diğer minerallerin ve tuzların etkisine bağlıdır. Santraller, diğer jeotermal tesislere göre daha yüksek sıcaklıklı kaynaklar üzerine kurulduğundan, silika kabuklaşması özellikle elektrik santrallerinin sorunu olmaktadır. Jeotermal sularda silika genellikle 700 ppm den azdır, çünkü silika çözünürlüğü 340 °C' de 770

ppm de maksimum noktaya ulaşır ve daha sonraki sıcaklıklarda azalır. Jeotermal sularda tipik olarak 100-300 ppm arasında bulunur (Nicholson 1993). Silika kuvars, kalsedon, kristobalit ve amorf silika formlarındadır. Her birinin sudaki çözünürlüğü farklıdır. Rezervuarda, yüksek sıcaklıkta amorf silika veya kuvarsla dengede olan jeotermal akışkandaki silika, monosilik asit formundadır (Nicholson, 1993).



Atmosfer koşullarında buharlaşan jeotermal akışkandaki silika genellikle amorf silika olarak aşırı doymuş hale gelir ve koloidal, jel, iğneli veya opal silika olarak çökler. Silisli çökeller, yüzey donanımları ve re-enjeksiyon kuyularında ve kuyu-formasyon arasında çökelmektedir. Re-enjeksiyon kuyularında hızla enjektivitenin azalmasına neden olmaktadır. Silika çökelleri mekanik ve kimyasal uygulamalarla giderilmektedir. Çoğu zaman tek başına mekanik çözüm yeterli olmamakta ve HF (hidro florik),  $\text{NH}_4\text{HF}_2$  (amonyum hidrojen biflorid)+HCl (hidro klorik) ile asitleme yapmak gerekmektedir (Aksoy 2007).

Silika çökelimini önlemek için HCl ilavesiyle pH'ın 5'in altına düşürülmesi veya NaOH enjeksiyonu pH'ın süratle yükseltilmesi silika çökelimini önlemektedir. Kireç eklenerek silika, kalsiyum silikat olarak çökeltilebilir. Bekleme havuzlarında silikanın çökmesinden sonra re-enjekte edilmesi de bir başka yöntemdir.

Sülfidler düşük, orta, yüksek entalpili ve yüksek TDS (toplam çözünmüş madde) miktarına sahip tüm jeotermal sularda çökebilir. Korozif jeotermal su kuyudaki koruma borularını korozyona uğratarak Fe, Pb, Zn gibi metalleri açığa çıkarır. Bu metaller, metal sülfid formunda çöklerler. Yüksek sıcaklığa sahip sahalarda silika çökmesiyle birlikte görülürler. Sülfür minerallerinden stibnit ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) kabuklaşması antimon konsantrasyonu, sıcaklık ve pH tarafından kontrol edilir. Soğuma bölgelerinde çökler. Bu nedenle çift çevrimli (binary) santrallerde eşanjörlerin kirlenmesine ve verim kaybına neden olur (Aksoy 2007).

Kalsiyum karbonat üretim aşamasında kuyu ve taşıma hatlarında etkili olurken, silika çökmesi ısı eşanjörleri ve re-enjeksiyon kuyularında, sülfür ve sülfür çökelimleri daha ziyade kondenser, soğutma kuleleri ve eşanjörler içerisinde etkili olmaktadır. Bunlardan başka onlarca mineralin çökmesi söz konusu olabilmektedir. Hangi minerallerin çökelebileceğini belirlemek için rezervuar koşullarındaki akışkan kompozisyonunun bilinmesi ve üretimden re-enjeksiyona kadar olan tüm süreçteki basınç ve sıcaklık koşullarına göre, çökme riskinin olup olmayacağını veya hangi minerallerin çökelebileceğini belirlemek mümkündür.

İnceleme alanında üretim yapılan Kurşunlu Jeotermal Alanı'nda karbonat kabuklaşmasını önlemek amacıyla termal kuyularda çeşitli kimyasal maddeler (inhibitör) kullanılmaktadır (Tablo 5.12).

Tablo 5.12 Kurşunlu jeotermal kuyularında kullanılan bazı inhibitörler (Oğuz 2009).

<b>Ticari Adı</b>	<b>İçerik</b>	<b>pH</b>
Mexel Geoform 700C	Polyaminophosphonate	7.5
Fanquest HEDP 60	Etidronic Acid	<2
P3 ferrofos 8402	Phosphonic Acid	2.5
WET-Treat 1039	Fosfonat ve polikarboksilat	<2

Poliakrilatlar ve fosfat bazlı inhibitörler kalsiyum karbonat kabuklaşmasını önlemede çok başarılıdır. Fosfat bazlı inhibitörler 180 °C ye kadar çalışırken, poliakrilatlar daha yüksek sıcaklıklarda da stabilitelerini korumaktadır. Her iki kimyasal madde kuyudaki kaynama noktasının altından basılırken, poliakrilatların daha da derinden basılması tavsiye edilmektedir. İnhibitörlerin kabuklaşmayı önlemek için yaptıkları etkilerden biri çekirdek oluşumunu engellemek, tuzların çökmesini veya belirli katyonları tutarak kabuklaşmayı önlemektedir (Aksoy, 2007).

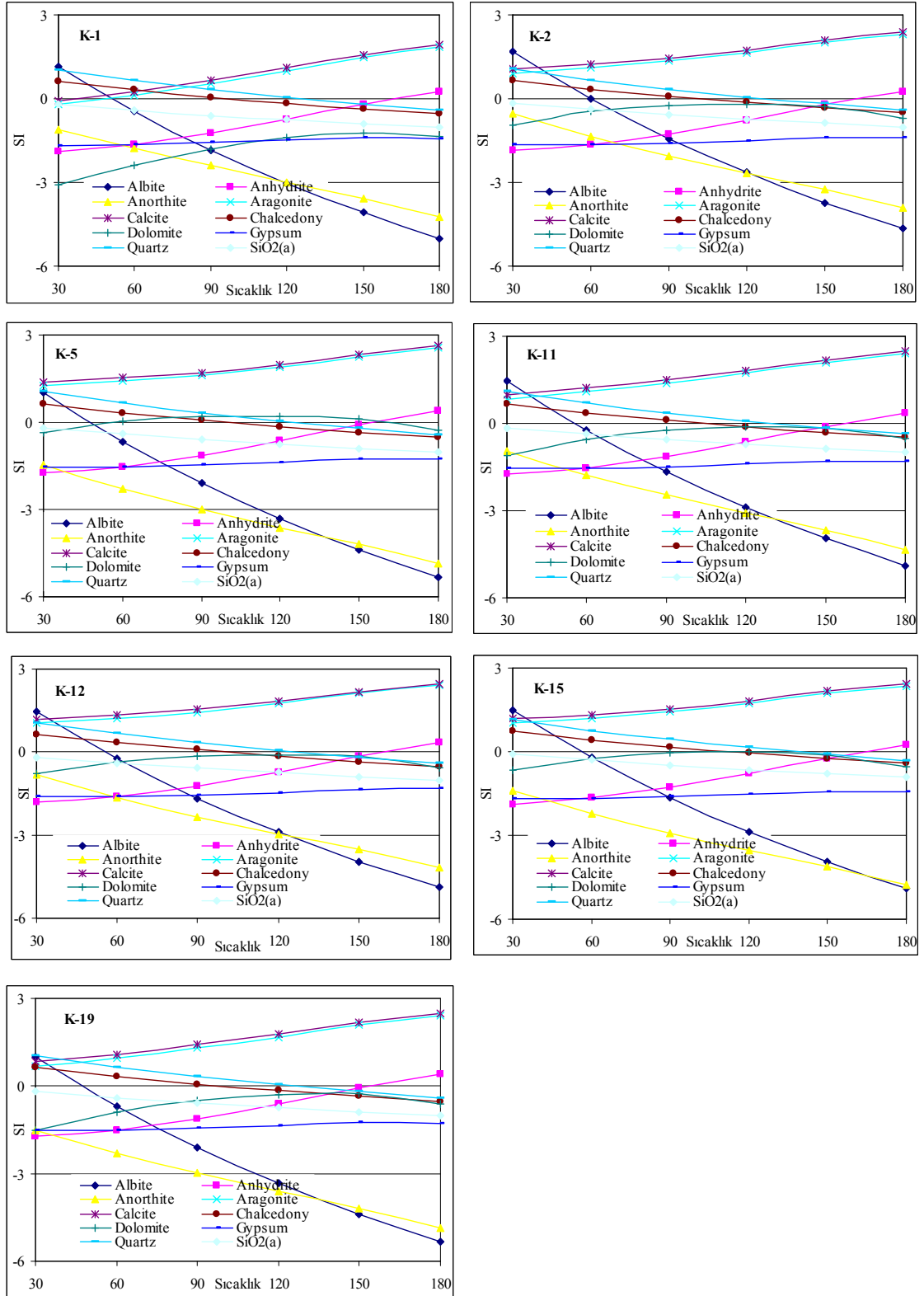
Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki kuyulardan inhibitörlü ve inhibitörsüz olarak alınan su örnekleri (Tablo 5.1) birbiriyle karşılaştırılarak bu iki farklı durumda termal suların kimyasal analizlerindeki iyon konsantrasyonlarındaki değişiklikler incelenmiştir. Kuyulardan alınan inhibitörlü ve inhibitörsüz su örneklerinin analiz sonuçları karşılaştırıldığında genel olarak inhibitörlü termal sularda pH, EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{As}^+$ ,  $\text{B}^{+3}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Sb}^{+3}$  ve  $\text{SiO}_2$  değerlerinde düşüş gözlenmektedir.  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  derişimlerinde ise artış görülmektedir. Bu değişim kullanılan inhibitörün yapısında bulunan maddelerin kimyasal özellikleri ile ilgilidir.

Çalışma alanındaki termal sularda kabuklaşma problemine neden olabilecek minerallerin (karbonatlı, silisli ve sülfatlı mineraller) doygunluk indeksi değerleri, inhibitörlü ve inhibitörsüz su örneklerinin kimyasal analizleri PhreeqC (Parkhurst ve Appelo 1999) kimyasal türleştirme programında farklı sıcaklıklarda hesaplanmış (EK-4) ve sıcaklık-doygunluk indeksi diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 5.12 ve Şekil 5.13).

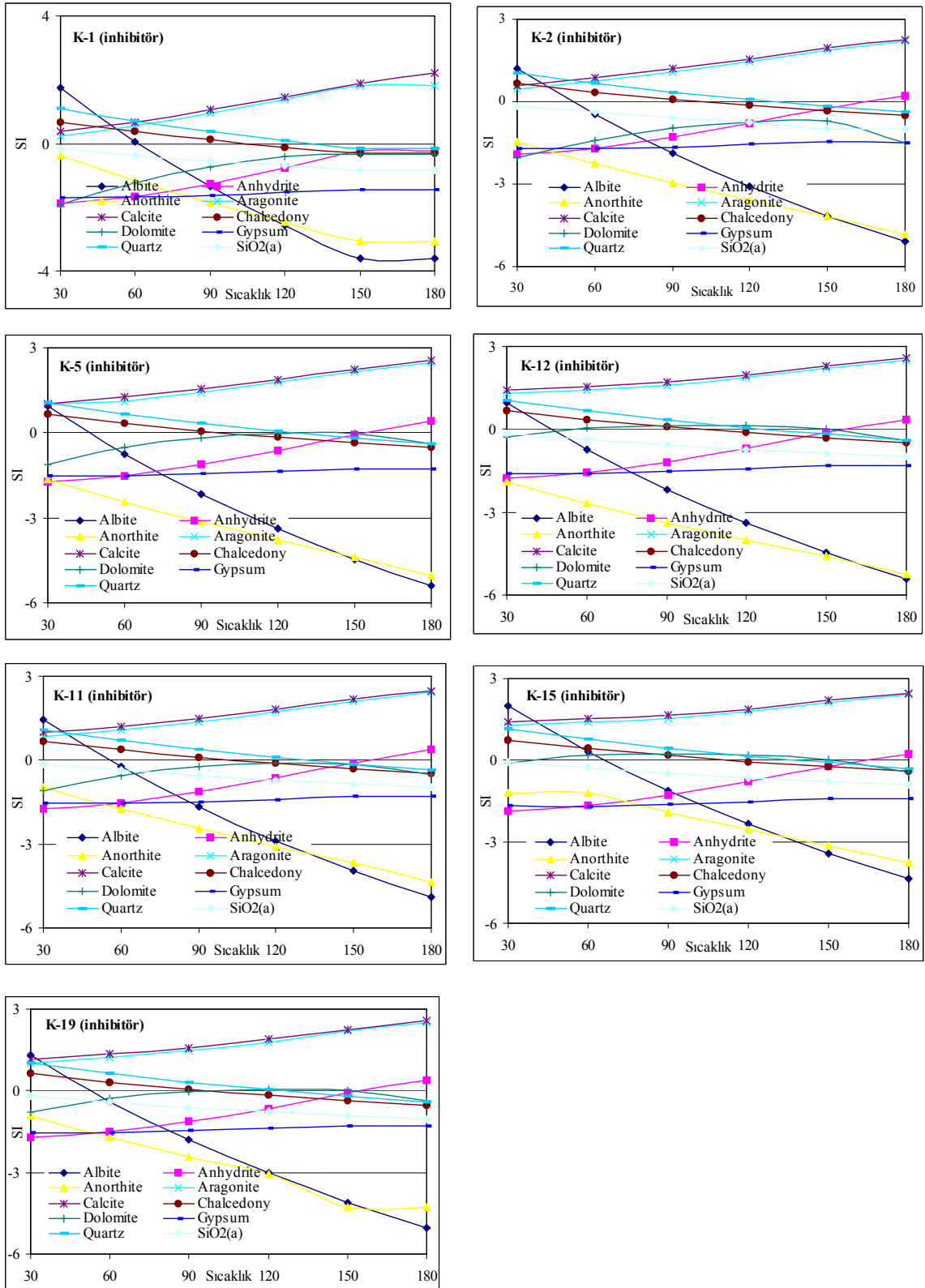
Şekil 5.12'ye göre Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki tüm kuyularda yaklaşık 120-150 °C'den düşük sıcaklık değerlerinde sular, kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) mineralini, 90 °C'den düşük sıcaklık değerlerinde ise kalsedon ( $\text{SiO}_2$ ) mineralini çökeltici özelliktedir ( $\text{SI}>0$ ). K-2, K-11 ve K-11 kuyularında albit ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) minerali yaklaşık 60 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda doygun değilken, K-1, K-5 ve K-12 kuyularında ise termal sular 45-50 °C sıcaklıklara kadar bu mineralce doygundur. Tüm kuyularda, sular yaklaşık 150 °C'ye kadar anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) mineralince doygun değildir. Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) minerali K-5 kuyusu hariç diğer kuyularda çözünmüş haldedir. K-5 kuyusunda dolomit minerali 60-170 °C arasında doygun özellik göstermektedir. Tüm kuyularda termal sular, anortit ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), amorf silis ( $\text{SiO}_2$ ) ve minerallerini çözüdürücü özelliktedir. Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) ve aragonit ( $\text{CaCO}_3$ ) minerallerince ise sular aşırı doygundur.

Ancak doğal olarak, analizlerin bağlanmış kabuk yapıcı mineralleri de bağlanmamış olanlarla birlikte içerdiği için inhibitörlü ve inhibitörsüz koşullarda

termal suların kabuklaşma özellikleri konusunda sıcaklık-doygunluk indeksi diyagramlarından ayırt edici bir veri saptanması mümkün olmamıştır. (Şekil 5.13).



Şekil 5.12 Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki termal kuyulardan inhibitörsüz koşulda örneklenen termal suların Sıcaklık - SI grafikleri.



Şekil 5.13 Kırşanlı Jeotermal Alanı'ndaki termal kuyuların inhibitörlü koşullarda örneklenen termal suların Sıcaklık – SI grafikleri.



Kabuklaşma yöntemleri kullanılmadığı takdirde kuyuların tamamen tıkanması için geçecek süreler Tablo 5.14'te verilmektedir. Hesaplanan çökeltme hızlarına göre kabuklaşma, en hızlı K-5, en yavaş K-12, kuyusunda gerçekleşecektir. Elde edilen değerler üretim aşamasındaki gözlenen kabuklaşma hızlarına yaklaşık olarak uymaktadır (Oğuz, 2009).

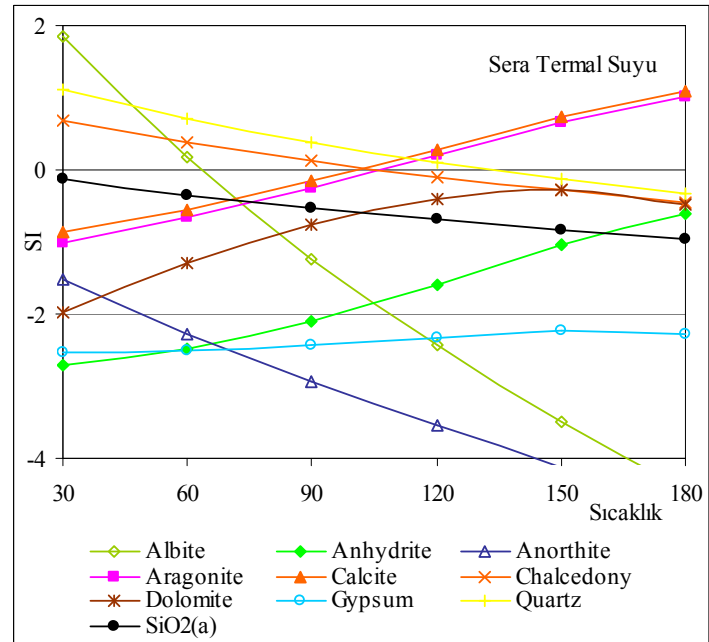
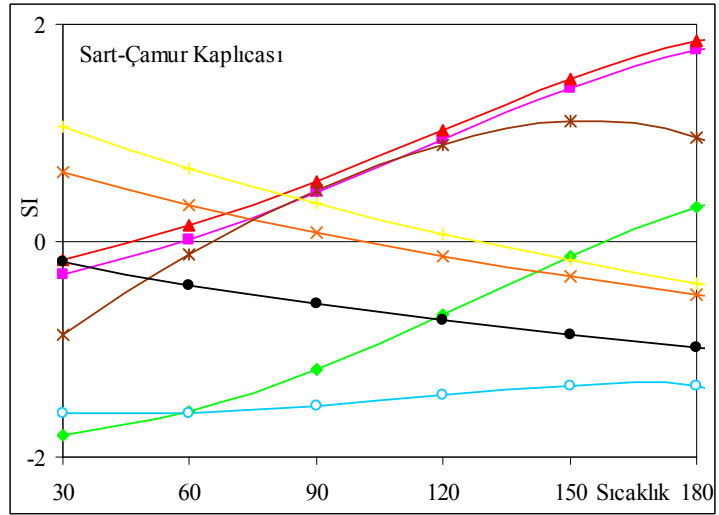
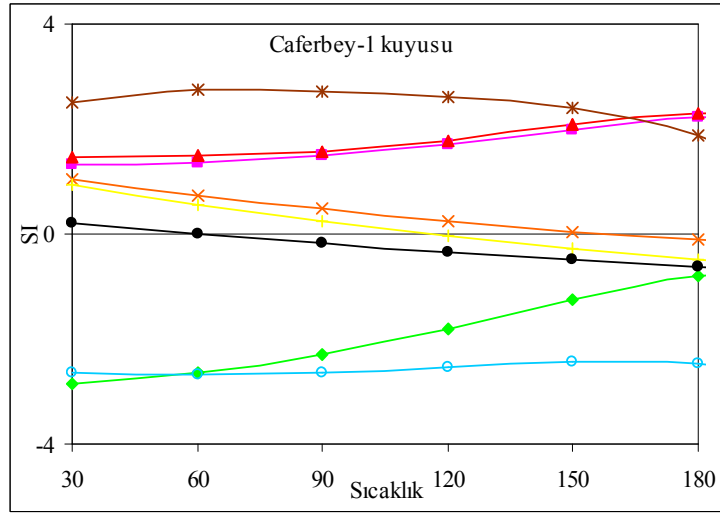
Tablo 5.14 Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki kuyuların çöken kalsit miktarı ve kuyunun tamamen tıkanması için geçecek sürelerin hesaplanması.

Numune	Çöken kalsit (mol/kg)	Çöken kalsit (mmol/kg)	Çöken kalsit (mg/kg)	Kuyu debisi (lt/sn)	Çökeltme hızı (mg/sn)	Kalsit (gr/gün)	Kuyu çapı (inç)	Kuyu hacmi (m <sup>3</sup> )	Tıkanması için gerekli kabuk (gr)	Tıkanması için gerekli gün
<b>K-11 İnhibitörsüz</b>	1.76E-03	1.76	175.793	43	7559.09	653105.44	13 <sup>3/8</sup> "	3.43	9248424.91	14.16
K-11 İnhibitörlü	1.95E-03	1.95	194.899	43	8380.67	724090.31	13 <sup>3/8</sup> "	3.43	9248424.91	12.77
<b>K-2 İnhibitörsüz</b>	1.36E-03	1.36	136.008	13	1768.11	152764.44	10"	2.03	5472440.77	35.82
K-2 İnhibitörlü	1.35E-03	1.35	134.637	13	1750.28	151224.31	10"	2.03	5472440.77	36.19
<b>K-5 İnhibitörsüz</b>	2.12E-03	2.12	211.944	45	9537.49	824039.17	10"	2.03	5472440.77	6.64
K-5 İnhibitörlü	2.22E-03	2.22	222.153	45	9996.89	863731.27	10"	2.03	5472440.77	6.34
<b>K-19 İnhibitörsüz</b>	1.70E-03	1.70	170.078	16	2721.25	235115.60	13 <sup>3/8</sup> "	3.43	9248424.91	39.34
K-19 İnhibitörlü	2.01E-03	2.01	200.935	16	3214.95	277772.08	13 <sup>3/8</sup> "	3.43	9248424.91	33.30
<b>K-12 İnhibitörsüz</b>	1.74E-03	1.74	173.711	12	2084.53	180103.56	13 <sup>3/8</sup> "	3.43	9248424.91	51.35
K-12 İnhibitörlü	2.01E-03	2.01	201.085	12	2413.02	208484.71	13 <sup>3/8</sup> "	3.43	9248424.91	44.36
<b>K-15 İnhibitörsüz</b>	1.50E-03	1.50	150.501	34	5117.03	442111.21	13 <sup>3/8</sup> "	3.43	9248424.91	20.92
K-15 İnhibitörlü	1.56E-03	1.56	156.086	34	5306.91	458517.28	13 <sup>3/8</sup> "	3.43	9248424.91	20.17

Caferbey-1 kuyusunun sıcaklık-doygunluk indeksi diyagramında sular, kalsit (CaCO<sub>3</sub>), aragonit (CaCO<sub>3</sub>) ve dolomit (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) minerallerini çökeltici özelliktedir (SI>0). Amorf silis, 60 °C; kuvars, 120 °C ve kalsedon mineralleri 160 °C'den yüksek sıcaklık değerlerinde doymuş değildir (Şekil 5.14).

Sart Jeotermal Alanı'ndaki termal kaynağına ait sıcaklık-doygunluk indeksi diyagramında da amorf silis ve jips mineralleri tüm sıcaklık değerlerinde sularda çözünme eğilimindedir (SI<0). Kalsit, 30 °C; aragonit, 60 °C ve kalsedon, 65 °C'den yüksek sıcaklık değerlerinde aşırı doymuşdur. Kalsedon, 100 °C; Kuvars, 130 °C'den yüksek sıcaklıklarda çözünme eğilimindedir (Şekil 5.14).

Sera Termal Suları'nda anhidrit, anortit, amorf silis, dolomit ve jips mineralleri tüm sıcaklık değerlerinde sularda çözünme eğilimindedir (SI<0). Kalsit 105 °C ve aragonit yaklaşık 110 °C'den yüksek sıcaklık değerlerinde aşırı doymuşdur. Albit 65 °C, kalsedon, 105 °C; kuvars, 140 °C'den yüksek sıcaklıklarda çözünme eğilimindedir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 İnceleme alanındaki diğer termal suların Sıcaklık – SI grafikleri.

Tüm bu değerlendirmelere göre inceleme alanındaki termal sular genel olarak karbonat minerallerini (kalsit, aragonit ve dolomit) çöktürücü özelliktedir. İkincil olarak bazı silis mineralleri de (kalsedon, kuvars) çökebilme riski (kabuklaşma) taşımaktadır. Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki üretim ve re-enjeksiyon kuyuları dikkate alındığında silis minerallerinin de çökme riski taşıdığı ve üretim kuyularında bir probleme neden olmasa da re-enjeksiyon kuyularında kabuklaşma problemine neden olabileceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle yeni işletmeye açılacak jeotermal alanlarda termal suların ve üretim kuyuların özelliklerine uygun şekilde kabuklaşma çözüm yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir.

### 5.6 Su Kalitesi Açısından Değerlendirme

Sular sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre kullanımlarının belirlenmesi amacıyla bazı standartlara göre sınıflandırılmaktadır. Bu standartlar ile suların kimyasal analiz sonuçlarına dayalı olarak kullanımlara uygunluğu belirlenebilmektedir.

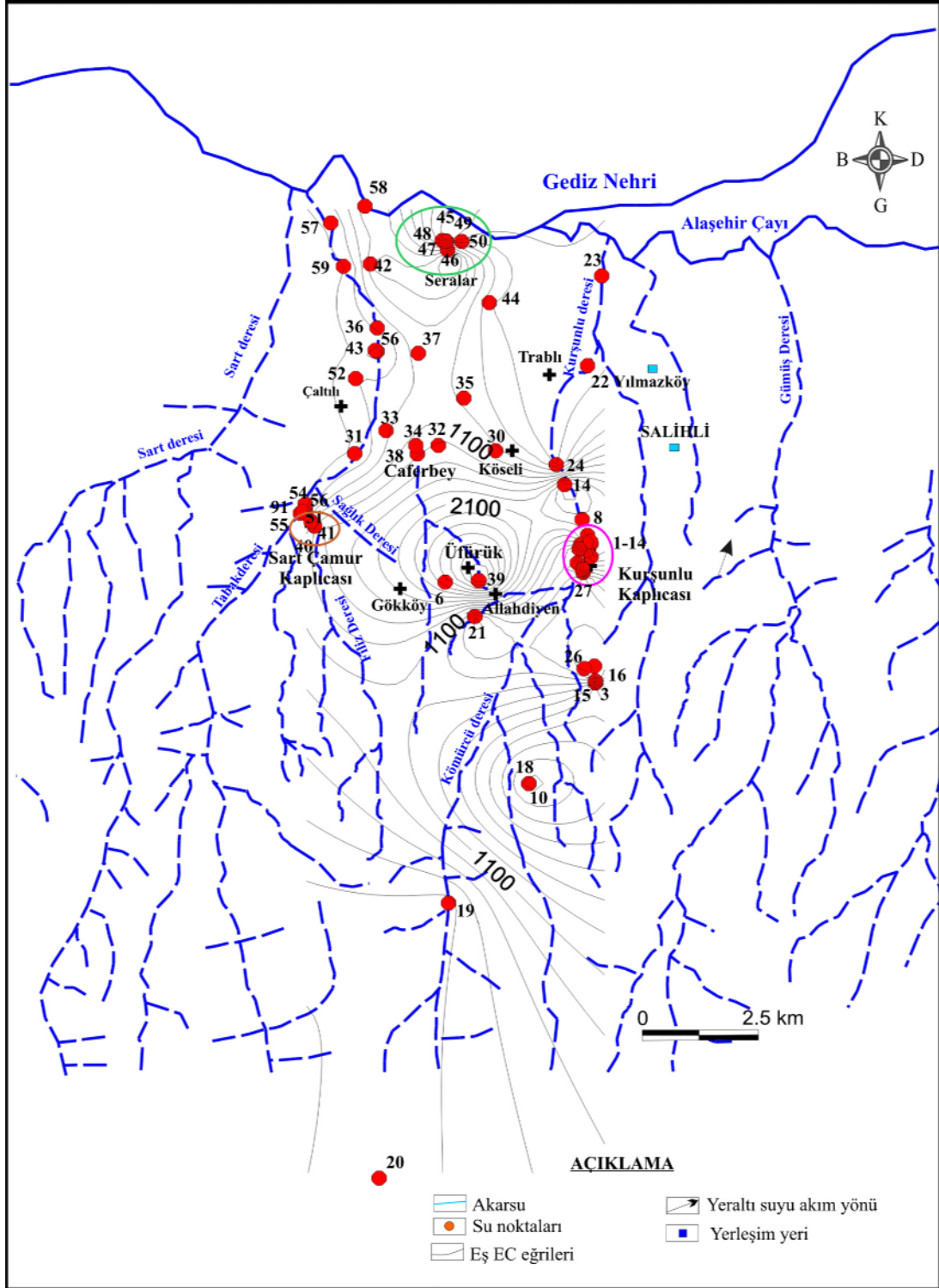
Çalışma alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları kullanım açısından değerlendirilmesi için çeşitli ulusal ve uluslararası içme suyu kalitesi standartları (TS-266, 2005; USEPA, 1994; WHO, 2004; Sağlık Bakanlığı, 2003; Kaplıcalar Yönetmeliği, 2001) ile karşılaştırılmıştır (Tablo 5.13).

Soğuk yeraltı suları ve yüzey sularının pH değerleri 5,7-8,7 değerleri arasında olup, genel olarak bazik bileşimli sulardır. Termal ve mineralli suların pH değerleri genellikle asidik bileşimli olup, 5,7-7,8 değerleri arasında değişmektedir. Alandaki soğuk yeraltı ve yüzey sularının EC değerleri 190-1350  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerleri arasındadır. Termal ve mineralli suların EC değerleri 1575 ile 3650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerler arasında olup TS-266 içme suyu standartları değerlerinin üzerindedir (Tablo 5.13). Suların EC değerlerindeki değişime bakıldığında termal sular ve yakın çevresinde yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.14). Termal suların içerdiği  $\text{Ca}^{+2}$  miktarı genel olarak 49-2007 mg/l değerleri arasındadır. Yalnızca Üfürük mineral suyunun kurak ve yağışlı dönemde ölçülen  $\text{Ca}^{+2}$  miktarı 709,84 ve 808,47 mg/l olup limit değerlerin

üzerindedir. Suların  $Mg^{+2}$  miktarı 1,05–251,1 mg/l,  $K^{+}$  miktarı 4–91 mg/l ve  $Na^{+2}$  miktarı 5–660 mg/l değerleri arasında olup  $K^{+}$  ve  $Na^{+2}$  içeriği bakımından termal sular içme suyu standart değerlerinin oldukça üzerindedir,  $Cl^{-}$  miktarı tüm sularda standart limit değerlerin altındadır.  $SO_4^{-2}$  miktarı 11,5–387,7 mg/l arasında değişen değerlerde olup Üfürük ve Kurşunlu mineral suyunda  $SO_4^{-2}$  miktarı standartların üzerindedir. Soğuk yeraltı ve yüzey sularının  $HCO_3^{-}$  miktarları 34-464 mg/l değerleri arasında değişmekte ve genel olarak yüzey suları ile termal ve mineralli sularda (>1000 mg/l) standartlarda belirtilen sınır değerler üzerindedir.

Tablo 5.13 İçme sularının ulusal ve uluslararası standartları.

Özellikler	TS-266, 2005 (II. tip)	USEPA, 1997	WHO, 2004	Sağlık Bak., 2003	Kaplıcalar yön., 2001
Sıcaklık (°C)	25	-	-	-	-
pH	6,5<pH<9,5	6,5<pH<8,5	6,5<pH<8,5	6,5<pH<8,5	-
EC ( $\mu$ S/cm)	2500	-	-	-	-
$Cl^{-}$	250	250	250	250	-
$SO_4^{-2}$ (mg/l)	250	250	250	250	-
$Ca^{+2}$ (mg/l)	250	-	-	100	-
$Mg^{+2}$ (mg/l)	200	-	-	50	-
$Na^{+}$ (mg/l)	200	-	-	175	-
$K^{+}$ (mg/l)	12	-	-	12	-
$HCO_3^{-}$ (mg/l)	200	-	-	-	-
Sb ( $\mu$ g/l)	5	5	5	5	5
$Ag^{+}$ ( $\mu$ g/l)	-	10	10	-	-
$Al^{+3}$ ( $\mu$ g/l)	200	200	200	200	-
$As^{+}$ ( $\mu$ g/l)	10	50	10	10	-
$B^{+3}$ ( $\mu$ g/l)	1000	300	300	1000	-
Cd ( $\mu$ g/l)	5	5	3	5	3
Cr ( $\mu$ g/l)	50	50	50	50	40
Fe (mg/l)	0,2	0,2	0,3	0,2	0,5
Cu (mg/l)	2000	1300	2000	1500	-
Mn (mg/l)	50	50	400	50	-
Hg ( $\mu$ g/l)	1	1	0,1	10	1
Ni ( $\mu$ g/l)	20	50	20	20	50
Pb ( $\mu$ g/l)	10	15	10	10	10



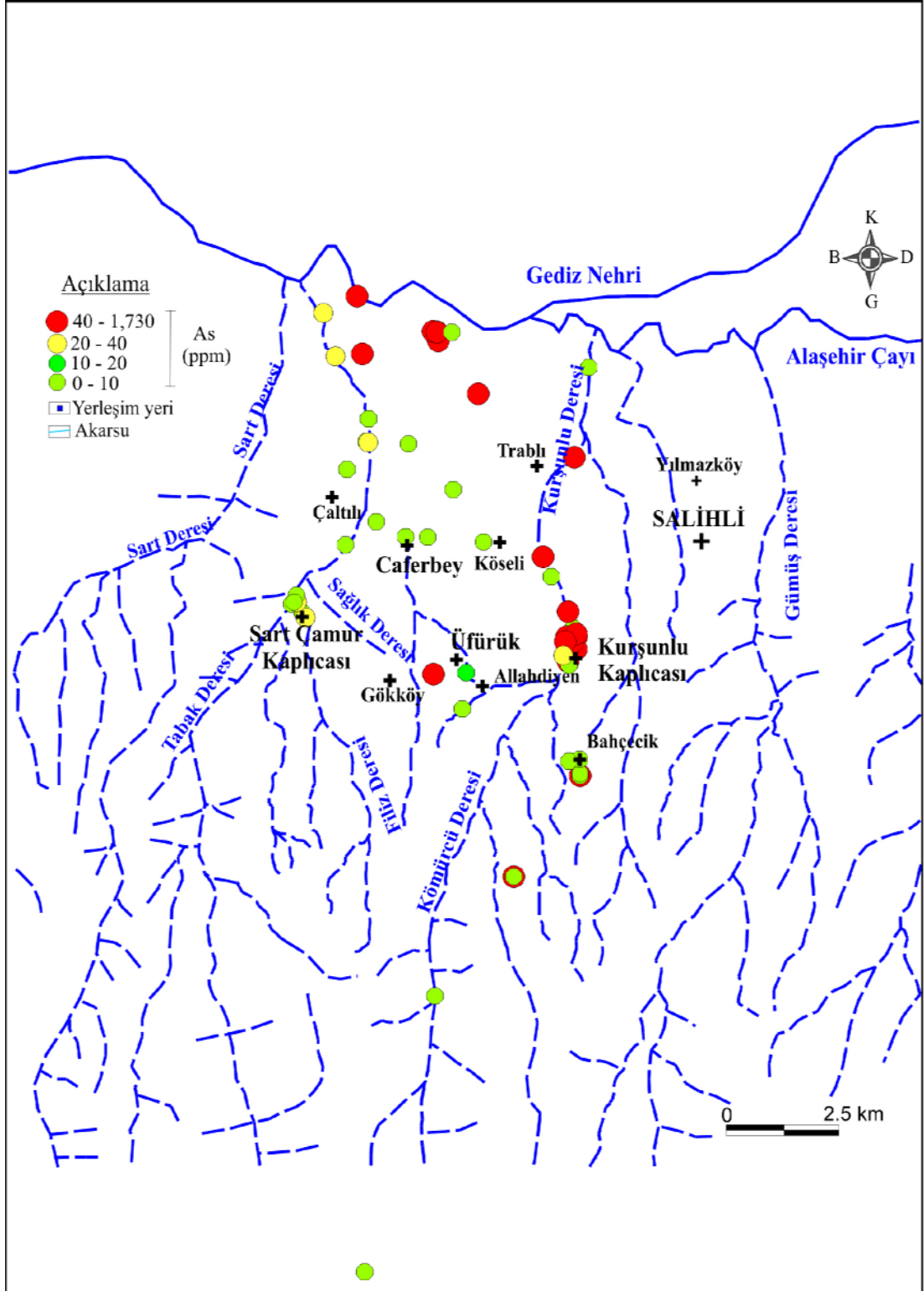
Şekil 5.15 İnceleme alanındaki suların EC tematik haritası.

Kimyasal analizler, sularda istenmeyen maddeler açısından değerlendirildiğinde inceleme alanındaki sularda  $As^+$  miktarı 14–3455  $\mu\text{g/l}$ ,  $B^{+3}$  miktarı 1–67  $\text{mg/l}$ ,  $Sb^{+3}$  miktarı 10–421  $\mu\text{g/l}$  ve  $Fe^{+2}$  miktarı 0,001–68  $\text{mg/l}$  arasında olup bazı örneklerde bu

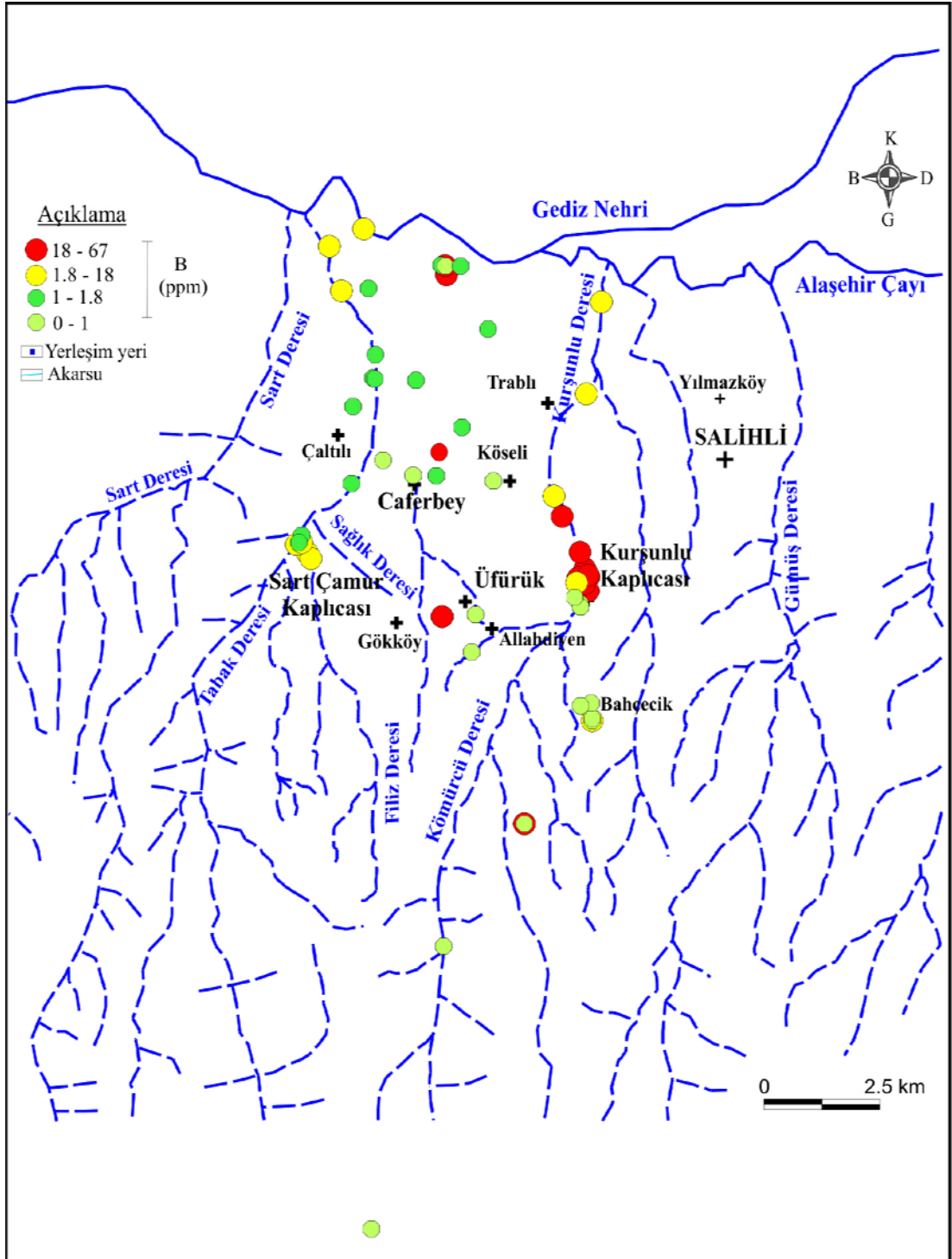
maddelerin konsantrasyonları içme suyu standart değerlerinin üzerindedir. İnceleme alanında termal sularda (Örnek No: 1-14, 22, 25, 40, 41, 45 ve 46), termal suların soğuk sulara karıştığı alanlarda (Örnek No: 31, 32, 34, 35, 36, 37, 42-44 ve 48-50) ile yüzey sularının termal suların karıştığı bölgeler ve her türlü insan kaynaklı, tarımsal, endüstriyel ve benzeri kirleticilerden etkilenen alanlarda (Örnek No: 50-58) standartların üzerindedir (Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18 ve Şekil 5.19).

Termal ve mineralli suların balneoterapi (banyo, içme ve solunum kürleri) yöntemlerinden biri olan içme küründe bu suların gün boyu bölünmüş dozlarda ve belirli miktarlarda içilmesi söz konusudur. Kullanılan suyun kimyasal bileşimine bağlı olarak, sindirim sistemi, organ ve fonksiyonları üzerine doğrudan, böbrekler ve idrar yolları üzerine ise dolaylı etkileri görülmektedir. Bu suların içiminde sindirim yolu ile alındığı için içme kürlerinin etkisi suların kimyasal kompozisyonu ve içme miktarına göre değişir. Magnezyum sülfatlı sular az miktarda alınırsa kolagogik etki, fazla miktarda alınırsa laktasif etki gösterirler. Bu uygulamada içmenin yanı sıra banyo uygulamasında da vücuda deri ve solunum mukozası ile adsorbsiyon ile geçebilecek minerallerin toplam etkisi de göz önüne alınmalıdır (Özbek, 2009).

İnceleme alanındaki termal ve mineralli sularda bulunan eser elementlerin miktarları, içme sularındaki eser elementlerin maksimum değerleri göz önüne alındığında,  $As^+$ ,  $B^{+3}$ ,  $Sb^{+3}$  ve  $Fe^{+2}$  konsantrasyonları Tablo 5.13'de belirtilen standartların üstündedir. Bu nedenle içme kürü olarak kullanılmaları sakıncalıdır. Ayrıca termal sulara yakın ya da jeotermal rezervuarın etkilediği sulama amaçlı açılmış kuyulardan elde edilen suların da (Örnek No: 31, 32, 34, 35, 36, 37, 42-44 ve 48-50) içme suyu amaçlı kullanılmaması önerilmektedir.

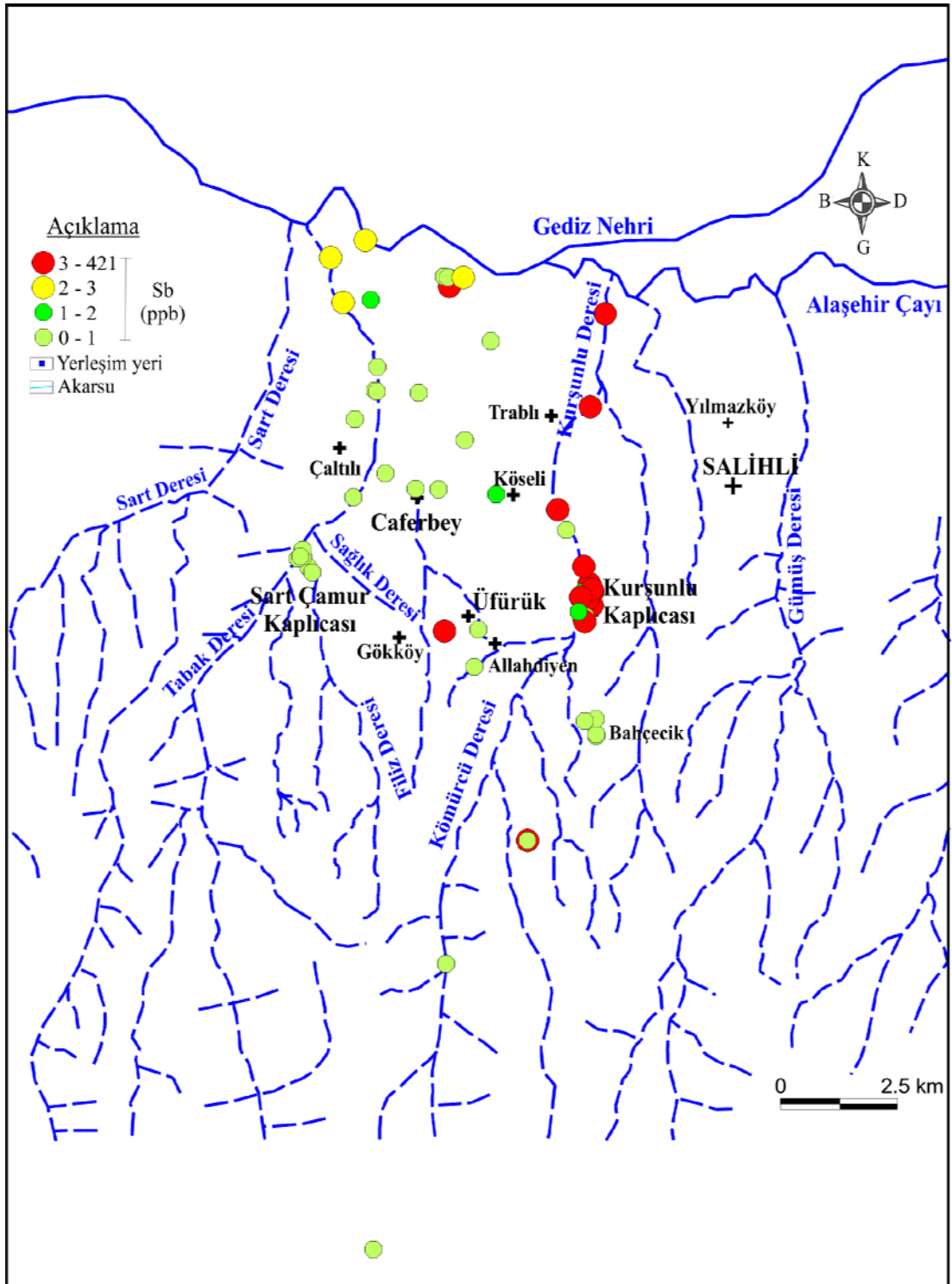


Şekil 5.16 İnceleme alanındaki suların  $As^+$  konsantrasyon dağılımı.

