

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

**ALAŞEHİR (MANİSA)**  
**SICAK VE SOĞUK SU SİSTEMLERİNİN**  
**HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL**  
**AÇIDAN İNCELENMESİ**

**Ali BÜLBÜL**

**Aralık, 2009**

**İZMİR**

**ALAŞEHİR (MANİSA) SICAK VE SOĞUK SU  
SİSTEMLERİNİN  
HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL  
AÇIDAN İNCELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Doktora Tezi**

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

**Ali BÜLBÜL**

**Aralık, 2009**

**İZMİR**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**ALİ BÜLBÜL**, tarafından **PROF. DR. GÜLTEKİN TARCAN** yönetiminde hazırlanan “**ALAŞEHİR (MANİSA) SICAK VE SOĞUK SU SİSTEMLERİNİN HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL AÇIDAN İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Gültekin Tarcan

Danışman

Prof. Dr. Şakir Şimşek

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Kadir Yurdakoç

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Doç. Dr. Ünsal Gemici

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Alper Baba

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Doktora tezi kapsamında hazırlanmıştır. Bu çalışma TÜB/106Y160 nolu proje tarafından desteklenmiştir. Doktora tezim süresince bana sabır ve özveri ile bilimsel ve insani her türlü konuda destek olan ayrıca bilgiyi ve sevgiyi paylaşmayı da öğrendiğim çok değerli hocam ve doktora tez danışmanım Prof. Dr. Gültekin Tarcan'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kendime bilimsel konuda örnek aldığım ve kuyu hidroliği, yas akımı modellemesi ve kirlilik taşınımı konusunda engin bilgilerinden istifade ettiğim, tezime dispersiyon-adveksiyon hesabında önemli katkılarda bulunan çok değerli hocam Prof. Dr. Yüksek Kemal Birsoy'a sonsuz teşekkürler.

Tezimde savunmadan sonra bana vakit ayırarak eksiklerimi tamamlayan ve tezime bizatihi katkıda bulunan, kıymetli hocam Prof. Dr. Şakir Şimşek'e çok teşekkür ediyorum.

Tez izleme sınavlarım boyunca, fikir ve görüşleri ile katkıda bulunan, Doç. Dr. Ünsal Gemici'ye özellikle teşekkür ederim.

Doktora tez izleme sınavlarımı büyük bir ciddiyetle takip ederek tezimin olgunlaşmasını sağlayan Prof. Dr. Kadir Yurdakoç'a çok teşekkür ediyorum. Doç. Dr. Alper Baba'ya tezimle ilgili görüş ve önerileri için teşekkürler.

Arazi ve laboratuvar çalışmalarımın her aşamasında birlikte çalıştığımız, proje partnerim Dr. Tuğbanur Özen'e çok teşekkür ederim.

İngilizce kontrol, düzeltme ve yardımlarından dolayı, arkadaşlarım Jeo. Yük. Müh. Alper Sakitaş'a ve Araş. Gör. Sefer Beran Çelik'e çok teşekkürler.

Referans bulma konusundaki yardımlarından ve bilimsel katkısından dolayı Prof. Dr. Rezzan Birsoy'a ve Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz'a teşekkürler.

Arkadaşım Dr. Cem Kıncal'a, tezim boyunca yaptığı katkılardan dolayı (Mapinfo programı, Coreldraw, Surfer, Globalmapper, Verticalmapper gibi programları kullanmakta yardımcı olması, verdiği dijital ve zimmetli haritalar, sağladığı veritabanı) teşekkür ederim.

Bilimsel tartışma ve fikirlerinden de yararlandığım aynı zamanda manevi desteğini benden eksik etmemiş olan arkadaşım Jeo. Yük. Müh. Cihan Güneş'e ve Yrd. Doç. Dr. Tahir Kemal Erdem'e, tezimin excell grafik aşamasındaki büyük yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

Benimle birlikte arazime gelerek tezime arazi aşamasında katkıda bulunan ve özellikle Mapinfo programı ile ilgili yardımcı olan ve bana her konuda destek veren arkadaşım Araş. Gör. Ozan Deniz'e içtenlikle teşekkür ederim.

Tezimin hidroloji konusunda bilimsel destek veren Yrd. Doç. Dr. Okan Fıstıkoğlu'na sonsuz teşekkürler.

Doç. Dr. Hasan Sözbilir'e tektonik konusunda tezime koyduğu katkılardan, fikirlerden ve verdiği tüm referanslardan dolayı çok teşekkür ederim.