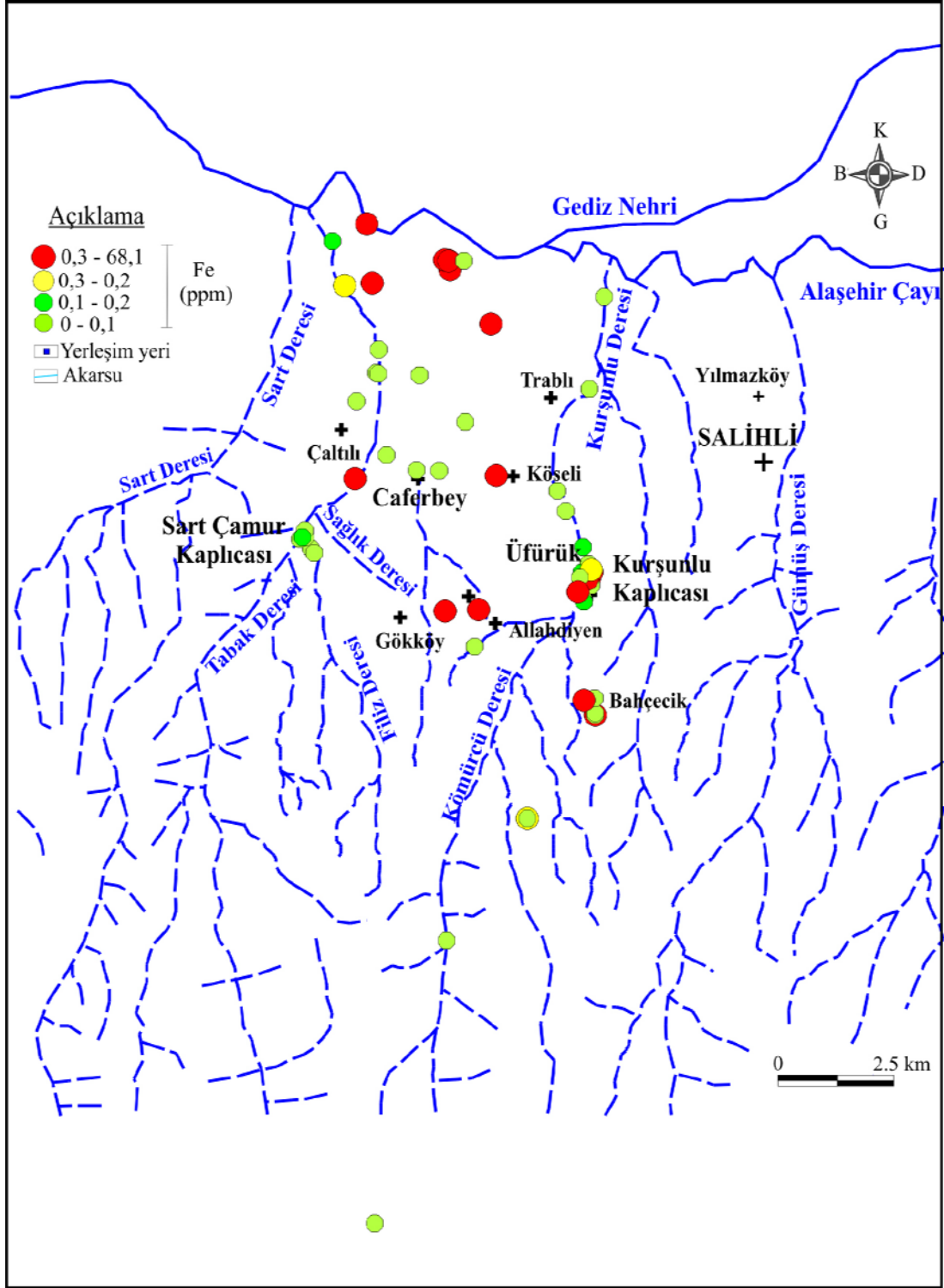


Şekil 5.17 İnceleme alanındaki suların B<sup>+3</sup> konsantrasyon dağılımı.





Şekil 5.18 İnceleme alanındaki suların  $Sb^{+3}$  konsantrasyon dağılımı.



Şekil 5.19 İnceleme alanındaki suların  $Fe^{+2}$  konsantrasyon dağılımı.

## BÖLÜM ALTI

### İZOTOP JEOKİMYASI

#### 6.1 Giriş

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

Hidrolojide kullanılan başlıca izotoplar suyun yapısında bulunan oksijen ve hidrojenin izotoplarıdır. Ayrıca azot, klorür, kükürt, asal gazlar, uranyum ve toryum v.b. elementlerin izotopları da yüzey ve yeraltı suyu sistemlerinde kirleticinin kökenlerinin belirlenmesi, hareketinin saptanması gibi çalışmalarda etkin olarak kullanılmaktadır.

#### 6.2 Duraylı İzotoplar

Hidrojen elementinin kütle numarası 1 olan  $^1\text{H}$ -hidrojen izotopu %99.985 ile doğada en fazla bulunma oranına sahiptir. Hidrojen elementinin kütle numarası 2 olan ağır izotopu  $^2\text{H}$ -döteryumun doğada bulunma oranı ise nispeten daha düşüktür. Oksijen elementinin üç adet kararlı izotopu ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) mevcuttur. Değişik hidrojen ve oksijen izotoplarına sahip olan su moleküllerinin ancak üç tanesi doğada ölçülebilir konsantrasyonlarda bulunur. Bunlar  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  ve  $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$  dur (Çifter ve Sayın, 2002).

İzotopik çevrimde yeraltı suyunun en büyük kaynağı okyanuslar olup kararlı izotop konsantrasyonu sabittir. Diğer bütün suların izotop değerleri,  $\delta$  değeri sıfır

kabul edilen SMOW (Standard Mean Ocean Water)'a göre ölçülmektedir. Numunenin ağır izotop içeriği, bir referansın ağır izotop içeriğinden olan bağıl farkla, yani numunenin referansa göre izotopik konsantrasyonunu ifade eden  $\delta$  değeri ile gösterilmektedir

İzotopik içerikler aşağıdaki  $\delta$  notasyonu ile verilir

$$\delta(o/oo) = \left[ \frac{R_{\text{numune}} - R_{\text{standart}}}{R_{\text{standart}}} \right] \times 1000$$

$\delta$  değeri bağıl bir değerdir. Yani  $\delta$  değeri, numunenin  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  veya  $^2\text{H}/^1\text{H}$  oranı bir standardın  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  veya  $^2\text{H}/^1\text{H}$  oranından farklılığıdır. Oranlardaki bu değişimler ancak kütle spektrometreleriyle saptanabilir. Kütle spektrometresi, iyonlaştırılmış ölçüm gazının hız süzgecinden geçtikten sonra manyetik alan uygulanması esnasında farklı iyonların farklı dairesel yörüngeler çizerek kolektörlerde toplanması ve yükselteç ve diğer elektronik sistemler aracılığıyla ölçülmesi prensibi ile çalışır. Su analizlerinde izotoplar için kabul edilen standart SMOW (Standart Mean Ocean Water) dur. İzotopik içerikleri analiz sonucu olarak verilirken döteryum için  $^2\delta$ ,  $\delta^2\text{H}$  veya D, Oksijen-18 izotopu için  $\delta^{18}\text{O}$  veya  $^{18}\delta$  ifadeleri kullanılır.

Bilindiği gibi doğal sulara  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ve D/H izotopik oranlarının değişimi buharlaşma ve yoğunlaşma sonucu olur. Su, yoğunlaşma ve buharlaşma durumuna geçtiği zaman suyun farklı izotopik gruplarında hava içerisindeki buhar basınçları ve difüzyon hızlarındaki farklılık nedeni ile izotopik ayrışma meydana gelir. Sıcaklık yağışlardaki izotopik ayrışmayı kontrol eder. Su molekülünde bulunan hidrojen ve oksijen izotopları, küresel döngü içinde hem geçmişteki değişiklikleri hem de gelecekteki davranışları anlamak açısından önemli birer izleyicilerdir (Clark ve Fritz, 1997).

Meteorik suların izotopik kompozisyonundaki en önemli değişiklikler troposferde gerçekleşir. Meteorik sulara kararlı izotop dağılımının karakterize edilmesi yeraltı sularının incelenmesi açısından çok önemlidir. Atmosferik buharın yoğunlaşması ve

soğuması sonucu ardı ardına meydana gelen yağışın ağır izotop kompozisyonu, meydana geldiği buhar fazının ağır izotop kompozisyonuna göre zenginleşmiş ancak kendisinden önceki yağışın ağır izotop içeriğine göre fakirleşmiştir. Buhar ve sıvı dönüşümleri sırasında oluşan izotopik ayrımın derecesi sıcaklık faktörü ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle sıcaklık ile izotopik kompozisyon arasında pozitif bir ilişki vardır (Gat ve Gonfiantini, 1981).

Yağışların izotopik kompozisyonu ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki ilişki ilk olarak Dansgaard (1946) tarafından ortaya konmuştur. Daha sonra bu modeli Rayleigh kullanarak geliştirmiş ve Craig ve Gordon tarafından şekillendirilmiştir. Yağışların O-18 ve Döteryum içeriklerinin değişimi paralellik gösterir (Çifter ve Sayın, 2002). Gözlenen korelasyon aşağıdaki genel bağıntı ile verilmektedir.

$$\delta D = A\delta^{18}O + B$$

Bu ifadede B döteryum fazlalığı olarak tanımlanmaktadır ve yerel olarak değişim gösterebilmektedir. Yağışların çevresel izotop değerlerinin belirlenebilmesi için Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA) ve Dünya Meteoroloji Organizasyonunun (WMO) işbirliğiyle 1960 yılından itibaren dünyadaki yaklaşık 153 yağış istasyonlarından toplanan yağış numunelerinin izotop içerikleri belirlenmiştir (Çifter ve Sayın, 2002). Global Meteorik Su Doğrusu (GMWL) olarak bilinen bu doğrunun denklemi;

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

dir. Bu doğru buharlaşma etkisinde olmayan sular için geçerlidir. Çeşitli etkiler nedeni ile A ve B değerleri genel denklemi ifade eden 8 ve 10 değerlerinden sapmalar gösterirler. Örneğin Akdeniz'deki yağışlar için döteryum fazlalığı batıdan doğuya doğru artış göstermektedir. Bu bölgedeki yağışlar yüksek hıza sahip buharlaşma etkisi altındaki Akdeniz kaynaklı atmosferik su buharından oluşmaktadır. Döteryum fazlalığı esasen okyanus ve deniz kenarındaki atmosferik neme yani klimatolojik faktörlere bağlıdır (Çifter ve Sayın, 2002).

İzotop hidrolojisi çalışmalarındaki yorumlar (beslenme alanının belirlenmesi, yağış-yeraltı suyu ilişkisi, yüzey suları – yeraltı suyu ilişkisi, yüzey sularının yeraltı suyunu besleme miktarı vb.) yeraltı sularının kararlı izotop içeriklerindeki değişimler kullanılarak çizilen ve üzerinde global meteorik su doğrusunun yer aldığı döteryum ve Oksijen-18 değişim grafiğinde yapılmaktadır. Deniz ve göl suları izotopik içeriği en zengin olan sulardır. Jeotermal sistemlerdeki sıcak suların ise Oksijen-18 değişimine karşılık döteryumunda belirli bir değişim olmaz.

### 6.3 Radyoaktif İzotoplar

Hidrojeolojik çalışmalarda kullanılan radyoaktif izotopların başında hidrojen elementinin kütle numarası 3 olan Trityum ( $^3\text{H}$ ) ve karbon elementinin kütle numarası 14 olan Karbon-14 ( $^{14}\text{C}$ ) izotopları gelmektedir.

Yarı ömrü 12,32 yıl ( $4500 \pm 8$  gün) olan ve beta bozunması veren trityum, atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluştuğu gibi, termonükleer denemeler sonucunda da oluşmaktadır. Trityum atomları doğada  $1.10^{-15}$  oranında bulunur. Su içerisindeki trityum konsantrasyonu trityum birimi (TU) olarak verilmektedir. Yani  $10^{18}$  hidrojen atomuna karşı bir trityum atomunun bulunması ‘1 Trityum Birimi (TU)’ olarak tanımlanır. Radyoaktif olmasından dolayı uğradığı zamansal değişim nedeniyle yeraltı sularının bağıl yaşının (eskilik derecesi) belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır. Ayrıca yeraltı sularının rezervuarda yenilenme sürelerinin tahmini yapılmaktadır. Yenilenme süresinin tahmini yeraltı suyu hareket hızının belirlenmesinde rol oynamaktadır.

Radyoaktif izotopların bir başkası ise Karbon-14’ dür. Karbon -14, 5730 yıl yarı ömre sahiptir ve 156 keV maksimum beta enerjisi verir. Doğada  $1.10^{-12}$  bolluğunda bulunan bu izotop da trityum izotopu gibi atmosferde doğal olarak ve nükleer denemelerle oluşarak hidrolojik çevrime girer. Karbon-14 genelde yeraltı suyu yaşının belirlenmesi amacıyla kullanılır (Çifter ve Sayın, 2002).

Doğada bu kadar az bulunan bu atomların analiz edilebilmesi için gelişmiş nükleer tekniklerin kullanılması zorunlu olmaktadır. Tritiyum ve Karbon-14 analizlerinde yaygın olarak kullanılan sistemlerden birisi sıvı sintilasyon sayma sistemidir. Sıvı sintilasyon sayma sistemi, sayım için bir yöntemle hazırlananmış sintilatör ilaveli numunenin sayma sisteminde sayılması prensibine dayanır. Numune içindeki beta parçacıkları atom çekirdeklerinden yayınlanır, sintilatör atomları uyararak fotonları oluşturur ve bu fotonlar foto çoğaltıcı tüp aracılığıyla elektriksel darbelere dönüştürülerek çıkış sinyali olarak kayıt edilirler.

Hidrolojik çevrim sürecinde, suyun içeriğindeki kararlı izotoplarda meydana gelen izotopik değişimler, su kütlelerine değişik mesajlar verir. Söz konusu bu mesajların deşifre edilmesi su kütlelerinin hareketlerinin izlenmesini mümkün kılar. Radyoaktif izotoplar ise yarılanma ömürleri nedeniyle suların eskilik derecelerinin belirlenmesi, suların akiferde kalış ve yenilenme süresinin belirlenmesinde izleyici olarak kullanılırlar.

İzotop hidrojeolojisindeki hızlı gelişim, farklı izotoplar kullanılarak yukarıda özetlenen kullanım alanlarına yeni uygulama alanları eklenmesine olanak vermiştir. Örneğin, bor izotopları yeraltı suyu içerisindeki pis su atıklarının belirlenmesinde izleyici olarak, klorür izotopları yavaş hareket eden yeraltı suyu sistemlerinde, tuzluluğun kaynağı hakkında bilgi vermesi açısından kullanılmaktadır. Kripton-85 ve Helyum-3 akışkanların kaynağının ve genç suların yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Suyun içerisindeki kararlı izotoplar çeşitleri ( $\delta^2\text{H-H}_2\text{O}$ ,  $\delta^{18}\text{O-H}_2\text{O}$ ,  $\delta^{34}\text{S-SO}_4^{-2}$ ,  $\delta^{18}\text{O SO}_4^{-2}$ ,  $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$  vb.) hidrojeokimyasal ve hidrodinamik görüşlere açıklık getirebilmek için de kullanılmaktadır (Çifter ve Sayın, 2002).

#### **6.4 İzotop Jeokimyası Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Suların izotop analizleri termal sular, mineralli sular ile yüzey ve soğuk yeraltı suları olmak üzere üç grupta incelenmiştir (Tablo 6.1). Tablo 6.1’de görüleceği gibi termal suların  $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ortalama olarak sırasıyla -52,32 ve -7,16’dır.

Tablo 6.1 İnceleme alanındaki suların izotop analiz sonuçları (örnekleme noktaları Şekil 4.1 ile aynıdır.

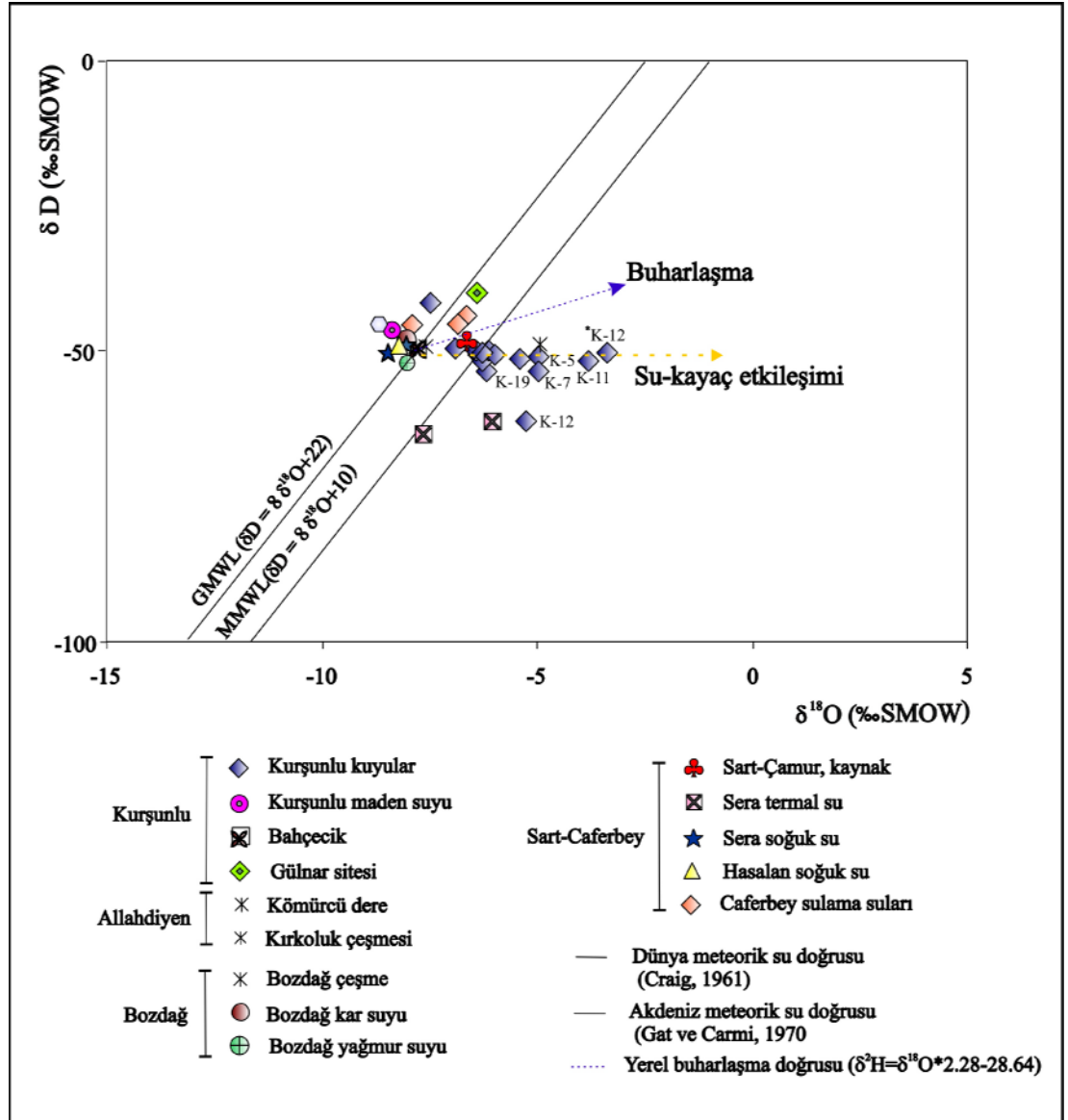
No	Yer	Örnekleme tarihi	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	$^3\text{H(TU)}$
8	Kurşunlu, K-11 kuyusu	29.09.2006	-51.90	-5.06	2.39
		13.02.2008	-51.09	-7.55	1.40
9	Kurşunlu, K-12 kuyusu	29.09.2006	-50.58	-4.62	2.00
		13.02.2008	-60.69	-6.49	0.27
4	Kurşunlu, K-5 kuyusu	29.09.2006	-53.50	-7.4	2.00
		30.08.2007	-51.11	-6.22	1.25
		13.02.2008	-50.91	-7.59	5.69
11	Kurşunlu, K-16 kuyusu	30.08.2007	-51.98	-7.51	2.65
3	Kurşunlu, K-4 kuyusu	30.08.2007	-50.30	-7.67	6.67
6	Kurşunlu, K-7 kuyusu	12.09.2008	-53.24	-6.23	4.88
7	Kurşunlu, K-8 kuyusu	12.09.2008	-49.88	-8.12	4.28
14	Kurşunlu, K-20 kuyusu	12.09.2008	-50.19	-7.37	0.53
29	Kurşunlu kaynak	27.03.2008	-43.18	-8.73	4.34
2	Kurşunlu, K-2 kuyusu	13.02.2008	-50.92	-7.24	0.75
13	Kurşunlu, K-19 kuyusu	13.02.2008	-50.54	-7.50	6.15
27	Kurşunlu, mineralli su	22.05.2008	-46.77	-9.73	1.92
40	Sart-Çamur Kaplıca Kaynağı	29.09.2006	-48.63	-7.88	3.59
16	Bahçecik soğuk su, kuyu	30.11.2006	-51.80	-9.23	4.81
18	Kırkoluk Çeşmesi	30.11.2006	-52.28	-9.23	4.54
-	Bozdağ, çeşme	12.03.2008	-45.91	-6.25	-
19	Kömürcü Deresi	30.11.2006	-48.80	-8.92	3.79
14	Bozdağ yolu, çeşme	30.11.2006	-46.30	-8.95	3.29
39	Üfürük, kaynak	30.11.2006	-44.30	-10.23	3.98
-	Bozdağ kar örneği	12.03.2008	-48.63	-9.25	5.27
-	Bozdağ yağmur suyu	12.03.2008	-52.24	-9.29	5.28
46	Sera, sıcak su kuyusu-2	22.05.2008	-62.77	-8.87	1.51
45	Sera, sıcak su kuyusu-1	02.08.2007	-61.08	-7.37	2.13
47	Sera soğuk su kuyusu	02.08.2007	-50.19	-9.38	0.56
44	Sera yakını soğuk su kuyusu	22.05.2008	-50.95	-9.68	5.12
50	Sera soğuk su kuyusu	22.05.2008	-50.02	-9.26	1.52
33	Caferbey, soğuk su kuyusu	02.08.2007	-46.41	-8.03	4.80
34	Caferbey, soğuk su kuyusu	02.08.2007	-45.26	-7.88	0.84
		22.05.2008	-46.55	-9.13	2.63
30	Gülнар sitesi, soğuk su, kuyu	12.09.2008	-41.79	-7.71	5.07
59	Hasalan, soğuk su kuyusu	30.08.2007	-49.35	-9.46	2.67
16	Bahçecik soğuk su, kuyu	22.05.2008	-54.14	-9.52	5.09
21	Lokanta	22.05.2008	-52.53	-9.12	4.85



Mineralli suların  $\delta^2\text{H}$  değerleri -44,30 ve -46,70 olup  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ise -9,73 ve -10,23'tür. Diğer yüzey ve yeraltı sularının  $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ise ortalama -40,01 ve -8,84'tür. İnceleme alanındaki suların izotop analizleri ile jeotermal alanlar dikkate alınarak termal suların kökeni, yaşı, beslenme alanı yüksekliği ve yeraltında kalış süreleri tahmin edilmiştir.

Suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  izotop sonuçları Şekil 6.1'de, Craig (1961) tarafından önerilen  $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$  izotop değişim diyagramında Küresel Meteorik Su Doğrusu ile Akdeniz Meteorik Su Doğrusu'na (Gat ve Carmi, 1970) göre değerlendirilmiştir. Çalışma alanındaki suların bu diyagramdaki konumlarına bakıldığında, termal suların genel olarak meteorik su özelliğinde oldukları görülmektedir. Diyagramda Salihli Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki suların su - kayaç etkileşimine bağlı olarak meteorik su eğrilerinin sağında ve yaklaşık doğrusal bir hat üzerinde gittikçe eğrilerden uzaklaşan konumda yer aldıkları açıkça görülmektedir.

Çalışma alanındaki termal sular ve mineralli suların trityum içerikleri 0,27 ile 6,67 TU arasında değişmektedir. Soğuk suların trityum içerikleri ise 0,56 ile 5,12 TU arasındadır. Kurşunlu jeotermal alanı içerisinde açılmış olan kuyuların trityum içerikleri bu suların genel olarak 1953 öncesi yağış suları ile beslendiklerini göstermektedir. Ancak trityum analizi yapılmış kuyulardan K-4, K-8 ve K-19 kuyularının trityum içerikleri diğer kuyulardan daha yüksektir (4,28-6,15 TU). Bu kuyular vadinin kuzeyinde ve Kurşunlu Deresi boyunca aynı hat üzerinde açılmış kuyulardır. Kuyulardan elde edilen rezervuar sıcaklıkları ve trityum değişimleri birlikte değerlendirildiğinde bu kuyulara soğuk yeraltı sularının karıştığı tahmin edilmektedir.



Şekil 6.1 İnceleme alanındaki suların  $\delta^{18}O$ - $\delta D$  diyagramındaki görünümü

GMWL ( $\delta D = 8\delta^{18}O + 22$ ) Dünya Meteorik Su Doğrusu (Craig 1961).

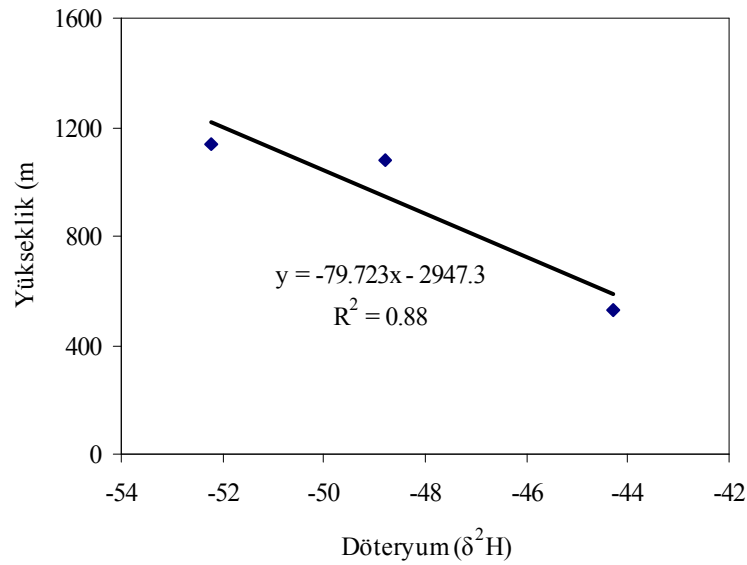
MMWL ( $\delta D = 8\delta^{18}O + 10$ ) ise Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (Gat ve Carmi 1970),.

Yağışı meydana getiren atmosferik su buharının  $^{18}O$  ve  $^2H$  içeriği coğrafi konum, enlem vb. etkiler altında yükselti ile ters orantılı olarak değişmektedir. Yükselti etkisi olarak adlandırılan bu etki aslında yükseklikle beraber sıcaklığın da azalmasından kaynaklanmaktadır (Clark ve Fritz, 1996). Jeotermal alanlarda ağır izotoplar açısından zengin kayaçlar ile jeotermal akışkan arasındaki etkileşim sonucu akışkan ağır izotoplarca zenginleşmekte ve bileşimi  $\delta^{18}O$ 'ce pozitif değerlere doğru kaymaktadır. Hidrojen ise kayaçların ana bileşimlerinden biri olmadığından, su-

kayaç etkileşimi jeotermal suların  $\delta^2\text{H}$  değerlerini değiştirmemektedir (Nicholson,1993). Bu nedenle beslenme alanı yüksekliklerinin belirlenmesinde  $\delta^2\text{H}$  değerleri tercih edilmiştir. Genel olarak her 100 m'lik yükseklik artışına karşılık  $^{18}\text{O}$  içeriğindeki azalma ‰ 0.15 ile ‰ 0.5 arasında değişirken,  $^2\text{H}$  için bu değer ‰1.0 ile ‰4.0 arasında değişmektedir (Clark ve Fritz, 1997). İnceleme alanının içerisindeki su noktalarının izotopik içeriğine bağlı olarak her 100m'lik yükseklik artışına karşılık  $^2\text{H}$  içeriğinin ‰ 1.3 azaldığı saptanmıştır.

İnceleme alanı içerisinde çeşitli yüksekliklerde düşük debili kaynak ve yağmur suyunun döteryum verisi dikkate alınarak oluşturulan  $^2\text{H}$ -yükselti grafiğinden (Şekil 6.2) ortalama beslenme yükseltisi;

Yükseklik (h)=  $-79.723 * \delta^2\text{H} - 2947.3$  ( $R^2=0.88$ ) şeklinde hesaplanmıştır.



Şekil 6.2  $^2\text{H}$ -yükselti grafiği.

İnceleme alanındaki suların bu denkleme göre hesaplanan beslenme alanı yükselteleri Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablodan da görülebileceği gibi genel olarak Kurşunlu ve Sart-Çamur jeotermal alanlarının beslenme alanı yükseltilerinin 1000–1300 m arasında değiştiği belirlenmiştir.

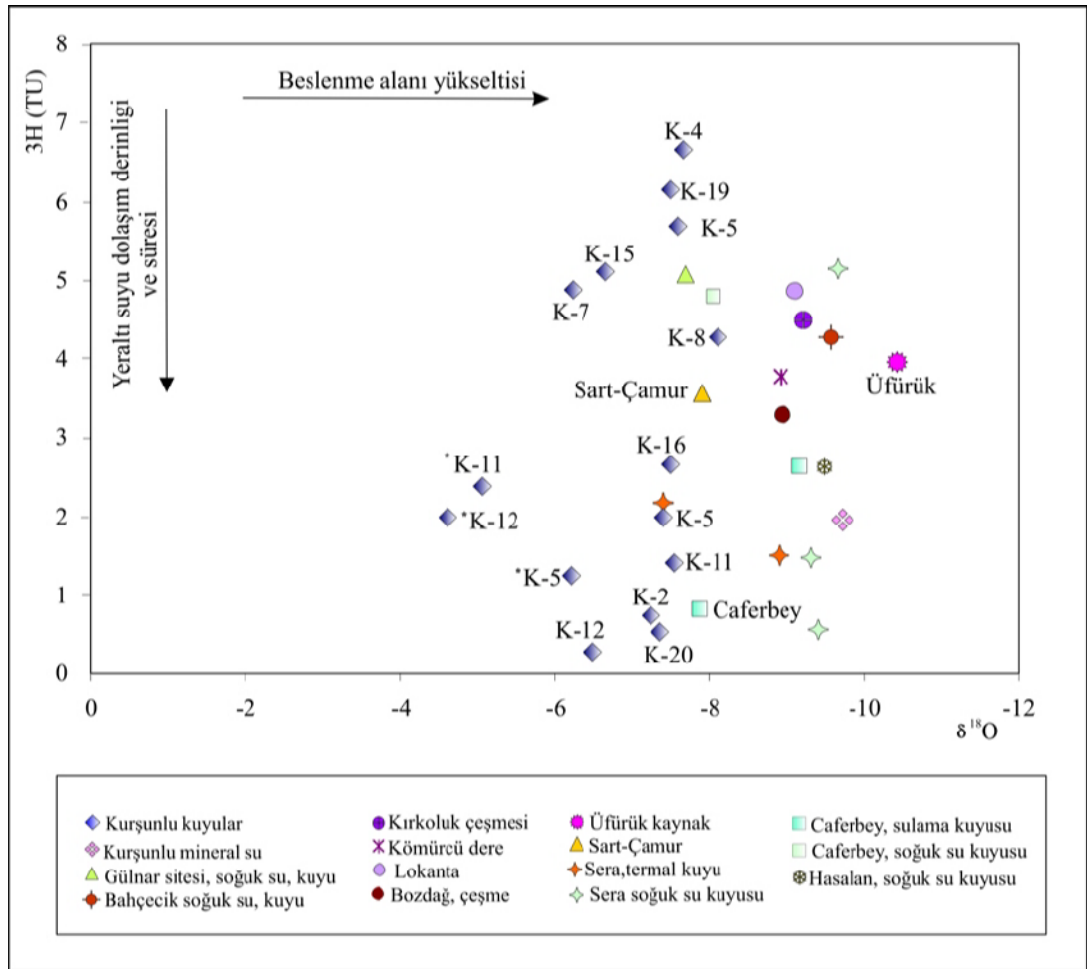
Tablo 6.2 İnceleme alanındaki termal suların beslenme alanı yükseltileri.

<b>Lokasyon</b>	<b>Boşalım kotu (m)</b>	<b>Ort. beslenme alanı yükseltisi (m)</b>
Kurşunlu, K-11	220	1190
Kurşunlu, K-12	237	1085
Kurşunlu, K-5	225	1127
Kurşunlu, K-4	217	1063
Kurşunlu, K-7	229	1297
Kurşunlu, K-8	214	1029
Kurşunlu, K-20	177	1054
Kurşunlu, K-2	224	1112
Kurşunlu, K-9	227	1082
Kurşunlu, K-19	262	1163
Kurşunlu, mineral suyu	278	781
Sart-Çamur Kaplıca kaynağı	249	930
Bahçecik soğuk su, kuyu	727	1182
Kırkoluk Çeşmesi	1083	1221
Sera, sıcak su kuyusu-2	110	2057
Sera, sıcak su kuyusu-1	82	1922
Sera soğuk su kuyusu-1	83	1054
Sera yakını soğuk su kuyusu	86	1115
Sera soğuk su kuyusu-2	101	1040
Caferbey, soğuk su kuyusu	141	753
Bahçecik soğuk su, kuyu	131	1369
Lokanta	755	1241

İnceleme alanının kuzeyinde bulunan sera termal sularının ise 1900–2100 m arasındaki yüksekliklerden beslendikleri hesaplanmıştır. Bu yükseklikler termal suların inceleme alanının güneyindeki Bozdağ Yükseltisi'ne (2159 m) karşılık gelmektedir. Bu yükseltilerdeki jeolojik birimler de Menderes Masifi

metamorfikleridir. Bu hesaplama ile Caferbey ve Üfürük jeotermal alanları ile Kurşunlu Mineral Suyu için belirlenen beslenme alanı yükselteleri diğer sulara göre daha düşüktür. Bu durumun sözü edilen suların buharlaşma etkisinde olmasından ve örnekleme kurak dönemde yapılmasından kaynaklandığı ve tam olarak termal suların beslenme alanı yükseltelerini yansıtmadığı görülmektedir.

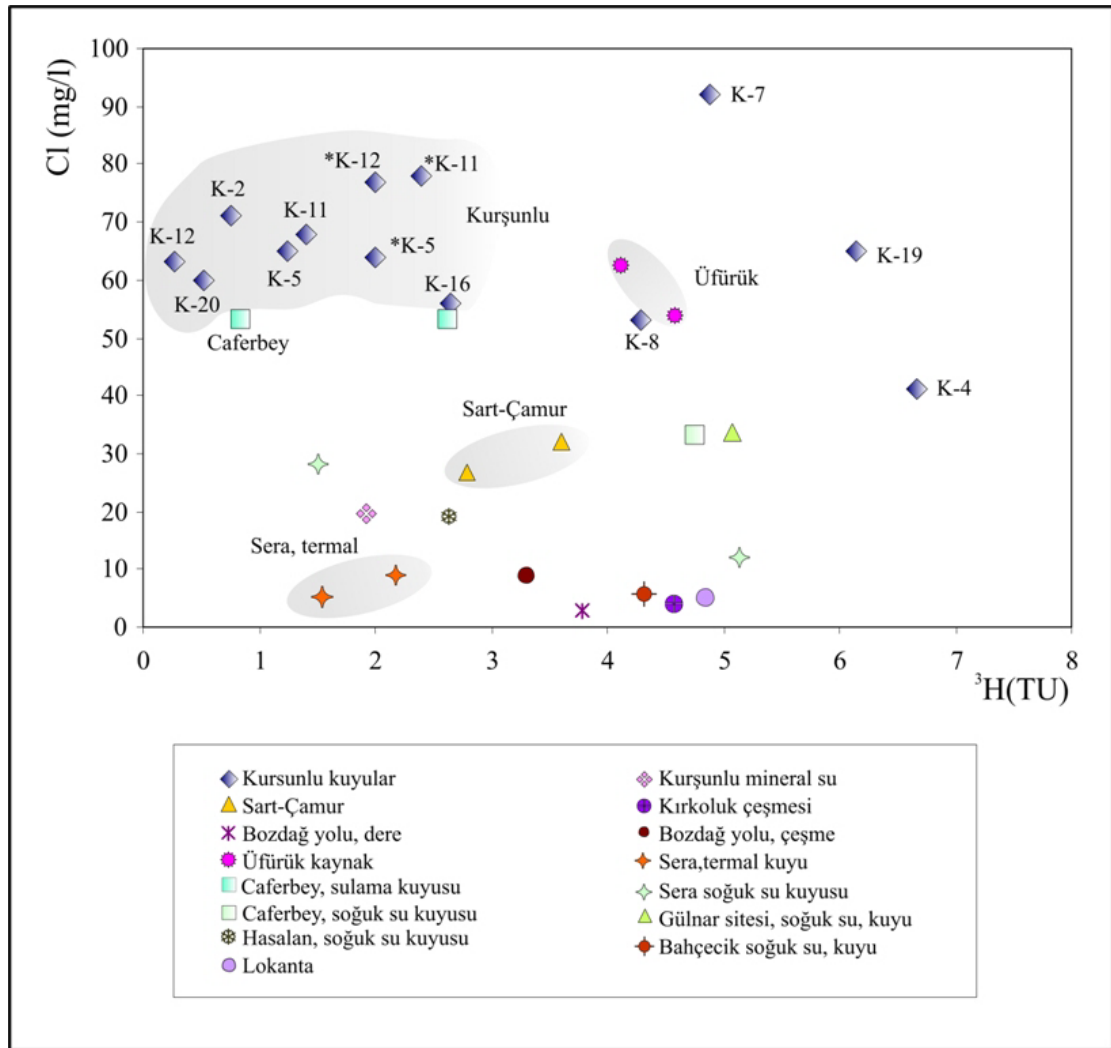
Çalışma alanındaki termal suların yeraltında kalış süreleri suların izotop verileri ile elektriksel iletkenlik (EC) ve Cl ve B konsantrasyonları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanındaki suların  $^3\text{H}-\delta^{18}\text{O}$  ilişkisi termal suların dolaşım sürelerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Suların  $^3\text{H}-\delta^{18}\text{O}$  diyagramındaki konumu.

Bu diyagrama göre genel olarak Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki termal sular, sera termal suları ile Caferbey karışım sularının dolaşım sürelerinin uzun oldukları tahmin edilmektedir. Sart-Çamur Termal Suları ve Üfürük Mineral Suları ise dolaşım sürelerinin uzun ancak güncel yağış sularının etkisinde oldukları düşünülmektedir. Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki K-4, K-7, K-8 ve K-19 kuyularının da güncel meteorik sulardan etkilendikleri tahmin edilmektedir.

İnceleme alanındaki suların Cl-<sup>3</sup>H diyagramındaki (Şekil 6.4) konumlarına bakıldığında Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki termal sular ile Caferbey Jeotermal Alanı'ndaki karışım sularının yüksek Cl ve düşük trityum içeriği ile alandaki diğer termal sulardan ayrıldıkları görülmektedir.



Şekil 6.4 Suların <sup>3</sup>H-Cl diyagramındaki konumu.

Üfürük Mineral Suları yüksek Cl içeriği ile Kurşunlu Termal Suları'na benzer ancak yüksek trityum içeriği ile güncel meteorik sulardan etkilendikleri tahmin edilmektedir. Sera termal suları düşük Cl ve Trityum içeriği ile dolaşım süresi uzun ancak soğuk yeraltı suları ile karışmış olabileceği düşünülen sulardır. Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki K-4, K-7, K-8 ve K-19 jeotermal kuyuları da eski ve güncel yağış sularının karışımını yansıtmaktadırlar (Şekil 6.4).

İnceleme alanı içerisindeki Kurşunlu Termal Suları ve çevresindeki soğuk yeraltı sularının elektriksel iletkenlik (EC) değerleri ile trityum ( $^3\text{H}$ ) içeriklerinin karşılaştırıldığı EC- $^3\text{H}$  diyagramında (Şekil 6.5) sular dolaşım süreleri bakımından incelenmiştir. Buna göre, Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki K-2, K-9, K-11, K-12, K-19 ve K-20 kuyuları ile Sera Termal Suları ve Sart-Çamur Termal Suları bir birliktelik sunmaktadır. Termal suların yüksek EC değerlerine karşılık düşük trityum içerikleri ile dolaşım sürelerinin uzun olduğu sulardır.

Kurşunlu Jeotermal Alanı'nda bulunan K-7, K-8 ve K-19 kuyularının trityum içerikleri diğer kuyulara oranla daha yüksek olup diğer suların sağında ayrı bir birliktelik oluşturmaktadır. Jeotermal sulardan etkilendikleri düşünülen soğuk suların da bu birlikteliğin içinde olması bu kuyuların güncel yağış sularından etkilendiklerini düşündürmektedir. Üfürük Mineral Suları ise bu birlikteliklerden çok farklı olarak yüksek EC ve yüksek trityum içeriği ile dolaşım süresi diğer sulara göre daha uzun ancak güncel yağışların karışımı olan sular olarak tahmin edilmektedir. Soğuk sular ise düşük EC ve yüksek trityum içeriklerine sahiptirler. Sera soğuk sularının ise düşük EC ve düşük trityum içeriği ile eski yağışlardan beslenen sular oldukları tahmin edilmektedir.

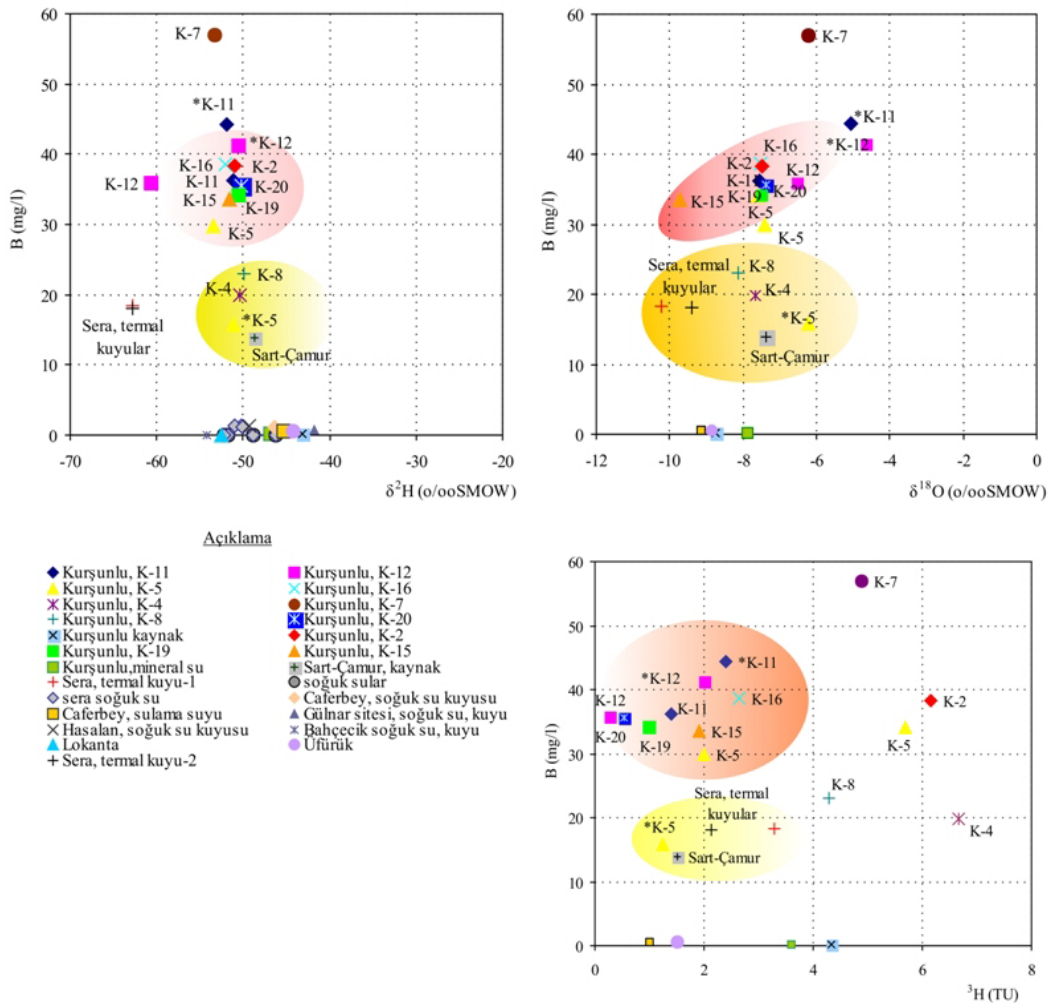
Suların EC- $\delta^{18}\text{O}$  grafiğine bakıldığında (Şekil 6.5) çalışma alanındaki termal sular genel olarak bir bütünlük oluşturmaktadırlar. Sadece Üfürük Mineral Suyu bu birlikten farklı olarak yüksek EC ve daha negatif Oksijen-18 içeriği ile diğer sulara göre daha yüksek kotlardan beslenen, dolaşım süresi daha uzun olan sulardır.





Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki yüksek EC içeriği bu alandaki termal sularda su-kayaç etkileşiminin uzun süre devam ettiğini göstermektedir. Bir başka deyişle bu suların yeraltındaki dolaşım süreleri uzundur.

İnceleme alanındaki termal suların izotop içerikleri ile B konsantrasyonu karşılaştırıldığında (Şekil 6.6) Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki termal suların diğer alanlardan farklı olarak yüksek bor değerleri ile ayrı bir birliktelik oluşturdukları görülmektedir. Sart-Çamur ve Sera Termal Suları ise Kurşunlu Jeotermal Sularına oranla daha düşük bor içeriklerine sahip olup Kurşunlu Jeotermal Sahası'nda açılan K-4 ve K-8 kuyuları ile ayrı bir birliktelik oluşturmaktadır. Oksijen-18 içeriği bakımından ise genel olarak Kurşunlu ve Sart-Çamur Termal Suları birbirine benzer sulardır. Bu durum termal suların dolaşım sürelerinin uzun ancak soğuk yeraltı suları ile karışımın daha fazla olabileceği şeklinde açıklanabilir.



Şekil 6.6 Suların izotop sonuçları ve B konsantrasyonları arasındaki ilişkiler.

## **BÖLÜM YEDİ**

### **TOPRAK KİRLİLİĞİ**

#### **7.1 Giriş**

İnceleme alanında çeşitli nedenlerle olumsuz yönde etkilendikleri düşünülen topraktan (1 adet) ve yüzey sularından sediman örnekleri (22 adet) alınmıştır (Şekil 7.1). Sediman ve toprak örneklerinin kimyasal analizleri ağır metal kirliliği bakımından değerlendirilerek kirliliğe neden olan faktörler ortaya konulmuştur.

#### **7.2 Kimyasal Analizlerin Değerlendirilmesi**

Sediman ve toprak örneklerinin kimyasal analizleri Tablo 7.1’de verilmiştir. Analiz sonuçları çeşitli sınıflandırmalar kullanılarak (Gemici ve diğer. 2009) ağır metal içeriği bakımından değerlendirilmiştir.

##### **7.2.1 Igeo Sınıflaması**

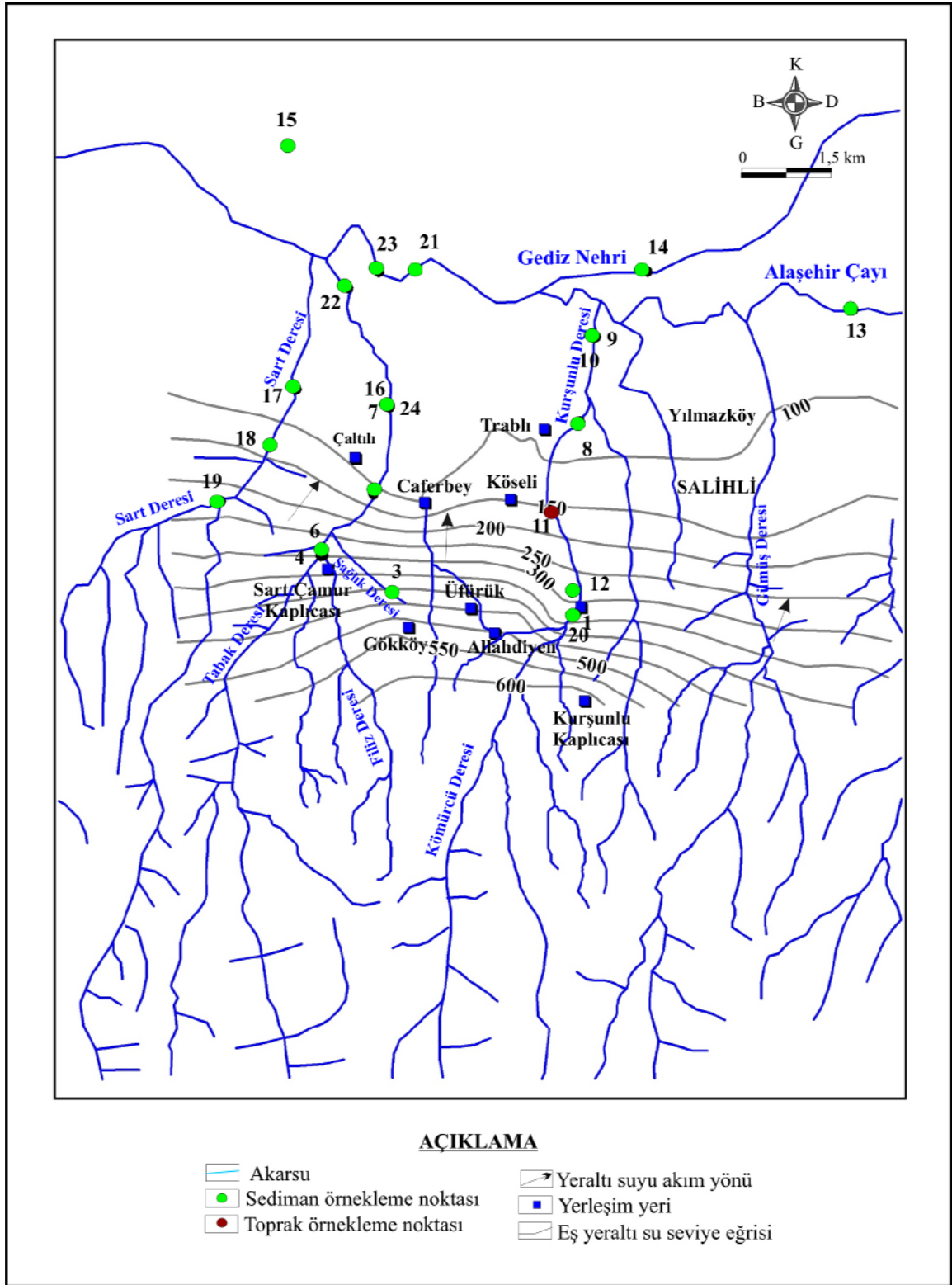
Bu sınıflamalardan biri jeo-akümülyasyon (Igeo) indeksidir. Müller (1979) tarafından geliştirilen bu yöntemle özellikle derin sulardaki sedimanların içerdikleri iz element yoğunlukları geniş bir aralıkta belirlenebilmektedir. Jeo-akümülyasyon indeksi:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5B_n}$$

formülüyle hesaplanabilmektedir.

C<sub>n</sub> : Elementin kimyasal analizler ile hesaplanan konsantrasyonu

B<sub>n</sub> : Elementin kıtasal kabuktaki konsantrasyonudur.



Şekil 7.1 İnceleme alanında sediman ve toprak örnekleme noktaları.

Tablo 7.1 İnceleme alanındaki sediman ve toprak örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (örnek numaraları Şekil 7.1 ile aynıdır).

Örnek	Örnekleme	As	Ba	B	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	La	Li	Mo	Mn	Ni	Pb	Sb	U	Zn
No	Yeri	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1	Kurşunlu deresi	20,4	48,9	7	0,09	7,8	29,6	18,66	2,21	0,09	7,8	20,9	0,25	268	22,0	6,2	1,74	0,6	54,2
2		25,1	44,4	<1	0,11	10,6	26,9	24,88	2,87	0,02	10,1	17,6	0,99	397	27,7	5,75	1,65	0,6	53,5
9	Kurşunlu deresi	31,6	78,5	5	0,12	9,9	25,6	27,62	2,99	0,14	13,0	22,2	1,22	443	27,9	8,48	10,23	0,6	58,9
10	Kurşunlu deresi	15,9	26,9	4	0,05	6,3	15,0	18,6	1,93	0,03	9,7	15,2	0,64	279	18,0	5,3	1,12	0,4	34,1
12	Kurşunlu deresi	26,8	48,6	7	0,07	9,5	35,4	20,48	2,48	0,04	12,2	19,2	1,43	324	33,6	6,69	3,15	0,6	44,3
13	Kurşunlu deresi	25,5	25,6	2	0,04	7,1	41,5	17,08	2,27	0,03	8,9	15,7	1,53	250	31,5	4,63	12,02	0,4	36,8
3	Tabak deresi	18,5	104,4	9	0,14	15,9	43,2	27,57	3,26	0,16	9,0	35,3	0,38	365	40,8	8,44	2,94	0,7	69,9
4	Tabak deresi	11,8	61,3	3	0,09	7,1	21,7	11,66	2,28	0,06	8,9	8,5	0,12	356	16,6	9,9	1,98	0,8	30,3
5	Tabak deresi	10,4	94,3	39	0,14	6,9	21,6	14,34	1,49	0,13	3,2	25,6	0,2	873	17,9	11,96	0,81	0,3	52,9
6	Tabak deresi	22,8	40,5	2	0,1	9,4	27,9	19,52	2,83	0,05	8,1	19,0	0,54	370	25,4	7,02	1,69	0,5	45,5
7	Tabak deresi	28,2	55,7	2	0,08	8,5	27,9	21,22	3,04	0,06	7,8	18,3	0,56	204	24,5	5,92	1,55	0,4	44,5
8	Tabak deresi	24,9	39,8	1	0,1	9,9	24,8	21,08	2,83	0,02	10,3	16,5	1,11	370	25,8	5,46	1,8	0,5	50,8
19	Mağara deresi	11,9	132,5	1	0,08	6,6	16,2	12,24	1,77	0,04	7,2	7,3	0,46	275	18,1	6,18	2,41	0,6	29,7
18	Sart deresi	25,1	153,1	11	0,2	18,9	51,5	32,83	4,26	0,09	12,2	27,2	0,66	582	52,5	14,44	2,9	1,0	85,4
20	Sart deresi	19,1	107,5	2	0,14	10,5	29,3	18,71	2,5	0,05	9,5	15,5	0,49	388	30,1	19,31	8,35	0,7	48,6
11	Tarım toprağı	21,3	39,0	3	0,12	10,6	21,6	46,1	2,62	0,02	13,8	21,2	0,92	393	28,9	12,11	0,66	0,9	57,9
17	Hasalan GB'sı dere	16,0	78,1	17	0,13	10,0	28,4	20,66	2,12	0,09	5,7	20,7	0,33	297	24,3	10,79	2,5	0,7	80,9
24	Hasalan Gs'su dere	13,3	79,4	7	0,1	11,2	30,3	20,59	2,38	0,10	8,5	20,8	0,46	290	26,4	8,85	2,01	0,7	55,4
14	Alaşehir çayı	38,3	220,1	7	0,25	30,0	75,7	62,95	5,63	0,12	52,6	26,2	1,95	687	70,9	17,55	0,87	3,4	115,6
15	Alaşehir çayı	12,0	101,8	4	0,06	4,9	21,9	5,64	0,93	0,02	11,1	4,9	0,48	177	31,8	4,64	1,02	0,9	14,0
16	Gediz nehri	12,8	66,1	4	0,04	4,4	15,5	3,75	0,6	0,06	7,8	3,6	0,25	134	28,1	4,06	0,6	0,7	9,6
21	Gediz nehri	18,9	83,3	5	0,08	7,2	364,8	14,7	1,14	0,10	9,4	7,2	0,54	255	37,1	7,65	1,96	1,2	51,5
22	Gediz nehri	13,1	61,4	6	0,04	4,6	23,6	5,28	0,78	0,03	7,7	4,9	0,22	151	22,7	4,00	1,84	0,7	14,4
23	Gediz nehri	15,1	53,3	3	0,08	8,0	23,0	15,76	2,04	0,03	9,5	13,3	0,57	246	20,0	5,34	2,15	0,6	34,6

Bn değeri (referans değeri) her element için ayrı olup bu çalışmada kullanılan değerler Tablo 6.1' de kaynakları ile birlikte verilmiştir.

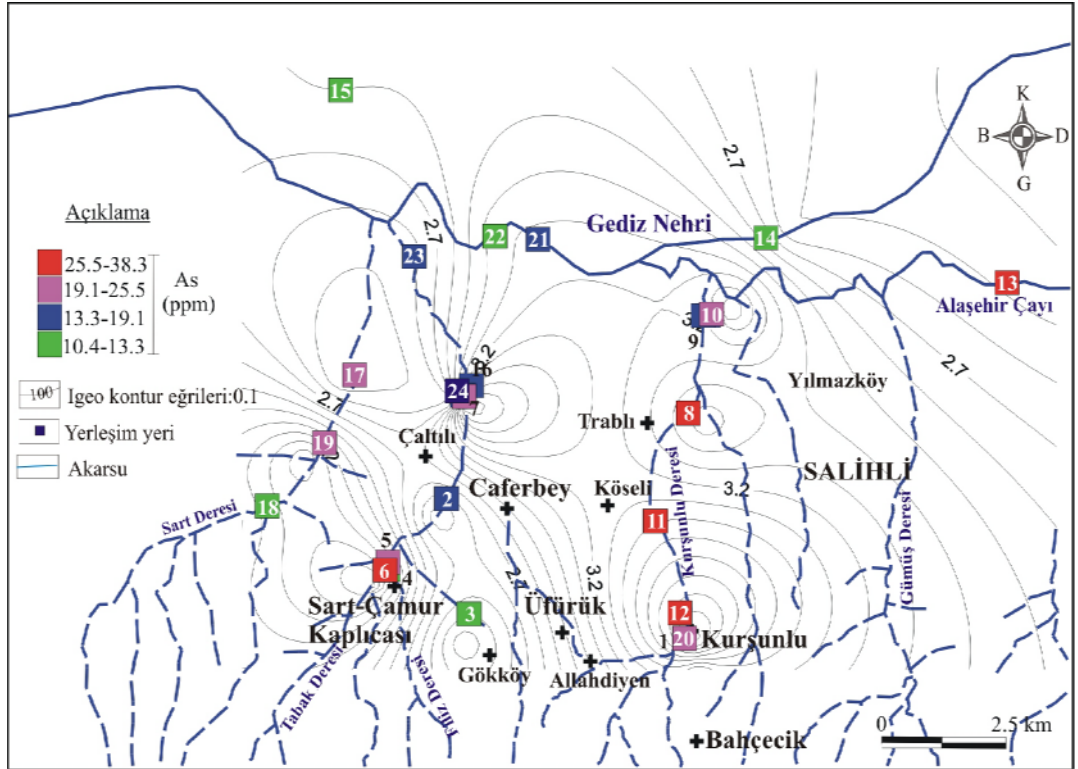
Jeo-akümülyasyon indeksine göre sınıflandırma şu şekildedir (Müller 1979).

- Igeo <0 ise kirlenmemiş
- 0 <Igeo <1 ise az-orta kirli
- 1 <Igeo <2 ise orta kirli
- 2 <Igeo <3 ise orta-çok kirli
- 3 <Igeo <4 ise çok kirli
- 4 <Igeo <5 ise şiddetli-son derece kirli
- Igeo <5 ise son derece kirli

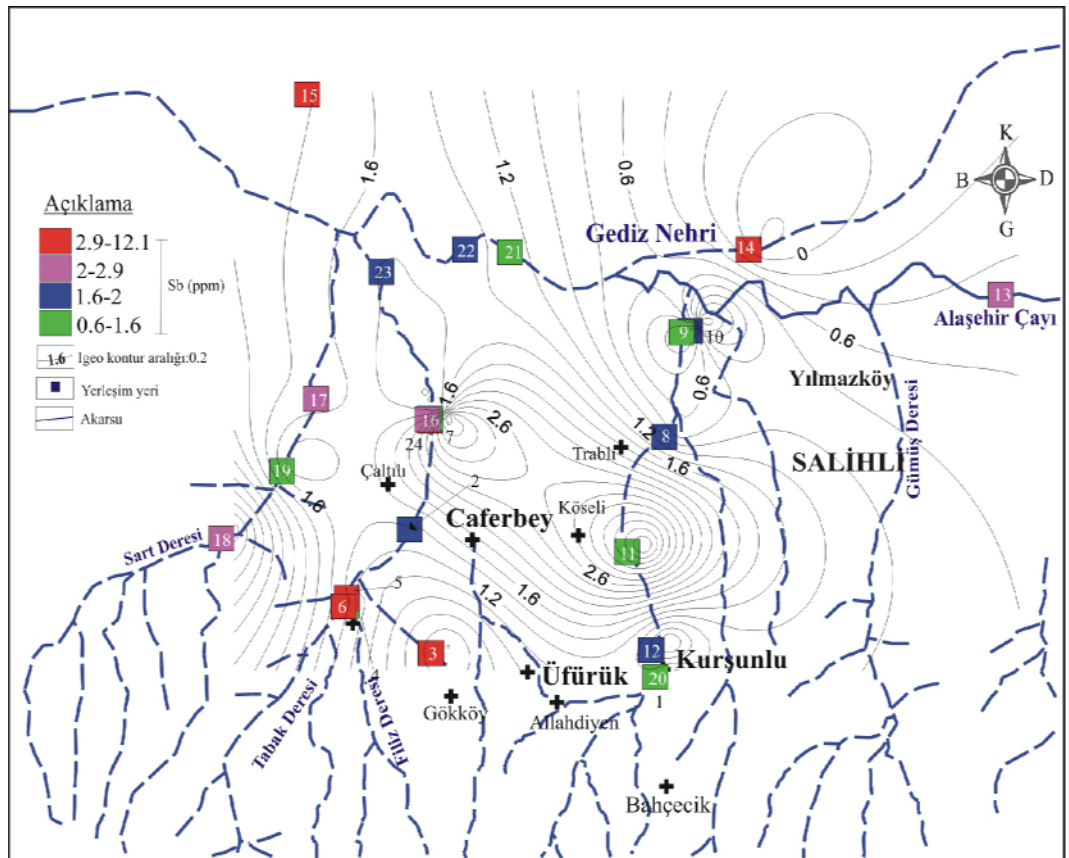
Sediman ve toprak örneklerinin hesaplanan Igeo değerleri 7.2' de görülmektedir. Bu sınıflamaya göre inceleme alanında örnekleme yapılan tüm noktalarda As elementi için hesaplanan Igeo değerleri 2,2 - 3,8 arasında olup orta kirli-çok kirli şeklinde sınıflanmıştır. Sb elementi için Igeo değerleri -0,3 ile 4,1 arasında olup orta kirli-çok kirli sınıflamasına giren örnek noktaları inceleme alanının kuzeyinde Tabak Deresi ve Kurşunlu Deresi'nden alınan sedimanlardır. As ve Sb elementlerinin incele alanındaki Igeo değerlerine göre oluşturulan tematik haritalar Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te verilmiştir. Örneklerin bazılarında, Li ve Ni elementlerine ait Igeo değerlerinde az oranda kirlilik sunmaktadır. Diğer elementler için inceleme alanında bir kirlilik gözlenmemektedir.

Tablo 7.2 İnceleme alanındaki sediman ve toprak örneklerinin Igeo değerleri (\* Hitchon ve diğ., 1999; \*\* Taylor ve McLennan 1995; \*\*\* Shaclette ve Boergern 1984; \*\*\*\* Turekion ve Wedepol 1961; Gemici ve diğ., 2009. Elementlerin referans değerleri Fe (%) hariç ppm'dir. Örnek numaraları Tablo 7.1 ile aynıdır. Koyu renkteki değerler Igeo>0 olan değerleri göstermektedir ).

Örnek No	As	Ba	B	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	La	Li	Mo	Mn	Ni	Pb	Sb	U	Zn
1	<b>3,2</b>	-4,2	-1,1	-2,3	-1,9	-1,5	-1,0	-1,7	-0,6	-2,3	<b>0,1</b>	-3,2	-2,6	-0,4	-2,3	<b>1,3</b>	-2,6	-1,4
2	<b>3,0</b>	-3,1	-0,7	-1,7	-0,8	-0,9	-0,4	-1,1	<b>0,3</b>	-1,8	<b>0,9</b>	-2,6	-2,4	<b>0,4</b>	-1,8	<b>2,0</b>	-2,4	-1,0
9	<b>2,8</b>	-5,0	-1,9	-3,2	-2,2	-2,4	-1,0	-1,9	-2,3	-2,2	-0,4	-1,8	-2,3	-0,7	-2,5	<b>0,6</b>	-3,2	-2,1
10	<b>3,2</b>	-4,5	-2,3	-1,9	-1,4	-1,9	<b>0,3</b>	-1,4	-2,5	-1,7	0,1	-1,3	-1,8	-0,1	-1,3	-0,1	-2,1	-1,3
12	<b>3,5</b>	-5,1	-2,9	-3,5	-2,0	-1,0	-1,1	-1,6	-2,1	-2,4	-0,3	-0,6	-2,4	<b>0,1</b>	-2,7	<b>4,1</b>	-3,2	-2,0
13	<b>4,1</b>	-2,0	-1,1	-0,8	<b>0,1</b>	-0,1	<b>0,7</b>	-0,3	-0,2	-0,9	<b>0,4</b>	-0,2	<b>0,1</b>	<b>1,2</b>	-0,8	<b>0,3</b>	-0,1	-0,3
3	<b>2,4</b>	-3,8	-2,3	-2,3	-2,0	-1,9	-1,7	-1,6	-1,2	-1,8	-1,2	-4,2	-2,4	-0,9	-1,6	<b>1,5</b>	-2,2	-2,2
4	<b>2,2</b>	-3,2	<b>1,4</b>	-1,7	-2,0	-1,9	-1,4	-2,2	<b>0,0</b>	-0,5	<b>0,4</b>	-3,5	-3,9	-0,7	-1,3	<b>0,2</b>	-3,6	-1,4
5	<b>3,3</b>	-4,4	-2,9	-2,2	-1,6	-1,5	-0,9	-1,3	-1,6	-1,8	0,0	-2,1	-2,6	-0,2	-2,1	<b>1,2</b>	-2,9	-1,6
6	<b>3,6</b>	-4,0	-2,9	-2,5	-1,7	-1,5	-0,8	-1,2	-1,3	-2,6	-0,1	-2,0	-2,6	-0,3	-2,3	<b>1,1</b>	-3,2	-1,7
7	<b>3,5</b>	-4,5	-3,9	-2,2	-1,5	-1,7	-0,8	-1,3	-2,7	-1,8	-0,2	-1,0	-2,2	-0,2	-2,5	<b>1,3</b>	-2,9	-1,5
8	<b>3,8</b>	-3,5	-1,6	-1,9	-1,5	-1,7	-0,4	-1,2	<b>0,1</b>	-1,5	<b>0,2</b>	-0,9	-1,9	-0,1	-1,8	<b>3,8</b>	-2,6	-1,3
19	<b>3,1</b>	-3,0	-2,9	-1,7	-1,4	-1,5	-1,0	-1,5	-1,5	-1,7	-0,3	-2,2	-2,4	0,0	-0,6	<b>3,5</b>	-2,4	-1,6
18	<b>2,4</b>	-2,7	-3,9	-2,5	-2,1	-2,3	-1,6	-2,0	-1,7	-2,2	-1,4	-2,3	-2,8	-0,7	-2,3	<b>1,7</b>	-2,6	-2,3
20	<b>3,5</b>	-4,3	-3,9	-2,0	-1,4	-1,6	-0,6	-1,3	-2,7	-1,7	-0,1	-1,2	-2,3	-0,1	-2,4	<b>1,2</b>	-2,6	-1,4
11	<b>3,6</b>	-4,2	-1,1	-2,7	-1,6	-1,2	-0,9	-1,5	-1,6	-2,0	0,0	-0,7	-2,0	0,2	-2,2	<b>2,1</b>	-2,6	-1,7
17	<b>3,5</b>	-2,5	-0,4	-1,2	-0,6	-0,7	-0,2	-0,7	-0,6	-1,1	<b>0,5</b>	-1,8	-2,0	0,8	-1,1	<b>2,0</b>	-1,9	-0,7
24	<b>2,6</b>	-3,5	-1,1	-2,2	-1,3	-1,4	-0,9	-1,6	-0,5	-2,1	0,1	-2,3	-2,5	-0,2	-1,8	<b>1,5</b>	-2,4	-1,4
14	<b>2,4</b>	-3,1	-1,9	-2,9	-2,5	-1,9	-2,7	-2,9	-2,7	-2,8	-2,0	-2,2	-2,1	<b>0,1</b>	-2,7	<b>0,5</b>	-2,1	-3,3
15	<b>2,5</b>	-3,7	-1,9	-3,5	-2,7	-2,4	-3,3	-3,5	-1,3	-3,3	-2,4	-3,2	-2,6	-0,1	-2,9	-0,3	-2,4	-3,9
16	<b>2,8</b>	-3,5	0,2	-1,8	-1,5	-1,5	-0,9	-1,7	-0,6	-2,1	<b>0,1</b>	-2,8	-3,1	-0,3	-1,5	<b>1,8</b>	-2,4	-0,8
21	<b>3,1</b>	-3,4	-1,6	-2,5	-2,0	<b>2,2</b>	-1,4	-2,6	-0,5	-2,3	-1,4	-2,1	-2,4	0,3	-2,0	<b>1,4</b>	-1,6	-1,5
22	<b>2,5</b>	-3,8	-1,3	-3,5	-2,6	-1,8	-2,8	-3,2	-2,1	-3,1	-2,0	-3,4	-2,7	-0,4	-2,9	<b>1,4</b>	-2,4	-3,3
23	<b>2,7</b>	-4,0	-2,3	-2,5	-1,8	-1,8	-1,3	-1,8	-2,1	-2,4	-0,6	-2,0	-2,4	-0,6	-2,5	<b>1,6</b>	-2,6	-2,0
Referans değeri	1,5 **	580 ****	10 *	0,3 ****	19 ****	54 ***	25 **	4,7 ****	89 ***	32,3 **	13 *	1,5 **	850 ****	20 **	20 ****	0,48 ****	2,5 **	95 ****



Şekil 7.2 İnceleme alanındaki  $As^{+}$  konsantrasyonunun Igeo sınıflamasına dayalı tematik haritası.



Şekil 7.3 İnceleme alanındaki  $Sb^{+3}$  konsantrasyonunun Igeo sınıflamasına dayalı tematik haritası.

### 7.2.2 EF Sınıflaması

Zenginleşme faktörü (EF) kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer yöntemdir. Bu yöntemde, nadir bulunan bir element referans olarak kabul edilir (Loska ve diğer., 2004). Bu gibi elementlerin uzun süre kıtasal kabukta uniform halde oldukları varsayılmaktadır (Sutherland 2000). En çok kullanılan referans elementler Al, Fe, Li, Mn, Sc, Cr ve Ti'dir (Sutherland 2000; Loksa ve diğer. 2004). Zenginleşme faktörü (enrichment factor) Buat-Menard ve Chesselet (1979) tarafından

$$EF = (C_n / C_{ref})_{\text{örnek}} / (B_n / B_{ref})_{\text{referans element}}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada;

C<sub>n</sub> : Hesaplanmak istenen elementin kimyasal analiz değeri,

C<sub>ref</sub> : Hesaplanmak istenen elementin kıtasal kabuktaki bolluk değeri,

B<sub>n</sub> : Referans elementin kimyasal analizle hesaplanan değeri,

B<sub>ref</sub> : Referans elementin kıtasal kabuktaki bolluk değeridir.

Bu çalışmada referans element olarak Al seçilmiştir. Al'nin kıtasal kabuktaki bolluk değeri 83000 mg/Kg'dır (Turekion ve Wedepohl 1961). Zenginleşme faktörüne göre 5 ayrı kirlilik tanımlaması yapılmıştır (Sutherland 2000).

EF < 2 : Nadir zenginleşme

2 < EF < 5 : Orta derecede zenginleşme

5 < EF < 20 : Yüksek derecede zenginleşme

20 < EF < 40 : Çok yüksek derecede zenginleşme

EF > 40 : Aşırı derecede zenginleşme

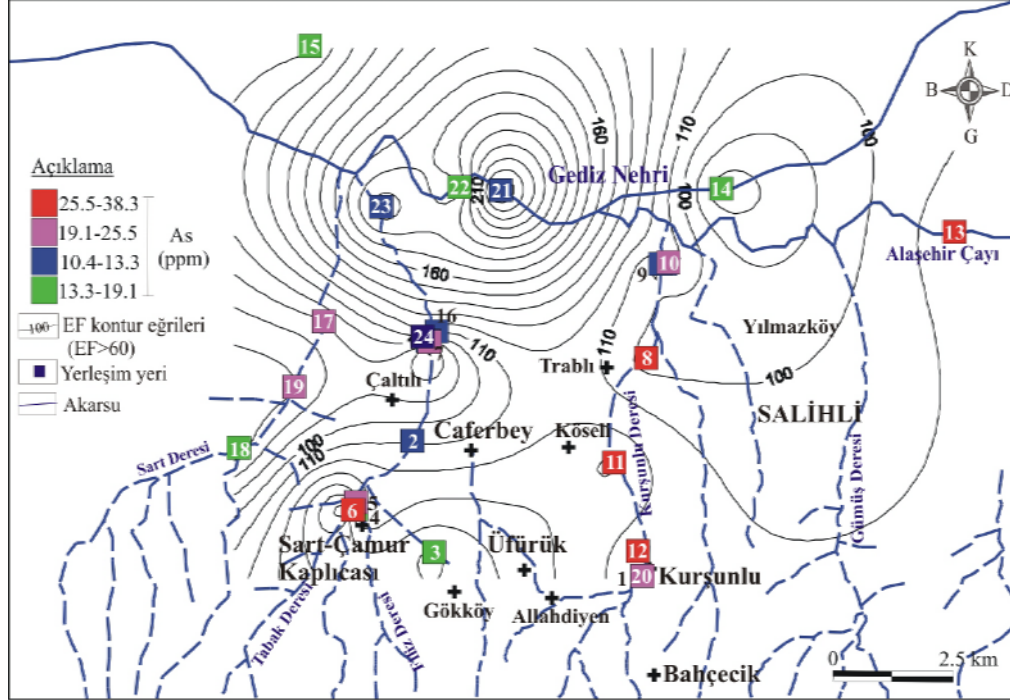
İnceleme alanındaki örneklerin EF değerleri Tablo 7.3 te verilmiştir. Buna göre, tüm örnekleme yapılan noktalarda As elementi EF değerleri >40 olup aşırı derecede zenginleşme göstermektedir. EF değerlerine göre zenginleşme As>Sb>Ni>Li>Hg>B>Cu>U>Li şeklindedir. EF sınıflamasına göre zenginleşme



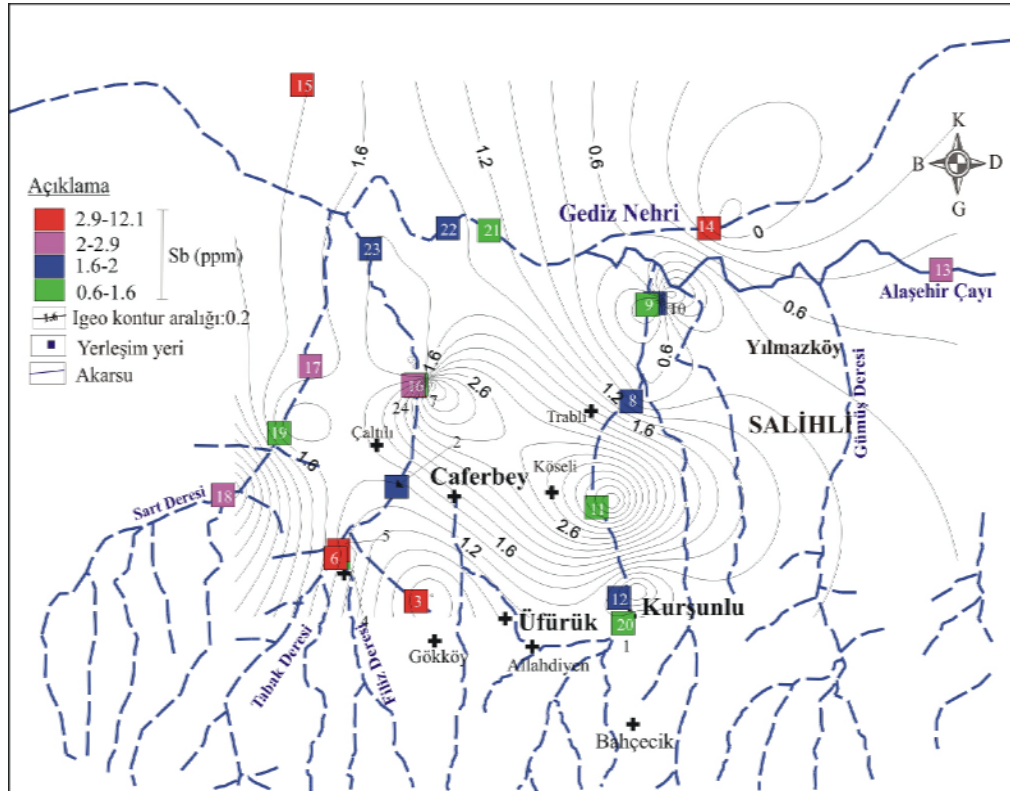
Tablo 7.3 İnceleme alanındaki sediman ve toprak örneklerinin referans element olarak seçilen Al'a göre (kıtasal kabuktaki bolluk değeri 83000 mg/Kg, Turekion ve Wedepohl 1961).zenginleştirilerek hesaplanan EF değerleri (Örnek numaraları Tablo 7.1 ile aynıdır. Koyu renkteki değerler EF>2 olan değerleri göstermektedir ).

No	Örnekleme yeri	As	U	Li	Sb	B	Hg	Cu	Pb	Zn	Ni	Co
1	Kurşunlu deresi	<b>113,11</b>	2,00	<b>13,37</b>	<b>30,15</b>	<b>5,82</b>	<b>8,04</b>	<b>6,21</b>	<b>2,58</b>	<b>4,74</b>	<b>18,30</b>	<b>3,41</b>
2	Kurşunlu deresi	<b>110,68</b>	1,59	<b>8,95</b>	<b>22,74</b>	0,66	1,49	<b>6,58</b>	1,90	<b>3,72</b>	<b>18,32</b>	<b>3,69</b>
3	Tabak deresi	<b>59,88</b>	1,36	<b>13,18</b>	<b>29,74</b>	<b>4,37</b>	<b>8,67</b>	<b>5,35</b>	<b>2,05</b>	<b>3,57</b>	<b>19,81</b>	<b>4,06</b>
4	Tabak deresi	<b>97,18</b>	<b>3,95</b>	<b>8,08</b>	<b>50,96</b>	<b>3,71</b>	<b>7,91</b>	<b>5,76</b>	<b>6,11</b>	<b>3,94</b>	<b>20,51</b>	<b>4,62</b>
5	Tabak deresi	<b>95,48</b>	1,65	<b>27,12</b>	<b>23,24</b>	<b>53,70</b>	<b>20,11</b>	<b>7,90</b>	<b>8,23</b>	<b>7,67</b>	<b>24,65</b>	<b>5,00</b>
6	Tabak deresi	<b>120,45</b>	1,58	<b>11,58</b>	<b>27,90</b>	1,58	<b>4,01</b>	<b>6,19</b>	<b>2,78</b>	<b>3,80</b>	<b>20,13</b>	<b>3,92</b>
7	Tabak deresi	<b>131,60</b>	1,12	<b>9,85</b>	<b>22,60</b>	1,40	<b>4,33</b>	<b>5,94</b>	<b>2,07</b>	<b>3,28</b>	<b>17,15</b>	<b>3,13</b>
8	Tabak deresi	<b>115,24</b>	1,39	<b>8,81</b>	<b>26,03</b>	0,69	1,64	<b>5,85</b>	1,90	<b>3,71</b>	<b>17,91</b>	<b>3,62</b>
9	Kurşunlu deresi	<b>152,55</b>	1,74	<b>12,37</b>	<b>154,33</b>	<b>3,62</b>	<b>11,72</b>	<b>8,00</b>	<b>3,07</b>	<b>4,49</b>	<b>20,20</b>	<b>3,77</b>
10	Kurşunlu deresi	<b>108,59</b>	1,64	<b>11,98</b>	<b>23,90</b>	<b>4,10</b>	<b>3,22</b>	<b>7,62</b>	<b>2,71</b>	<b>3,68</b>	<b>18,44</b>	<b>3,40</b>
11	Tarım toprağı	<b>104,63</b>	<b>2,65</b>	<b>12,02</b>	<b>10,13</b>	2,21	<b>1,90</b>	<b>13,59</b>	<b>4,46</b>	<b>4,49</b>	<b>21,29</b>	<b>4,11</b>
12	Kurşunlu deresi	<b>148,59</b>	2,00	<b>12,28</b>	<b>54,58</b>	<b>5,82</b>	<b>4,02</b>	<b>6,81</b>	<b>2,78</b>	<b>3,88</b>	<b>27,94</b>	<b>4,16</b>
13	Kurşunlu deresi	<b>166,05</b>	1,56	<b>11,80</b>	<b>244,59</b>	1,95	<b>3,51</b>	<b>6,67</b>	<b>2,26</b>	<b>3,78</b>	<b>30,77</b>	<b>3,65</b>
14	Alaşehir çayı	<b>67,87</b>	<b>3,62</b>	<b>5,36</b>	<b>4,82</b>	1,86	<b>3,55</b>	<b>6,69</b>	<b>2,33</b>	<b>3,23</b>	<b>18,85</b>	<b>4,20</b>
15	Alaşehir çayı	<b>160,00</b>	<b>7,20</b>	<b>7,54</b>	<b>42,50</b>	<b>8,00</b>	<b>4,72</b>	<b>4,51</b>	<b>4,64</b>	<b>2,95</b>	<b>63,60</b>	<b>5,16</b>
16	Gediz nehri	<b>256,00</b>	<b>8,40</b>	<b>8,31</b>	<b>37,50</b>	<b>12,00</b>	<b>18,54</b>	<b>4,50</b>	<b>6,09</b>	<b>3,03</b>	<b>84,30</b>	<b>6,95</b>
17	Hasalan GB'sı dere	<b>86,99</b>	<b>2,28</b>	<b>12,99</b>	<b>42,48</b>	<b>13,86</b>	<b>8,25</b>	<b>6,74</b>	<b>4,40</b>	<b>6,94</b>	<b>19,82</b>	<b>4,29</b>
18	Sart deresi	<b>72,83</b>	1,74	<b>9,11</b>	<b>26,30</b>	<b>4,79</b>	<b>4,40</b>	<b>5,72</b>	<b>3,14</b>	<b>3,91</b>	<b>22,85</b>	<b>4,33</b>
19	Mağara deresi	<b>116,91</b>	<b>3,54</b>	<b>8,28</b>	<b>73,99</b>	1,47	<b>6,62</b>	<b>7,22</b>	<b>4,55</b>	<b>4,61</b>	<b>26,67</b>	<b>5,12</b>
20	Sart deresi	<b>98,13</b>	<b>2,16</b>	<b>9,19</b>	<b>134,06</b>	1,54	<b>3,98</b>	<b>5,77</b>	<b>7,44</b>	<b>3,94</b>	<b>23,20</b>	<b>4,26</b>
21	Gediz nehri	<b>173,51</b>	<b>6,61</b>	<b>7,63</b>	<b>56,23</b>	<b>6,89</b>	<b>14,70</b>	<b>8,10</b>	<b>5,27</b>	<b>7,47</b>	<b>51,09</b>	<b>5,22</b>
22	Gediz nehri	<b>198,27</b>	<b>6,36</b>	<b>8,56</b>	<b>87,03</b>	<b>13,62</b>	<b>8,16</b>	<b>4,79</b>	<b>4,54</b>	<b>3,44</b>	<b>51,54</b>	<b>5,50</b>
23	Gediz nehri	<b>99,48</b>	<b>2,37</b>	<b>10,11</b>	<b>44,26</b>	<b>2,96</b>	<b>3,55</b>	<b>6,23</b>	<b>2,64</b>	<b>3,60</b>	<b>19,76</b>	<b>4,16</b>
24	Hasalan Gs'su dere	<b>63,12</b>	1,99	<b>11,39</b>	<b>29,81</b>	<b>4,98</b>	<b>7,60</b>	<b>5,86</b>	<b>3,15</b>	<b>4,15</b>	<b>18,79</b>	<b>4,20</b>

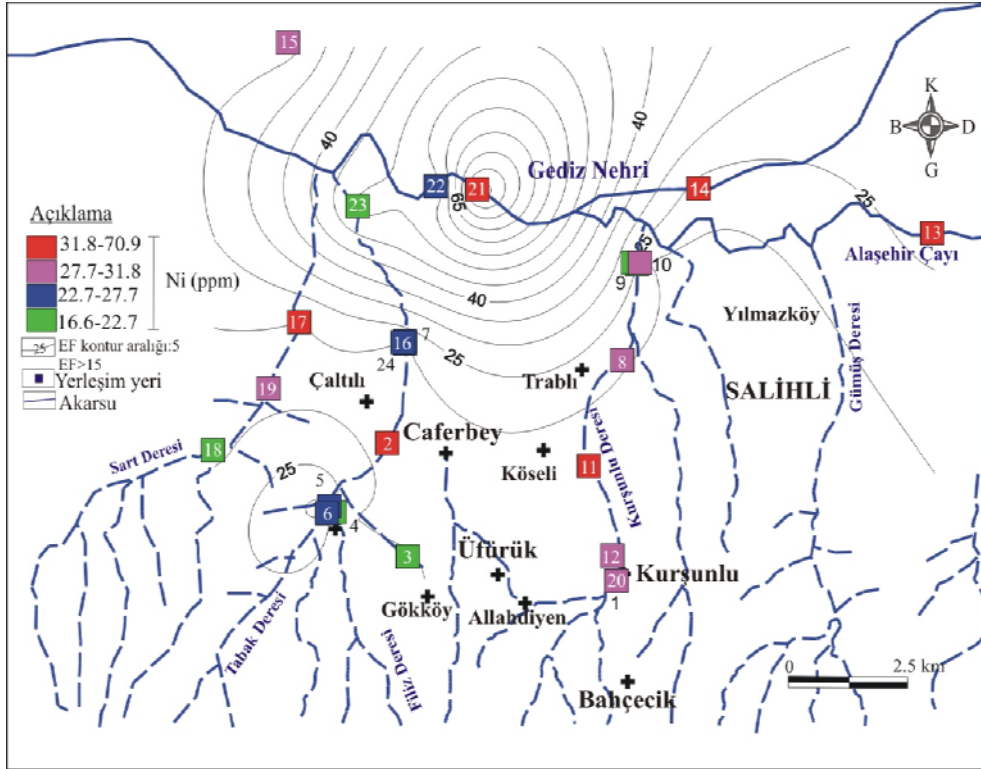
değerleri yüksek görülen bazı elementlerin kimyasal analiz sonuçları ile EF sınıflamasının karşılaştırıldığı tematik haritalar Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6, Şekil 7.7 ve Şekil 7.8’de verilmiştir.



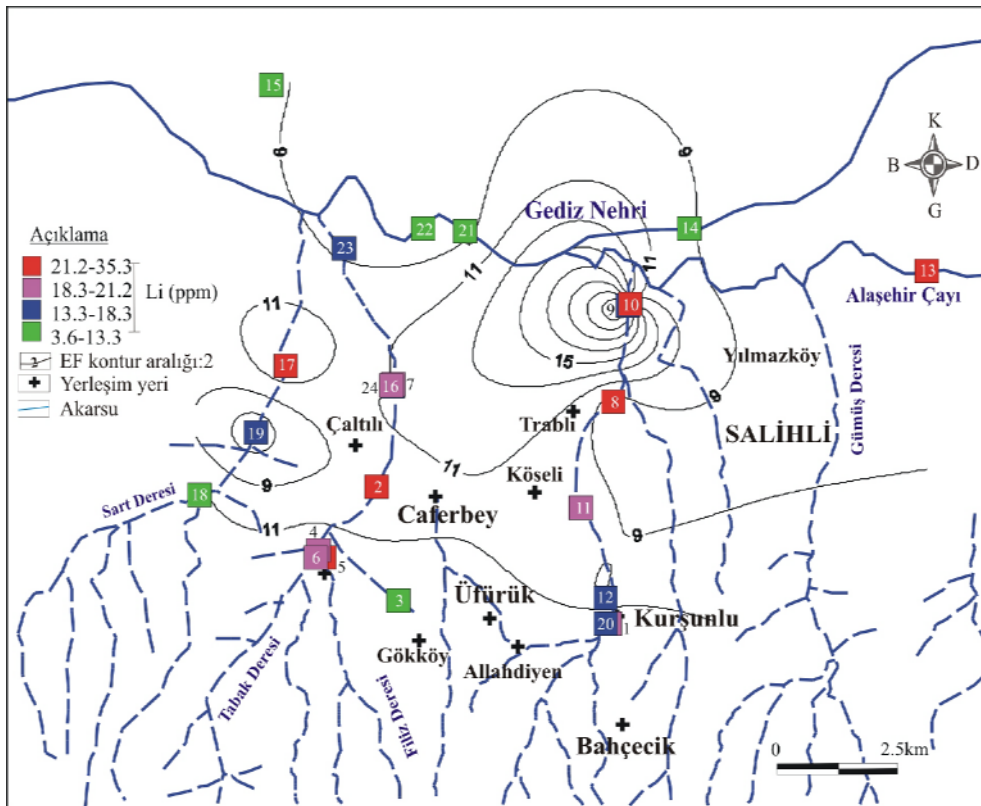
Şekil 7.4 İnceleme alanındaki  $As^+$  konsantrasyonunun EF sınıflamasına dayalı tematik haritası.