Bilgisayar programlama konusunda danışıp yardım aldığım Dr. Şenol Özyalın'a ve arazi bilgilerini paylaştığı için Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali Danışman'a ve Global mapper programındaki yardımlarından dolayı Dr. Mete Çetinkaplan'a teşekkürler.

Tezimin düzenleme aşamasındaki yardımından dolayı DEÜ. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümü öğrencilerinden İskender İskenderoğlu'na aynı zamanda arazi ve büro çalışmalarına kendileri öğrenci iken katkıda bulunan jeoloji mühendislerinden Gürhan Abak, Neslihan Pala, Cemil Sezer ve Soner Cenk'e teşekkürler.

Gerek bilgisayar programları konusunda yardım aldığım ve gerek bilimsel tartışmalar yaptığımız arkadaşım Araş. Gör. Toygar Akar'a, verdiği referanslar ve paylaştığı bilgiler için Dr. Murat Tokçae'r'e ayrıca arkadaşım Araş. Gör. Dr. Melis Somay'a, verdiği referanslar ve görev paylaşımındaki anlayışı için teşekkürler.

Prof. Dr. Yılmaz Savaşın'a, yaz okulu için ve Prof. Dr. Niyazi Aksoy'a izleyici tecrübelerini paylaştığı için teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca jeoloji kısmını inceleyerek gerekli referansları veren Araş. Gör. Ökmen Sümer ve Araş. Gör. Özgür Karaoğlu'na teşekkür ederim. Bilgi paylaşımı ve referanslar için, Jeo. Yük Müh. Çetin Karahan (Mta-İzmir), Jeo. Yük. Müh. İsmail Hakkı Karamanderesi, Jeo. Yük. Müh. Alim Murathan (Dsi- İzmir), rasat uzmanı Refai Çelik(Dsi-İzmir), Meteoroloji Yük. Müh. Ekrem Özer(Dsi-İzmir), uzaktan algılama programlarında yardımcı olan Dr. Hüsnü Eronat'a ayrıca teşekkür ederim. Verdikleri referanslardan dolayı, Prof. Dr. Tahir Emre'ye, Yrd. Doç. Dr. Cüneyt Akal, Yrd. Doç. Dr. Ersin Koralay'a, Yrd. Doç. Dr. Alev Baykal'a, Araş. Gör. Hakan Elçi'ye, Araş. Gör. Zahide Deniz'e ve arkadaşım Jeoloji Yüksek Mühendisi Bora Çanga'ya teşekkürler.

Prof. Dr. Serdar Bayarı, Dr. Naciye Nur Özyurt ve Hacettepe izotop laboratuvarı çalışanlarını tezimin lab. aşamasında gösterdikleri özenden dolayı teşekkürler.

Araş. Gör. Hüseyin Karakuş'a bilgi paylaşımı için, Araş. Gör. Seher Sarı'ya, sınav ve nöbetçilik dağılımında gösterdiği anlayış için, Araş. Gör. Taner Bulut'a, Alaşehir'in tarihi hakkında verdiği bilgiler için teşekkürler.

Kurum olarak, Devlet Su İşlerine, İller Bankasına, Devlet Meteoroloji Müdürlüğüne, Maden Tetkik Arama Enstitüsüne ayrıca teşekkürler.

DEÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Öğrenci İşleri çalışanlarına, tez teslim işlemlerinde göstermiş oldukları ilgi ve yardımlardan dolayı özellikle teşekkür ederim. Ayrıca

tezimin oluşması aşamasında yardımcı olan ancak yazmayı unutmuş olabileceğim kişilerden özür diler ve onlara da teşekkür ederim.

Hayatın her aşamasında iyi kötü her şeyi birlikte paylaşıp bana destek olduğu gibi tezimin de her aşamasında büyük bir özveri ile bana her türlü yardımı yaparak çizim ve yazım aşamasından tez düzenleme aşamasına kadar çok büyük destek olan ayrıca jeoloji bölümünde önemli bilimsel katkı koyan ve bana sabır ve anlayış gösteren sevgili eşim Jeo. Yük. Müh. Mihriban Bülbül ve bize anlayış ve sabır gösterip moral kaynağımız olan biricik oğlum Ali Emir'e ve manevi yönden bana destek veren, görüş ve önerileri ile istikamet veren büyüğüm Hulusi Ulaş'a ve sevgili annem ve babama sonsuz teşekkürler ederim.