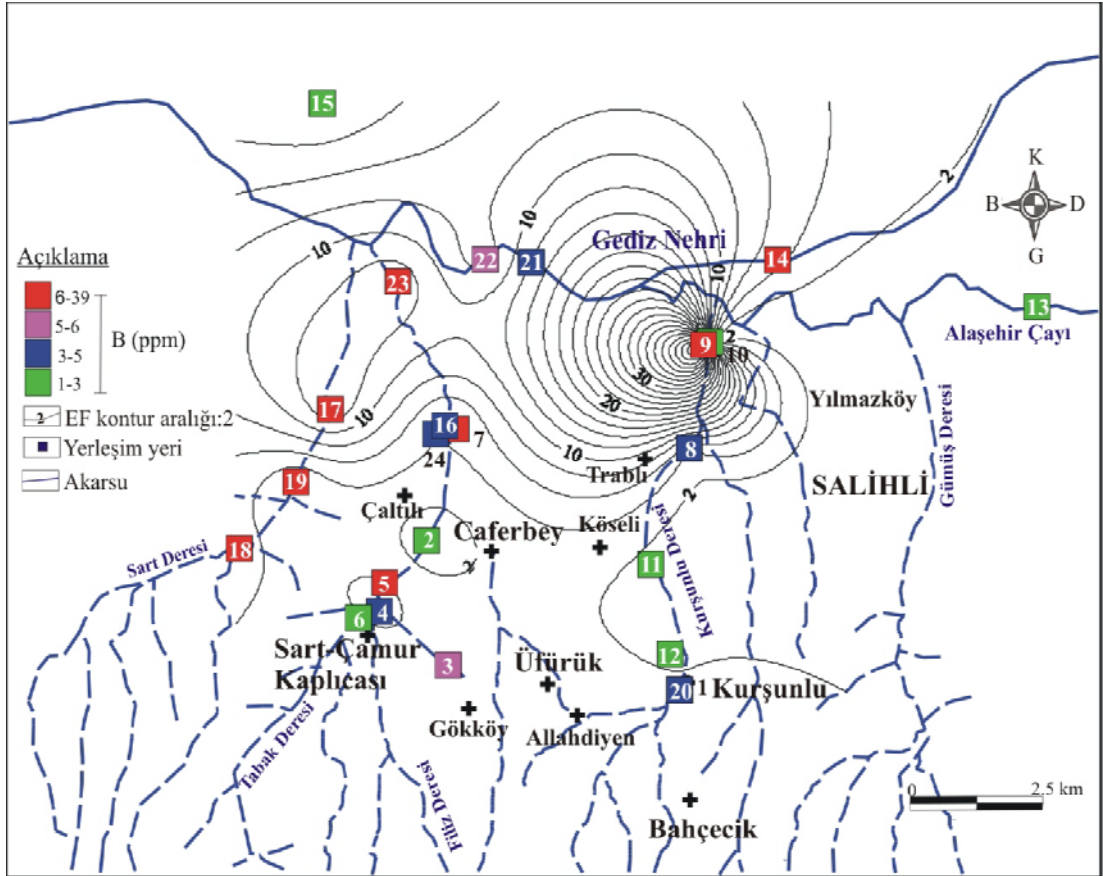
Şekil 7.5 İnceleme alanındaki  $Sb^{+3}$  konsantrasyonunun EF sınıflamasına dayalı tematik haritası.



Şekil 7.6 İnceleme alanındaki  $Ni^{2+}$  konsantrasyonunun EF sınıflamasına dayalı tematik haritası.



Şekil 7.7 İnceleme alanındaki  $Li^+$  konsantrasyonunun EF sınıflamasına dayalı tematik haritası.



Şekil 7.8 İnceleme alanındaki B<sup>+3</sup> konsantrasyonunun EF sınıflamasına dayalı tematik haritası.

### 7.2.3 PI Sınıflaması

Kirlilik indeksine (PI=pollution index) göre sınıflama, Nishida ve diğer. (1982) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflama şekli ile inceleme alanındaki sediman ve topraklarda görülebilecek dokuz farklı ağır metal elementi kullanılarak kirlilik indeksi hesaplamaları yapılmıştır (Tablo 7.3).

$$PI = (As/20 + Cd/3 + Cu/100 + Hg/2 + Pb/100 + Sb/5 + Zn/300 + Ni/50 + Cr/100) / 9$$

Bu sınıflamaya göre As<sup>+</sup>, Cd<sup>+3</sup>, Cu<sup>+2</sup>, Hg<sup>+</sup>, Pb<sup>+2</sup>, Sb<sup>+3</sup>, Zn<sup>+2</sup>, Ni<sup>+2</sup> ve Cr<sup>+3</sup> elementleri için hesaplanan değerler 1'in altında olmalıdır (Chon ve diğ. 1996; Sponza ve Karaoğlu 2002). Bu müsaade edilebilir değer üzerindeki zenginleşme insan veya doğal jeolojik kaynaklara bağlıdır (Nimick ve Moore 1991).

Tablo 7.4 İnceleme alanındaki sediman ve toprak örneklerinin kimyasal analiz ve PI değerleri (Örnek numaraları Tablo 6.1 ile aynıdır).

Örnek No	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn	PI
1	20,40	0,09	29,60	18,66	0,09	22,00	6,20	1,74	54,20	0,29
2	18,50	0,14	43,20	27,57	0,16	40,80	8,44	2,94	69,90	0,39
9	11,80	0,09	21,70	11,66	0,06	16,60	9,90	1,98	30,30	0,21
10	10,40	0,14	21,60	14,34	0,13	17,90	11,96	0,81	52,90	0,20
12	22,80	0,10	27,90	19,52	0,05	25,40	7,02	1,69	45,50	0,30
13	28,20	0,08	27,90	21,22	0,06	24,50	5,92	1,55	44,50	0,33
3	24,90	0,10	24,80	21,08	0,02	25,80	5,46	1,80	50,80	0,32
4	31,60	0,12	25,60	27,62	0,14	27,90	8,48	10,23	58,90	0,57
5	15,90	0,05	15,00	18,60	0,03	18,00	5,30	1,12	34,10	0,21
6	21,30	0,12	21,60	46,10	0,02	28,90	12,11	0,66	57,90	0,31
7	26,80	0,07	35,40	20,48	0,04	33,60	6,69	3,15	44,30	0,38
8	25,50	0,04	41,50	17,08	0,03	31,50	4,63	12,02	36,80	0,57
19	38,30	0,25	75,70	62,95	0,12	70,90	17,55	0,87	115,60	0,62
18	12,00	0,06	21,90	5,64	0,02	31,80	4,64	1,02	14,00	0,20
20	12,80	0,04	15,50	3,75	0,06	28,10	4,06	0,60	9,60	0,18
11	16,00	0,13	28,40	20,66	0,09	24,30	10,79	2,50	80,90	0,30
17	25,10	0,20	51,50	32,83	0,09	52,50	14,44	2,90	85,40	0,47
24	11,90	0,08	16,20	12,24	0,04	18,10	6,18	2,41	29,70	0,21
14	19,10	0,14	29,30	18,71	0,05	30,10	19,31	8,35	48,60	0,46
15	25,10	0,11	26,90	24,88	0,02	27,70	5,75	1,65	53,50	0,33
16	18,90	0,08	364,80	14,70	0,10	37,10	7,65	1,96	51,50	0,69
21	13,10	0,04	23,60	5,28	0,03	22,70	4,00	1,84	14,40	0,21
22	15,10	0,08	23,00	15,76	0,03	20,00	5,34	2,15	34,60	0,24
23	13,30	0,10	30,30	20,59	0,10	26,40	8,85	2,01	55,40	0,27

Örnekleme noktalarının tümünde kirlilik indeksi değerleri 1'in altındadır. Ancak Kurşunlu Deresi ve Sart Deresi'nin termal kaynaklara yakın bölümlerinden alınan sediman örneklerinin PI değerleri 0,46 – 0,57 arasındadır ve diğer noktalara oranla yüksektir. Ayrıca Gediz Nehri'nin bu derelerin birleşim noktalarına yakın kesimlerinden alınan sediman örneklerinde de PI değerleri ortalama 0,65'tir. PI sınıflamasına göre bir toprak kirliliğinden söz edilmemelidir. Buna karşın EF ve Igeo sınıflamasına göre çeşitli örneklerde bazı kirlilik belirtileri gözlenmektedir. Bu örnekler tablolarda koyu renkle gösterilmiştir. Özellikle bazı örneklerde arsenik, lityum, antimuan, nikel ve bor kirliliği önem taşımaktadır (Tablo 7.2 ve Tablo 7.3). Bu durum, doğal ve yapay süreçlerin ortak etkisi sonucu olabilir. Doğal süreçler jeolojik (ayrışma, hidrotermal alterasyon vb.) ve hidrojeolojik (su – kayaç etkileşimi, yıkanma ve taşınma) etkilerden olabilir. Yapay süreçler ise her türlü insan kaynaklı (tarımsal, endüstriyel vb.) oluşumlardır.

Sediman örneklerindeki arsenik, bor ve antimuan kirliliğine paralel olarak, derelerde bazı noktalarda sediman ile birlikte alınan su örneklerinin de aynı elementlerce zengin olması sonuçları destekler niteliktedir (Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5).

## BÖLÜM SEKİZ

### İZLEYİCİ DENEYİ

#### 8.1 Giriş

Bu bölümde inceleme alanı içerisinde yer alan Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki re-enjeksiyon ve üretim kuyuları arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve re-enjeksiyon kuyularından yeraltına geri basılan akışkanın üretim kuyularına ulaşma süresi ve akış hızlarının saptanması amaçlanmıştır.

Bu amaçla Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki iki adet re-enjeksiyon kuyusundan farklı tarihlerde belirli miktarda Na-fluoresein basılmış ve mevcut üretim yapılan kuyulardan belirli sürelerde alınan su numunelerinde izleyici madde konsantrasyonu ölçülmüştür.

Yapılan çalışmanın değerlendirilmesinde kullanılan bazı tanımlamalar ve parametreler ayrıntılı olarak tanımlanmıştır.

#### 8.2 Yeraltı Suyu Taşınımı

Yeraltı suyu akış sistemlerinin incelenmesinde akış rejiminin çözünen adı verilen maddeleri taşıma yeteneği açısından değerlendirilmesi önemlidir. Çözünmüş maddeler doğal bileşenler, yapay izleyiciler veya kirleticiler olabilir. Ancak gözenekli ortamda hareket eden bu maddelerde gerçekleşen bu süreçler karışıktır. Çözünenlerin taşınması için iki temel işlem süreci bulunmaktadır. **Difüzyon**, suda çözünmüş iyonik ve moleküler türlerin kimyasal aktivitesinin yüksek konsantrasyonlu bölgelerden düşük konsantrasyonlu bölgelere doğru gerçekleştirdiği bir süreçtir. **Adveksiyon**, hareket halindeki yeraltı suyunun çözünmüş çözünenlerle taşınması sonucu gerçekleşen süreçtir. Gözenekli ortamda çözünenlerin taşınması, çözüneni seyrelterek konsantrasyonunu düşüren **dispersiyon** süreciyle açıklanır (Fetter, 2000).

Suda çözünenin difüzyonu Fick yasalarıyla tanımlanır. Fick'in ilk yasası dengeli rejim şartları altında çözünenin akışını tanımlamaktadır. Konsantrasyonların zamanla değiştiği sistemlerde, Fick'in ikinci yasası uygulanabilmektedir.

$$\partial C / \partial t = D \partial^2 C / \partial x^2$$

Bu eşitlikte,  $\partial C / \partial t$  = Zaman içinde konsantrasyonda meydana gelen değişimdir.

Burada:

C: Konsantrasyon ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

t: Zaman (s)

x: Koordinat (m)

$D$  : Moleküler difüzyon katsayısı ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Reaksiyona girmeyen çözünen, çekime bağlı olarak suyun ortalama doğrusal hızı eşit bir hızda taşınmaktadır. Ancak çözünenler, akış sisteminin adveksiyon hidroligine göre takip etmeleri beklenen akış yolunun dışına yayılma eğilimindedir. Bu yayılma olayı *hidrodinamik dispersiyon* olarak adlandırılır ve bu olay çözünenin seyrelmesine neden olur (Freze ve Cherry, 1979). Hidrodinamik dispersiyon sonucu, çözünenin konsantrasyonu kaynaktan uzaklığa bağlı olarak azalacaktır. Sabit bir  $u$  hızı ile akmakta olan bir akarsuya bir noktadan sürekli ve sabit debide çözünen (kirletici, izleyici vb. maddeler) verilmesi durumunda, kaynak yönünde azalan bir konsantrasyon elde edilir (Şekil 8.1)

Re-enjeksiyon kuyusundan basılan izleyicinin üretim kuyusundan elde edilen konsantrasyon-zaman grafiğinde, izleyici konsantrasyonunun maksimuma ulaştığı değer ( $t_{\text{max}}$ ) izleyicinin ortalama taşınım zamanıdır. Buradan, enjekte edilen suyun re-enjeksiyon ve üretim kuyuları arasındaki görünür akış hızı ( $u$ ):

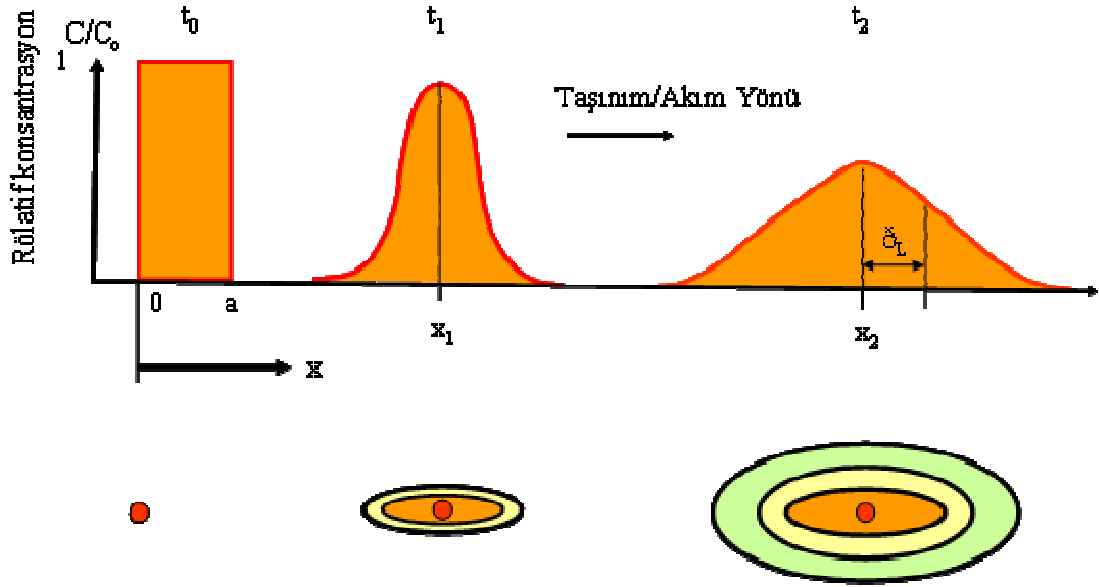
$$U = x / t_{\text{max}}$$



Burada:

$x$ : Üretim ve re-enjeksiyon kuyuları arasındaki uzaklık (m)

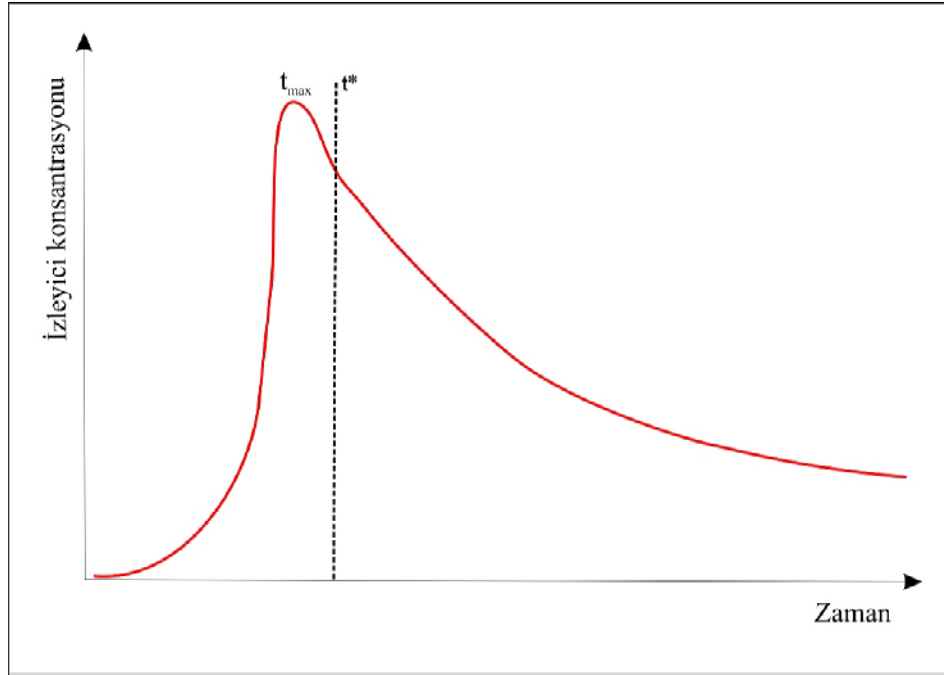
$t_{\max}$ : Maksimum izleyici konsantrasyonunun gözlemlendiği zaman (s)



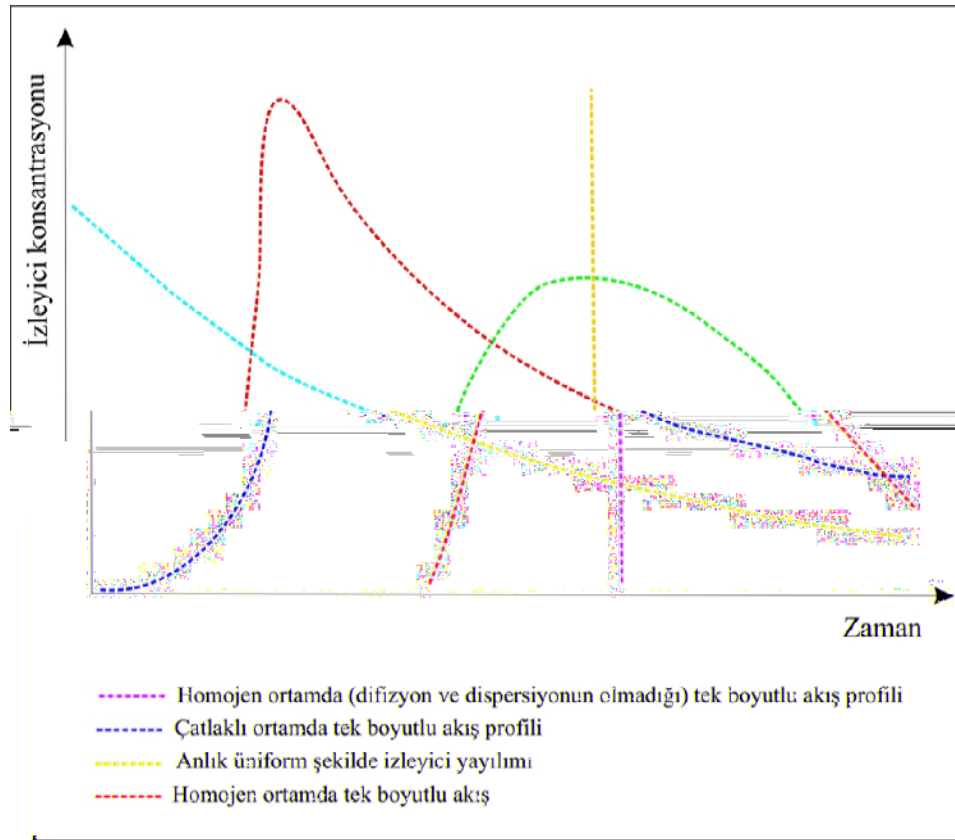
Şekil 8.1 Bir çözünen kütlesinin adveksiyona ve dispersiyona bağlı olarak zaman içinde taşınması ve yayılması. Çözünenin kütlesi  $x=0+a$ 'da  $t_0$  anında ve  $C_0$  konsantrasyonunda enjekte edilmiştir.  $\partial_L$ : Dinamik dispersivitedir. Yeraltı suyu akışı sağa doğrudur (Fetter, 2000).

İzleyici konsantrasyonu-zaman grafiklerinden bulunan, izleyicinin üretim kuyusuna ortalama varış zamanı, gerçek değerden farklıdır. Şekil 8.2'de verilen  $t^*$  değeri izleyici zaman konsantrasyonunun gerçek,  $t_{\max}$  ise gözlenen değeridir. Wairakei sahasında yapılan izleyici deneylerinde  $t^*$  ve  $t_{\max}$  değeri arasındaki farkın % 1-9 arasında değiştiği belirtilmektedir (Fossum ve Horne, 1982; Aksoy, 2001).

İzleyici-zaman profillerinin görünümü ortamın yapısına bağlıdır. Şekil 8.3'de görülen izleyici profillerine göre, (1) homojen, difüzyon ve dispersiyonun olmadığı bir ortamda, tek boyutlu akışı göstermektedir. İzleyicinin bütün parçacıkları üretim kuyusuna aynı anda ulaşmıştır. (2) ortama üniform olarak bir anda izleyicinin yayılması sonucunda, (3) homojen bir ortamda, (4) çatlaklı bir ortamda tek boyutlu akıştan elde edilen izleyici zaman profilidir (Grant ve diğer., 1982; Aksoy, 2001).



Şekil 8.2 Gözlenen ve teorik ortalama varış zamanı (Thomann, 1972; Aksoy 2001).



Şekil 8.3 İzleyici profilleri (Aksoy, 2001; Grant ve diğer., 1982).

### 8.3 İzleyici Maddenin Özellikleri

Bu çalışmada flüoresan bir madde olan Na-fluoresein (uranin) kullanılmıştır. Bilindiği gibi izleyici olarak kullanılan maddelerden flüoresanlar belirli bir enerji seviyesindeki ışığı absorbe ederek daha düşük enerjili ışığı yayarlar. Absorbe edilen ve yayılan ışıkların dalga boyları arasındaki fark flüoresan maddenin bir özelliğidir.

Uranin, Na-Fluorescein, Acid Yellow 73, Uranine Yellow isimleri ile de bilinmektedir. Renk İndeks Numarası C.I. 45350, moleküler formülü  $C_2H_{10}Na_2O_5$ , molekül ağırlığı 376,28 g/mol dür. Bu çalışmada MERC, KgaA, 64271, Demstadt, Germany kullanılmıştır. Çözelti halindeki uranın maksimum dalga boyu 490 nm olan ışınları absorbe eder ve maksimum dalga boyu 520 nm olan ışınları yayar.

Sıcaklık ve tuzluluğun flüoresan üzerinde çok küçük bir etkisi olurken, pH 5-7 aralığında, ışımaya maksimum değerdedir. Ultraviyole ışınlar, uranınin flüoresan özelliğini kalıcı şekilde azaltırlar (Adams ve Davis, 1991). Bu özelliklerinden dolayı izleyici ile yapılan çalışmada örnekleme için ışığı geçirmez özellikte 50 cc'lik renkli cam şişeler kullanılmış ve örnekler ışıksız bir ortamda saklanmıştır.

Sıcaklığın uranın üzerindeki etkisi ve uranınin sıcak rezervuar koşullarında yarılanma ömrü üzerinde yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar göstermiştir ki kullanılan örneklere serbest oksijen karışımı ve sıcaklığın etkisi ile uranınin flüoresan özelliğini yok etmektedir. Jeotermal sistemlerde serbest oksijen bulunmadığı için uranın jeotermal sistemlerde kullanılabilir iyi bir izleyicidir. Ayrıca canlılarda herhangi bir tehlike oluşturmadığı için balneolojik amaçlı kullanılan alanlarda da güvenli bir şekilde kullanılabilir.

Yapılan bir çalışmada uranınin 230 °C' de yarılanma ömrünün 140 gün olduğu belirlenmiştir (Aksoy, 2001). Benzer şekilde 150 °C'de uranınin en az üç yıl bozunuma uğramayacağı belirtilmiştir (Aksoy, 2001). Bu çalışmada da yüksek konsantrasyonlu örnekler birkaç gün sonra tekrar ölçülmüş, sonraki ölçümlerde ölçülen konsantrasyonların birkaç ppb azaldığı tespit edilmiştir.

#### 8.4 Flüoresan Konsantrasyon Ölçüm Cihazı ve Ölçüm Metodu

Bu çalışmada kuyulardan alınan örneklerdeki flüoresan miktarını tespit etmek için konsantrasyon ölçümleri Turner 10AU-005-CE model dijital fluorometre cihazında yapılmıştır (Şekil 8.4).



Şekil 8.4 Turner 10AU-005-CE model dijital fluorometre cihazı.

Fluorometre cihazı bir lamba, filtre ve örneğin ölçüldüğü bir hücre içermektedir. Ölçümü yapılacak olan numune 13mm'lik PYREX cam tüp içerisine konulup, cihazın hücresine yerleştirilir. Güçlü bir ışık kaynağından çıkan ışık demeti, bir filtreden geçirilerek elde edilen özel dalga boyundaki ışınlar, mercekler yardımı ile örnek üzerine düşer. Örnekten yansıyan ışınlar başka bir filtreden geçirilerek aranan dalga boyu dışında kalan ışınlar elimine edilir. Tüpün üzeri bir kapak ile kapatılarak cihazın düşük, orta ya da yüksek ölçüm aralıklarında numunedeki flüoresein miktarı ölçülür.

Cihazı kullanmadan önce ve ölçüm sırasında kalibrasyonu yapılmalıdır. Kalibrasyon için bu çalışmada 10ppm, 20ppm, 25ppm, 50ppm, 100ppm'lik, izleyici olarak kullanılan Na-fluoresein maddesinden hazırlanan standart çözeltiler kullanılmıştır. Cihaza bu standartlar okutulurak kalibrasyonu sağlanmıştır. Cihazın

kalibrasyonu ölçüme ara verildiği dönemlerde ölçüme başlanmadan önce kalibre edilmiştir.

Bu cihazda örnek tüpü ölçümü yanında üzerinde bulunan vana ve akım hücresi sayesinde sürekli akışkan gönderilerek de ölçüm yapmak mümkündür. Ancak sıcak akışkanla çalıştırılırken akışkanın yüksek sıcaklıklı (100-115 °C) olmasından dolayı ve birden fazla gözlem kuyusu seçilerek çalışıldığı için bu yöntem tercih edilmemiştir. Ölçülen değerler cihazın veri depolama belleğinde saat, tarih vb. detaylarla geniş şekilde depolanabilmekte ayrıca da ara kablo vasıtasıyla bilgisayara da aktarılabilir. Özellikle sürekli ölçüm sırasında bu şekilde veri depolama çok pratiktir.

#### ***8.4.1 İzleyicinin Re-enjeksiyon Kuyularına Verilmesi ve Örneklemeye Yöntemi***

İzleyici olarak kullanılan 250 ml'lik şişelerdeki Na-fluoresein bir kabın içinde re-enjeksiyon kuyularına verilen sudan bir miktar karıştırılarak su içinde çözünmesi sağlanmıştır. İzleyici verilmeden önce re-enjeksiyon kuyusu durdurulmuştur. Hazırlanan çözelti re-enjeksiyon kuyularında bulunan dar çaplı vanadan bir huni ve bir hortum yardımıyla kuyuya verilmiştir. İzleyici kuyuya boşaltıldıktan sonra re-enjeksiyon kuyusu çalıştırılmıştır. Üretim kuyularından örneklemeye işlemi zamana bağlı olarak 5 dakika ile 6 saat arasında değişen bir aralıkta gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.5)

İzleyici deneyinde örneklemeye için 50 ml'lik kahverengi renkte örnek şişeleri kullanılmıştır. Güneş ışığının etkisini önlemek için koyu renkli şişeler seçilmiş ve ışısız ve oda sıcaklığını geçmeyen bir ortamda örnek muhafaza sandıklarında saklanmıştır (Şekil 8.6). Şişeler yeniden kullanılmadan önce birkaç kez su ile yıkanmıştır. Örneklemeye sırasında da şişeler birkaç kez örneklemeye yapılacak su ile çalkalanmıştır. Flüoresein re-enjeksiyon kuyusuna enjekte edilmeden önce referans noktalarının oluşturulması için tüm kuyulardan 50 ml'lik kahverengi cam şişelere numune alınmıştır. İzleyici konsantrasyonlarının ölçümü sırasında kullanılan PYREX tüp, her ölçüm öncesi saf su ile yıkanıp kurutulmuştur.



Şekil 8.5 Flüoreseinin re-enjeksiyon kuyularına karıştırılması.

İzleyici konsantrasyonlarının ölçümleri mümkün olan en kısa sürede gerçekleştirilmiştir. Ölçümler bir tablo şeklinde Excel programına aktarılmıştır.



Şekil 8.6 İzleyici deneyi örnekleme yöntemi.

## 8.5 İzleyici Madde Miktarı

İzleyici deneyinde önemli bir nokta kullanılacak izleyicinin miktarının saptanmasıdır. Bunun saptamak için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin bir çoğunun iz deneyinde kullanılan kimyasala, enjeksiyonun yapıldığı formasyona ve çatlaklı olup olmasına, formasyonun geçirgenliğine bağlı olarak değişiklik gösteren ampirik denklemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerde temel amaç enjeksiyon sıvısına karıştırılacak olan kimyasalın miktarını yaklaşık olarak hesaplayabilmektir. Tüm yöntemler akışkanın debisi, kuyular arası uzaklık ve zamanın fonksiyonuna bağlı olarak geliştirilmiştir. Horne, 1987, üretim kuyularında gözlenebilecek minimum izleyici konsantrasyonları ile enjekte edilen suyun süpürdüğü hacim arasında deneysel bir ilişki kurmuştur.

İzleyici deneyinde önemli bir nokta kullanılacak izleyicinin miktarının saptanmasıdır. Bunun saptamak için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin bir çoğunun iz deneyinde kullanılan kimyasala, enjeksiyonun yapıldığı formasyonun geçirgenliğine ve çatlaklı olup olmasına bağlı olarak değişiklik gösteren ampirik denklemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerde temel amaç enjeksiyon sıvısına karıştırılacak olan kimyasalın miktarını yaklaşık olarak hesaplayabilmektir. Tüm yöntemler akışkanın debisi, kuyular arası uzaklık ve zamanın fonksiyonuna bağlı olarak geliştirilmiştir. Horne, 1987, üretim kuyularında gözlenebilecek minimum izleyici konsantrasyonları ile enjekte edilen suyun süpürdüğü hacim arasında deneysel bir ilişki kurmuştur.

$$V_s = 1,076 * x * h * \phi$$

$V_s$ , akışkanın süpürdüğü rezervuar hacmi

$x$ , üretim ve re-enjeksiyon uçları arasındaki uzaklık, m

$h$ , formasyon kalınlığı, m

$\phi$ , porozite



Kuyuya basılması gereken izleyici miktarı ise minimum saptama limitine ( $C_{min}$ ;  $kg/m^3$ ) göre hesaplanacak enjekte edilecek madde miktarından ( $Menj$ ;  $kg$ ) büyük olmalıdır.

$$C_{min} = Menj/V_s$$

Bu eşitliklerde kullanılan formasyon kalınlığı ve gözenekliliği tahmini zor parametrelerdir. Bazı uygulamalarda hesaplanan alt limitin binlerce kat fazlasını kullanmak gerekebilir. Bu çalışmada fluoresein miktarı re-enjeksiyon hızı ile en uzak gözlem kuyusu arasındaki mesafe, kuyuların toplam debisi ve tahmini yeraltı suyu hızı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

## **8. 6 Kurşunlu Jeotermal Alanı İzleyici Deneyi Çalışması**

Kurşunlu Kaplıcası jeotermal sahasında re-enjeksiyon amaçlı kullanılan iki kuyu (K-1 ve K-17) bulunmaktadır. Bu kuyulardan 50-58 l/sn debide ve 0-1.5 bar basınçta re-enjeksiyon yapılmaktadır. Üretim sırasında bu kuyuların her ikisi ya da birinden re-enjeksiyon gerçekleştirilmektedir.

### **8.6.1 K-1 re-enjeksiyon Kuyusunda Yapılan İzleyici Deneyi**

Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki K-1 re-enjeksiyon kuyusunun konumu ve diğer kuyulara olan mesafesi düşünülerek izleyici deneyi ilk olarak bu kuyuda gerçekleştirilmiştir. İlk denemede kuyular arası mesafe, formasyon ve sahadaki toplam debi göz önüne alınarak yapılan Na-Fluoresein miktarı 100 gr olarak hesaplanmıştır. 13 Şubat 2008 tarihinde K-1 kuyusundan atılan 100gr Na-fluoresein üretim kuyularında tespit edilmesi ve cihaz ile analiz edilebilmesine rağmen referans noktasının belirlenmesi için alınan numunelerdeki değerlere çok yakın olması nedeniyle ölçümlere 22 Şubat 2008 tarihinde son verilmiştir. İlk denemede örneklerdeki fluoresein miktarının yetersiz olması, hesaplamada üretim kuyusunun derinliği, kuyular arasındaki mesafe, formasyonun geçirgenliğinin ve temas ettiği rezervuar hacminin minimum değerlerinin alınması gibi nedenlerden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. İlk denemede az miktarda da olsa Na-flüoreseinin ortama



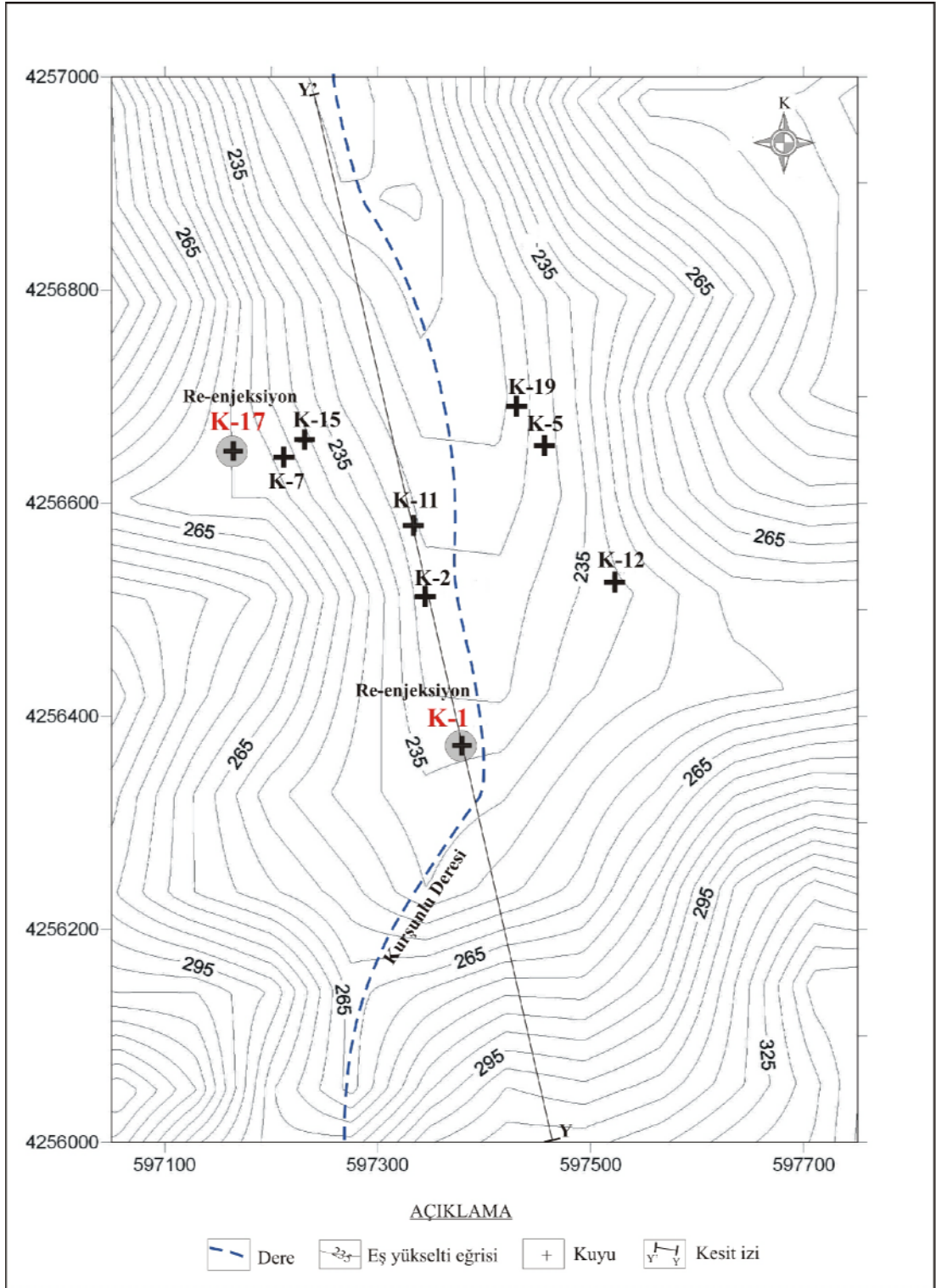
verilmesi ve bu miktarın bir sonraki denemeye kadar sistemde kaybolmayıp, sürekli dolaşım halinde bulunduğu tahmin edildiği için aynı re-enjeksiyon kuyusundan yapılan ikinci deneme verileri ile birlikte bir bütün olarak değerlendirilmiştir.

K-1 re-enjeksiyon kuyusunda 22 Şubat 2008 tarihinde ikinci izleyici deneyine başlanmıştır. Bu deneyde izleyici miktarı olarak tekrar hesaplanan 1400 gr Na-fluoresein kullanılmıştır. İzleyici konsantrasyonunu gözlemek için K-2, K-5, K-11, K-12, K-15, K-19 üretim kuyularında 5 dakika ile 6 saat arasında değişen zaman sürelerinde 15 gün örnekleme yapılmıştır. İzleyici deneyinin yapıldığı kuyular Şekil 8.7' de, kuyulara ait bilgiler Tablo 8.1'de verilmiştir.

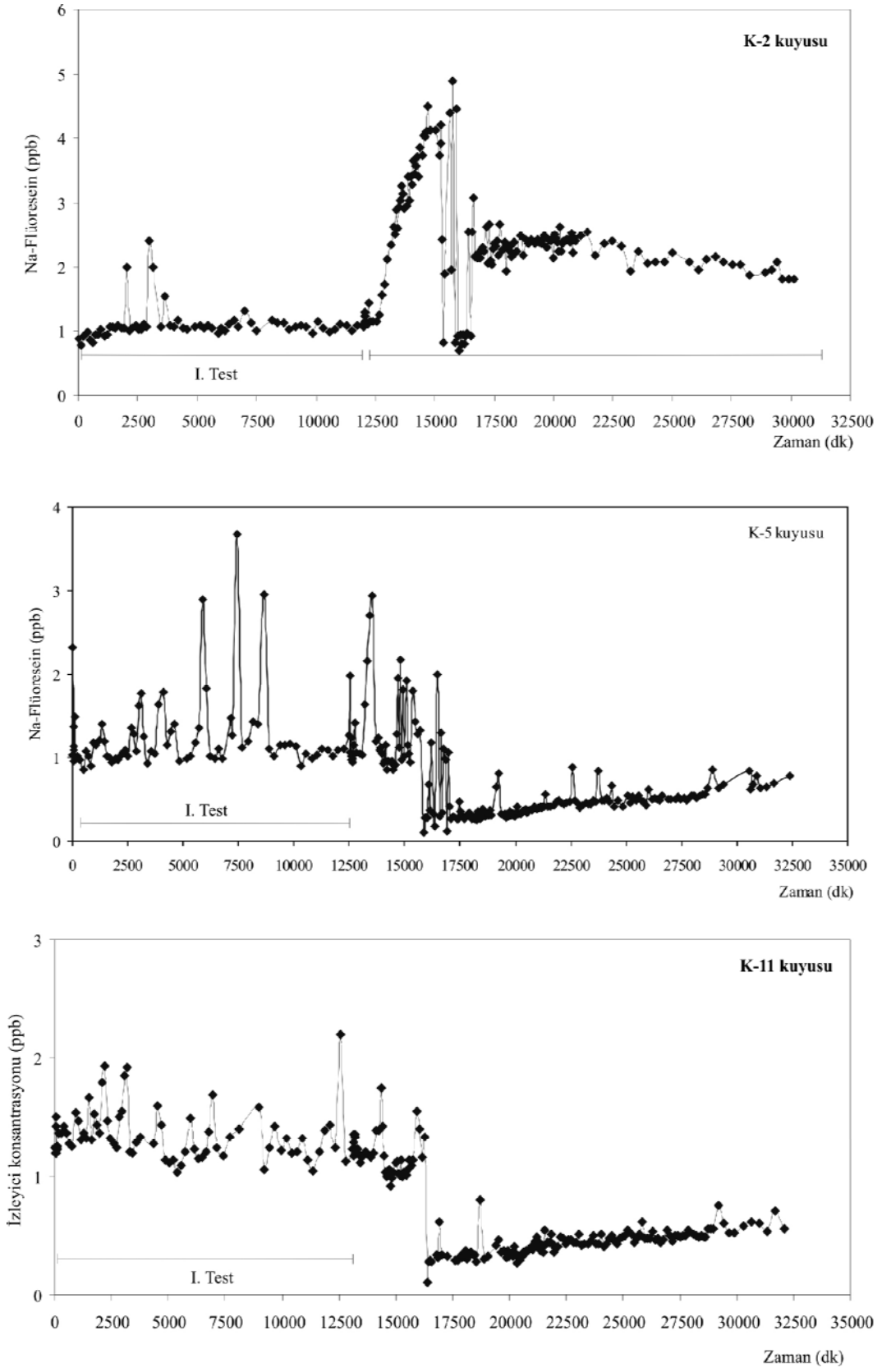
Tablo 8.1 İzleyici deneyinin yapıldığı kuyulara ait bilgiler.

Kuyu no	Derinlik (m)	Debi (l/sn)	Sıcaklık (°C)
K-1 (re-enjeksiyon)	40	60	90
K-2	73	16	94
K-5	115	45	83
K-11	114	40	95
K-12	112	12	98
K-15	250	20	115
K-17 (re-enjeksiyon)	190	60	104
K-18	70	20	112
K-19	160	20	52

İzleyici deneyi sonunda elde edilen veriler kullanılarak her bir kuyunun izleyici konsantrasyon-zaman grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 8.8). İzleyicinin maksimum konsantrasyona ulaştığı zaman saat olarak belirlenmiştir. K-1 kuyusunun gözlem kuyularına olan mesafeleri ve uranın konsantrasyonunun maksimuma ulaştığı zaman kullanılarak her bir gözlem kuyusundaki izleyici hızları hesaplanmıştır (Tablo 8.2).



Şekil 8.7 İzleme deneyinin yapıldığı kuyuların yeri.



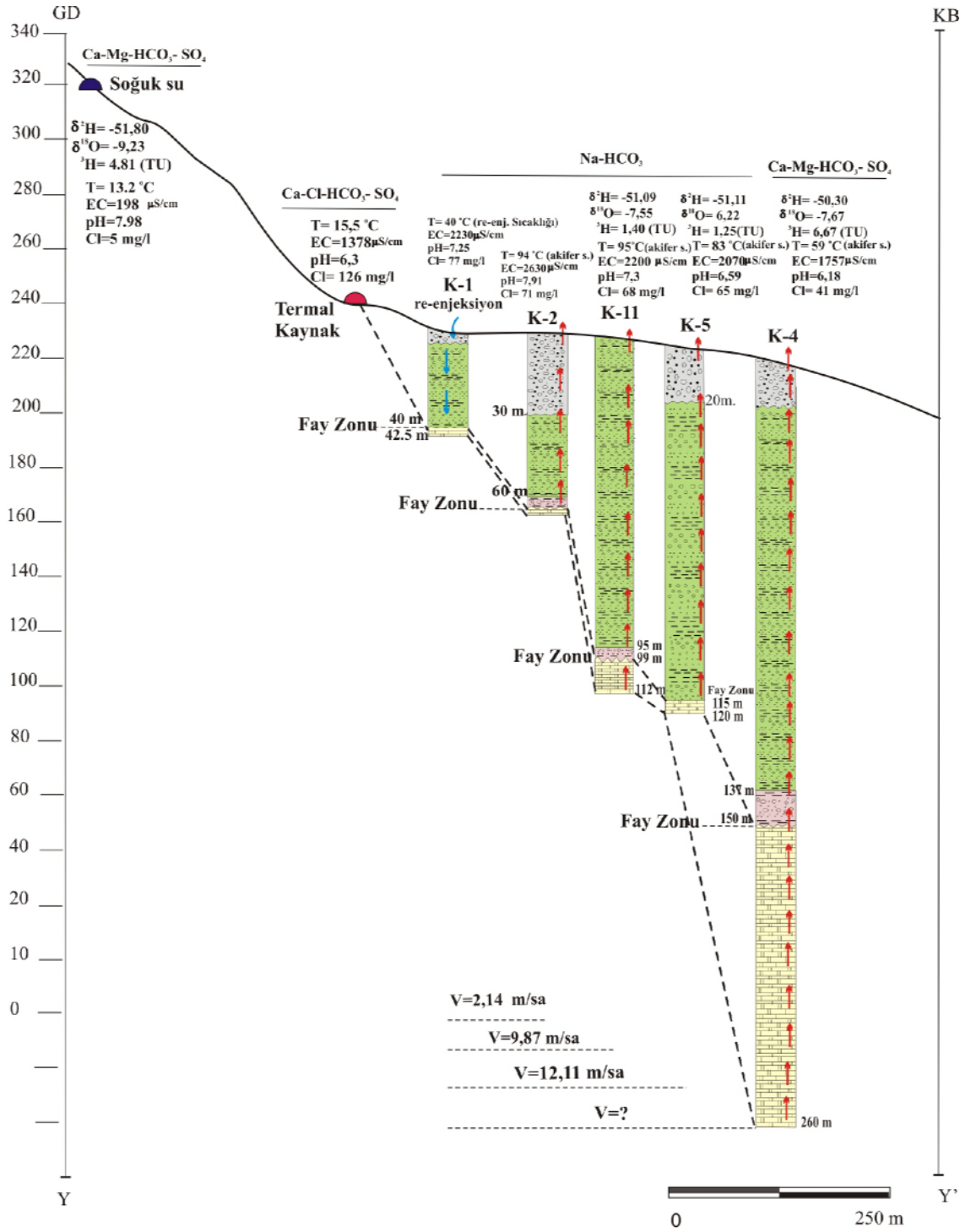
Şekil 8.8 K-1 kuyusundan yapılan izleyici deneyinden elde edilen izleyici konsantrasyon-zaman grafikleri.

Tablo 8.2 K-1 Kuyusundan yapılan izleyici deneyine göre hesaplanmış izleyici hızları

<b>Kuyu No</b>	<b>K-1'e olan uzaklık (m)</b>	<b><math>t_{max}</math> (saat)</b>	<b>U m/saat</b>
K-2	120,9	56.5	2,14
K-5	296	30	9,87
K-11	254,3	21	12,11
K-12	213,9	47	4,55
K-15	311,9	80	3,90
K-19	344,8	37	9,32

Şekil 8.8'den görüleceği gibi K-2 kuyusuna ait izleyici grafiği tek boyutlu akıştan elde edilen izleyici zaman profilini yansıtmaktadır. K-1 re-enjeksiyon kuyusu ile K-2 üretim kuyusu aynı kırık hattında bulunmaktadır. Bu da K-2 kuyusunda önemli derecede soğumaya neden olacaktır. K-5 ve K-11 kuyularına ait eğriler ise benzer olup K-2 kuyusunda olabilecek soğumaya göre çok daha fazla etkilenen kuyular olabilecekleri tahmin edilmektedir. Şekil 8.7'deki Y-Y' kesitinden elde edilen şekil üzerinde Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki yeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri ve K-1 kuyusundan yapılan izleyici deney sonuçları bir bütün olarak gösterilmiştir (Şekil 8.9). K-4 kuyusundan izleme yapılmamıştır ancak kuyu logu, sondajlarda kesilen birimlerin çeşitli derinliklerde değişimi gözlenmeye çalışılmıştır.

Alan içerisinde güneyden kuzeye doğru K-1'den verilen izleyicinin K-2, K-5, K-11, K-12, K-15, K-19 kuyularından gözlenen izleyici konsantrasyonlarının oluşturduğu izleyici profillerinden her bir kuyu için elde edilen  $t_{max}$  ve u (gerçek hız) sonuçları ve jeotermal kuyu verileri kullanılarak Şekil 7.7'de verilen alan içerisindeki jeotermal sistemdeki yarı basınçlı akiferin güney-kuzey doğrultusundaki geçirgenlik (K), iletkenlik (T) ve depolama katsayısı (S) gibi parametreleri Darcy Yasası bağıntıları ile hesaplanmıştır (Fetter, 2000).



## AÇIKLAMA

- |        |            |                         |               |                |
|--------|------------|-------------------------|---------------|----------------|
| Kuvva. | Holosen    | Alüvyon                 | Örtü kayalar  | Termal akışkan |
|        | Pliyosen   | Kiltaş-kumtaşı-çakıltaş |               | Soğuk sular    |
| Neojen | Miyosen    | Konglomera-kumtaşı      | Termal kaynak |                |
|        | Paleozoyik | Mermer (hazne kaya)     | Soğuk kaynak  |                |

Şekil 8.9 Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki K-1 re-renjeksiyon kuyusundan yapılan izleme deneyinin elde edildiği kuyuların sütun kesiti.

Darcy Yasası:

$$q = \frac{Q}{t} = -KiA, \quad V_{\text{gerçek}} = \frac{K * i}{n_{\text{etkin}}} \text{ bağıntıları ile ifade edilmektedir.}$$

Negatif işaret akımın azalan hidrolik yük yönünde gerçekleştiğini göstermektedir.

$$i = \frac{\Delta h}{L} \text{ dir.}$$

q: Birim zamanda geçen su miktarı ( $V_{\text{görünür}}$ )

t: Zaman aralığı

Q: Birim zamanda geçen su miktarı (debi)

A: Akım yönüne dik kesit

K: Permeabilite katsayısı

$n_{\text{etkin}}$  = Etkin gözeneklilik

V: Akım hızı

i: Hidrolik iletkenlik

$\Delta h$ : Birbirine çok yakın iki nokta arasındaki yük değişikliği ( $h_2-h_1$ )

L: İki nokta arasındaki mesafe

Kuyulardaki basınç ortalama 1bar olarak alınmış ve 1bar'a karşılık 10m'lik seviye hesaplamalar sırasında test ve gözlem kuyularının yükseklik kotlarına eklenerek hidrolik yükseklikler elde edilmiştir.

Bu hesaplamalarda K-1'in ve diğer kuyuların akifer kalınlığı olarak sondajda filtrelenen düzeylerin kalınlığı alınmıştır (Ek-2). Deneyin yapıldığı kuyu (K-1)'in akifer kalınlığı  $b_2 = 8$  m ile gözlem kuyusunun (K-2) akifer kalınlığı  $b_1 = 6,5$  m kullanılarak hesaplanan ortalama akifer kalınlığı (b):

$$b = (b_1+b_2)/2$$

bağıntısından  $b = 7,25$  m olarak hesaplanmıştır.

K-1'in K-2'ye olan uzaklığı  $L = 120,9$  m alındığında,

Hidrolik iletkenlik,  $i = \Delta h / L = 7,25 / 120,9$  ise  $i = 0,02482$ 'dir.

Q= AKi formülünden K yerine, T yazıldığında;

$$T = \frac{Q}{2\pi r(h_2 - h_1)}$$

formülünden T = 0,025264 olarak hesaplanmıştır. (Burada r = iki kuyu arasındaki uzaklıktır).

Transmissivite (iletimlilik), T = b x K formülüyle ifade edilir. Buna göre:

K = 0,025264 / 7,25 = 0,003485 olarak hesaplanır.

q= V<sub>görünür</sub> = K\*i = 0,003485 / 0,024820 ise V<sub>görünür</sub> = 0,000086'dır.

V<sub>gerçek</sub> =  $\frac{K * i}{n_{etkin}}$  formülünden, n<sub>etkin</sub> = 0,000040'dır.

Etkin gözeneklilik depolama katsayısına (S) eşit olarak varsayılmıştır. Tüm hesaplamalar Tablo 8.3'te verilmiştir.

Tablo 8.3 K-1 kuyusundan kuzey doğrultusunda hesaplanmış akifer parametreleri.

Kuyu No	i (Hidrolik eğim)	K (m/saat)	T (m <sup>2</sup> /saat)	S (n <sub>etkin</sub> )	V <sub>görünür</sub>
K-2	0,024820	0,003485	0,025264	0,000040	0,000086
K-5	0,006757	0,002692	0,015478	0,000002	0,000018
K-11	0,027559	0,000458	0,005154	0,000001	0,000013
K-12	0,046729	0,001142	0,004282	0,000012	0,000053
K-15	0,012825	0,001959	0,007345	0,000006	0,000025
K-19	0,567490	0,000044	0,000166	0,000003	0,000025

### 8.6.2 K-17 re-enjeksiyon Kuyusunda Yapılan İzleyici Deneyi

K-17 re-enjeksiyon kuyusunda 13 Mart 2008 tarihinde izleyici deneyine başlanmıştır, Bu deneyde yukarıda tanımlanan yöntem ile hesaplanan 750 gr Na-fluoresein kullanılmıştır. İzleyici konsantrasyonunu gözlemlemek için K-2, K-5, K-11, K-15, K19 üretim kuyularında 5 dk ile 6 saat arasında değişen zaman sürelerinde 9 gün örnekleme yapılmıştır. Ölçülen uranın konsantrasyonları - zaman grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 8.10). İzleyicinin maksimum konsantrasyona ulaştığı zaman saat olarak belirlenmiştir. K-1 kuyusunun gözlem kuyularına olan mesafeleri ve





Tablo 8.4 K-17 Kuyusundan yapılan izleyici deneyine göre hesaplanmış izleyici hızları (u jeotermal akışkanın yeraltındaki hızını yansıtmaktadır)

Kuyu No	K-17'ye olan uzaklık (m)	$t_{max}$ (saat)	U m/saat
K-2	363,2	41,5	8,75
K-5	445,9	97	4,60
K-11	330,1	22	15,00
K-15	233,5	13	17,96
K-19	447,9	134	3,34

K-17 re-enjeksiyon kuyusundan yapılan izleyici deneyinden elde edilen verilere göre K-11 ve K-15 kuyularında etkileşimin doğrudan olduğu, soğumanın en fazla olacağı tespit edilmiştir. Diğer kuyuların etkilenme oranı çok daha düşüktür.

Darcy Yasası'ndaki bağıntılar kullanılarak K-17 re-enjeksiyon kuyusundan yapılan izleyici deneyi sonuçlarından elde edilen izleyici profillerinden hesaplanan  $t_{max}$  ve u (gerçek hız) sonuçları ve jeotermal kuyu verileri kullanılarak Şekil 8.7'de verilen alan içerisindeki jeotermal sistemdeki yarı basınçlı akiferin geçirgenlik (K), iletkenlik (T) ve depolama katsayısı (S) gibi parametreleri hesaplanmıştır (Tablo 8.5).

Tablo 8.5 K-17 kuyusundaki izleyici profili verilerinden hesaplanmış akifer parametreleri.

Kuyu No	i (Hidrolik eğim)	K (m/saat)	T ( $m^2$ /saat)	S ( $n_{etkin}$ )	Vgörünür
K-2	$2,48 \times 10^{-5}$	$5,80 \times 10^{-5}$	$2,92 \times 10^{-4}$	$2 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-5}$
K-5	$1,23 \times 10^{-6}$	$1,11 \times 10^{-4}$	$3,89 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-5}$
K-11	$1,82 \times 10^{-6}$	$5,40 \times 10^{-5}$	$4,82 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
K-15	$2,44 \times 10^{-6}$	$4,78 \times 10^{-4}$	$7,17 \times 10^{-4}$	$6 \times 10^{-6}$	$1,17 \times 10^{-4}$
K-19	$3,95 \times 10^{-6}$	$8 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-4}$	$9 \times 10^{-6}$	$3,20 \times 10^{-5}$

Genel bir değerlendirme yapılacak olursa; Kurşunlu rezervuarındaki termal akışkanın hızının yaklaşık 2 – 18 m/saat arasında değiştiği belirlenmiştir. İzleyicinin kısa sürede gözlem kuyularına ulaşması jeotermal sistemin rezervuarının çok çatlaklı, çatlakları birbiriyle bağlantılı ve çok yüksek permeabilite değerine sahip olduğunu göstermektedir.

## BÖLÜM DOKUZ

### SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında yapılan çalışmaları jeotermal sular ile soğuk ve yüzey sularında yapılan çalışmalar olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Çalışmada öncelikle eski / yeni kaynak ve kuyular ile yüzey sularından kimyasal ve izotopik analizler için örneklemeler yapılmıştır. Önceki çalışmalar da dikkate alınarak, yapılan analizler çeşitli diyagramlarda ve kimyasal türleştirme programlarında değerlendirilerek suların bir bütün olarak köken ve hidrojeokimyasal özellikleri ortaya konulmuştur. Özellikle araştırılması amacıyla yüzey suları ve dere sedimanlarından paralel olarak yapılan örneklemeler ile jeotermal kaynakların su kaynaklarına olabilecek olumsuz etkileri değerlendirilmiştir. Kurşunlu Jeotermal Alanı'nda var olan ve işletilen kuyuların birbirleriyle ve re-enjeksiyon kuyuları ile olan ilişkilerinin ve akifer yapısının ortaya konulmasına yönelik yapılan izleyici deneyi ile ileride planlanması düşünülen ve çok önemli görülen yeni üretim ve re-enjeksiyon kuyularının yerlerinin seçimine yeni yaklaşımlar getirilmiştir. Çalışma kapsamında yakın gelecekte kullanılması düşünülen bölgedeki diğer jeotermal alanların işletilmesi sırasında karşılaşılabilecek düşünülen problemler ve çözüm önerileri de ortaya konmuştur.

İnceleme alanının temelini Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfik ve kristalin kayaları, örtüyü Neojen yaşlı kırıntılı tortullar ve Kula volkanitleri oluşturur, Bunların üzerine Kuvaterner yaşlı alüvyon birimleri gelmektedir. Çalışma alanının güney kısmında yüksek kotlu kesimleri oluşturan metamorfik kayalar yer yer kırmızımsı kahverengimsi ince bir toprak örtüyle kaplıdır. Metamorfik kayalar birçok farklı kaya türlerinden oluşur. Bunlardan en baskın olanları mikaşistlerdir. Bunların yanında ince taneli gnays, granat-mika şist, muskovit-kuars şist, metakuarsit ve mermerler bölgede yüzeyleyen diğer kaya türleridir. Mermerler, şistler içinde değişik boyutta mercerler oluşturur. Genellikle bol çatlaklı olan kayanın dış yüzeyleri kahverengimsi gri, taze yüzeyleri kirli beyazdır. Metakuarsitler şistler arasında, genellikle ara katkı ve mercer, zaman zaman şistleri kesen damarlar şeklindedir. Bölgedeki Neojen yaşlı kırıntılı tortul kayalar üç üç ayrı birim olarak

gözlenmektedir. Acıdere formasyonu kırmızı-bordo rengiyle gözlenen formasyon çakıltası, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve kiltası-çamurtaşından yapılıdır. Dokusal ve geometrik özellikleri dikkate alındığında formasyon az eğimli, düşük enerjili, durgun bir ortamda çökelmeye başlamıştır. Formasyonun üst düzeyleri ise bol yağışlı bir iklim ve yüksek eğimli bir topoğrafyanın ürünü olan yüksek enerjili suların denetimindeki alüvyonal yelpaze ortamında çökelmiştir. Çalışma alanında çok geniş bir alanı kaplayan Göbekli formasyonu, değişik renklerde çakıltası, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ardalanmaları şeklindedir. Acıdere formasyonuna göre dokusal olgunluğu daha iyi olan ve daha küçük taneli kırıntılardan yapılı olup örtülü akarsu ürünüdür. Gediz Grabeni içinde dik yarlı vadiler ve sarp yamaçlı sivri tepeleriyle belirgin olan Asartepe formasyonu, başlıca, kumtaşı arakatman ve arakatlıları içeren çakıltılarından yapılıdır. Tektonizma etkisi ile sürekli yükselmekte ve alüvyon yelpazesi çökelleri oluşmaktadır. İnceleme alanında yaşlı alüvyonlar bazı akarsuların kenarında asılı kalmış şekiller oluşturur. Salihli ve Alaşehir ovalarını oluşturan genç alüvyonlar ise güncel akarsuların yatakları boyunca şerit şeklinde uzanırlar.

İnceleme alanının da içinde bulunduğu Gediz havzasının denetiminde doğrudan rol oynayan fayların en önemlileri olan Keserler, Acıdere, Dereköy ve Yenipazar fayları, grabenin uzanımına koşut olarak kilometrelerce uzunluktadırlar. Arazi verilerine göre bu fayların yaşı havza kenarından havza ortasına doğru ilerledikçe (Salihli - Alaşehir ovalarına yaklaştıkça) gençleşir. Salihli-Alaşehir ovalarını sınırlayan Yenipazar - Dereköy ve Mevlütlü fayları, Pleyistosen sonrası tektonizma ürünüdür. Grabenin uzanımına dik yönde gelişen faylardan, "accommodation" fayı olarak nitelendirilen yüksek açılı fayların oluşumu ( $>45^\circ$ ), arazi verilerine göre, Asartepe formasyonunun çökelişinden öncedir. Yüksek eğim açılı bu normal fayların Salihli-Alaşehir ovaları boyunca Göbekli ve Asartepe birimlerinin aniden kesilmesi, Dereköy ve Yenipazar faylarının alüvyonlarca örtülmüş olduklarını düşündürmektedir. Mevlütlü Fayı da benzer şekilde yorumlanmıştır.

Menderes Masifi'ne ait karbonatlı kayalar (mermer ve dolomitik mermer) karstik ve çok çatlaklı olmalarından dolayı geçirimsizliği yüksek olup, termal ve soğuk su kaynakları için akifer oluştururlar. Bazı yerlerde Menderes metamorfiklerinin gnays

ve kuvars-mikaşistleri de kırıklı çatlaklı olmalarından dolayı yer yer jeotermal sistemlerin akiferidir. Bunları üzerleyen örtülü akarsu ortamında oluşmuş kötü çimentolanmış kil düzeyleri içeren Neojen tortul kayalar hidrojeolojik açıdan geçirimsiz ve az geçirimli olmaları nedeniyle jeotermal sistemlerin örtü kayacını oluşturmaktadırlar. Bununla birlikte kendi içlerinde bazı çakıltaşı seviyeleri akifer ve kiltaşları da akiklöd özelliğindedirler. Jeotermal sistemlerin ısı kaynağını graben tektoniğine bağlı olarak yükselen magmatik sokulumların yüzeye yaklaşmasından kaynaklanan jeotermal gradyan oluşturmaktadır. Jeotermal alanların oluşumu ve termal akışkanın taşınımı, Gediz Graben sistemini kontrol altında tutan faylar ve bu faylara bağlı kırık hatları ile sağlanmaktadır. Alüvyon soğuk yeraltı sularının depolanması ve üretilmesi açısından en önemli birimdir. Çok sayıda açılmış sondaj kuyusundan basınçlı ve serbest akifer seviyelerinden üretilen oldukça verimli (20-70 L/sn debili) su üretimi yapılabilmektedir.

Salihli İlçesi'ne ait 1939–2003 yılları arası 64 yıllık uzun dönem “Yağış - Sıcaklık” verileri Thornthwaite Yöntemi'ne göre değerlendirilmiştir. Thornthwaite yöntemiyle hesaplanan su bütçesi hesabına göre, yıllık yeraltı suyu beslenimi 169,5 mm (m<sup>2</sup>/kg)'dir. Yıllık yağışın % 35'i yeraltına süzölmektedir.

İnceleme alanında açılmış mevcut kuyu verilerine göre yapılan eş yeraltı suyu seviye haritası, yeraltı suyu akımının bölgede yaklaşık güneyden kuzeye Gediz Nehri ve Alaşehir Çayı'na doğru, olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu akarsular bölgedeki yüzey ve yeraltı suları akiferlerinde olası endüstriyel, tarımsal ve jeotermal kaynaklı kirliliklerden etkilenmektedirler. Çalışma alanında yeraltı suyu edinme amaçlı kullanılmak üzere açılan kuyuların ve DSİ (1998) kuyu pompaj deneyi verileri kullanılarak Jacop yaklaşık yöntemiyle K, T, S parametreleri hesaplanarak, sonunda olası yeraltı suyu hızı gibi belirli yaklaşımlar elde edilmiştir. Buna göre bölgedeki alüvyon akiferde permeabilite katsayısı  $K= 6,9847 \times 10^{-5}$  m/sn'dir. Bu değerler düşük - orta geçirgenliğe ve ince – orta, kaba kum arasında değişen tane bileşenlerine karşılık gelmektedir. Depolama katsayısı  $S=0,000164$  (%) olup, hidrolik eğim,  $i=0,016667-0,2$  (%) arasında değişmektedir. Bu verilere göre alüvyon akiferdeki yeraltı suyu ortalama hızları  $V_{gerçek}=7,101 \times 10^{-3} - 8,5215 \times 10^{-2}$  m/s

arasındadır. Yeraltı suyu ile herhangi bir kirleticinin taşınımının bir günde yaklaşık 6 cm ile 76 cm arasında değişen hızlarda olacağı tahmin edilmektedir.

Çalışma alanındaki jeotermal alanlar batıdan doğuya doğru Sart Jeotermal Alanı, Caferbey Jeotermal Alanı, Üfürük Jeotermal Alanı ve Kurşunlu Jeotermal Alanı olarak dört grupta incelenmiştir. Sart-Çamur Kaplıcası'nın tarihi Lidya Krallığı dönemine kadar gitmektedir. Termal kaynağın kaynak çıkış sıcaklığı 52 °C, debisi ise 5 l/sn'dir. Termal tedavi amaçlı romatizma, nevrojji, cilt ve kadın hastalıklarının tedavisinde yararlanılmaktadır. Üfürük Jeotermal Alanı'ndaki suların doğal kaynak çıkış sıcaklığı 31 °C olup, yaklaşık 0.4 l/s debiye sahiptirler. Kaynaklar mevsimsel değişikliklere göre birçok yerden yüzeye çıkmaktadırlar. Caferbey Jeotermal Alanı Gediz Grabeni içerisindeki en önemli jeotermal alanlardan biridir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından alanda açılan 1189.10 m derinlikteki kuyuda 155 °C akifer sıcaklığı ve 2 l/s debi elde edilmiştir. Bu alan bölgede işletilecek yeni sahalardandır. Bu kuyunun doğrultusunda kuzeyde yaklaşık 6 km uzaklıktaki alanda şahıslar tarafından sera ısıtmacılığı amaçlı açılmış 800-950 m derinlikteki kuyulardan 80 °C ve debi 50-60 l/s'debide termal sular elde edilmiştir. Türkiye'nin 15 önemli jeotermal alanlarından birisi olan Kurşunlu Jeotermal Alanı 2000 yılından günümüze termal tedavi ve sera ısıtmacılığı amaçlı kullanımının yanısıra Salihli ilçesinde günümüzde 5900 konutun ısıtıldığı bir jeotermal akışkan üretimine sahiptir. Sahada açılan kuyulardan 51-114 °C arasında değişen sıcaklıklar elde edilmiştir. Bu kuyuların debileri ise 20-60 l/s arasında değişmektedir. Açılan kuyulardan 6 tanesi (K-2, K-5, K-11, K-12, K-15 ve K-19) konut ısıtmacılığı, sera ısıtmacılığı ve termal tedavi amaçlı kullanılmaktadır. Kış sezonu boyunca toplam 160 l/s debide üretim yapılmaktadır. Termal akışkan üretim yapılan havzaya 2 adet re-enjeksiyon kuyusundan (K-1 ve K-17) geri basılmaktadır.

Çalışma alanındaki termal ve mineralli su kaynakları ile beslenme alanındaki soğuk su kaynakları, çeşmeler, sondaj kuyuları ve yüzey sularından yağışlı ve kurak dönemi yansıtacak şekilde kimyasal analiz için 58 farklı su noktasından toplam 83 adet su örnekleme yapılmıştır. Ayrıca önceki çalışmalarda yapılmış kimyasal analiz sonuçlarından da karşılaştırma yapmak amacı ile yararlanılmıştır. Bu çalışmalarla,

jeotermal alanlardaki termal ve mineralli suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi, yeraltı suyu sistemi ve bu sistem içerisinde geçirdikleri fizikokimyasal süreçlerin ortaya konulabilmesi ve çevresel etkilerinin aydınlatılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, çalışma alanındaki yeraltı sularının kimyasal analiz sonuçları AquaChem 5.1 (Calmbach, 1997) ve PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) türleştirme programlarında değerlendirilerek, yeraltı sularının kalitesi ve kullanım alanlarının belirlenmesi, su-kayaç ilişkileri, termal ve mineralli suların genel kullanılabilirlik özellikleri, rezervuar sıcaklıklarının tahmini, akifer kimyası, mineral doygunlukları, kabuklaşma özellikleri incelenmiştir.

AIH sınıflamasına göre Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki termal suların su tipi incelendiğinde; K-4, K-5 ve K-8 kuyularının Na-Ca-HCO<sub>3</sub> su tipinde olduğu diğer bütün kuyuların ise Na-HCO<sub>3</sub> su tipindedir. Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki mineralli su ise Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipindedir. Caferbey Jeotermal Alanı'ndaki termal sular Na-HCO<sub>3</sub>, Sart-Çamur Jeotermal Alanı'ndaki termal sular Ca-Na-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Üfürük Jeotermal Alanı'ndaki sular Ca-Mg-SO<sub>4</sub> tipinde olup mineral su özelliğindedirler. Bu alanlardaki içme suyu ve sulama suyu amaçlı açılmış kuyulara ait soğuk sular ise baskın katyon olarak Ca<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup> ve Mg<sup>+2</sup>, baskın anyon olarak ise HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> iyonlarını içeren su tipindedirler. Yüzey suları genel olarak Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> su tipini yansıtır.

Sart ve Caferbey Jeotermal Alanları'ndaki termal suların Piper Üçgen Diyagramı'ndaki konumlarına göre termal sular iki gruba ayrılmıştır. Sart-Çamur Kaplıcası termal suları Piper Üçgen Diyagramı'nda karbonat sertliği %50'den fazla olan sular (5 no'lu alan) ile iyonların hiçbiri % 50'yi geçmeyen, karışık suların bulunduğu (9 no'lu) alanda gözlenirler. Caferbey jeotermal alanında açılmış Caferbey-1 derin sondajı ve sera termal suları ise karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular (8 no'lu alan) tipindedir. Kurşunlu jeotermal alanındaki termal suların Piper Üçgen Diyagramı'ndaki konumlarına bakıldığında ise termal sular genellikle Caferbey-I termal suyu gibi karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular (8 no'lu alan) tipindedir. Seçilen soğuk su ve yüzey suyu örnekleri ise pek fazla baskın iyon içermeyen karışık su tipindedirler. Tüm sular birlikte değerlendirildiğinde ise su-

kayaç etkileşiminin bir sonucu olarak gelişen iyon değişimiyle, soğuk sulardan termal sulara doğru  $Ca^{+2}$  ve/veya  $Mg^{+2}$ 'daki azalma ve  $Na^+$  iyonundaki artışa bağlı olarak  $HCO_3$  zenginleşmesi görülmektedir.

Suda başlıca çözülmüş maddeler ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{-2}$  ve  $SiO_2$ ) arasındaki ilişkiler hidrojeokimyasal değerlendirmelerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Suların  $Na$ ,  $K$ ,  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $HCO_3$  ve  $SO_4$  iyonları arasındaki ilişkiler incelendiğinde;  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$  ve  $SiO_2$  arasında korelasyon katsayısı 0,73–0,87 aralığında değişen doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Özellikle termal suların etkileşimde buldukları akifer kayaçlardaki karbonat ve silikatlara bağlı çözünürlük tepkimelerinin etkisinde olduklarını göstermektedir.  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  ve  $SO_4^{-2}$  arasındaki pozitif korelasyon ( $R^2=0,75-0,77$ ) termal suların çeşitli derinliklerde karışım tepkimelerinden (soğuk yeraltı suları ile olan etkileşim) de etkilenmiş olabileceklerini göstermektedir.  $Cl^-$  ile  $K^+$ ,  $Na^+$  ve  $HCO_3^-$  ve  $SiO_2$  arasında da oldukça iyi pozitif bir korelasyon ( $R^2=0,54-0,83$ ) bulunmaktadır. Bu doğrusal ilişki özellikle termal suların uzun süre akifer kayaçlarla etkileşimde olabileceğinin bir göstergesidir.

Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklığının tahmin edilmesi termal suların uygun şekilde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Çalışma alanındaki termal ve/veya termal özellik gösteren suların silis jeotermometrelerine göre hesaplanan akifer sıcaklıkları genel olarak 83 °C ile 230 °C arasında değişmektedir. Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan akifer sıcaklıkları ise 99 °C ile 300 °C arasındadır. İnceleme alanında açılan jeotermal kuyu ve termal kaynakların 52–155 °C arasında değişen kaynak ve akifer sıcaklıkları değerleri dikkate alındığında bazı silis jeotermometrelerinin diğer silis ve katyon jeotermometrelerine göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği görülmektedir. İnceleme alanındaki termal suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumlarına göre Caferbey-1 kuyusu, Sart-Çamur Kaplıcası ve Kurşunlu jeotermal alanındaki K-4, K-6, K-7, K-8, K-11, K-12, K-16, K-18 ve K-20 kuyularına ait termal ham sular sınıfında yer almaktadır. Sera termal suları ile Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki K-1 (re-enjeksiyon kuyusu), K-2, K-5, K-15 ve K-19 kuyuları termal suları ise kısmen dengelenmiş sular kısmında yer almaktadırlar.

Diğer taraftan üçgen diyagramda akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesinde kullanılan sıcaklık doğruları dikkate alındığında Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki termal sular genel olarak 200 °C doğrusu üzerinde yer almaktadırlar. Caferbey ve Sart-Çamur Jeotermal Alanı'ndaki termal suları ise 220 °C doğrusu üzerinde bulunmaktadırlar. Sera termal suları da 120 °C sıcaklığı göstermektedirler. Kısmen dengelenmiş sular kısmında yer alan Kurşunlu kuyularının katyon jeotermometrelerle hesaplanan akifer sıcaklıkları, silis jeotermometreleri ile hesaplanan akifer sıcaklıklarından daha yüksektir. Bu durum jeotermometre hesaplamalarında dengeyi değiştirecek herhangi bir konsantrasyon değişiminden (buharlaşıma ile konsantrasyon artışı veya seyrelme ile konsantrasyon azalışı gibi) kaynaklanmaktadır.

Mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması jeotermal alanlarda suların üretim ve iletimi aşamasında borularda oluşabilecek kabuklaşma problemlerinin çözümü açısından çok önemlidir. Oluştugu yerlerdeki mekanik tesisatın çalışmasını engellerler. Isı transferini olumsuz etkiler ve bütün bunların sonunda daha az enerji üretilmesine neden olur. Uygun önlem alınmazsa üretim ve re-enjeksiyon kuyularının tıkanarak kaybedilmesine neden olur. Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki termal sularda kabuklaşma problemine neden olabilecek minerallerin (karbonatlı, silisli ve sülfatlı mineraller) doygunluk indeksi değerleri, inhibitörlü ve inhibitörsüz su örneklerinin kimyasal analizleri birbiriyle karşılaştırılarak bu iki farklı durumda termal suların kimyasal analizlerindeki iyon konsantrasyonlarındaki değişiklikler incelenmiştir. Kuyulardan alınan inhibitörlü ve inhibitörsüz su örneklerinin analiz sonuçlarına bakıldığında, genel olarak inhibitörlü termal sularda pH, EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )  $\text{Al}^{+3}$ ,  $\text{As}^+$ ,  $\text{B}^{+3}$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cd}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+3}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Sb}^{+3}$  ve  $\text{SiO}_2$  değerlerinde düşüş gözlenmektedir.  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  derişimlerinde ise artış görülmektedir. Bu değişim kullanılan inhibitörün yapısında bulunan maddelerin kimyasal özellikleri ile ilgilidir.

İnhibitör kullanılan Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki kuyularda inhibitörsüz ve inhibitörlü su örnekleme yapılmış ve bu iki farklı durumdaki kimyasal analizler PhreeqC (Parkhurst ve Appelo 1999) kimyasal türleştirme programında değerlendirilmiş ve farklı sıcaklıklarda doygunluk indeksi hesaplamaları elde



edilmiştir. Bu hesaplamalara göre oluşturulan sıcaklık-mineral denge diyagramlarına göre Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki tüm kuyularda yaklaşık 120-150 °C'den düşük sıcaklık değerlerinde sular, kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) mineralini, 90 °C'den düşük sıcaklık değerlerinde ise kalsedon ( $\text{SiO}_2$ ) mineralini çöktürücü özelliktedir ( $\text{SI}>0$ ). 50-60 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda ise albit ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) mineralince doymun değildir ( $\text{SI}<0$ ). Tüm kuyularda, sular yaklaşık 150 °C'ye kadar anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) mineralince doymun değildir. Tüm kuyularda sular, anortit ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), amorf silis ( $\text{SiO}_2$ ) ve dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) minerallerini çözdürücü özelliktedir. Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) ve aragonit ( $\text{CaCO}_3$ ) minerallerince ise sular aşırı doymundur. Oğuz (2009)'a göre kabuklaşma, en hızlı K-5, en yavaş K-12, kuyusunda gerçekleşmektedir. Elde edilen değerler üretim aşamasındaki gözlenen kabuklaşma hızlarına yaklaşık olarak uymaktadır.

Caferbey-1 kuyusunun sıcaklık-doymunluk indeksi diyagramında sular, kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ), aragonit ( $\text{CaCO}_3$ ) ve dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) minerallerini çöktürücü özelliktedir ( $\text{SI}>0$ ). Amorf silis, 60 °C; kuvars, 120 °C ve kalsedon mineralleri 160 °C'den yüksek sıcaklık değerlerinde doymun değildir ( $\text{SI}<0$ ). Sart Jeotermal Alanı'ndaki termal kaynağına ait sıcaklık-doymunluk indeksi diyagramında da amorf silis ve jips mineralleri tüm sıcaklık değerlerinde sularda çözüne eğilimindedir ( $\text{SI}<0$ ). Kalsit, 30 °C; aragonit, 60 °C ve kalsedon, 65 °C'den yüksek sıcaklık değerlerinde aşırı doymundur. Kalsedon, 100 °C; Kuvars, 130 °C'den yüksek sıcaklıklarda çözüne eğilimindedir. Özetle, inceleme alanındaki termal sular genel olarak karbonat minerallerini (kalsit, aragonit ve dolomit) çöktürücü özelliktedir. İkincil olarak bazı silis mineralleri de (kalsedon, kuvars) çökebilme riski (kabuklaşma) taşımaktadır. Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki üretim ve re-enjeksiyon kuyuları dikkate alındığında silis minerallerinin de çökelme riski taşıdığı ve üretim kuyularında bir probleme neden olmasa da re-enjeksiyon kuyularında kabuklaşma problemine neden olabileceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle yeni işletmeye açılacak jeotermal alanlarda termal suların ve üretim kuyuların özelliklerine uygun şekilde kabuklaşma çözüm yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir.

Çalışma alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları kullanım açısından değerlendirilmesi için çeşitli ulusal ve uluslararası içme suyu kalitesi standartları (TS-266, 2005; USEPA, 1994; WHO, 2004; Sağlık Bakanlığı, 2003; Kaplıcalar Yönetmeliği, 2001) ile karşılaştırılmıştır. Soğuk yeraltı suları ve yüzey sularının pH değerleri 5,7–8,7 değerleri arasında olup, genel olarak bazik bileşimli sulardır. Termal ve mineralli suların pH değerleri genellikle asidik bileşimli olup, 5,7–7,8 değerleri arasında değişmektedir. Alandaki soğuk yeraltı ve yüzey sularının EC değerleri 190–1350  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerleri arasındadır. Sıcak ve mineralli suların EC değerleri 1575 ile 3650  $\mu\text{S}/\text{cm}$  değerleri arasında olup TS-266 içme suyu standartları değerlerinin üzerindedir. Suların EC değerlerindeki değişime bakıldığında termal sular ve yakın çevresinde yüksek olduğu görülmektedir. Termal suların içerdiği  $\text{Ca}^{+2}$  miktarı genel olarak 49–2007 mg/l değerleri arasındadır. Yalnızca Üfürük mineral suyunun kurak ve yağışlı dönemde ölçülen  $\text{Ca}^{+2}$  miktarı 709,84 ve 808,47 mg/l olup limit değerlerin üzerindedir. Suların  $\text{Mg}^{+2}$  miktarı 1,05–251,1 mg/l,  $\text{K}^{+}$  miktarı 4–91 mg/l ve  $\text{Na}^{+2}$  miktarı 5–660 mg/l değerleri arasında olup  $\text{K}^{+}$  ve  $\text{Na}^{+2}$  içeriği bakımından termal sular içme suyu standart değerlerinin oldukça üzerindedir,  $\text{Cl}^{-}$  miktarı tüm sularda standart limit değerlerin altındadır.  $\text{SO}_4^{-2}$  miktarı 11,5–387,7 mg/l arasında değişen değerlerde olup Üfürük ve Kurşunlu mineral suyunda  $\text{SO}_4^{-2}$  miktarı standartların üzerindedir. Soğuk yeraltı ve yüzey sularının  $\text{HCO}_3^{-}$  miktarları 34-464 mg/l değerleri arasında değişmekte ve genel olarak yüzey suları ile termal ve mineralli sularda (>1000 mg/l) standartlarda belirtilen sınır değerler üzerindedir.

Kimyasal analizler, sularda istenmeyen maddeler açısından değerlendirildiğinde inceleme alanındaki sularda  $\text{As}^{+}$  miktarı 14–3455  $\mu\text{g}/\text{l}$ ,  $\text{B}^{+3}$  miktarı 1–67 mg/l,  $\text{Sb}^{+3}$  miktarı 10–421  $\mu\text{g}/\text{l}$  ve  $\text{Fe}^{+2}$  miktarı 0,001-68 mg/l arasında olup bazı örneklerde bu maddelerin konsantrasyonları içme suyu standart değerlerinin üzerindedir. İnceleme alanında termal sularda (Örnek No: 1-14, 22, 25, 40, 41, 45 ve 46), termal suların soğuk sulara karıştığı alanlarda (Örnek No: 31, 32, 34, 35, 36, 37, 42-44 ve 48-50) ile yüzey sularının termal suların karıştığı bölgeler ve her türlü insan kaynaklı, tarımsal, endüstriyel ve benzeri kirleticilerden etkilenen alanlarda (Örnek No: 50-58) standartların üzerindedir. İnceleme alanındaki termal suların termal tedavide kullanımları dikkate alındığında  $\text{As}^{+}$ ,  $\text{B}^{+3}$ ,  $\text{Sb}^{+3}$  ve  $\text{Fe}^{+2}$  konsantrasyonlarının içme

suyu standartlarının üstünde olmasından dolayı içme kürü olarak kullanılmaları sakıncalıdır. Termal sulara yakın ya da jeotermal rezervuarın etkilediği sulama amaçlı açılmış kuyulardan elde edilen suların da (Örnek No: 31, 32, 34, 35, 36, 37, 42-44 ve 48-50) içme suyu amaçlı kullanılmaması önerilmektedir.

Jeotermal akışkanların çevresel izotop içeriklerinin incelenmesi ile jeotermal sistemlerin hidrojeolojik özelliklerinin aydınlatılması mümkün olabilmektedir. İzotop oranlarının sıcaklığa, su-kayaç etkileşimine ve diğer fizikokimyasal süreçlere duyarlı olmaları nedeniyle izotop teknikleri jeotermal araştırmalar için önemli katkılar sağlamaktadır. İnceleme alanındaki suların izotop analizleri termal sular, mineralli sular ile yüzey ve soğuk yeraltı suları olmak üzere üç grupta incelenmiştir. Suların izotop analizleri ile jeotermal alanlar dikkate alınarak termal suların kökeni, yaşı, beslenme alanı yüksekliği ve yeraltında kalış süreleri tahmin edilmiştir. Termal suların  $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ortalama olarak sırasıyla -52,32 ve -7,16'dır. Mineralli suların  $\delta^2\text{H}$  değerleri -44,30 ve -46,70 olup  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ise -9,73 ve -10,23'tür. Diğer yüzey ve yeraltı sularının  $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ise ortalama -40,01 ve -8,84'tür. Craig (1961) tarafından önerilen  $\delta^{18}\text{O}/\delta^2\text{H}$  izotop değişim diyagramında küresel meteorik su doğrusu ile Akdeniz Meteorik Su Doğrusuna (Gat ve Carmi, 1970) göre konumları termal suların genel olarak meteorik su özelliğinde oldukları göstermektedir. Diyagramda Salihli Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki suların su - kayaç etkileşimine bağlı olarak meteorik su eğrilerinin sağında ve yaklaşık doğrusal bir hat üzerinde gittikçe eğrilerden uzaklaşan konumda yer aldıkları açıkça görülmektedir.

Çalışma alanındaki termal sular ve mineralli suların trityum içerikleri 0,27 ile 6,67 TU arasında değişmektedir. Soğuk suların trityum içerikleri ise 0,56 ile 5,12 TU arasındadır. Kurşunlu jeotermal alanı içerisinde açılmış olan kuyuların trityum içerikleri bu suların genel olarak 1953 öncesi yağış suları ile beslendiklerini göstermektedir. Ancak trityum analizi yapılmış kuyulardan K-4, K-8 ve K-19 kuyularının trityum içerikleri diğer kuyulardan daha yüksektir (4,28-6,15 TU). Bu kuyular vadinin kuzeyinde ve Kurşunlu Deresi boyunca aynı hat üzerinde açılmış kuyulardır. Kuyulardan elde edilen rezervuar sıcaklıkları ve trityum değişimleri

birlikte değerlendirildiğinde bu kuyulara soğuk yeraltı sularının karıştığı tahmin edilmektedir.

İnceleme alanı içerisinde çeşitli yüksekliklerde bulunan suların döteryum verilerine bağlı olarak termal ve mineralli suların beslenme alanı yükseklikleri tahmin edilmeye çalışılmış ancak suların buharlaşma etkisi ve örnekleme zamanı gibi etkilerden dolayı hesaplanan beslenme alanı yüksekliklerinin doğruluğu şüphelidir.

Çalışma alanındaki termal suların yeraltında kalış süreleri suların izotop verileri ile elektriksel iletkenlik (EC) ve Cl ve B konsantrasyonları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki termal sular, sera termal suları ile Caferbey karışım sularının dolaşım sürelerinin uzun oldukları tahmin edilmektedir. Sart-Çamur Termal Suları ve Üfürük Mineral Suları ise dolaşım sürelerinin uzun ancak güncel yağış sularının etkisinde oldukları düşünülmektedir. Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki K-4, K-7, K-8 ve K-19 kuyularının da güncel meteorik sulardan etkilendikleri tahmin edilmektedir.

İnceleme alanındaki suların Cl-<sup>3</sup>H diyagramındaki konumlarına bakıldığında Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki termal sular ile Caferbey Jeotermal Alanı'ndaki karışım sularının yüksek Cl ve düşük trityum içeriği ile alandaki diğer termal sulardan ayrıldıkları görülmektedir. Üfürük Mineral Suları yüksek Cl içeriği ile Kurşunlu Termal Suları'na benzer ancak yüksek trityum içeriği ile güncel meteorik sulardan etkilendikleri tahmin edilmektedir. Sera termal suları düşük Cl ve Trityum içeriği ile dolaşım süresi uzun ancak soğuk yeraltı suları ile karışmış olabileceği düşünülen sulardır. Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki K-4, K-7, K-8 ve K-19 jeotermal kuyularının da eski ve güncel yağış sularının karışımını yansıttıkları görülmektedir.

Çalışma alanındaki suların EC- $\delta^{18}\text{O}$  grafiğine göre, termal sular genel olarak bir bütünlük oluşturmaktadırlar. Sadece Üfürük Mineral Suyu bu birlikten farklı olarak yüksek EC ve daha negatif Oksijen-18 içeriği ile diğer sulara göre daha yüksek kotlardan beslenen, dolaşım süresi daha uzun olan sulardır. Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki yüksek EC içeriği bu alandaki termal sularda su-kayaç etkileşiminin

uzun süre devam ettiğini göstermektedir. Bir başka deyişle bu suların yeraltındaki dolaşım süreleri uzundur.

İnceleme alanındaki termal suların izotop içerikleri ile B konsantrasyonu karşılaştırıldığında, Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki termal suların diğer alanlardan farklı olarak yüksek bor değerleri ile ayrı bir birliktelik oluşturdukları görülmektedir. Sart-Çamur ve Sera Termal Suları ise Kurşunlu Jeotermal Suları'na oranla daha düşük bor içeriklerine sahip olup Kurşunlu Jeotermal Sahası'nda açılan K-4 ve K-8 kuyuları ile ayrı bir birliktelik oluşturmaktadır. Oksijen-18 içeriği bakımından ise genel olarak Kurşunlu ve Sart-Çamur Termal Suları birbirine benzer sulardır. Bu durum termal suların dolaşım sürelerinin uzun ancak soğuk yeraltı suları ile karışımın daha fazla olabileceği şeklinde açıklanabilir.

İnceleme alanında çeşitli nedenlerle olumsuz yönde etkilendikleri düşünülen topraklardan ve yüzey sularından sediman örnekleri alınmıştır (Şekil 7.1). Sediman ve toprak örneklerinin analizleri kirlilik bakımından değerlendirilerek ağır metal kirliliği incelenmiştir. Sediman ve toprak örneklerinin kimyasal sonuçları Igeo, EF ve PI sınıflandırmaları kullanılarak ağır metal içeriği bakımından değerlendirilmiştir. Sediman ve toprak örneklerinin Igeo sınıflamasına göre, inceleme alanında As elementi için hesaplanan Igeo değerleri 2,2-3,8 arasında olup örnekleme yapılan tüm noktalarda orta kirli-çok kirli şeklinde sınıflanmıştır. Sb elementi için Igeo değerleri -0,3 ile 4,1 arasında olup, orta kirli-çok kirli sınıflamasına giren örnek noktaları inceleme alanının kuzeyinde Tabak Deresi ve Kurşunlu Deresi'nden alınan sedimanlardır. Örneklerin bazılarında, Li ve Ni elementlerine ait Igeo değerlerinde az oranda kirlilik sunmaktadır. Diğer elementler için inceleme alanında bir kirlilik gözlenmemektedir.

Zenginleşme faktörü (EF) kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer yöntemdir. İnceleme alanındaki örneklerin EF değerleri Tablo 7.3 te verilmiştir. Buna göre, tüm örnekleme yapılan noktalarda As elementi EF değerleri >40 olup aşırı derecede zenginleşme göstermektedir. EF değerlerine göre zenginleşme  $As>Sb>Ni>Li>Hg>B>Cu>U>Li$  şeklindedir. PI sınıflamasına göre

analizler değerlendirildiğinde, bölgede örnekleme noktalarının tümünde kirlilik indeksi değerleri 1'in altında olup PI sınıflamasına göre toprak kirlilik riski bulunmamıştır. Ancak Kurşunlu Deresi ve Sart Deresi'nin termal kaynaklara yakın bölümlerinden alınan sediman örneklerinin PI değerleri 0,46 – 0,57 arasındadır ve diğer noktalara oranla yüksektir. Ayrıca Gediz Nehri'nin bu derelerin birleşim noktalarına yakın kesimlerinden alınan sediman örneklerinde de PI değerleri ortalama 0,65'tir. Buna karşın EF ve Igeo sınıflamasına göre çeşitli örneklerde bazı kirlilik belirtileri gözlenmektedir. Özellikle bazı örneklerde arsenik, lityum, antimon, nikel ve bor kirliliği önem taşımaktadır. Bu durum, doğal süreçler (jeolojik ve hidrojeolojik.) ve yapay süreçlerin (tarımsal, endüstriyel vb .) etkisiyle meydana gelmektedir. Sediman örneklerindeki arsenik, bor ve antimon kirliliğine paralel olarak, derelerde bazı noktalarda sediman ile birlikte alınan su örneklerinin de aynı elementlerce zengin olması sonuçları destekler niteliktedir

Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki re-enjeksiyon ve üretim kuyuları arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve re-enjeksiyon kuyularından yeraltına geri basılan akışkanın üretim kuyularına ulaşma süresi ve akış hızlarının belirlenmesi amacıyla Kurşunlu Jeotermal Alanı'ndaki iki adet re-enjeksiyon kuyusundan (K-1 ve K-17) farklı tarihlerde belirli miktarda Na-fluoresein basılmış ve mevcut üretim yapılan kuyulardan belirli sürelerde alınan su numunelerinde izleyici madde konsantrasyonu ölçülmüştür. İzleyici deneyi sonunda elde edilen veriler kullanılarak her bir kuyunun izleyici konsantrasyon-zaman grafikleri oluşturulmuştur. İzleyicinin maksimum konsantrasyona ulaştığı zaman saat olarak belirlenmiştir. Re-enjeksiyon kuyularının gözlem kuyularına olan mesafeleri ve Na-fluoresein konsantrasyonunun maksimuma ulaştığı zaman kullanılarak her bir gözlem kuyusundaki izleyici hızları hesaplanmıştır.

K-1 re-enjeksiyon kuyusundan yapılan izleyici deneyinden elde edilen izleyici – zaman grafikleri değerlendirildiğinde, K-2 kuyusuna ait izleyici grafiği tek boyutlu akıştan elde edilen izleyici zaman profilini yansıtmaktadır. K-1 re-enjeksiyon kuyusu ile K-2 üretim kuyusu aynı kırık hattında bulunmaktadır. Bu da K-2 kuyusunda önemli derecede soğumaya neden olacaktır. K-5 ve K-11 kuyularına ait eğriler ise benzer olup K-2 kuyusunda olabilecek soğumaya göre çok daha fazla etkilenen

kuyular olacağı tahmin edilmektedir. K-17 re-enjeksiyon kuyusundan yapılan izleyici deneyinden elde edilen verilere göre, K-11 ve K-15 kuyularında etkileşimin doğrudan olduğu, soğumanın en fazla olacağı tespit edilmiştir. Diğer kuyuların etkilenme oranı çok daha düşüktür. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa; Kurşunlu rezervuarındaki termal akışkanın hızının yaklaşık 2 – 18 m/saat arasında değiştiği belirlenmiştir. İzleyicinin kısa sürede gözlem kuyularına ulaşması jeotermal sistemin rezervuarının çok çatlaklı, çatlakları birbiriyle bağlantılı ve çok yüksek permeabilite değerine sahip olduğunu göstermektedir.

## KAYNAKLAR

- Acme Laboratories Services Fees* (2009). 20 Nisan 2009, [http://acmelab.com/pdfs/Acme\\_Price\\_Brochure.pdf](http://acmelab.com/pdfs/Acme_Price_Brochure.pdf).
- Aggarwal, J.K., Palmer, M.R., Bullen, T.D., Arnorssón, S., ve Ragnarsdóttir, K.V. (2000). The boron isotope systematics of Icelandic geothermal waters: 1. Meteoric water charged systems, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64 (4), 579-585.
- Adams, M.C., ve Davis, J. (1991). Kinetics of fluorescein decay and its application as geothermal tracer. *Geothermics*, 20, 53-56.
- Aksoy, N. (2001). *Balçova-Narlıdere Jeotermal Sisteminin İzleyiciler ile İncelenmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 155.
- Aksoy, N. (2007). Jeotermal sahalarda kabuklaşma ve çözüm yöntemleri. 8. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON)*, İzmir. Jeotermal eğitim semineri, 143-153.
- Akkuş, İ. (2002). Jeotermal uygulamalar ve MTA. *Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz okulu*. İzmir, 1-13.
- Altunel, E. (1999). Geological ve geomorphological observations in relation to the 20 September 1899 Menderes earthquake, Western Turkey, *J. Geol. Soc.*, London 156, 241–246.
- Ambraseys, N.N., ve Jackson, J.A. (1998). Faulting associated with historical ve recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region, *Geophys. J. Inter.*, 133, 390–406.
- Anders, M.H., ve Schlische, R.W. (1994). Overlapping faults, intrabasin highs, the growth of normal faults: *Journal of Geology*, 102, 165-179.



- APHA-AWWA-WPCF (1985). *Standart methods for the examination of water and wastewater* (16th ed.). Copyright by American Public Health Association; Washington.
- Appelo, C.A.J., ve Postma, D. (1993). *Geochemistry, groundwater ve pollution*. Rotterdam: A. A. Balkema Publisher.
- Arnórsson S., Gunnlaugsson E., ve Svavarsson H. (1983). The chemistry of geothermal waters in Icelve. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 567-577.
- Arnorssón, S. (1985). The use of mixing models ve chemical geothermometers for estimating underground temperatures in geothermal systems. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 23, 299-335.
- Arnorssón, S., ve Andrésdóttir, A. (1995). Processes controlling the distribution of boron ve chlorine in natural waters in Icelve, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 20(59), 4125-4146.
- Arpat, E. ve Bingöl, E. (1969). Ege Bölgesi graben sisteminin gelişimi üzerine düşünceler. *MTA Dergisi*, Ankara, 73, 1-9
- Back, W. (1996). Hydrochemical facies ve groundwaterflow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. U.S. *Geology Survey Professional Paper*, 498-A, 42.
- Başkan, M.E. ve Canik, B. (1983). *IAH Map of mineral ve thermal waters of Turkey Aegean Region*, Ankara. MTA No. 189, 80.

- Borsi, S., Ferrara, G., Innocenti, F., ve Mazzuoli, R. (1972). Geochronology ve petrology of recent volcanics in the Eastern Aegean Sea. *Bull. of Volcanology*, 36, 473-496.
- Bozkurt, E. ve Park, R. G. (1994). Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in Western Anatolia, Turkey. *Journal of Geological Society, London* 151, 213-16.
- Bozkurt, E., ve Sözbilir, H. (2004.). Geology of the Gediz Graben: new field evidence and tectonic significance. *Geological Magazine*, 141, 63-79.
- Bozkurt, E. (2004). Origin of NE-trending basins in western Turkey. *Geodinamica Acta* 16, 61-81.
- Buat-Menard, P., ve Chesselet, R. (1979) Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth ve Planet Sci Lett*, 42, 398-411.
- Burck, M. (1998). Zur geologie und hydrogeologie der thermalfelder bei Salihli W. Anatolien/Türkei. *Diplomkartierung, Diplomarbeit im Studiengang Geologie-Palaontologie*. Freie Universität. Berlin.
- Calmbach, L. (1997). AquaChem computer code-version 3.7.42, *Waterloo Hydrogeologic*. Waterloo, Ontario, Canada.
- Clark, I, ve Fritz, P. (1997), *Environmental isotopes in hydrogeology*, Lewis Publishers, 327.
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133, 1702-B.
- Cohen, H.A., Dart, C.J., Akay, Z, H.S., ve Barka, A. (1995). Syn-Rift sedimentation and structural development of The Gediz ve Büyük Menderes Graben, Western Turkey. *Journal of The Geological Society*, London 152, 629-638.

- Çağatay, A, ve Arda, Ö. (1980). Altın içerikli Manisa Salihli Sart konglomeralarının ağır mineralleri. *Jeoloji*. 10, 49-65.
- Çiftçi, N.B. ve Bozkurt, E. (2007). Anomalous stress field ve active breaching at relay ramps: a field example from Gediz Graben, SW Turkey. *Geological Magazine*,144: 687-699.
- Çifter, C. ve Sayın, M. (2002). İzotopların hidrojeolojide kullanılması. *Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu*, Adana, 1-15.
- Dansgaard, W. (1964). Stable isotopes in precipitation, *Tellus*, 16, 436-468.
- Dart C.J., Cohen H.A., Akyüz S.H., ve Barka, A.A. (1995). Basinward migration of rift-border faults: implications for facies distributions ve preservation potential, *Geology* 23 69–72.
- Dewey, J.F. ve Şengör, A.M.C. (1979). Aegean and Surrounding Regions: Complex Multiplate Ve Continuum Tectonics İn A Convergent Zone. *Geological Society of America Bulletin*, Pt. I , 90, 84-92.
- DSİ, (1998). 54372 No'lu su sondajı raporu, 12.
- Ediger, V.Ş., Batı, Z., ve Yazman, M. (1996). Paleopalynology of possible hydrocarbon source rocks of the Alaşehir-Turgutlu area in the Gediz Graben (Western Anatolia), *TPJD Bülteni*, 8/1, 94-112.
- Ellis, A.J., ve Mahon, W.A.J. (1964). Natural hydrothermal systems ve experimental hot water/rock interactions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, 1323-1357.
- Emre T. (1996). Gediz Grabeni'nin jeolojisi ve tektoniği. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 171-185.

- Emre, T., ve Sözbilir, H. (1997). Field evidence for metamorphic core complex, detachment faulting ve ccommodation faults in the Gediz and Büyük Menderes Grabens (Western Turkey): *International Earth Sciences Colloquium on The Aegean Region Proceedings*, 1, 73-94.
- Ercan, T., ve Öztunalı, Ö. (1982). Demirci-Selendi (Manisa) çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanitlerin petrolojisi ve kökensel yorumu. *Hacettepe Yerbilimleri Dergisi.*, 10, 1-15.
- Erden, F. (1965). *Salihli-Manisa gravite Etüdü*. MTA rapor no. 3931, Ankara.
- Erdoğan, B. ve Sarı, C. (1984). Kıtasal grabenlerin jeofiziksel özellikleri ve oluşumu. *D.E.Ü. Müh. Mim. Fak. Yayınları, No: MM/JEO-84*, İzmir, 43
- Erdoğan, B., ve Güngör, T. (1992). Menderes Masifi'nin kuzey kanadının stratigrafisi ve tektonik evrimi. *TPJD Bülteni* 4-1, 9-34.
- Erinç, S. (1970). Kula ve Adala arasında genç volkan reliyefi. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 17,7-31, İstanbul.
- Erişen, B., Akkuş, İ., Uygur, N., ve Koçak, A. (1996). *Türkiye jeotermal envanteri*. MTA, Ankara, 480.
- Erol, O. (1982) "Batı Anadolu genç tektoniğinin jeomorfolojik sonuçları. Batı Anadolu'nun genç tektoniği ve volkanizması paneli. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara.
- Eyidoğan, H., ve Jackson, J. A. (1985). A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir ve Gediz earthquake of 1969–1970 in western Turkey: implications for the nature ve geometry of deformation in the continental crust. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society* 81, 569–607.

Fetter, C.W. (2000). *Applied hydrogeology* (4th ed.). Prentice Hall.

Filiz, Ş. (1982). *Ege Bölgesindeki önemli jeotermal alanların O-18, H-2, H-3, C-13 izotoplarıyla incelenmesi*. Doçentlik Tezi, E.Ü.Y.B.F., İzmir, 1-95.

Filiz, Ş., ve Tarcan, G. (1995). High boron content in the aquifer systems of the Gediz basin (on the Aegean region of Turkey), In: *Proc. Internat. Earth Sci. Colloquium on the Aegean Region* (Piskin, G., Ergün, M., Savascin, M.Y., Tarcan, G.,-eds), 681-692, İzmir.

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

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

Fournier, R.O. (1990). The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. *Geothermal Research Council Trans.*, 14, 1421-1425.

Fossum, M. P. ve Horne, R.N. (1982). Interpretation of tracer return at Wairakei geothermal field using fracture analysis. *Geothermal Resources Council Transactions*, 6, 261-264.

Freze, R.A., ve Cherry, J.A. (1979). *Groundwater*, Prentice Hall.

Gat, N., ve Gonfiantini, T., 1981. Stable isotope hydrology, deuterium and oxygen 18 in the water cycle. *Technical reports series*, No: 228, Vienna.151.

Gatt, J.R., ve Carmi, I., 1970. Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea. *Jo. Geophys. Res.* 75, 3032-3048.

- Gemici, Ü., Tarcan, G., Somay, M., ve Akar, T. (2009). Factors controlling the metal distribution in farming soils ve water in around untreated abandoned mercury mine (Beydağ, Turkey). *Applied Geochemistr.*
- Giggenbach, W. F. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochim. Et Cosmochim. Acta.* 52., 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L., ve Truesdell, A.H.,1983. Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana. *Geothermics*, 5, 51-62.
- Gökten, E., Havzaoğlu, S., ve Şan, Ö. (2001). Tertiary evolution of the central Menderes Massif based on structural investigations of metamorphics and sedimentary cover rocks between Salihli ve Kiraz (western Turkey). *International Journal of Earth Sciences* 89, 745–56.
- Grant, M.A., Donaldson I.G., ve Bixley, P.F. (1982). Geothermal reservoir engineering. *Academic Pres*, 50, 177.
- Gülay, A. (1970). *Manisa-Salihli, Caferbeyli-Köseli, Kurşunlu-Allahdiyen-Çamur Kaplıcaları yöreleri rezistivite raporu*. MTA rapor no. 4853, Ankara.
- Hem, J.D. (1985). Study ve interperation of the chemical characteristics of natural water. 3rd ad. U.S. *Geol. Survey Water Supply*, 2254.
- Hetzl, R., Ring, U., Akal, C. ve Troesch, M. (1995). Miocene NNE Directed Extensional Unroofing İn The Menderes Massif, Southwestern Turkey. *Journal of The Geological Society, London* 152, 639-654.
- Hitchon, B., Perkins, E. H. ve Gunter, W.D. (1999). *Introduction to Ground Water Geochemistry*, Geoscience Publishing Ltd., Sherwood Park, Alberta, Canada.

Horne, R.N. (1987). *Tracer test*. Stanford, Stanford University.

IAH (1979). Map of mineral ve thermal water of Europe. Scale 1:500.000, *International Association of Hydrogeologists*, United Kingdom.

I.A.E.A. (1981). Stable isotope hydrology. Deuterium ve oxygen- 18 in water cycle. In: Gat, J.R., Gonfiantini, R. (Eds.), *International Atomic Energy Agency Technical Report*, No.210, Vienna, 339.

Jackson, J.A., ve McKenzie, D. (1984). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey ve Pakistan: *Geophys. R. Astr. Soc.*, 77, 185-264.

Kaplıcalar Yonnetmeliği, 2001. T. C. Sağlık Bakanlığı, *Resmi gazete*, sayı: 24472.

Karamanderesi, İ. H. (1972). *Detail geology ve geothermal energy feasibility of the Urganlı Kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) ve surrounding area (in Turkish)*. MTA report, MTA, Ankara.

Karamanderesi, İ. H. (1997). Salihli-Caferbey (Manisa) jeotermal sahası potansiyeli ve geleceği. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, *Türkiye 7. Enerji Kongresi*. Teknik oturum tebliğleri-I, 68-181.

Karamanderesi, İ.H., Şimşek, Ş., Eşder, T., Yılmaz, S. Ve Güner, A. (1983). The importance of Bozköy overthrust (germencik) through B. Menderes Graben in respect of geothermal energy possibilities. *3th Scientific and Technical Meeting of Geothermal Energy Association*, 166-167, Ankara.

Karamanderesi, İ.H., ve Özgüler, M.E. (1988). Menderes ve Gediz Graben sahaları jeotermal enerji alanlarının oluşum mekanizması. *Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 4, 196-228.

- Keren, R., ve Mezuman, U. (1981). Boron adsoption by clay minerals using a phenomenological equation. *Clays ve Clay Minerals*, 29, 198-204.
- Koçyiğit, A. (1984). Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levhaiçi yeni tektonik gelişim, *Bull. Geol. Soc. Turkey*, 27. 1–16.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., ve Bozkurt, E. (1999). Evidence From The Gediz Graben For Episodic Two-Stage Extension İn Western Turkey. *Journal of The Geological Society*, London 156, 605-616.
- Le Pichon X., Chamot-Rooke C., Lallemand S., Noomen R., ve Veis, G. (1995). Geodetic determination of the kinematics of Central Greece with respect to Europe: implications for Eastern Mediterranean tectonics, *J. Geophys. Res.* 100, 12675–12690.
- Loska, K., Wiechula, D., ve Korus, I. (2004). Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environ. Int.* 30, 159–165.
- MapInfo Corporation. (1995). MapInfo professional user's guide, MapInfo Corporation, Troy, NY.
- Mazor, E. (1997). *Chemical and isotopic groundwater hydrology*, Applied Approach, 158-166.
- Möller, P., Dulski, P., Savaşçın, Y., ve Conrad, M. (2004). Rare earth elements, yttrium ve Pb isotope ratios in thermal spring ve well water of West Anatolia, Turkey: a hydrochemical study of their origin, *Chemical Geology* 206, 7-118.
- Müller, P. (1979). *Erfahrungen bei der mineraltrennung für radiometrische Altersbestimmungen*. *Erzmetall*, 32/2, 232-263.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal fluids, chemistry ve exploration techniques*. Springer-Verlag, Berlin, 263.



- Nimick, D.A., ve Moore, J.M. (1991). Prediction of water soluble metal concentrations in fluviially deposited tailings sediments, upper Clark ork Valley, Montana, USA, *Appl Geochem*, 6:635–646
- Nishida, H., Miyai, M., Tada, F., ve Suzuki, S. (1982). Computation of the index of pollution 505 caused by heavy metals in river sediment. *Environment Pollution* (series B), 4, 241-248
- Oğuz, K.K. (2009). *Kurşunlu (Salihli) jeotermal alanındaki üretim ve geri basım kuyularının mineral dengeleri ve kabuklaşma eğilimleri*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 58.
- Özbek, T. (2009). *Sağlık ve termal turizm. Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Eğitim Semineri*, 285-317.
- Özçiçek, B. (1968). Jeotermik Enerji araştırmaları, Dikili - Bergama rezistivite etüdüleri. *MTA Raporu*.
- Özgür, N., 1998. *Active und fossile Geothermal systeme in den kontinentalen Riftzonen des Menderes-Massives, W-Anatolien/Turkei*: Habilitationsschrift, Freie Universität Berlin, 171.
- Pal, T., Mukherjee, P.K., Sengupta, S., Bhattacharya, A.K., ve Shome, S. (2002). Arsenic pollution in groundwater of West Bengal, India—an insight into the problem by sub-surface sediment analysis. *Gondwana Res.* 5, 501–502.
- Parkhurst, D.L. (1995). *User's guide to PHREEOC-a computer program for speciation, reaction path, adjective-transport, and inverse geochemical calculations*. In US Geological Survey Report.
- Parkhurst D.L., ve Appelo, C.A.J. (1999). User's guide to PHREEQC (version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport,

- ve inverse geochemical calculations. U.S. *Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259*, USGS, Reston, Virginia, 1-312.
- Piper, A.M. (1979). Interpretation of water analyses. *Geol. Surv. Water Res. Div. No.12*.
- Purvis, M., ve Robertson, A.H.F. (1997). Multistage rifting in rapidly extending continental crust (west Turkey). *Terra Abstracts* 9, 398.
- Purvis, M., ve Robertson, A.H.F. (2005). Miocene sedimentary evolution of the NE-Swtrending Selendi ve Gördes Basins, Western Turkey: implications for extensional processes. *Sedimentary Geology*, 174, 31-62.
- Reilinger R.E., McClusky S.C., Oral M.B., King W., ve Toksöz, M.N. (1997). Global Positioning, System measurements of present-day crustal movements in the Arabian–Africa-Eurasia plate collision zone, *J. Geophy. Res.* 102, 9983–9999.
- Sağlık Bakanlığı (2003). *İçilebilir nitelikteki suların istihsalı, ambalajlanması, satışı ve denetlenmesi hakkında yönetmelik*, Çevre Sağlığı Daire Başkanlığı Su Güvenliği ve Sağlığı Şube Müdürlüğü, Ankara, 22.
- Shacklette, H.T., Boerngen, J.G. 1984. Element concentrations in soils and other surficial 518 materials of the conterminous United States. *USGS Professional paper*, 1270.
- Seyfried, W.E., Janecky, D.R., ve Mottl, M.J. (1984). Alteration of the oceanic crust: implications for geochemical cycles of B ve Li. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 79, 819-823.
- Seyitoğlu, G., ve Scott, B.C. (1996). The age of the Alaşehir graben (West Turkey) ve its tectonic implications, *Geological Journal*, 31, 1-11.

- Seyitoğlu, G., Tekeli., O., C, Emen, I., Şen, S, . ve Işık, V. (2002). The role of the flexural rotation/rolling hingemodel in the tectonic evolution of the Alas,ehir graben, western Turkey. *Geological Magazine* 139, 15–26.
- Sözbilir, H. (2001). Geometry Of Macroscopic Structures With Their Relations To The Extensional Tectonics: Field Evidence From The Gediz Detachment, Western Turkey. *Turkish Journal Of Earth Sciences*, 10, 51-67.
- Sponza, D. ve Karaoğlu, N. (2002). Environmental geochemistry and pollution studies of Aliğa 520 metal industry district. *Environmental International*, 27, 541-553
- Sutherland, R.A. (2000). Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environmental Geology*, 39/6, 611-626.
- Şahinci, A. (1991), *Doğal Suların Jeokimyası*. D.E.Ü. Müh. Mim. Fak. Yayınları, İzmir, 175-244.
- Şengör, A. M. C. (1982). Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler. *In: Erol, O. ve Özgür, V. (eds), Batı Anadolu'nun Genç, Tektoniği ve Volkanizması Paneli. Congress of the Geological Society of Turkey*, 59–72.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., ve Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting ve related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, in; Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), *Strike-slip faulting ve Basin Formation*, *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sp. Pub.*, 37, 227-264.
- Şengör, A.M.C. (1987). Cross-faults ve differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey, in: Coward M.P., Dewey J.F., Hancock P.L. (Eds.), *Continental Extensional Tectonics*, Geological Society Special Publication no. 28, *Geological Society*, London, 575–589.

- Tarcan, G. (1995). *Hydrogeological study of the Turgutlu Hot Springs*. PhD Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural ve Applied Sciences, İzmir, 214
- Tarcan, G. (2003). *Jeotermal Su Kimyası Ders Notları*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100-Bornova-İZMİR
- Tarcan, G. (2005). Mineral saturation ve scaling tendencies of waters discharged from wells (<150 0C) in geothermal areas of Turkey, *Journ. of Volc. ve Geoth. Res.*, 142, 263-283.
- Tarcan, G., Filiz, S., ve Gemici, Ü. (2000). Geology ve Geochemistry of the Salihli Geothermal Fields, Turkey. In: Books of Proceedings, R-922. WGC-2000 World Geothermal Congress 28 May-10 June 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, 1829-1834.
- Tarcan, G., Gemici, Ü., ve Aksoy, N. (2005). Hydrogeological ve geochemical assessment of the Gediz Graben geothermal areas, Western Anatolia, Turkey, *Environ. Geol.*, v.47, 523-534.
- Taylor, S.R., ve McLennan, S.M. (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33, 241-265.
- Tekkaya, T. (1976). İnsanlara ait fosil ayak izleri: *Yeryuvarı ve İnsan*, 1,2, 8-10.
- Temimhan, S. (2005). *Salihli – Kurşunlu Kaplıcaları ve civarının jeotermal potansiyelinin araştırılması*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 95.
- Tezcan, L (1992). *Karst akifer sistemlerinin trityum izotopu yardımıyla matematiksel modellemesi*, Doktora tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121 s.
- Thomann, R.W. (1972). *System analysis and water quality management*. New York, Environmental Science Division.

- Tokçaer, M. (2007). *Batı Anadolu jeotermal akışkanlarında borun jeokimyasal döngüsü ve izotop fraksiyonlaşması*. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 183.
- Truesdell, A.H. (1975). Summary of section III geochemical techniques in exploration. *In: Proceedings of the Second United Nations Symposium on the Development ve Use of Geothermal Resources*, 25-50, San Francisco.
- Truesdell, A.H. (1976). Summary of section III geochemical techniques in exploration. *In: Proceedings of the 2nd United Nations Symposium on the Development ve Use of Geothermal Resources*. 1975, San Francisco, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- TS-266. (2005). Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular (Water intended for human consumption). *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 10.
- Turekion, K.T., ve Wedepohl, K.L. (1961). Distribution of elements in some major units of the Earth's crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 72,171-192.
- USEPA. (1994). *National primary drinking water regulations for health advisories*, 202-260-7571, Washington DC, U.S. Environmental Protection Agency.
- Ürgün, S. (1968). Urganlı Kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) çevresinin detay jeolojisi ve termomineral suların hidrojeoloji incelemesi. *MTA Report*, No. 4679, MTA, Ankara.
- Vengosh, A., Helvacı, C., ve Karamanderesi, İ.H. (2002). Geochemical constrains for the origin of thermal waters from Western Turkey. *Applied Geochemistry*, 17, 163-183.
- WHO (2004). *World health organization guidelines for drinking water quality*, Third Edition, Vol. 1., Geneva.

- Yağmurlu, F. (1987). Salihli güneyinde üste doğru kabalaşan Neojen yaşlı alüvyon yelpaze çökelleri ve Gediz grabeninin tektonosedimanter gelişimi, *Geol Soc. Turkey Bull.* 30, 33–40.
- Yaman, D. (2006). *Menderes masifi kıtasal rift zonlarında yer alan jeotermal sulardaki Yüksek bor değerlerinin kökeni*. Süleyman Demirel Üniversitesi Doktora Tezi, 160.
- Yılmaz Y., Genç S.C., Gürer O.F., Bozcu M., Yılmaz K., Karacık Z., Altunkaynak S., ve Elmas, A. (2000). When did the western Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), Tectonics ve magmatism in Turkey ve the surrounding area, *Geological Society Special Publication 173*, Geological Society, London, 353–384.
- Yılmaz, S. (1988). Kurşunlu-Sart sıcak su kaynaklarının (Salihli) hidrojeoloji ve jeokimyasal özellikleri. *Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 5, 242-266.
- Yılmaz, S., ve Karamandere, İ. H. (1994). Kurşunlu jeotermal alanının (Salihli-Manisa) jeolojisi ve jeotermal potansiyeli. In: *Dünya Enerji Konseyi Türkiye 6. Enerji Kongresi Türk Milli Komitesi*, 17-22 Ekim 1994, İzmir. Teknik oturum tebliğleri-I, 68-181.
- Yusufoğlu, H., Kocyiğit, A., ve Bozkurt, E. (1998). *3rd. International Turkish Geology Symposium*, Middle East Technical University, Ankara, abstract 190.

**EK-1**

İller Bankası 3. Bölge Müdürlüğü Jeoloji Grubu Tarafından Hazırlanan Manisa  
Soğuk Sondaj Kuyuları ve Detaylı Bilgileri

**YILMAZ (MANİSA)**

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
6	Mehmet İşler kuyusu			63			25	0,00-63,00m Alüvyon			PH=7,35 Ec=725,1 Microhm/cm Sertlik=16,3 ° Fr Organik madde=2,25 mg/lit Bor=1,4 mg/lit Sertlik=23 °Fr Ec=515 Microhm/cm PH=6,78 Organik madde=1,00 mg/lit Bor=1,48 mg/lit (güçlü)
7	ILBANK 45/4169	1999		80	20,25	22,6	45	0-20m Az kili, az siltli kum-çakıl 20-23m Az siltli kili kum-çakıl (bloklü) 23-25m Kum-çakıl (bloklü) 25-40m Az kili, az siltli kum-çakıl (bloklü) 40-44m Siltli, kili kum-çakıl 44-51m Kum-çakıl 51-58m Siltli, kili kum-çakıl 58-64m Kum-çakıl 64-69m Kumlu, çakıllı kil 69-80m Siltli, kumlu, çakıllı kil	0-32m 10 <sup>3/4"</sup> K 32-40m 10 <sup>3/4"</sup> FK 40-44m 10 <sup>3/4"</sup> K 44-52m 10 <sup>3/4"</sup> FK 52-56m 10 <sup>3/4"</sup> K 56-64m 10 <sup>3/4"</sup> FK 64-68m 10 <sup>3/4"</sup> K 68-72m 10 <sup>3/4"</sup> FK 72-80m 10 <sup>3/4"</sup> K 88-96m 6 <sup>3/8"</sup> K		
8	45/4704 (L-4)	2001		100	18,50	19,60	40	0-100m Alüvyon (Kum, çakıl, kil, silt, yer yer bloklü)	8m 19" KMB 0-44m 10 <sup>3/4"</sup> K 44-52m 10 <sup>3/4"</sup> FK 52-56m 10 <sup>3/4"</sup> K 56-64m 10 <sup>3/4"</sup> FK 64-72m 10 <sup>3/4"</sup> K 72-80m 10 <sup>3/4"</sup> FK 80-84m 10 <sup>3/4"</sup> K 84-92m 8 <sup>5/8"</sup> FK 92-100m 8 <sup>5/8"</sup> K		İçmesuyu ihtiyacı: Q2001=6,0 lt/sn Q2026=14 lt/sn Q2036=18 lt/sn Mevcut içme suyu: 45/2913 ve 45/4704 (L-4) no'lu kuyulardan çekilen 33 lt/sn'dir.



**SALİHLİ (MANİSA)**

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARIFI	Teçhizat	Analiz	Notlar
1	İlbank 45(A2) φ	1977	Gümüş çayı	62	9,30	14,20	71,35	0-32m Blok, çakıl-ince kum 32-40m Kil: çakılı ve kumlu 40-52m İri çakıl 52-62m Kil: az çakıl ve kum	0-12m 12 <sup>3/4"</sup> K 12-20m 12 <sup>3/4"</sup> FK 20-32m 10 <sup>3/4"</sup> FK 32-40m 10 <sup>3/4"</sup> K 40-52m 8 <sup>5/8"</sup> FK 52-60m 8 <sup>5/8"</sup> K		PH=7,72 Ee=190 Microholçem Sertlike=9 Fr.5 (güçlü)
2	İlbank 45/700	1986	Gümüş çayı	70	19,50	21,10	32,50	0-1m Nebati toprak 1-7m Kum: siltli 7-16m Kum-çakıl 10-12m Blok-çakıl-kum 12-18m Blok-çakıl 18-21m Çakıl-kum 21-28m Çakıl (ir) 28-35m Çakıl : kili 35-42m Çakıl (ir) 42-53m Çakıl : bloklu 53-62m Çakıl (ir) 62-70m Çakıl	0-16m 10 <sup>3/4"</sup> K 16-20m 10 <sup>3/4"</sup> F 20-24m 10 <sup>3/4"</sup> K 24-28m 10 <sup>3/4"</sup> F 28-32m 10 <sup>3/4"</sup> K 32-36m 10 <sup>3/4"</sup> F 36-40m 10 <sup>3/4"</sup> K 40-48m 8 <sup>5/8"</sup> F 48-52m 8 <sup>5/8"</sup> K 52-64m 6 <sup>5/8"</sup> F 64-66m 6 <sup>5/8"</sup> K		PH=7,45 Ee=273,6 Microholçem Sertlike=11,8 Fr (güçlü)
3	İlbank 45/711 1986		Gümüş çayı	73	22,50	29,85	42,60	0-4m Kum-çakıl 4-11m Çakıl-kum 11-12m İri çakıl 12-16m Çakıl: bloklu 16-19m Kum-çakıl 19-25m Blok-çakıl 25-29m Çakıl-kum 29-40m Kum-çakıl 40-47m Çakıl: az kili 47-50m Çakıl: kili 50-54m Çakıl-kum-kil 54-67m Çakıl-kum 67-73m Çakıl: az kili	0-20m 10 <sup>3/4"</sup> K 20-28m 10 <sup>3/4"</sup> FK 28-32m 10 <sup>3/4"</sup> K 32-36m 10 <sup>3/4"</sup> FK 36-40m 10 <sup>3/4"</sup> K 40-48m 8 <sup>5/8"</sup> FD 48-52m 8 <sup>5/8"</sup> K 52-64m 6 <sup>5/8"</sup> FK 64-68m 6 <sup>5/8"</sup> K		PH=7,7 Ee=202,4 Microholçem Sertlike=7,1 Fr (güçlü)

SALİHLİ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARİFİ	Tecviz	Analiz	Notlar
4	İlbank 45/2682	1994	Gümüştayı	80	22,40	24,00	50	0-38m Bloklü, Kumlu çakıl 38-63m Kumlu iri çakıl 63-76m Kumlu çakıl 76-80m Kum	0-34m 10 <sup>3/4"</sup> K 34-46m 10 <sup>3/4"</sup> FK 46-50m 10 <sup>3/4"</sup> K 50-62m 10 <sup>3/4"</sup> FK 62-66m 10 <sup>3/4"</sup> K 66-74m 10 <sup>3/4"</sup> FK 74-78m 8 <sup>3/8"</sup> K		PH=7,67 Ec=196 Micromho/cm Sertlik=8,51°Fr (sıllır)
5	İlbank 45/2703	1994	Gümüştayı	80	36,40	37,60	25	0-54m Bloklü kumlu çakıl 54-61m Killi kumlu çakıl 61-70m Çakıllı kum 70-75m Killi çakıllı kum 75-80m Çakıllı kum	0-36m 10 <sup>3/4"</sup> K 36-44m 10 <sup>3/4"</sup> FK 44-48m 10 <sup>3/4"</sup> K 48-60m 10 <sup>3/4"</sup> FK 60-64m 10 <sup>3/4"</sup> K 64-76m 10 <sup>3/4"</sup> FK 76-80m 10 <sup>3/4"</sup> K		PH=7,89 Ec=195 Micromho/cm Sertlik=8,21°Fr (sıllır)
6	İlbank 45/3269	1995		90	16,20	17,46	25	0-1m Nebati toprak 1-40m İri taneli çakıl: az killi kum,yer yer bloklü 40-50m Kum-çakıl: az killi 50-62m İri çakıl: az killi,kumlu,yer yer bloklü 62-71m Kum-çakıl: az killi 71-90m Kil :kumlu (grn renkli)	0-40m 10 <sup>3/4"</sup> K 40-48m 10 <sup>3/4"</sup> FK 48-52m 10 <sup>3/4"</sup> K 52-60m 10 <sup>3/4"</sup> FK 60-64m 10 <sup>3/4"</sup> K 64-72m 10 <sup>3/4"</sup> FK 72-80m 10 <sup>3/4"</sup> K		PH=7,15 Ec=449 Micromho/cm Sertlik=19,20°Fr (sıllır)
7	İlbank 45/200	1991		98	17,65	18,30	32	0-1m Nebati toprak 1-26m Çakıl: bloklü, siltli 26-29m Çakıl: bloklü, killi 29-69m Çakıl: bloklü 69-78m Kil: çakıllı 78-81m Kil 81-85m Kil: çakıllı 85-98m Kil (plastik)	0-48m 10 <sup>3/4"</sup> K 48-56m 10 <sup>3/4"</sup> FK 56-60m 10 <sup>3/4"</sup> K 60-68m 8 <sup>3/8"</sup> FK 68-72m 8 <sup>3/8"</sup> K 72-76m 8 <sup>3/8"</sup> FK 76-80m 8 <sup>3/8"</sup> K 80-84m 8 <sup>3/8"</sup> FK 84-88m 8 <sup>3/8"</sup> K 88-96m 6 <sup>3/8"</sup> K		PH=7,40 Ec=383,8 Micromho/cm Sertlik=17°Fr Organik madde 1,25 mg/lt Bor:0,69 mg/lt (sıllır)

SALİHLİ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi L/s'n	FORMASYON TARİFİ	Tçhiz	Analiz	Notlar
8	İlbank 45/2913	1995		100	26,20	26,70	30	0-1m Nebati toprak 1-24m İri çakıl, bloklu 24-25m Çakılı silt, bloklu 25-40m Çakıl (iri), bloklu 40-50m Siltli kumlu iri çakıl 50-70m Çakılı siltli kum 70-85m Siltli kum 85-88m Kumlu kil 88-100m Siltli kum	0-40m 10 <sup>3</sup> µ K 40-48m 10 <sup>3</sup> µ FK 48-52m 10 <sup>3</sup> µ K 52-60m 10 <sup>3</sup> µ FK 60-64m 10 <sup>3</sup> µ K 64-72m 10 <sup>3</sup> µ FK 72-80m 10 <sup>3</sup> µ K 80-84m 8 <sup>5</sup> µ FK 84-88m 8 <sup>5</sup> µ K 88-96m 8 <sup>5</sup> µ FK 96-100m 8 <sup>5</sup> µ K	PH=7,34 Ee=380 Microsio/çm Sertlik=14,50Fr (teçhiz)	
9	DSI 26814	9.7.1975		97	34,96	38,39	30,02	0.00-97,00m Maloz (iri bloklu bloklu, kuvars, gnays, şist elemanlı)	0-44m 12 <sup>3</sup> µ K 44-59m 6 <sup>5</sup> µ FK 59-97m 6 <sup>5</sup> µ K		iptal
10	DSI 27196	3.5.1980		60	26,85	32,13	26,00	0.00-60,00 Maloz (iri bloklu kuvars, gnays, şist elemanlı)	0-44m 12 <sup>3</sup> µ K 44-59m 6 <sup>5</sup> µ FK 59-60m 6 <sup>5</sup> µ K		DSI Salihli taşkın tesisleri kullanımına uygundur
11	İlbank 25	2.1.1974	Yeşilkavak	69	1,80	26,60	46	0-9m Kum: kil 9-66m Blok-çakıl 66-69m Kil: çakılı	0-16m 12 <sup>3</sup> µ K 16-36m 12 <sup>3</sup> µ FK 36-40m 12 <sup>3</sup> µ K 40-46m 10 <sup>3</sup> µ FD 46-58m 8 <sup>5</sup> µ FD 58-63m 6 <sup>5</sup> µ FD 63-67m 6 <sup>5</sup> µ K	PH=7,5 Ee=525,6 Microsio/çm Sertlik=20,3Fr Organik madde: 2,5mg/lt Amonyum=0,26mg/lt Nitrit=0,020mg/lt	
12	İlbank 26	24.12.1973	Yeşilkavak	73,50	4,25	32,00	41,90	0-7m İnce kum, siltli 7-13m Çakıl 13-16m İnce kum, siltli 16-50m Çakıl 50-70m Blok, çakıl 70-73,50m Kil, çakılı	0,00-23,50m 12 <sup>3</sup> µ K 23,50-31,50m 12 <sup>3</sup> µ FK 31,50-35,50m 12 <sup>3</sup> µ K 35,50-43,50m 12 <sup>3</sup> µ FK 43,50-47,50m 12 <sup>3</sup> µ K 47,50-59,50m 8 <sup>5</sup> µ FD 59,50-63,50m 8 <sup>5</sup> µ K 63,50-68,50m 6 <sup>5</sup> µ FD 68,50-72,50m 6 <sup>5</sup> µ K	PH=7,4 Ee=705,4 Microsio/çm Sertlik=23,4 Fr Organik madde: 5,2 mg/lt Amonyum=0,106 mg/lt Nitrit: 1,07 mg/lt	
13	Mehmet İŞLER Kuyusu			63			25	0-63m Alüvyon			PH=7,35 Ee=725,1 Microsio/çm Sertlik: 16,3 Fr Organik madde: 1,25 mg/lt

SALİHLİ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi L/s'n	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
14	Balcıoğlu çiftliği kuyusu 1			70			25	0-70m Alüvyon			PH=6,76 Ec=400 Microhm/cm Sertlik=14°Fr.S Organik madde=2,5 mg/l Amonyum=0,51mg/l Nitrit=0,13 mg/l (yoktur)
15	Balcıoğlu çiftliği kuyusu 2			58			25	0-58m Alüvyon			PH=6,73 Ec=383 Microhm/cm Sertlik=14°Fr.S Organik madde=2 mg/l Amonyum=0,10 mg/l Demir=0,52 mg/l
16	Günar Kooperatifi Kuyusu			84			2	0-84m Neojen(kil,konglomera)			Suda kükürt kokusu var.Normal YAS'na göre aşırı yüksek fazla-Jeotermal su girişimi var.
17	İlbank 45/4168 (L-5)	22.04.1999	Gümüştay	65	7,30	12,10	6	0-65m Alüvyon	12m, 19" KMB 0-20m, 12 <sup>3/4"</sup> K 20-28m, 12 <sup>3/4"</sup> FK 28-32m, 12 <sup>3/4"</sup> K 32-36m, 10 <sup>3/4"</sup> FK 36-44m, 10 <sup>3/4"</sup> K		Fiziksel-Kimyasal özellikleri TS 266-1997'ye uygundur.
18	İlbank 45/4149 (L-7)	16.03.1999	Gümüştay	100	14,80	18,50	40	0-100m Alüvyon	12m, 19" KMB 0-24m, 12 <sup>3/4"</sup> K 24-28m, 12 <sup>3/4"</sup> FK 28-32m, 12 <sup>3/4"</sup> K 32-36m, 12 <sup>3/4"</sup> FK 36-40m, 12 <sup>3/4"</sup> K 40-44m, 10 <sup>3/4"</sup> FK 44-48m, 10 <sup>3/4"</sup> K 48-56m, 10 <sup>3/4"</sup> FK 56-60m, 10 <sup>3/4"</sup> K 60-64m, 10 <sup>3/4"</sup> FK 64-76m, 10 <sup>3/4"</sup> K 76-84m, 10 <sup>3/4"</sup> FK 84-88m, 10 <sup>3/4"</sup> K 88-92m, 10 <sup>3/4"</sup> FK 92-100m, 8 <sup>3/4"</sup> K		Fiziksel ve Kimyasal özellikleri TS 266-1997'ye uygundur.

**SALİHLİ (MANİSA)**

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi L/s'n	FORMASYON TARİFİ	Teçhizat	Analiz	Notlar
19	45/4129 (L-8)	18.02.19 99	Gümüşçayı	112	19,30	21,95	42	0-112m. Altüvyon(kil.,silt,kum,çakıl)	12m. 19' KMB 0-28m. 12 <sup>3/4"</sup> K 28-36m. 12 <sup>3/4"</sup> FK 36-40m. 12 <sup>3/4"</sup> K 40-44m. 12 <sup>3/4"</sup> FK 44-48m. 12 <sup>3/4"</sup> K 48-56m. 10 <sup>3/4"</sup> FK 56-72m. 10 <sup>3/4"</sup> K 72-76m. 10 <sup>3/4"</sup> FK 76-84m. 10 <sup>3/4"</sup> K 84-92m. 10 <sup>3/4"</sup> FK 92-96m. 10 <sup>3/4"</sup> K 96-104m. 10 <sup>3/4"</sup> FK 104-114m. 8 <sup>3/4"</sup> K		Fiziksel özellikli TS 266-1997'ye uygundur. Toplam Demir=0,50 mg/h Toplam Demir değeri standardın tavsiye ettiği maksimum değerden fazla olma nedeni ile Kimyasal özellikli TS 266-1997'ye uygun değil.
20	45/4110 (L-9)	04.01.19 99	Gümüşçayı	100	42,80	70,80	0,5	0-100m. Altüvyon(kil.,silt,kum,çakıl)	12m. 19' KMB 0-40m. 12 <sup>3/4"</sup> K 40-44m. 12 <sup>3/4"</sup> FK 44-48m. 12 <sup>3/4"</sup> K 48-52m. 12 <sup>3/4"</sup> FK 52-56m. 12 <sup>3/4"</sup> K 56-64m. 10 <sup>3/4"</sup> FK 64-68m. 10 <sup>3/4"</sup> K 68-72m. 10 <sup>3/4"</sup> FK 72-76m. 10 <sup>3/4"</sup> K 76-84m. 10 <sup>3/4"</sup> FK 84-88m. 10 <sup>3/4"</sup> K 88-92m. 10 <sup>3/4"</sup> FK 92-100m. 8 <sup>3/4"</sup> K		Verimsiz.

**SALİHLİ (MANİSA)**

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi L/s'n	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
21	45/4111 (L-10)	04.01.1999	Gümüşçay	96	28,30	29,20	44	0-96m Alüvyon (Kil,Silt,Kum,Çakıl)	12m 19" KMB 0-32m 12 <sup>3/4"</sup> K 32-36m 12 <sup>3/4"</sup> FK 36-40m 12 <sup>3/4"</sup> K 40-44m 12 <sup>3/4"</sup> FK 44-52m 12 <sup>3/4"</sup> K 52-60m 10 <sup>3/4"</sup> FK 60-64m 10 <sup>3/4"</sup> K 64-72m 10 <sup>3/4"</sup> FK 72-76m 10 <sup>3/4"</sup> K 76-80m 10 <sup>3/4"</sup> FK 80-84m 10 <sup>3/4"</sup> K 84-88m 10 <sup>3/4"</sup> FK 88-96m 8 <sup>5/8"</sup> K		Fiziksel ve Kimyasal özellikli TS 266- 1997'ye uygundur.
22	45/4076 (L-11)	01.12.1998	Gümüşçay	84	24,20	26,90	40	0-84m Alüvyon (Kil,Silt,Kum,Çakıl)	12m 19" KMB 0-32m 12 <sup>3/4"</sup> K 32-40m 12 <sup>3/4"</sup> FK 40-44m 12 <sup>3/4"</sup> K 44-52m 10 <sup>3/4"</sup> FK 52-56m 10 <sup>3/4"</sup> K 56-64m 10 <sup>3/4"</sup> FK 64-72m 10 <sup>3/4"</sup> K 72-76m 10 <sup>3/4"</sup> FK 76-84m 10 <sup>3/4"</sup> K		Fiziksel ve Kimyasal özellikli TS 266- 1997'ye uygundur.
23	45/4169 (L-12)	22.04.1999		80	20,25	22,60	45	0-80 m Alüvyon (Kil,Silt,Kum,Çakıl)	12m 19" KMB 0-32m 10 <sup>3/4"</sup> K 32-40m 10 <sup>3/4"</sup> FD 40-44m 10 <sup>3/4"</sup> K 44-52m 10 <sup>3/4"</sup> FD 52-56m 10 <sup>3/4"</sup> K 56-64m 10 <sup>3/4"</sup> FD 64-68m 10 <sup>3/4"</sup> K 68-72m 10 <sup>3/4"</sup> FD 72-80m 10 <sup>3/4"</sup> K		Fiziksel ve Kimyasal özellikli TS 266- 1997'ye uygundur.

## SALİHLİ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Mevkii Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi L/sn	FORMASYON TARİFİ	Teçhiz	Analiz	Notlar
24	45/4143 (L-15)	12.03.1999	Gümüşçay	96	28,70	30,35	40	0-96m Alüvyon (Kil, silt, kum, çakıl)	12m 19 KMB 0-24m 12 <sup>3/4</sup> " K 24-28m 12 <sup>3/4</sup> " FK 28-32m 12 <sup>3/4</sup> " K 32-36m 12 <sup>3/4</sup> " FK 36-44m 12 <sup>3/4</sup> " K 44-48m 10 <sup>3/4</sup> " FK 48-52m 10 <sup>3/4</sup> " K 52-64m 10 <sup>3/4</sup> " FK 64-68m 10 <sup>3/4</sup> " K 68-76m 10 <sup>3/4</sup> " FK 76-84m 10 <sup>3/4</sup> " K		Fiziksel ve Kimyasal özelliği TS 266-1997'ye uygun..
25	45/4130 (L-16)	10.02.1999	Gümüşçay	80	15,80	19,60	44	0-80m Alüvyon (Kil, silt, kum, çakıl)	12m 19 KMB 0-24m 12 <sup>3/4</sup> " K 24-32m 12 <sup>3/4</sup> " FK 32-36m 12 <sup>3/4</sup> " K 36-40m 12 <sup>3/4</sup> " FK 40-48m 12 <sup>3/4</sup> " K 48-56m 12 <sup>3/4</sup> " FK 56-64m 10 <sup>3/4</sup> " K		Fiziksel ve Kimyasal özelliği TS 266-1997'ye uygun..

## SALİHLİ (MANİSA)

Sıra No	Kuyu No	Açılış Tarihi	Merkizi Koordinat	Kuyu Derinliği	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi Lt/sn	FORMASYON TARKİHİ	Techiz	Analiz	Notlar
											<p>Bahçeçik Kaptağı :</p> <p>Q1-70 lt/sn  Q2-15 lt/sn  Q3-30 lt/sn  Q4=115 lt/sn  İçmesuyu ihtiyacı:  Q1997=300 lt/sn  Q2022=675 lt/sn  Q2032=1000 lt/sn  Mevcut içme suyu: 45 (A2),45/703,45/711,45/2682, 45/2703 no'lu kuyulardan çekilen 170 lt/sn ile Bahçeçik kaptağından gelen 115 lt/sn olmak üzere 285 lt/sn dir. 1998-1999 yılında 45/4168 (L-5),45/414 (L-7),45/4129 (L-8),45/4110 (L-9), 45/4111 (L-10), 45/4076 (L-11), 45/4169 (L-12), 45/4143 (L-15) ve 45/4130 (L-16) no'lu kuyular açılmış olup stoktan su kuyulardan 285 lt/sn su çekilebilmektedir. Bu durumda 2022 yılı ihtiyacını karşılayacak şekilde 570 lt/sn, 2032 yılı ihtiyacını karşılayacak şekilde 382 lt/sn dir.</p>



## **EK-2**

Jeotermal Amaçlı Açılan Kuyu Logları

(K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, K-10, K-11, K-12, Caferbey-1 (SC-1) Kuyuları)

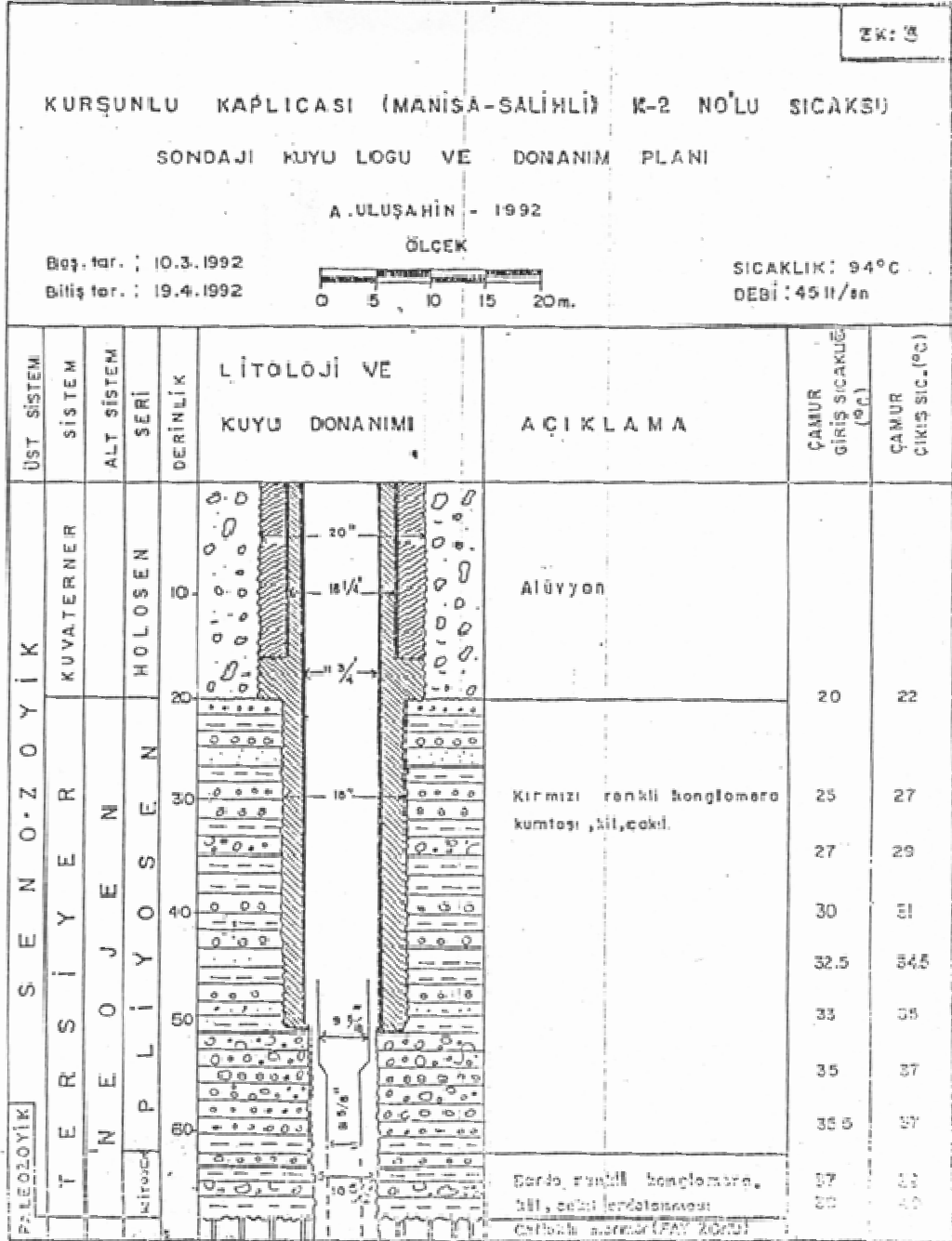
Kurşunlu K-1 kuyusu kuyu logu.

KUYU NO : K-1		Başlama Tarihi : 1976						
YER : Kurşunlu Kaplıcaları		Bitiş Tarihi : 1976						
KULE TİPİ : F-2500		Kuyu Jeoloğu : Sait ÜRGÜN						
DERİNLİK m	ÇAŞIŞIĞ ÇAPLARI	SERİ	LİTOLOJİ	LİTOLOJİK AÇIKLAMA	SICAKLIK ÖLÇÜMLERİ			
					10	20	30	40°C
0		PLİYOSEN	Alüvyon	3 m				
5								
10	19 3/4" K							
15	9 5/8" K							
20								
25								
30								
35								
40	36" F							
42.5	42.5" F							
45			PALEODİTİK	MERMER	40 m 42.5 m			

Kırmızı renkli konglomera, kumtaşı, killi taşı ardalanması.

Çamur sıcaklık ölçümleri yok.  
T = 88 - 91°C arasında değişir.  
Debi 20 l/s

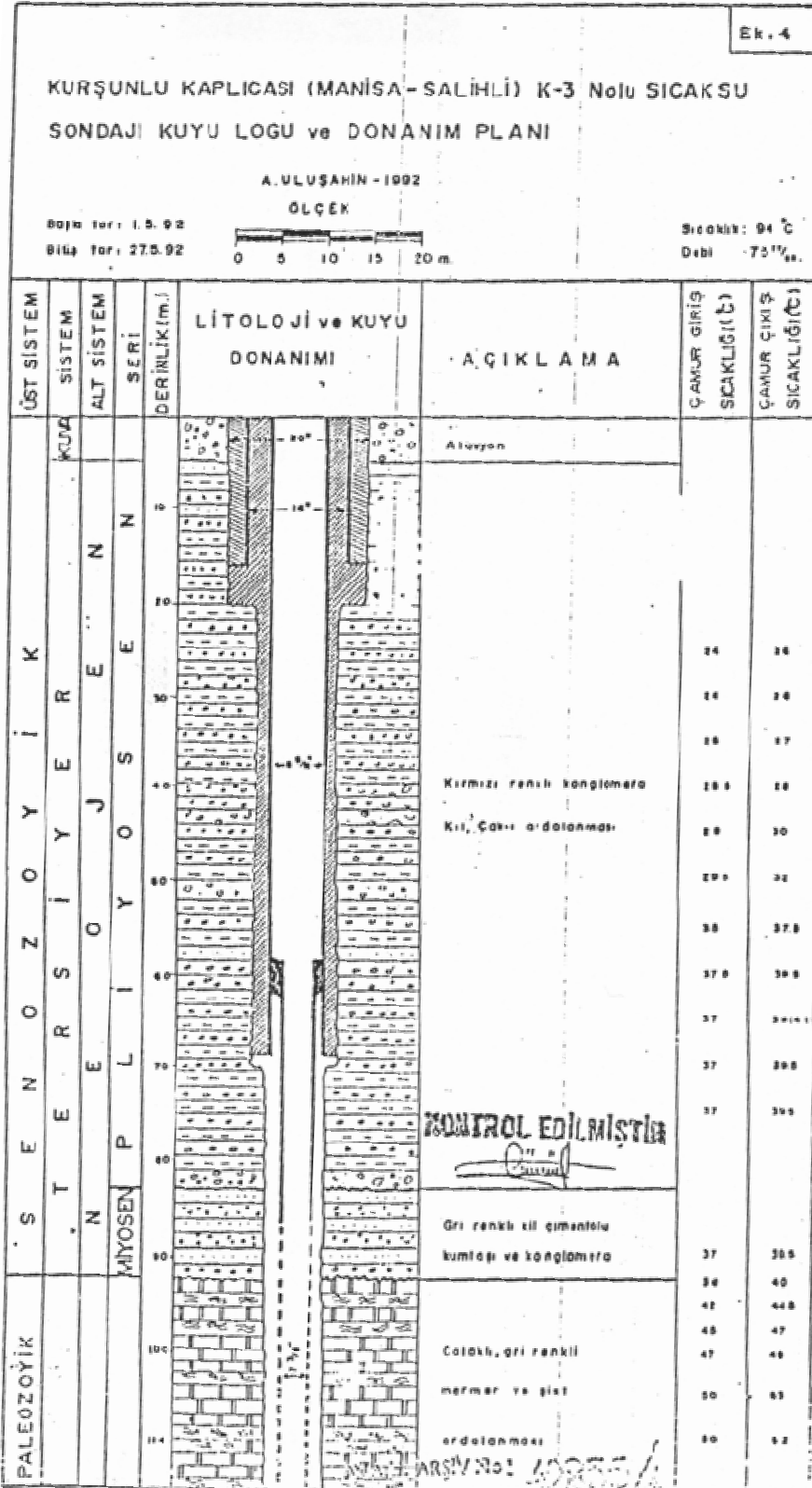
Kurşunlu K-2 kuyusu kuyu logu.



İSTANBUL ARŞİV No: 42855/3

KONTROL YERİNDİRİLMİŞTİR  
1992

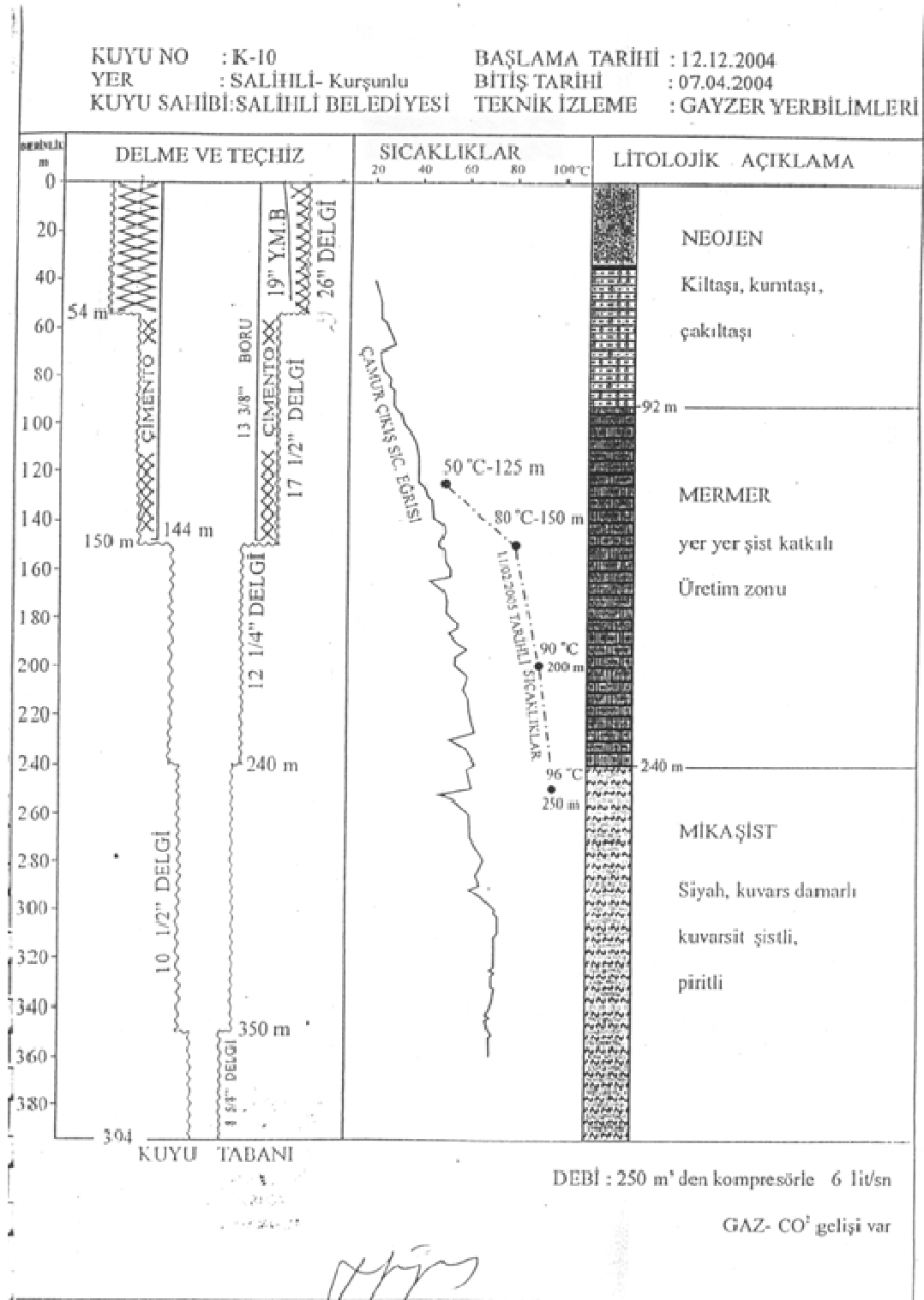
Kurşunlu K-3 kuyusu kuyu logu.







Kurşunlu K-10 kuyusu kuyu logu.

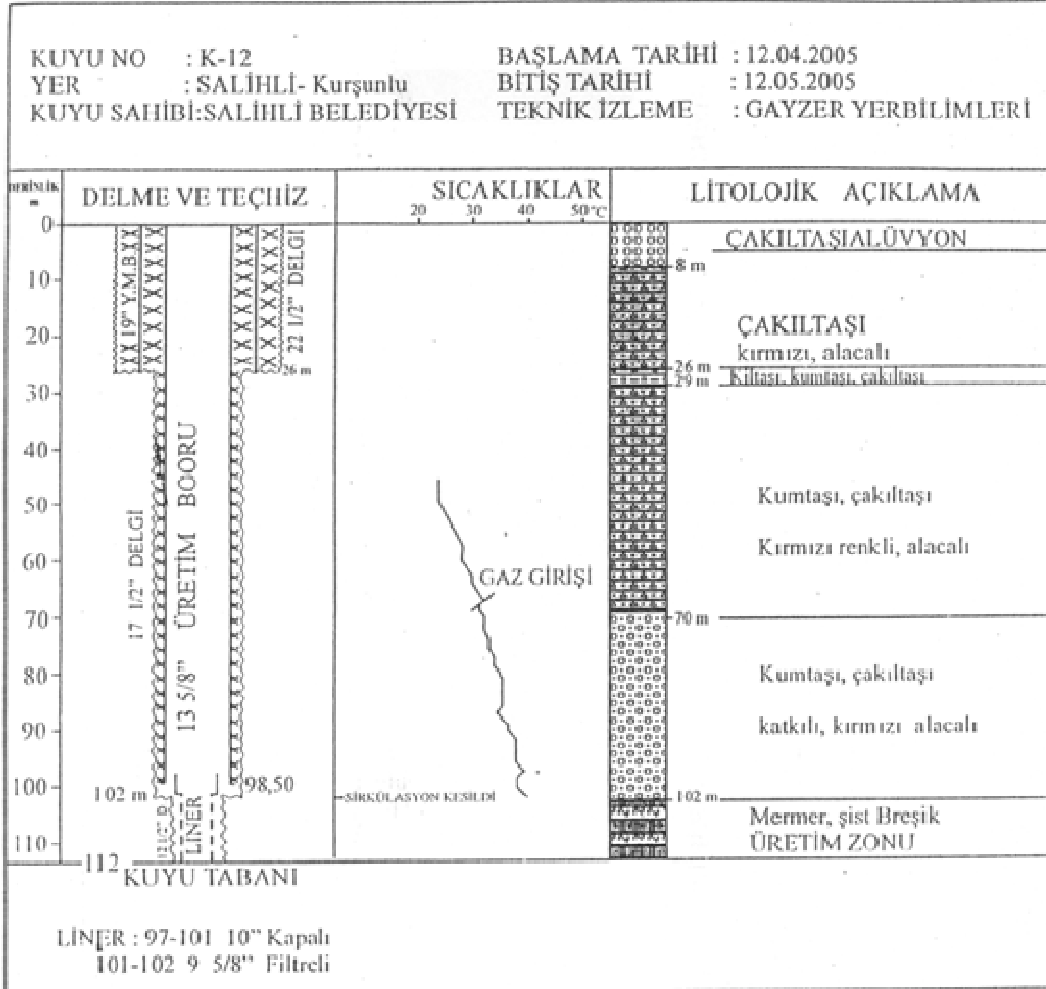






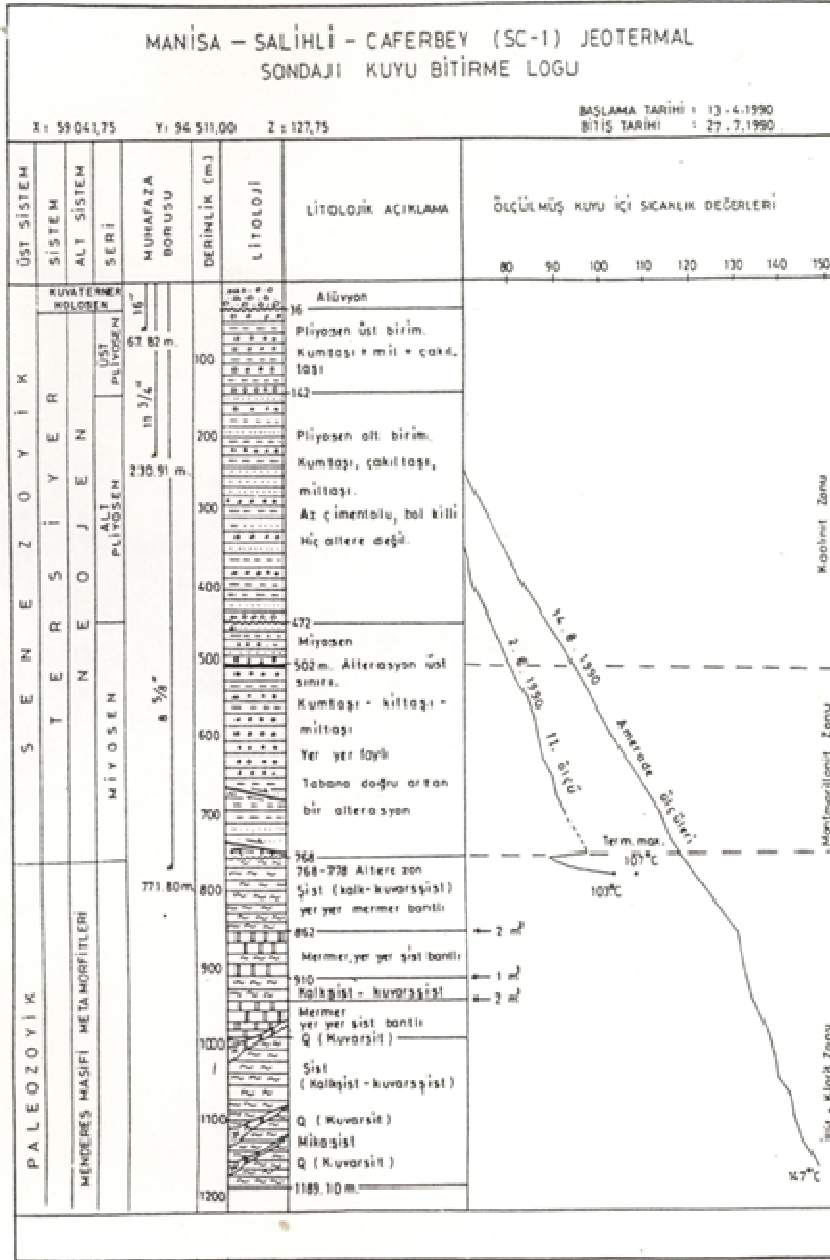
Kurşunlu K-12 kuyusu kuyu logu.

EK-5



*[Handwritten signature]*

Kurşunlu K-12 kuyusu kuyu logu.



**EK-3**

1969-2003 Salihli (Manisa) Meteoroloji İstasyonu Yağış verileri

Enlem : 38.29  
 Boylam : 28.08  
 Yükseklik : 111 m

( MANTISA ) SAĞIHTLI

Rasat S. (Vil)	A Y L A R												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YILLİK
Ortalama Yerel Basıncı (hPa)	32 1065.3	1004.3	1002.7	1000.5	1000.7	999.4	997.5	998.2	1001.7	1004.5	1005.5	1005.4	1002.1
En Yüksek Yerel Basıncı (hPa)	32 1023.2	1020.5	1020.6	1018.1	1010.6	1008.7	1006.5	1005.6	1012.1	1015.0	1019.2	1020.8	1023.0
En Düşük Yerel Basıncı (hPa)	32 973.4	977.5	980.2	983.3	986.8	988.2	988.5	989.5	990.8	990.4	986.2	980.8	973.4
Saat 07 deki Ortalama Sıcaklık (C)	32 3.5	3.8	5.9	11.0	16.2	20.6	22.2	21.1	16.3	11.6	7.3	5.2	12.1
Saat 14 deki Ortalama Sıcaklık (C)	32 10.0	11.1	15.0	20.3	26.1	31.2	33.6	33.2	29.3	23.2	16.4	11.5	21.7
Saat 21 deki Ortalama Sıcaklık (C)	32 5.8	6.8	10.1	14.7	19.7	24.6	26.8	26.3	22.1	16.3	10.4	7.1	15.9
Ortalama Sıcaklık (C)	32 6.3	7.1	10.3	15.1	20.4	25.2	27.3	26.8	22.4	16.9	11.1	7.7	16.4
Ort. Sıcaklık >= 5 C Old. Gunler Sayisi	32 18.4	18.8	28.2	29.9	31.0	30.0	31.0	31.0	31.0	30.0	27.9	22.7	329.9
Ort. Sıcaklık >= 10 C Old. Gunler Sayisi	32 5.8	7.7	16.3	27.5	30.9	30.0	31.0	31.0	30.0	30.2	19.1	9.3	268.8
Ortalama Yüksek Sıcaklık	32 13.1	12.4	16.3	21.6	27.4	32.5	34.9	34.6	30.5	24.2	17.4	12.4	22.9
Ortalama Düşük Sıcaklık	32 2.2	2.6	4.7	8.7	12.9	16.6	18.8	18.4	14.4	10.4	6.1	3.8	10.0
En Yüksek Sıcaklık Günü	32 2	28	27	6	26	12	6	12	1	2	5	2	6
En Yüksek Sıcaklık Yılı	32 1995	2004	2001	1989	1990	2001	2000	2002	2003	1991	1990	2005	2000
En Yüksek Sıcaklık (C)	32 22.3	24.6	33.4	33.5	36.4	41.8	44.8	43.3	39.8	37.6	29.8	25.6	44.8
Yük. Sıcaklık >=30 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32		0.1	1.3	9.3	23.5	29.4	29.3	18.3	4.2			115.4
Yük. Sıcaklık >=25 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32		1.3	7.9	22.4	29.1	30.9	30.9	28.4	13.8	1.3	0.0	166.0
Yük. Sıcaklık >=20 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32 0.6	1.8	7.9	18.8	25.2	29.9	31.0	31.0	29.8	25.2	9.3	1.1	215.6
Yük. Sıcaklık <=0.1 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32 0.0	0.1	0.0										0.1
Gunluk En Yüksek Sıcaklık Farkı													
En Düşük Sıcaklık Günü	32 24	15	1	10	1	3	24	31	26	30	25	25	15
En Düşük Sıcaklık Yılı	32 2004	2004	1985	1997	1981	1990	1978	1981	1983	1987	1995	1992	2004
En Düşük Sıcaklık (C)	32 - 8.9	-13.5	- 5.4	- 1.7	2.4	7.8	10.7	9.8	6.2	0.20	- 4.3	- 6.3	-13.5
Düş. Sıcaklık <=0.1 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32 11.0	8.5	4.0	0.1							3.3	6.8	33.7
Düş. Sıcaklık <=3 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32 3.5	2.7	0.5								0.3	1.6	8.6
Düş. Sıcaklık <=5 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32 1.0	0.6	0.1								0.3	0.3	2.0
Düş. Sıcaklık <=10 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32	0.0											0.0
Düş. Sıcaklık <=15 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32												0.0
Düş. Sıcaklık <=20 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32												0.0
Düş. Sıcaklık >=20 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32 0.0	0.1	0.2	1.1	7.3	22.5	28.9	28.1	13.8	3.0	0.3	0.1	21.9
Düş. Sıcaklık >=15 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32 1.0	1.2	2.4	10.9	26.0	29.8	31.0	31.0	27.3	17.8	6.2	2.4	187.0
Düş. Sıcaklık >=10 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32 6.7	8.6	14.9	25.9	30.8	30.0	31.0	31.0	30.0	28.7	18.3	12.8	270.9
Düş. Sıcaklık >=5 C Old. Ort. Gunler Sayisi	32 - 0.5	- 0.1	1.8	5.6	9.4	13.0	15.3	15.0	10.8	7.2	3.1	1.2	6.0
Ortalama Toprakustu Minimum Sıcaklık	32 -17.4	-19.4	- 8.8	- 6.0	0.0	4.0	5.9	5.5	1.7	- 4.0	- 8.5	-11.2	-19.4
En düşük Toprakustu Minimum Sıcaklık	32 15.7	13.6	9.8	1.7							0.9	7.9	12.1
Top. us. min. sic. <=0.1 C Old. Gunler Sayisi	32 11.1	9.1	5.0	0.2						0.1	4.6	7.4	37.5
Top. us. min. sic. <=3 C Old. Gunler Sayisi	32 7.0	5.2	1.9	0.1						2.0	4.1	20.3	8.8
Top. us. min. sic. <=5 C Old. Gunler Sayisi	32 0.3	0.4											0.1
Top. us. min. sic. <=10 C Old. Gunler Sayisi	32												0.0
Ortalama Buhar Basıncı (hPa)	32 7.2	7.1	8.1	10.2	13.1	15.5	18.1	18.3	14.7	12.1	9.4	8.1	11.8
Saat 07 deki Ortalama Bagil Nem (%)	32 85	83	84	81	76	70	73	77	83	87	88	86	81
Saat 14 deki Ortalama Bagil Nem (%)	32 58	53	48	43	38	33	34	35	35	34	30	28	44
Saat 21 deki Ortalama Bagil Nem (%)	32 77	71	66	61	56	48	48	50	54	66	76	80	62
Ortalama Bagil Nem (%)	32 74	69	66	62	57	50	52	54	57	65	71	76	62
En düşük Bagil Nem (%)	32 17	12	8	11	10	12	12	11	12	6	10	10	8

YEREL HAVA DURUMU VE SAĞLIK DURUMU

ARASTIRMA VE BILGI ISLEM DAIRE BASKANLIĞI

İzmir Yöresi : 1975 - 2006

Konum : 38.39

Boylam : 28.08

Yükseklik : 111 m

METEOLOGİK

ELFANLAR

( MAREK ) SALINLI

A Y L A R

VII VIII IX X XI XII

W IV V VI VII VIII IX X XI XII

YILLER

Kısa S.

(YILL)

I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII

YILLER

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YILLER
Saat 07 deki Ortalama Bulutluluk (0-10)	32	5.4	5.5	4.8	4.7	3.0	1.2	0.6	0.7	1.3	3.1	4.7	6.0
Saat 14 deki Ortalama Bulutluluk (0-10)	32	5.1	5.4	5.0	5.2	4.3	2.8	1.7	2.6	2.2	3.5	4.5	5.4
Saat 21 deki Ortalama Bulutluluk (0-10)	32	4.2	4.2	3.9	3.7	2.7	1.5	0.8	0.6	1.0	2.4	3.5	2.8
Ortalama Bulutluluk (0-10)	32	4.9	5.1	4.6	4.6	3.4	1.9	1.0	1.0	1.5	3.0	4.2	5.4
Ort. Acik Gunler Sayisi (Bult. 0.0-1.9)	32	8.2	6.8	8.8	7.7	12.2	12.2	25.2	21.6	15.3	9.8	6.1	16.6
Ort. Bulutlu Gunler Sayisi (Bult. 2.0-8.0)	32	16.0	14.2	15.5	17.3	16.3	10.1	5.6	5.2	8.0	12.6	14.8	16.7
Ort. Kapali Gunler Sayisi (Bult. 8.1-10.0)	32	6.8	7.2	6.7	5.0	2.5	0.7	0.2	0.1	0.4	3.2	5.4	8.3
Saat 07 deki Ort. Toplam Yagis Miktari (mm)	32	27.3	28.2	23.9	19.5	10.6	3.4	0.6	1.0	5.6	13.2	26.0	36.2
Saat 14 deki Ort. Toplam Yagis Miktari (mm)	32	21.7	17.0	19.1	11.2	7.9	2.4	1.0	0.5	3.4	9.9	20.7	23.1
Saat 21 deki Ort. Toplam Yagis Miktari (mm)	32	21.3	16.3	17.7	15.6	11.4	8.4	6.0	2.9	7.1	10.5	20.0	20.1
Ortalama Toplam Yagis Miktari (mm)	32	68.5	62.3	59.7	47.9	31.0	15.0	7.7	4.0	16.0	33.7	65.1	80.9
Gunluk En Cok Yagis Miktari (mm)	32	71.2	54.3	42.1	49.0	45.8	41.1	32.5	15.4	54.0	60.8	57.6	71.2
Yagis > 0.1 mm Oldugu Gunler Sayisi	32	10.5	9.7	8.8	9.1	7.3	3.3	1.4	1.1	2.6	5.6	8.1	11.3
Yagis > 10 mm Oldugu Gunler Sayisi	32	2.3	2.1	2.0	1.5	0.9	0.5	0.3	0.1	0.6	0.9	2.2	3.0
Yagis > 50 mm Oldugu Gunler Sayisi	32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2
Ortalama Kar Yagisli Gunler Sayisi	32	1.1	1.1	0.5	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
Ortalama Kar Ortulu Gunler Sayisi	32	1.4	0.8	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
En Yuksek Kar Ortusu Kalinligi (cm)	10	35.0	47.0	7.0	7.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.7	18.0
Ortalama Siaki Gunler Sayisi	30	1.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7
Ortalama Dolulu Gunler Sayisi	32	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.7
Ortalama Kireçli Gunler Sayisi	30	13.0	11.3	8.9	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Ortalama Ozeçli Gunler Sayisi	29	0.7	0.7	1.1	1.7	3.9	3.4	1.5	1.2	1.6	1.3	1.4	1.2
Saat 07 deki Ortalama Ruzgar Hizi (m/s)	32	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.0	0.7	0.5	0.6	0.9	1.0
Saat 14 deki Ortalama Ruzgar Hizi (m/s)	32	1.5	1.8	1.9	2.2	2.3	2.4	2.5	2.4	2.1	1.6	1.3	1.4
Saat 21 deki Ortalama Ruzgar Hizi (m/s)	32	1.1	1.4	1.5	1.4	1.7	2.0	2.4	2.3	1.8	1.2	1.0	1.6
Ortalama Ruzgar Hizi (m/s)	32	1.2	1.4	1.5	1.5	1.6	1.0	2.0	1.9	1.5	1.1	1.1	1.5
En Hızlı Esen Ruzgarın Yönü	32	SSM	SSM	SSM	SSM	S	SSM	SE	VM	SSM	WSM	SSM	SSM
En Hızlı Esen Ruzgarın Hizi (m/s)	32	26.0	27.0	25.9	27.6	20.6	28.0	24.7	15.1	26.7	22.6	26.9	29.0
Ort. Fırtınalı Gun Say. (ruz.hiz>=17.2 m/s)	31	0.7	0.6	0.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.9
Ort. Kuv.Ruz. Gun Say. (ruz.hiz>=10.8-17.1 m/s)	31	3.4	3.4	4.4	4.6	4.6	4.6	4.1	2.5	2.4	2.0	2.5	3.2
N Ruzgarın Esme Sayıları Toplamı	32	58	63	63	91	68	63	43	67	66	78	66	78
N Ruzgarın Ortalama Hizi (m/s)	32	1.1	1.2	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	0.9	1.0
NNE Ruzgarın Esme Sayıları Toplamı	32	68	84	92	86	92	65	52	41	74	82	74	70
NNE Ruzgarın Ortalama Hizi (m/s)	32	0.9	1.1	1.3	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.0	0.9	0.9
NE Ruzgarın Esme Sayıları Toplamı	32	66	66	74	50	73	49	34	18	27	71	80	79
NE Ruzgarın Ortalama Hizi (m/s)	32	0.9	1.0	1.1	0.9	0.9	1.0	0.9	1.1	1.1	0.9	0.8	0.9
ENE Ruzgarın Esme Sayıları Toplamı	32	190	143	111	89	85	58	37	25	50	91	156	170
ENE Ruzgarın Ortalama Hizi (m/s)	32	1.4	1.6	1.4	1.4	1.4	1.2	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.3
E Ruzgarın Esme Sayıları Toplamı	32	167	139	127	116	118	74	46	25	64	105	174	194
E Ruzgarın Ortalama Hizi (m/s)	32	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	1.0	1.2	1.1	1.1	1.2
ESE Ruzgarın Esme Sayıları Toplamı	32	165	269	214	189	107	74	28	19	52	121	292	340
ESE Ruzgarın Ortalama Hizi (m/s)	32	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.5
SE Ruzgarın Esme Sayıları Toplamı	32	214	198	192	118	91	47	21	26	45	118	194	229
SE Ruzgarın Ortalama Hizi (m/s)	32	1.3	1.4	1.4	1.1	1.3	1.0	0.7	1.0	0.9	1.1	1.2	1.2
SSE Ruzgarın Esme Sayıları Toplamı	32	136	133	125	123	66	35	20	16	44	64	147	168
SSE Ruzgarın Ortalama Hizi (m/s)	32	1.2	1.4	1.4	1.5	1.2	1.2	1.2	0.9	0.9	1.0	1.3	1.3

Handwritten signature and date.



ARAŞTIRMA VE BİLGİ İŞLEM DAİRESİ BAŞKANLIĞI

İzmit Körfezi : 1975 - 2006

Kalem : 38.29

Boyutlar : 26.06

Yükselik : III m

{ MANİSA } SALİHLİ

Rasat S. (VİL)	METEOROLOJİK ELEMENTLER												YILLIK
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
S	86	80	83	112	69	49	18	18	42	59	72	87	775
S	1.2	1.5	1.2	1.5	1.3	1.4	0.8	1.0	1.2	0.9	0.8	1.1	1.2
SSW	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
SSW	90	79	96	104	102	81	40	19	67	64	92	107	941
SSW	1.7	1.8	1.8	2.2	1.9	1.8	1.3	1.0	1.6	1.4	1.6	2.0	1.8
SW	126	140	150	152	143	159	126	79	106	153	134	114	1582
SW	1.4	1.5	1.7	1.8	1.5	1.6	1.8	1.4	1.4	1.4	1.1	1.1	1.5
WSW	236	318	399	373	469	515	572	534	431	400	277	241	4825
WSW	2.2	2.1	2.1	1.9	2.1	2.1	2.4	2.2	1.9	1.7	1.6	1.8	2.0
W	276	222	276	287	367	399	506	529	377	330	252	247	4069
W	1.4	1.6	1.7	1.7	1.8	2.0	2.1	1.9	1.7	1.4	1.3	1.4	1.7
WSW	237	255	365	378	497	590	806	783	548	362	224	210	5255
WSW	1.7	1.9	2.0	2.1	2.1	2.3	2.3	2.3	2.0	1.6	1.5	1.6	2.1
NW	122	125	155	165	208	246	290	255	241	215	122	116	2220
NW	1.2	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	1.9	2.0	1.7	1.3	1.0	1.2	1.7
NNW	103	106	164	172	223	213	229	229	218	155	105	91	2008
NNW	1.4	1.4	1.9	1.8	2.0	1.9	2.1	2.1	1.8	1.5	1.3	1.1	1.8
Ortalama 5 cm Toprak Sıcaklığı (C)	6.0	7.7	12.0	18.0	25.0	30.8	34.3	33.5	27.5	19.3	11.4	7.3	19.4
En düşük 5 cm Toprak Sıcaklığı (C)	-1.0	-0.5	1.9	4.8	13.0	18.8	19.8	22.0	18.6	9.1	2.4	-1.1	-1.1
Ortalama 10 cm Toprak Sıcaklığı (C)	6.2	7.7	11.9	17.8	24.5	29.9	32.9	32.4	27.2	19.6	11.9	7.5	19.1
En düşük 10 cm Toprak Sıcaklığı (C)	0.1	0.6	3.2	6.0	13.4	16.5	21.0	23.6	15.4	10.0	2.6	-0.1	-0.1
Ortalama 20 cm Toprak Sıcaklığı (C)	6.4	7.6	11.4	17.0	23.5	28.9	31.9	31.5	26.9	19.9	12.3	7.9	18.8
En düşük 20 cm Toprak Sıcaklığı (C)	0.4	1.8	3.4	7.6	12.8	18.6	23.2	24.1	16.9	11.6	4.1	1.1	0.4
Ortalama 50 cm Toprak Sıcaklığı (C)	8.0	8.3	11.1	15.9	21.8	27.0	30.2	30.6	27.3	21.4	14.5	9.9	18.9
En düşük 50 cm Toprak Sıcaklığı (C)	4.2	4.2	5.3	9.1	13.7	18.8	25.6	28.3	22.1	14.7	8.1	4.6	4.2
Ortalama 100 cm Toprak Sıcaklığı (C)	10.5	9.9	11.4	14.7	19.2	23.7	27.1	28.3	22.7	17.5	13.0	10.7	18.7
En düşük 100 cm Toprak Sıcaklığı (C)	7.4	7.1	7.7	10.5	13.9	18.8	24.3	0.0	23.3	18.1	13.2	8.7	0.0
Ortalama Buharlaşma (mm)	23	23	104.1	165.8	221.2	258.3	238.3	164.1	95.1	34.6	11.9	3.4	12.0
Günlük Ort. Guneslenme Süresi (saat,dakika)	0.0	0.0	0.0	10.0	10.4	11.6	12.2	10.5	8.5	7.6	4.5	3.4	0.0
Günlük Ort. Guneslenme Sıd. (cal/cm*2.dak)	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
Aylık Ort. Guneslenme Sıd. (cal/cm*2.dak)													
Ortalama Deniz Suyu Sıcaklığı (C)													
En Yüksek Deniz Suyu Sıcaklığı (C)													
En düşük Deniz Suyu Sıcaklığı (C)													

ARAŞTIRMA VE BİLGİ İŞLEM DAİRESİ BAŞKANLIĞI

İzmit Körfezi : 1975 - 2006



## **EK-4**

PhreeqC (Parkhurst ve Appelo, 1999) Kimyasal Türleştirme Programına göre Termal Suların Hesaplanan Mineral Doygunlukları



Hesaplamalar termal suların arazide ölçülmüş sıcaklığına göre yapılmıştır.

Örnek No: K-1 (İnhibitörsüz)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-1.04	9.02	10.06	Al(OH)3
Albite	0.79	-16.49	-17.28	NaAlSi3O8
Alunite	0.76	-2.04	-2.80	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-5.70	-13.43	-7.73	PbSO4
Anhydrite	-1.84	-6.27	-4.43	CaSO4
Anorthite	-1.27	-20.66	-19.39	CaAl2Si2O8
Aragonite	-0.15	-8.58	-8.42	CaCO3
Barite	-0.04	-9.85	-9.81	BaSO4
Ca-Montmorillonite	5.43	-37.97	-43.40	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	-0.02	-8.58	-8.56	CaCO3
Cerussite	-2.74	-15.74	-12.99	PbCO3
Chalcedony	0.54	-2.88	-3.42	SiO2
Chlorite(14A)	-20.12	44.03	64.15	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-15.77	15.02	30.79	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-0.48	-2.07	-1.59	CO2
Dolomite	-2.91	-20.27	-17.35	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	0.89	5.79	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-56.74	-60.66	-3.92	FeS
Gibbsite	1.54	9.02	7.47	Al(OH)3
Goethite	7.19	5.79	-1.40	FeOOH
Gypsum	-1.68	-6.27	-4.59	CaSO4:2H2O
H2(g)	-21.08	-24.28	-3.20	H2
H2O(g)	-1.22	-0.00	1.22	H2O
H2S(g)	-60.73	-61.85	-1.12	H2S
Halite	-5.05	-3.45	1.61	NaCl
Hausmannite	-10.35	47.87	58.22	Mn3O4
Hematite	16.44	11.57	-4.87	Fe2O3
Illite	3.83	-34.91	-38.74	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-1.65	-11.73	-10.08	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	2.13	-17.58	-19.71	KAlSi3O8
K-mica	10.90	21.95	11.05	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	5.83	12.28	6.45	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-56.01	-60.66	-4.65	FeS
Manganite	-5.87	19.47	25.34	MnOOH
Melanterite	-6.24	-8.32	-2.08	FeSO4:7H2O
O2(g)	-37.15	-40.16	-3.01	O2
Pb(OH)2	-4.88	2.88	7.76	Pb(OH)2
Pyrite	-90.07	-108.23	-18.16	FeS2
Pyrochroite	-6.27	8.93	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-9.55	30.01	39.56	MnO2
Quartz	0.94	-2.88	-3.81	SiO2
Rhodochrosite	1.48	-9.69	-11.17	MnCO3
Sepiolite	-10.24	5.22	15.46	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-13.44	5.22	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	0.34	-10.62	-10.96	FeCO3
SiO2(a)	-0.26	-2.88	-2.62	SiO2
Sulfur	-45.39	-40.77	4.62	S
Talc	-10.84	9.27	20.11	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-3.60	-12.16	-8.56	BaCO3

Örnek No: K-1 (İnhibitör)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-1.05	9.33	10.38	Al(OH)3
Albite	1.65	-15.94	-17.59	NaAlSi3O8
Alunite	-0.29	-2.49	-2.20	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-5.79	-13.55	-7.76	PbSO4
Anhydrite	-1.88	-6.28	-4.40	CaSO4
Anorthite	-0.43	-19.96	-19.53	CaAl2Si2O8
Aragonite	0.26	-8.12	-8.38	CaCO3
Barite	0.12	-9.75	-9.87	BaSO4
Ca-Montmorillonite	6.06	-38.04	-44.10	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	0.40	-8.12	-8.52	CaCO3
Cerrusite	-2.34	-15.39	-13.05	PbCO3
Chlorite(14A)	-15.16	50.81	65.98	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-12.67	18.73	31.40	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-0.99	-2.53	-1.54	CO2
Dolomite	-1.89	-19.13	-17.24	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	1.63	6.52	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-60.74	-64.65	-3.92	FeS
Gibbsite	1.58	9.33	7.75	Al(OH)3
Goethite	7.75	6.52	-1.23	FeOOH
Gypsum	-1.70	-6.28	-4.59	CaSO4:2H2O
H2(g)	-22.10	-25.28	-3.18	H2
H2O(g)	-1.34	-0.00	1.34	H2O
H2S(g)	-65.06	-66.13	-1.07	H2S
Halite	-5.01	-3.41	1.60	NaCl
Hausmannite	-7.79	51.64	59.43	Mn3O4
Hematite	17.53	13.04	-4.50	Fe2O3
Illite	4.89	-34.51	-39.40	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-1.21	-10.92	-9.71	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	3.06	-17.02	-20.08	KAlSi3O8
K-mica	11.87	23.63	11.76	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	6.14	13.02	6.87	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-60.01	-64.65	-4.65	FeS
Manganite	-4.44	20.90	25.34	MnOOH
Melanterite	-6.82	-8.96	-2.13	FeSO4:7H2O
O2(g)	-36.75	-39.74	-2.99	O2
Pb(OH)2	-4.19	3.74	7.93	Pb(OH)2
Pyrite	-97.24	-115.54	-18.30	FeS2
Pyrochroite	-5.35	9.85	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-8.40	31.95	40.35	MnO2
Quartz	1.07	-2.82	-3.89	SiO2
Rhodochrosite	1.87	-9.28	-11.15	MnCO3
Sepiolite	-7.80	7.79	15.59	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-10.87	7.79	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	0.14	-10.79	-10.93	FeCO3
SiO2(a)	-0.16	-2.82	-2.66	SiO2
Sulfur	-48.76	-44.03	4.73	S
Talc	-7.57	13.09	20.66	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-3.04	-11.59	-8.56	BaCO3

Örnek No: K-2 (inhibitörsüz)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-2.56	6.24	8.80	Al(OH)3
Albite	0.04	-16.01	-16.04	NaAlSi3O8
Alunite	-8.13	-13.33	-5.20	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-6.27	-13.90	-7.63	PbSO4
Anhydrite	-1.65	-6.31	-4.66	CaSO4
Anorthite	-1.32	-20.16	-18.84	CaAl2Si2O8
Aragonite	1.10	-7.53	-8.63	CaCO3
Barite	0.01	-9.60	-9.61	BaSO4
Ca-Montmorillonite	1.25	-39.37	-40.61	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.22	-7.53	-8.75	CaCO3
Cerrusite	-2.36	-15.12	-12.76	PbCO3
Chalcedony	0.35	-2.85	-3.19	SiO2
Chlorite(14A)	-8.81	48.12	56.92	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-7.56	20.82	28.37	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.38	-3.16	-1.78	CO2
Dolomite	-0.48	-18.28	-17.80	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	0.46	5.35	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-72.48	-76.39	-3.92	FeS
Gibbsite	-0.15	6.24	6.39	Al(OH)3
Goethite	7.44	5.35	-2.10	FeOOH
Gypsum	-1.66	-6.31	-4.65	CaSO4:2H2O
H2(g)	-23.28	-26.56	-3.28	H2
H2O(g)	-0.71	-0.00	0.71	H2O
H2S(g)	-74.42	-75.76	-1.34	H2S
Halite	-6.27	-4.61	1.65	NaCl
Hausmannite	2.23	55.65	53.42	Mn3O4
Hematite	17.04	10.70	-6.34	Fe2O3
Illite	0.69	-35.44	-36.13	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-4.42	-15.99	-11.58	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	1.14	-17.10	-18.24	KAlSi3O8
K-mica	6.66	14.87	8.21	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	2.01	6.78	4.77	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-71.74	-76.39	-4.65	FeS
Manganite	-2.91	22.43	25.34	MnOOH
Melanterite	-10.50	-12.38	-1.88	FeSO4:7H2O
O2(g)	-26.23	-29.33	-3.10	O2
Pb(OH)2	-2.62	4.47	7.09	Pb(OH)2
Pyrite	-117.88	-135.50	-17.62	FeS2
Pyrochroite	-4.41	10.79	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-2.39	34.07	36.46	MnO2
Quartz	0.68	-2.85	-3.53	SiO2
Rhodochrosite	2.43	-8.80	-11.24	MnCO3
Sepiolite	-5.82	9.13	14.95	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-9.53	9.13	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-2.52	-13.59	-11.08	FeCO3
SiO2(a)	-0.39	-2.85	-2.46	SiO2
Sulfur	-56.65	-52.48	4.16	S
Talc	-2.77	15.13	17.89	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.15	-10.82	-8.67	BaCO3

Örnek No: K-2 (inhibitörlü)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-2.80	5.69	8.49	Al(OH)3
Albite	-0.73	-16.48	-15.74	NaAlSi3O8
Alunite	-8.17	-13.96	-5.79	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-6.88	-14.49	-7.60	PbSO4
Anhydrite	-1.64	-6.38	-4.74	CaSO4
Anorthite	-2.38	-21.09	-18.70	CaAl2Si2O8
Aragonite	0.79	-7.90	-8.70	CaCO3
Barite	-0.17	-9.74	-9.58	BaSO4
Ca-Montmorillonite	0.27	-39.66	-39.93	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	0.91	-7.90	-8.81	CaCO3
Cerrusite	-3.30	-16.01	-12.71	PbCO3
Chalcedony	0.29	-2.85	-3.14	SiO2
Chlorite(14A)	-13.00	42.16	55.16	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-9.88	17.90	27.78	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-0.93	-2.75	-1.82	CO2
Dolomite	-1.31	-19.22	-17.91	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	-0.06	4.83	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-69.40	-73.32	-3.92	FeS
Gibbsite	-0.43	5.69	6.12	Al(OH)3
Goethite	7.10	4.83	-2.26	FeOOH
Gypsum	-1.71	-6.38	-4.67	CaSO4:2H2O
H2(g)	-22.46	-25.76	-3.30	H2
H2O(g)	-0.59	-0.00	0.59	H2O
H2S(g)	-71.10	-72.50	-1.40	H2S
Halite	-6.26	-4.60	1.66	NaCl
Hausmannite	0.62	52.87	52.25	Mn3O4
Hematite	16.37	9.67	-6.70	Fe2O3
Illite	-0.59	-36.09	-35.49	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-4.58	-16.52	-11.94	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	0.31	-17.58	-17.88	KAlSi3O8
K-mica	5.30	12.82	7.52	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	1.33	5.68	4.35	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-68.67	-73.32	-4.65	FeS
Manganite	-3.97	21.37	25.34	MnOOH
Melanterite	-10.05	-11.88	-1.84	FeSO4:7H2O
O2(g)	-26.28	-29.40	-3.12	O2
Pb(OH)2	-3.76	3.17	6.93	Pb(OH)2
Pyrite	-112.46	-129.95	-17.49	FeS2
Pyrochroite	-5.06	10.14	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-3.10	32.60	35.70	MnO2
Quartz	0.61	-2.85	-3.46	SiO2
Rhodochrosite	2.21	-9.04	-11.25	MnCO3
Sepiolite	-7.64	7.19	14.83	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-11.47	7.19	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-2.30	-13.40	-11.11	FeCO3
SiO2(a)	-0.43	-2.85	-2.42	SiO2
Sulfur	-54.09	-50.04	4.05	S
Talc	-5.14	12.21	17.35	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.56	-11.27	-8.71	BaCO3

Örnek No: K-5 (İnhibitörlü)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-2.93	5.98	8.91	Al(OH)3
Albite	-0.60	-16.75	-16.15	NaAlSi3O8
Alunite	-8.64	-13.63	-4.99	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-7.04	-14.67	-7.64	PbSO4
Anhydrite	-1.52	-6.16	-4.64	CaSO4
Anorthite	-2.39	-21.28	-18.89	CaAl2Si2O8
Aragonite	1.10	-7.51	-8.61	CaCO3
Barite	-0.16	-9.79	-9.62	BaSO4
Ca-Montmorillonite	0.41	-40.45	-40.86	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.22	-7.51	-8.73	CaCO3
Cerrusite	-3.24	-16.02	-12.78	PbCO3
Chalcedony	0.36	-2.85	-3.21	SiO2
Chlorite(14A)	-11.55	46.01	57.56	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-8.72	19.86	28.59	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.14	-2.90	-1.76	CO2
Dolomite	-0.56	-18.33	-17.76	CaMg(CO3)2
Gibbsite	-0.51	5.98	6.48	Al(OH)3
Gypsum	-1.52	-6.16	-4.64	CaSO4:2H2O
H2(g)	-22.80	-26.08	-3.28	H2
H2O(g)	-0.76	-0.00	0.76	H2O
H2S(g)	-71.88	-73.20	-1.32	H2S
Halite	-6.33	-4.68	1.65	NaCl
Hausmannite	0.65	54.49	53.84	Mn3O4
Illite	-0.35	-36.71	-36.36	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
K-feldspar	0.54	-17.83	-18.37	KAlSi3O8
K-mica	5.34	13.80	8.46	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	1.33	6.24	4.91	Al2Si2O5(OH)4
Manganite	-3.38	21.96	25.34	MnOOH
O2(g)	-27.76	-30.85	-3.09	O2
Pb(OH)2	-3.83	3.32	7.15	Pb(OH)2
Pyrochroite	-4.64	10.56	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-3.36	33.36	36.73	MnO2
Quartz	0.70	-2.85	-3.55	SiO2
Rhodochrosite	2.45	-8.78	-11.23	MnCO3
Sepiolite	-6.51	8.48	15.00	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-10.18	8.48	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
SiO2(a)	-0.38	-2.85	-2.47	SiO2
Sulfur	-54.60	-50.40	4.20	S
Talc	-3.93	14.15	18.09	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.48	-11.14	-8.65	BaCO3

Örnek No: K-5 (İnhibitörlü)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-2.80	6.92	9.72	Al(OH)3
Albite	0.27	-16.67	-16.94	NaAlSi3O8
Alunite	-8.63	-12.08	-3.45	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-6.97	-14.67	-7.70	PbSO4
Anhydrite	-1.67	-6.15	-4.48	CaSO4
Anorthite	-1.84	-21.08	-19.24	CaAl2Si2O8
Aragonite	1.32	-7.15	-8.47	CaCO3
Barite	0.03	-9.71	-9.74	BaSO4
Ca-Montmorillonite	1.56	-41.08	-42.64	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.45	-7.15	-8.60	CaCO3
Cerrusite	-2.74	-15.67	-12.93	PbCO3
Chalcedony	0.50	-2.86	-3.36	SiO2
Chlorite(14A)	-10.09	52.10	62.19	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-7.75	22.39	30.14	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.70	-3.35	-1.65	CO2
Dolomite	-0.15	-17.63	-17.48	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	0.08	4.98	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-72.60	-76.52	-3.92	FeS
Gibbsite	-0.26	6.92	7.18	Al(OH)3
Goethite	6.57	4.98	-1.59	FeOOH
Gypsum	-1.55	-6.15	-4.60	CaSO4:2H2O
H2(g)	-23.66	-26.88	-3.22	H2
H2O(g)	-1.08	-0.00	1.08	H2O
H2S(g)	-74.36	-75.54	-1.18	H2S
Halite	-6.33	-4.71	1.62	NaCl
Hausmannite	0.45	57.37	56.92	Mn3O4
Hematite	15.22	9.95	-5.27	Fe2O3
Illite	1.01	-37.02	-38.03	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-7.42	-17.91	-10.49	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	1.56	-17.76	-19.31	KAlSi3O8
K-mica	6.75	17.03	10.28	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	2.13	8.12	5.99	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-71.87	-76.52	-4.65	FeS
Manganite	-2.27	23.07	25.34	MnOOH
Melanterite	-11.05	-13.07	-2.02	FeSO4:7H2O
O2(g)	-30.22	-33.25	-3.04	O2
Pb(OH)2	-3.41	4.17	7.58	Pb(OH)2
Pyrite	-117.13	-135.15	-18.02	FeS2
Pyrochroite	-3.96	11.24	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-3.82	34.90	38.72	MnO2
Quartz	0.88	-2.86	-3.74	SiO2
Rhodochrosite	2.58	-8.61	-11.19	MnCO3
Sepiolite	-5.16	10.16	15.32	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-8.50	10.16	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-3.08	-14.07	-10.99	FeCO3
SiO2(a)	-0.28	-2.86	-2.58	SiO2
Sulfur	-56.37	-51.88	4.49	S
Talc	-2.83	16.67	19.51	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.14	-10.72	-8.58	BaCO3

Örnek No: K-11 (İnhibitörsüz)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-1.49	7.54	9.02	Al(OH)3
Albite	0.85	-15.41	-16.27	NaAlSi3O8
Alunite	-3.75	-8.52	-4.77	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-5.93	-13.57	-7.65	PbSO4
Anhydrite	-1.58	-6.19	-4.61	CaSO4
Anorthite	0.17	-18.77	-18.94	CaAl2Si2O8
Aragonite	0.89	-7.69	-8.59	CaCO3
Barite	-0.08	-9.72	-9.64	BaSO4
Ca-Montmorillonite	3.90	-37.22	-41.12	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.02	-7.69	-8.71	CaCO3
Cerrusite	-2.27	-15.07	-12.80	PbCO3
Chalcedony	0.40	-2.84	-3.23	SiO2
Chlorite(14A)	-2.84	55.39	58.23	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-5.19	23.62	28.81	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.05	-2.79	-1.75	CO2
Dolomite	0.56	-17.16	-17.72	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	0.54	5.43	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-68.10	-72.02	-3.92	FeS
Gibbsite	0.96	7.54	6.58	Al(OH)3
Goethite	7.40	5.43	-1.97	FeOOH
Gypsum	-1.56	-6.19	-4.64	CaSO4·2H2O
H2(g)	-22.60	-25.87	-3.27	H2
H2O(g)	-0.81	-0.00	0.80	H2O
H2S(g)	-70.56	-71.87	-1.30	H2S
Halite	-6.31	-4.67	1.64	NaCl
Hausmannite	-0.70	53.59	54.29	Mn3O4
Hematite	16.94	10.86	-6.07	Fe2O3
Illite	3.38	-33.22	-36.60	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-3.54	-14.84	-11.31	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	2.02	-16.49	-18.51	KAlSi3O8
K-mica	9.72	18.45	8.72	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	4.33	9.40	5.07	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-67.37	-72.02	-4.65	FeS
Manganite	-3.71	21.63	25.34	MnOOH
Melanterite	-9.33	-11.24	-1.91	FeSO4·7H2O
O2(g)	-28.76	-31.85	-3.08	O2
Pb(OH)2	-3.05	4.17	7.21	Pb(OH)2
Pyrite	-110.21	-127.93	-17.72	FeS2
Pyrochroite	-4.87	10.33	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-4.09	32.93	37.02	MnO2
Quartz	0.74	-2.84	-3.58	SiO2
Rhodochrosite	2.32	-8.91	-11.23	MnCO3
Sepiolite	-4.03	11.02	15.04	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-7.64	11.02	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-1.68	-12.74	-11.06	FeCO3
SiO2(a)	-0.35	-2.84	-2.49	SiO2
Sulfur	-53.51	-49.27	4.25	S
Talc	-0.35	17.94	18.29	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.58	-11.22	-8.64	BaCO3

Örnek No: K-11 (İnhibitör)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-2.71	6.04	8.75	Al(OH)3
Albite	-0.25	-16.25	-16.00	NaAlSi3O8
Alunite	-8.13	-13.42	-5.29	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-6.18	-13.81	-7.62	PbSO4
Anhydrite	-1.52	-6.20	-4.67	CaSO4
Anorthite	-1.77	-20.59	-18.82	CaAl2Si2O8
Aragonite	1.10	-7.54	-8.64	CaCO3
Barite	-0.01	-9.61	-9.61	BaSO4
Ca-Montmorillonite	0.93	-39.58	-40.51	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.22	-7.54	-8.76	CaCO3
Cerrusite	-2.40	-15.15	-12.75	PbCO3
Chalcedony	0.37	-2.82	-3.19	SiO2
Chlorite(14A)	-10.29	46.37	56.65	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-8.28	20.01	28.28	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.15	-2.94	-1.79	CO2
Dolomite	-0.55	-18.37	-17.82	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	0.66	5.56	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-70.25	-74.16	-3.92	FeS
Gibbsite	-0.30	6.04	6.35	Al(OH)3
Goethite	7.68	5.56	-2.12	FeOOH
Gypsum	-1.54	-6.20	-4.65	CaSO4:2H2O
H2(g)	-22.88	-26.17	-3.29	H2
H2O(g)	-0.70	-0.00	0.70	H2O
H2S(g)	-72.58	-73.93	-1.35	H2S
Halite	-6.29	-4.64	1.65	NaCl
Hausmannite	1.31	54.55	53.24	Mn3O4
Hematite	17.51	11.11	-6.40	Fe2O3
Illite	0.22	-35.81	-36.03	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-3.25	-14.88	-11.63	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	0.85	-17.34	-18.19	KAlSi3O8
K-mica	6.07	14.18	8.11	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	1.75	6.45	4.70	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-69.51	-74.16	-4.65	FeS
Manganite	-3.34	22.00	25.34	MnOOH
Melanterite	-9.77	-11.64	-1.87	FeSO4:7H2O
O2(g)	-26.79	-29.89	-3.10	O2
Pb(OH)2	-2.85	4.22	7.07	Pb(OH)2
Pyrite	-114.23	-131.83	-17.60	FeS2
Pyrochroite	-4.64	10.56	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-2.90	33.44	36.34	MnO2
Quartz	0.70	-2.82	-3.52	SiO2
Rhodochrosite	2.43	-8.81	-11.24	MnCO3
Sepiolite	-6.29	8.64	14.93	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-10.02	8.64	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-1.90	-12.98	-11.08	FeCO3
SiO2(a)	-0.36	-2.82	-2.45	SiO2
Sulfur	-55.20	-51.05	4.15	S
Talc	-3.44	14.37	17.81	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.28	-10.96	-8.67	BaCO3



Örnek No: K-12 (İnhibitörsüz)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-2.58	6.65	9.24	Al(OH)3
Albite	0.23	-16.25	-16.47	NaAlSi3O8
Alunite	-8.09	-12.45	-4.36	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-6.80	-14.46	-7.66	PbSO4
Anhydrite	-1.69	-6.25	-4.57	CaSO4
Anorthite	-1.41	-20.44	-19.03	CaAl2Si2O8
Aragonite	1.15	-7.39	-8.55	CaCO3
Barite	0.02	-9.65	-9.67	BaSO4
Ca-Montmorillonite	1.62	-39.96	-41.58	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.28	-7.39	-8.67	CaCO3
Cerrusite	-2.76	-15.60	-12.84	PbCO3
Chalcedony	0.42	-2.85	-3.27	SiO2
Chlorite(14A)	-9.56	49.88	59.44	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-7.85	21.37	29.22	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.55	-3.27	-1.72	CO2
Dolomite	-0.44	-18.09	-17.65	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	0.54	5.43	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-71.89	-75.81	-3.92	FeS
Gibbsite	-0.11	6.65	6.76	Al(OH)3
Goethite	7.29	5.43	-1.85	FeOOH
Gypsum	-1.63	-6.25	-4.62	CaSO4:2H2O
H2(g)	-23.38	-26.63	-3.25	H2
H2O(g)	-0.89	-0.00	0.89	H2O
H2S(g)	-74.05	-75.32	-1.27	H2S
Halite	-6.31	-4.67	1.64	NaCl
Hausmannite	1.29	56.38	55.09	Mn3O4
Hematite	16.69	10.86	-5.83	Fe2O3
Illite	1.04	-36.00	-37.04	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-5.07	-16.12	-11.06	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	1.42	-17.34	-18.75	KAlSi3O8
K-mica	6.96	16.16	9.20	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	2.26	7.61	5.35	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-71.16	-75.81	-4.65	FeS
Manganite	-2.65	22.69	25.34	MnOOH
Melanterite	-10.45	-12.39	-1.94	FeSO4:7H2O
O2(g)	-28.30	-31.37	-3.07	O2
Pb(OH)2	-3.21	4.12	7.32	Pb(OH)2
Pyrite	-116.61	-134.42	-17.81	FeS2
Pyrochroite	-4.20	11.00	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-3.16	34.38	37.54	MnO2
Quartz	0.78	-2.85	-3.63	SiO2
Rhodochrosite	2.49	-8.72	-11.21	MnCO3
Sepiolite	-5.63	9.50	15.13	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-9.16	9.50	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-2.49	-13.53	-11.04	FeCO3
SiO2(a)	-0.33	-2.85	-2.51	SiO2
Sulfur	-56.26	-51.94	4.32	S
Talc	-2.99	15.67	18.66	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.17	-10.79	-8.62	BaCO3

Örnek No: K-12 (İnhibitörlü)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-3.40	5.60	9.00	Al(OH)3
Albite	-0.50	-16.75	-16.25	NaAlSi3O8
Alunite	-11.19	-16.00	-4.81	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-7.61	-15.25	-7.64	PbSO4
Anhydrite	-1.61	-6.23	-4.61	CaSO4
Anorthite	-2.58	-21.50	-18.93	CaAl2Si2O8
Aragonite	1.40	-7.19	-8.59	CaCO3
Barite	-0.11	-9.75	-9.64	BaSO4
Ca-Montmorillonite	-0.41	-41.47	-41.07	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.52	-7.19	-8.71	CaCO3
Cerrusite	-3.41	-16.21	-12.80	PbCO3
Chalcedony	0.40	-2.84	-3.23	SiO2
Chlorite(14A)	-8.99	49.12	58.11	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-6.58	22.19	28.77	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.62	-3.37	-1.75	CO2
Dolomite	0.01	-17.72	-17.73	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	0.11	5.00	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-74.56	-78.47	-3.92	FeS
Gibbsite	-0.97	5.60	6.56	Al(OH)3
Goethite	6.98	5.00	-1.98	FeOOH
Gypsum	-1.59	-6.23	-4.64	CaSO4:2H2O
H2(g)	-23.68	-26.95	-3.27	H2
H2O(g)	-0.80	-0.00	0.80	H2O
H2S(g)	-76.04	-77.35	-1.31	H2S
Halite	-6.28	-4.64	1.64	NaCl
Hausmannite	3.02	57.23	54.20	Mn3O4
Hematite	16.10	10.00	-6.10	Fe2O3
Illite	-0.83	-37.39	-36.56	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-6.46	-17.80	-11.33	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	0.65	-17.83	-18.48	KAlSi3O8
K-mica	4.51	13.19	8.68	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	0.48	5.52	5.04	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-73.82	-78.47	-4.65	FeS
Manganite	-2.32	23.02	25.34	MnOOH
Melanterite	-11.42	-13.33	-1.91	FeSO4:7H2O
O2(g)	-26.49	-29.58	-3.09	O2
Pb(OH)2	-3.60	3.60	7.20	Pb(OH)2
Pyrite	-121.08	-138.79	-17.71	FeS2
Pyrochroite	-4.02	11.18	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-2.10	34.86	36.96	MnO2
Quartz	0.74	-2.84	-3.57	SiO2
Rhodochrosite	2.60	-8.63	-11.23	MnCO3
Sepiolite	-4.97	10.06	15.03	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-8.60	10.06	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-3.23	-14.29	-11.06	FeCO3
SiO2(a)	-0.35	-2.84	-2.48	SiO2
Sulfur	-57.91	-53.67	4.24	S
Talc	-1.74	16.51	18.26	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.07	-10.71	-8.64	BaCO3

Örnek No: K-15 (İnhibitörsüz)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-3.24	5.34	8.58	Al(OH)3
Albite	-0.39	-16.22	-15.83	NaAlSi3O8
Alunite	-10.50	-16.11	-5.61	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-7.26	-14.87	-7.61	PbSO4
Anhydrite	-1.62	-6.34	-4.72	CaSO4
Anorthite	-2.29	-21.03	-18.74	CaAl2Si2O8
Aragonite	1.24	-7.44	-8.68	CaCO3
Barite	-0.17	-9.76	-9.59	BaSO4
Ca-Montmorillonite	-0.18	-40.32	-40.13	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.36	-7.44	-8.80	CaCO3
Cerrusite	-3.25	-15.97	-12.72	PbCO3
Chalcedony	0.40	-2.76	-3.16	SiO2
Chlorite(14A)	-8.62	47.06	55.68	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-6.68	21.27	27.96	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.33	-3.13	-1.81	CO2
Dolomite	-0.19	-18.08	-17.88	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	-0.19	4.70	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-73.97	-77.88	-3.92	FeS
Gibbsite	-0.86	5.34	6.20	Al(OH)3
Goethite	6.91	4.70	-2.21	FeOOH
Gypsum	-1.67	-6.34	-4.67	CaSO4:2H2O
H2(g)	-23.32	-26.62	-3.30	H2
H2O(g)	-0.63	-0.00	0.63	H2O
H2S(g)	-75.15	-76.53	-1.38	H2S
Halite	-6.17	-4.51	1.66	NaCl
Hausmannite	3.01	55.60	52.59	Mn3O4
Hematite	16.00	9.40	-6.59	Fe2O3
Illite	-0.65	-36.33	-35.68	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-6.20	-18.03	-11.83	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	0.69	-17.30	-17.99	KAlSi3O8
K-mica	4.82	12.55	7.73	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	0.70	5.17	4.48	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-73.23	-77.88	-4.65	FeS
Manganite	-2.92	22.42	25.34	MnOOH
Melanterite	-11.37	-13.21	-1.85	FeSO4:7H2O
O2(g)	-25.03	-28.14	-3.11	O2
Pb(OH)2	-3.38	3.60	6.98	Pb(OH)2
Pyrite	-120.16	-137.69	-17.53	FeS2
Pyrochroite	-4.44	10.76	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-1.84	34.08	35.92	MnO2
Quartz	0.72	-2.76	-3.48	SiO2
Rhodochrosite	2.45	-8.80	-11.25	MnCO3
Sepiolite	-5.27	9.59	14.86	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-9.07	9.59	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-3.22	-14.31	-11.10	FeCO3
SiO2(a)	-0.32	-2.76	-2.43	SiO2
Sulfur	-57.29	-53.21	4.09	S
Talc	-1.75	15.76	17.51	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.17	-10.87	-8.70	BaCO3

Örnek No: K-15 (İnhibitörlü)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-2.71	6.41	9.12	Al(OH)3
Albite	0.64	-15.71	-16.36	NaAlSi3O8
Alunite	-9.14	-13.73	-4.59	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-6.85	-14.50	-7.65	PbSO4
Anhydrite	-1.74	-6.33	-4.59	CaSO4
Anorthite	-1.04	-20.02	-18.98	CaAl2Si2O8
Aragonite	1.36	-7.21	-8.57	CaCO3
Barite	-0.04	-9.69	-9.65	BaSO4
Ca-Montmorillonite	1.61	-39.70	-41.32	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.49	-7.21	-8.69	CaCO3
Cerrusite	-2.56	-15.38	-12.82	PbCO3
Chalcedony	0.50	-2.76	-3.25	SiO2
Chlorite(14A)	-6.49	52.27	58.75	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-5.86	23.12	28.99	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.71	-3.44	-1.74	CO2
Dolomite	0.14	-17.55	-17.69	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	0.69	5.58	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-74.74	-78.66	-3.92	FeS
Gibbsite	-0.26	6.41	6.66	Al(OH)3
Goethite	7.50	5.58	-1.92	FeOOH
Gypsum	-1.70	-6.33	-4.63	CaSO4:2H2O
H2(g)	-23.88	-27.14	-3.26	H2
H2O(g)	-0.84	-0.00	0.84	H2O
H2S(g)	-76.75	-78.04	-1.29	H2S
Halite	-6.16	-4.52	1.64	NaCl
Hausmannite	2.81	57.44	54.64	Mn3O4
Hematite	17.12	11.15	-5.97	Fe2O3
Illite	1.30	-35.49	-36.79	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-5.02	-16.22	-11.20	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	1.82	-16.79	-18.61	KAlSi3O8
K-mica	7.09	16.02	8.93	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	2.11	7.30	5.19	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-74.01	-78.66	-4.65	FeS
Manganite	-2.21	23.13	25.34	MnOOH
Melanterite	-11.05	-12.97	-1.93	FeSO4:7H2O
O2(g)	-26.68	-29.76	-3.08	O2
Pb(OH)2	-2.75	4.51	7.26	Pb(OH)2
Pyrite	-121.72	-139.48	-17.76	FeS2
Pyrochroite	-4.01	11.19	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-2.18	35.07	37.24	MnO2
Quartz	0.84	-2.76	-3.60	SiO2
Rhodochrosite	2.52	-8.70	-11.22	MnCO3
Sepiolite	-4.26	10.82	15.08	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-7.84	10.82	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-2.80	-13.85	-11.05	FeCO3
SiO2(a)	-0.26	-2.76	-2.50	SiO2
Sulfur	-58.44	-54.16	4.28	S
Talc	-0.84	17.61	18.45	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-1.94	-10.57	-8.63	BaCO3

Örnek No: K-19 (inhibitörsüz)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-2.06	8.11	10.16	Al(OH)3
Albite	0.70	-16.68	-17.38	NaAlSi3O8
Alunite	-4.39	-7.00	-2.61	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-6.62	-14.35	-7.74	PbSO4
Anhydrite	-1.70	-6.12	-4.42	CaSO4
Anorthite	-1.66	-21.09	-19.44	CaAl2Si2O8
Aragonite	0.73	-7.68	-8.41	CaCO3
Barite	0.11	-9.72	-9.83	BaSO4
Ca-Montmorillonite	3.51	-40.12	-43.63	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	0.86	-7.68	-8.54	CaCO3
Cerrusite	-2.90	-15.91	-13.01	PbCO3
Chalcedony	0.58	-2.86	-3.44	SiO2
Chlorite(14A)	-15.33	49.41	64.74	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-11.65	19.34	30.99	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.26	-2.83	-1.58	CO2
Dolomite	-1.41	-18.72	-17.32	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	1.32	6.21	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-64.78	-68.70	-3.92	FeS
Gibbsite	0.55	8.11	7.56	Al(OH)3
Goethite	7.56	6.21	-1.35	FeOOH
Gypsum	-1.53	-6.12	-4.59	CaSO4:2H2O
H2(g)	-22.68	-25.87	-3.19	H2
H2O(g)	-1.26	-0.00	1.26	H2O
H2S(g)	-68.42	-69.53	-1.11	H2S
Halite	-6.31	-4.70	1.60	NaCl
Hausmannite	-4.51	54.11	58.61	Mn3O4
Hematite	17.16	12.42	-4.75	Fe2O3
Illite	2.50	-36.46	-38.95	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-2.74	-12.70	-9.96	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	2.07	-17.77	-19.83	KAlSi3O8
K-mica	8.83	20.10	11.28	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	3.91	10.50	6.59	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-64.05	-68.70	-4.65	FeS
Manganite	-3.52	21.82	25.34	MnOOH
Melanterite	-8.09	-10.19	-2.10	FeSO4:7H2O
O2(g)	-34.48	-37.48	-3.00	O2
Pb(OH)2	-4.33	3.48	7.81	Pb(OH)2
Pyrite	-104.16	-122.37	-18.21	FeS2
Pyrochroite	-4.72	10.48	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-6.66	33.16	39.82	MnO2
Quartz	0.98	-2.86	-3.84	SiO2
Rhodochrosite	2.24	-8.92	-11.16	MnCO3
Sepiolite	-7.37	8.13	15.50	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-10.53	8.13	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-0.79	-11.74	-10.95	FeCO3
SiO2(a)	-0.23	-2.86	-2.63	SiO2
Sulfur	-51.50	-46.85	4.65	S
Talc	-6.66	13.62	20.29	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.72	-11.28	-8.56	BaCO3

Örnek No: K-19 (inhibitörlü)

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-2.44	6.98	9.42	Al(OH)3
Albite	0.26	-16.39	-16.65	NaAlSi3O8
Alunite	-7.18	-11.20	-4.02	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-6.73	-14.41	-7.68	PbSO4
Anhydrite	-1.63	-6.16	-4.53	CaSO4
Anorthite	-1.40	-20.51	-19.11	CaAl2Si2O8
Aragonite	1.13	-7.39	-8.51	CaCO3
Barite	-0.05	-9.75	-9.70	BaSO4
Ca-Montmorillonite	2.03	-39.96	-41.99	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.26	-7.39	-8.64	CaCO3
Cerrusite	-2.76	-15.64	-12.88	PbCO3
Chalcedony	0.44	-2.87	-3.31	SiO2
Chlorite(14A)	-10.42	50.08	60.49	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-8.47	21.09	29.57	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.44	-3.13	-1.69	CO2
Dolomite	-0.47	-18.05	-17.58	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	0.90	5.79	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-70.03	-73.95	-3.92	FeS
Gibbsite	0.06	6.98	6.92	Al(OH)3
Goethite	7.55	5.79	-1.75	FeOOH
Gypsum	-1.54	-6.16	-4.62	CaSO4:2H2O
H2(g)	-23.20	-26.44	-3.24	H2
H2O(g)	-0.96	-0.00	0.96	H2O
H2S(g)	-72.72	-73.95	-1.23	H2S
Halite	-6.33	-4.70	1.63	NaCl
Hausmannite	0.04	55.83	55.79	Mn3O4
Hematite	17.20	11.58	-5.61	Fe2O3
Illite	1.34	-36.08	-37.42	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-3.92	-14.76	-10.84	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	1.49	-17.48	-18.97	KAlSi3O8
K-mica	7.35	16.96	9.61	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	2.63	8.23	5.60	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-69.30	-73.95	-4.65	FeS
Manganite	-2.86	22.48	25.34	MnOOH
Melanterite	-9.70	-11.67	-1.97	FeSO4:7H2O
O2(g)	-29.61	-32.66	-3.06	O2
Pb(OH)2	-3.45	3.97	7.42	Pb(OH)2
Pyrite	-113.52	-131.41	-17.89	FeS2
Pyrochroite	-4.32	10.88	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-3.91	34.08	37.99	MnO2
Quartz	0.80	-2.87	-3.67	SiO2
Rhodochrosite	2.48	-8.73	-11.20	MnCO3
Sepiolite	-5.92	9.28	15.20	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-9.38	9.28	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-1.88	-12.90	-11.02	FeCO3
SiO2(a)	-0.33	-2.87	-2.54	SiO2
Sulfur	-55.14	-50.75	4.39	S
Talc	-3.62	15.36	18.99	Mg3Si4O10(OH)2
Witherite	-2.37	-10.97	-8.60	BaCO3

Örnek No: 34 Caferbey sulama suyu

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-1.48	9.16	10.64	Al(OH)3
Albite	-1.67	-19.51	-17.84	NaAlSi3O8
Alunite	-2.66	-4.36	-1.71	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-6.14	-13.92	-7.78	PbSO4
Anhydrite	-1.71	-6.08	-4.37	CaSO4
Anorthite	-2.4	-22.04	-19.64	CaAl2Si2O8
Aragonite	0.35	-8	-8.35	CaCO3
Barite	0.24	-9.7	-9.93	BaSO4
Ca-Montmorillonite	2.71	-41.96	-44.67	
Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2				
Calcite	0.5	-8	-8.49	CaCO3
Cd(OH)2	-9.46	4.19	13.65	Cd(OH)2
CdSiO3	-8.31	0.65	8.96	CdSiO3
CdSO4	-13.24	-13.43	-0.19	CdSO4
Celestite	-1.99	-8.63	-6.64	SrSO4
Cerrusite	-2.73	-15.83	-13.1	PbCO3
Chalcedony	-0.02	-3.54	-3.52	SiO2
Chlorite(14A)	-2.93	64.52	67.46	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-4.87	27.02	31.89	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.39	-2.89	-1.5	CO2
Dolomite	0.98	-16.17	-17.15	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	-0.22	4.67	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-62.68	-66.6	-3.92	FeS
Gibbsite	1.18	9.16	7.97	Al(OH)3
Goethite	5.76	4.67	-1.09	FeOOH
Gypsum	-1.5	-6.08	-4.58	CaSO4:2H2O
H2(g)	-22.2	-25.36	-3.16	H2
H2O(g)	-1.45	0	1.45	H2O
H2S(g)	-65.2	-66.23	-1.02	H2S
Halite	-7.22	-5.63	1.59	NaCl
Hausmannite	-11.73	48.69	60.42	Mn3O4
Hematite	13.55	9.35	-4.2	Fe2O3
Illite	1.96	-37.98	-39.93	
K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2				
Jarosite-K	-8.4	-17.81	-9.4	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	-0.07	-20.46	-20.39	KAlSi3O8
K-mica	7.92	20.26	12.34	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	4.01	11.23	7.22	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-61.95	-66.6	-4.65	FeS
Manganite	-5.41	19.93	25.34	MnOOH
Melanterite	-8.9	-11.08	-2.18	FeSO4:7H2O
O2(g)	-37.89	-40.86	-2.97	O2
Otavite	-3.24	-15.34	-12.1	CdCO3
Pb(OH)2	-4.36	3.7	8.06	Pb(OH)2
Pyrite	-99.12	-117.53	-18.41	FeS2
Pyrochroite	-6.37	8.83	15.2	Mn(OH)2
Pyrolusite	-9.95	31.03	40.98	MnO2
Quartz	0.41	-3.54	-3.94	SiO2
Rhodochrosite	0.43	-10.71	-11.14	MnCO3
Sepiolite	-3.58	12.12	15.69	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-6.54	12.12	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-2.09	-13	-10.91	FeCO3
SiO2(a)	-0.85	-3.54	-2.69	SiO2
Smithsonite	-2.11	-12.13	-10.03	ZnCO3

Örnek No: 38 Caferbey-1 Jeotermal Kuyu

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Anhydrite	-2.46	-7.60	-5.14	CaSO4
Aragonite	1.46	-7.56	-9.02	CaCO3
Calcite	1.56	-7.56	-9.12	CaCO3
Chalcedony	0.47	-2.46	-2.93	SiO2
Chrysotile	7.69	33.23	25.54	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.13	-3.07	-1.94	CO2
Dolomite	3.90	-14.43	-18.33	CaMg(CO3)2
Gypsum	-2.81	-7.60	-4.79	CaSO4:2H2O
H2(g)	-23.60	-26.98	-3.38	H2
H2O(g)	-0.13	-0.00	0.13	H2O
H2S(g)	-80.14	-81.74	-1.60	H2S
Halite	-5.92	-4.21	1.70	NaCl
O2(g)	-18.00	-21.20	-3.20	O2
Quartz	0.73	-2.46	-3.19	SiO2
Sepiolite	3.69	18.04	14.36	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-0.62	18.04	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
SiO2(a)	-0.19	-2.46	-2.27	SiO2
Sulfur	-61.78	-58.14	3.64	S
Talc	12.98	28.30	15.32	Mg3Si4O10(OH)2



Örnek No: 40 Sart-Çamur Kaplıcası atık suyu

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-1.34	8.36	9.69	Al(OH)3
Albite	0.12	-16.81	-16.92	NaAlSi3O8
Alunite	-0.75	-4.25	-3.5	KAl3(SO4)2(OH)6
Anhydrite	-1.68	-6.16	-4.48	CaSO4
Anorthite	-1.41	-20.64	-19.23	CaAl2Si2O8
Aragonite	0.09	-8.38	-8.47	CaCO3
Barite	-0.47	-10.21	-9.74	BaSO4
Ca-Montmorillonite	4.79	-37.80	-42.59	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	0.22	-8.38	-8.6	CaCO3
Chalcedony	0.57	-2.78	-3.35	SiO2
Chlorite(14A)	-6.94	55.12	62.06	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-7.61	22.48	30.09	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-0.26	-1.92	-1.65	CO2
Dolomite	0.04	-17.45	-17.48	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	-2.13	2.77	4.89	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-58.73	-62.64	-3.92	FeS
Gibbsite	1.2	8.36	7.16	Al(OH)3
Goethite	4.37	2.77	-1.6	FeOOH
Gypsum	-1.56	-6.17	-4.6	CaSO4:2H2O
H2(g)	-20.66	-23.88	-3.22	H2
H2O(g)	-1.07	0	1.07	H2O
H2S(g)	-59.76	-60.95	-1.19	H2S
Halite	-7.04	-5.42	1.62	NaCl
Hausmannite	-15.62	41.21	56.83	Mn3O4
Hematite	10.83	5.53	-5.3	Fe2O3
Illite	3.56	-34.43	-37.98	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-10.51	-21.03	-10.52	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	1.46	-17.83	-19.29	KAlSi3O8
K-mica	9.57	19.8	10.23	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	5.19	11.15	5.96	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-57.99	-62.64	-4.65	FeS
Manganite	-8.16	17.18	25.34	MnOOH
Melanterite	-9.13	-11.15	-2.02	FeSO4:7H2O
O2(g)	-36.1	-39.14	-3.04	O2
Pyrite	-91.67	-109.68	-18.01	FeS2
Pyrochroite	-8.35	6.85	15.2	Mn(OH)2
Pyrolusite	-11.15	27.51	38.66	MnO2
Quartz	0.95	-2.78	-3.73	SiO2
Rhodochrosite	-0.37	-11.56	-11.19	MnCO3
Sepiolite	-4.96	10.35	15.31	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sphalerite	-54.16	-65.73	-11.57	ZnS
Strontianite	-1.27	-10.54	-9.27	SrCO3
Sulfur	-48.85	-44.03	4.82	S
Talc	-1.17	19.94	21.12	Mg3Si4O10(OH)2
Willemite	-3.86	11.27	15.13	Zn2SiO4
Witherite	-3.05	-11.61	-8.56	BaCO3
Zn(OH)2(e)	-4.1	7.4	11.5	Zn(OH)2

Örnek No: 41 Sart-Çamur Kaplıcası atık suyu

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Al(OH)3(a)	-1.92	8.06	9.99	Al(OH)3
Albite	0.11	-17.10	-17.21	NaAlSi3O8
Alunite	-6.67	-9.61	-2.94	KAl3(SO4)2(OH)6
Anglesite	-6.07	-13.79	-7.72	PbSO4
Anhydrite	-1.89	-6.33	-4.44	CaSO4
Anorthite	-0.70	-20.06	-19.36	CaAl2Si2O8
Aragonite	0.94	-7.49	-8.43	CaCO3
Barite	-0.50	-10.29	-9.79	BaSO4
Ca-Montmorillonite	2.90	-40.34	-43.24	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	1.07	-7.49	-8.56	CaCO3
Cd(OH)2	-7.17	6.48	13.65	Cd(OH)2
CdSiO3	-5.18	3.37	8.55	CdSiO3
CdSO4	-12.09	-12.64	-0.55	CdSO4
Celestite	-2.24	-8.92	-6.68	SrSO4
Cerrusite	-1.97	-14.95	-12.98	PbCO3
Chalcedony	0.29	-3.12	-3.41	SiO2
Chlorite(14A)	4.61	68.35	63.74	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	0.05	30.71	30.65	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-2.14	-3.75	-1.61	CO2
Dolomite	1.92	-15.46	-17.38	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	0.58	5.47	4.89	Fe(OH)3
Gibbsite	0.65	8.06	7.41	Al(OH)3
Goethite	6.91	5.47	-1.44	FeOOH
Gypsum	-1.74	-6.33	-4.59	CaSO4:2H2O
H2(g)	-23.60	-26.80	-3.20	H2
H2O(g)	-1.19	-0.00	1.19	H2O
H2S(g)	-73.79	-74.93	-1.14	H2S
Halite	-6.93	-5.32	1.61	NaCl
Hausmannite	-6.27	51.67	57.95	Mn3O4
Hematite	15.89	10.94	-4.95	Fe2O3
Illite	2.82	-35.77	-38.59	K0.6Mg0.25Al2.3Si3.5O10(OH)2
Jarosite-K	-7.22	-17.39	-10.17	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	1.42	-18.21	-19.63	KAlSi3O8
K-mica	8.41	19.30	10.88	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	3.54	9.89	6.35	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-70.68	-75.33	-4.65	FeS
Manganite	-4.18	21.16	25.34	MnOOH
Melanterite	-10.67	-12.74	-2.07	FeSO4:7H2O
O2(g)	-31.74	-34.75	-3.02	O2
Otavite	-1.70	-13.80	-12.10	CdCO3
Pb(OH)2	-2.38	5.34	7.72	Pb(OH)2
Pyrite	-115.31	-133.45	-18.13	FeS2
Pyrochroite	-5.84	9.36	15.20	Mn(OH)2
Pyrolusite	-6.43	32.96	39.39	MnO2
Quartz	0.68	-3.12	-3.80	SiO2
Rhodochrosite	0.25	-10.93	-11.17	MnCO3
Sepiolite	-0.16	15.28	15.43	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-3.38	15.28	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	-2.93	-13.89	-10.97	FeCO3
SiO2(a)	-0.51	-3.12	-2.61	SiO2
Smithsonite	-1.40	-11.53	-10.13	ZnCO3
Sphalerite	-61.60	-72.97	-11.37	ZnS
Strontianite	-0.78	-10.08	-9.30	SrCO3
Sulfur	-55.92	-51.33	4.59	S
Talc	4.49	24.47	19.98	Mg3Si4O10(OH)2
Willemite	0.08	14.38	14.31	Zn2SiO4
Witherite	-2.88	-11.45	-8.57	BaCO3

Örnek No: 46 Sera Termal Suyu-2

Faz	SI	log IAP	log KT	Formül
Albite	2.48	-15.85	-18.33	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Alunite	1.64	0.87	-0.77	KAl <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>
Anglesite	-6.82	-14.63	-7.82	PbSO <sub>4</sub>
Anhydrite	-2.75	-7.09	-4.34	CaSO <sub>4</sub>
Anorthite	-1.24	-21.10	-19.86	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>
Aragonite	-1.08	-9.38	-8.31	CaCO <sub>3</sub>
Barite	0.38	-9.67	-10.05	BaSO <sub>4</sub>
Ca-Montmorillonite	7.57	-38.19	-45.76	Ca <sub>0.165</sub> Al <sub>2.33</sub> Si <sub>3.67</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Calcite	-0.93	-9.38	-8.45	CaCO <sub>3</sub>
Cd(OH) <sub>2</sub>	-9.76	3.89	13.65	Cd(OH) <sub>2</sub>
CdSiO <sub>3</sub>	-8.18	1.09	9.27	CdSiO <sub>3</sub>
CdSO <sub>4</sub>	-13.13	-13.05	0.08	CdSO <sub>4</sub>
Celestite	-0.33	-6.96	-6.62	SrSO <sub>4</sub>
Cerrusite	-3.74	-16.93	-13.19	PbCO <sub>3</sub>
Chalcedony	0.81	-2.80	-3.61	SiO <sub>2</sub>
Chlorite (14A)	-10.58	59.69	70.27	Mg <sub>5</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
Chrysotile	-10.20	22.63	32.83	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
CO <sub>2</sub> (g)	-1.07	-2.48	-1.41	CO <sub>2</sub>
Dolomite	-2.23	-19.21	-16.97	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	1.78	6.67	4.89	Fe(OH) <sub>3</sub>
FeS(ppt)	-57.81	-61.73	-3.92	FeS
Gibbsite	2.13	10.52	8.40	Al(OH) <sub>3</sub>
Goethite	7.49	6.67	-0.82	FeOOH
Gypsum	-2.51	-7.09	-4.58	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> (g)	-22.00	-25.13	-3.13	H <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> O(g)	-1.64	-0.00	1.64	H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> S(g)	-62.59	-63.53	-0.94	H <sub>2</sub> S
Halite	-6.05	-4.48	1.57	NaCl
Hausmannite	-18.60	43.69	62.29	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Hematite	16.96	13.34	-3.62	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Illite	6.26	-34.69	-40.95	K <sub>0.6</sub> Mg <sub>0.25</sub> Al <sub>2.3</sub> Si <sub>3.5</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Jarosite-K	-1.87	-10.69	-8.82	KFe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>
K-feldspar	3.07	-17.89	-20.96	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
K-mica	12.90	26.35	13.45	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Kaolinite	7.56	15.44	7.88	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
Mackinawite	-57.08	-61.73	-4.65	FeS
Manganite	-7.11	18.23	25.34	MnOOH
Melanterite	-5.86	-8.13	-2.27	FeSO <sub>4</sub> :7H <sub>2</sub> O
O <sub>2</sub> (g)	-40.83	-43.77	-2.94	O <sub>2</sub>
Otavite	-3.24	-15.34	-12.10	CdCO <sub>3</sub>
Pb(OH) <sub>2</sub>	-6.02	2.31	8.32	Pb(OH) <sub>2</sub>
Pyrite	-91.65	-110.27	-18.62	FeS <sub>2</sub>
Pyrochroite	-7.97	7.23	15.20	Mn(OH) <sub>2</sub>
Pyrolusite	-12.97	29.23	42.19	MnO <sub>2</sub>
Quartz	1.25	-2.80	-4.06	SiO <sub>2</sub>
Rhodochrosite	-0.89	-12.00	-11.11	MnCO <sub>3</sub>
Sepiolite	-5.48	10.42	15.89	Mg <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>7</sub> .5OH:3H <sub>2</sub> O
Sepiolite(d)	-8.24	10.42	18.66	Mg <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>7</sub> .5OH:3H <sub>2</sub> O
Siderite	0.43	-10.42	-10.86	FeCO <sub>3</sub>
SiO <sub>2</sub> (a)	-0.05	-2.80	-2.75	SiO <sub>2</sub>
Sepiolite(d)	-8.31	10.35	18.66	Mg <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>7</sub> .5OH:3H <sub>2</sub> O
Siderite	-2.37	-13.36	-10.99	FeCO <sub>3</sub>
SiO <sub>2</sub> (a)	-0.21	-2.78	-2.57	SiO <sub>2</sub>
Sulfur	-44.78	-40.29	4.49	S
Talc	-2.54	16.92	19.46	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Witherite	-3.85	-12.43	-8.58	BaCO <sub>3</sub>