Ali BÜLBÜL

# ALAŞEHİR (MANİSA) SICAK VE SOĞUK SU SİSTEMLERİNİN HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL AÇIDAN İNCELENMESİ

## ÖZ

Alaşehir jeotermal alanı, Türkiye'nin batısındaki Gediz Grabeni'nin güney kısmında yer alan, Türkiye'nin önemli jeotermal alanlarından. Paleozoyik Menderes Masifi Metamorfizmaları'nın kırıklı çatlaklı zonları jeotermal sistemin rezervuar kayacıdır. Neojen karasal sedimanlar olan Göbekli ve Acıdere birimleri içindeki killi ve siltli, geçirimsiz seviyeler örtü kayaçlardır. Sıcak suyun basınçlı jeotermal akiferden itibaren yukarı çıkarak yüzeye ya da alüvyondaki soğuk su akiferine karışması, geometrik fay segmentlerinin, sıçrama yaparak porozite ve permeabiliteyi arttırmasına bağlıdır. Sonuç olarak, alüvyon akiferdeki soğuk yeraltı suyu kullanımı açısından kalite kaybına uğramaktadır. Alaşehir bölgesi jeotermal sahaları coğrafik olarak 5 gruba ayrılmaktadır; 1. Alaşehir Jeotermal Sahası, 2. Horzumsazdere Jeotermal Sahası, 3. Kavaklıdere-Kurudere Jeotermal Sahası, 4. Göbekli Jeotermal Sahası ve 5. Acıdere Jeotermal Sahası. Kaynak ve termal su kuyularında ölçülen boşalım sıcaklıkları 57 santigrad derece'yi geçmemesine rağmen KG-1 (no 5) ve AK-2 (no 38) termal kuyularında ölçülen kuyu dibi sıcaklığı 182 santigrad derece ve 213 santigrad derece'dir. IAH (Uluslararası Hidrojeoloji Birliği)'a göre, sıcak suların çoğu sodyum-bikarbonat ve magnezyum-sodyum-bikarbonat tipindedir. Sıcak sulardaki bor konsantrasyonu en fazla 124 ppm'dir. Silis karışım modeli için hesaplanan, hazne kaya sıcaklıkları 100 santigrad derece ve 250 santigrad derece arasında, hesaplanan soğuk su karışım oranı, yüzde yetmişbeş ile yüzde doksan arasında olup, silis entalpi diyagramından hesaplanan hazne kaya sıcaklığı ise 231,5 santigrad derece'yi göstermektedir. Sıcak sular için, Doygunluk İndeksleri'nin sıcaklıkla değişim grafikleri incelendiğinde, yaklaşık hazne kaya sıcaklıklarının 140 santigrad derece ile 180 santigrad derece arasında değiştiği görülebilir. Kuvars, Kalsedon, Amorf Silis soğuma sırasında kabuklaşmaya eğilimindedir. İzotop verileri, yöre sularının meteorik kökenli olduğunu gösterir. Tritiyum değerleri çoğunlukla 0-5 TU (trityum birimi) arasında olup, yaklaşık 40 yıl önceki yağış sularının egemen olduğu suların özelliklerini yansıtmaktadır. Hiç bir



izotop değeri mağmatik kökeni yansıtmmaktadır. En fazla oksijen-18 zenginleşmesi AK-2 ve KG-1 kuyusunda bulunmaktadır. Toprak kirliliği jeotermal ve tarımsal kökenli olmakla birlikte bazı bölgelerde, sülfatlı cevherlerin bulunduğu akiferlerde açılan kuyulardan sulama yapılmasına bağlanabilir.

**Anahtar kelimeler:** Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, Jeotermal Sistem, İzotoplar, Kabuklaşma.

# **HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF HOT AND COLD WATER SYSTEMS OF ALASEHIR (MANISA)**

## **ABSTRACT**

Alasehir Geothermal Fields, where is located in the southern part of Gediz Graben in western Turkey, are one of the most important fields in Turkey. Faults and fracture zones on the metamorphic rocks of Paleozoic Menderes Massif constitute reservoir rocks of the geothermal system. Impermeable clayey and silty levels of Gobekli and Acidere Units, which are terrestrial sediments of Neogene, are cap rocks. That hot waters ascend from the geothermal confined aquifer to the surface and mix with cold waters in the alluvium aquifer that depends on an increase in porosity and permeability due to the step-over of geometric fault segments. Consequently, water use for irrigational and drinking purposes gives way to loss water quality of cold waters in the alluvium aquifer. Alasehir geothermal fields are geographically divided into five groups; 1-Alasehir Geothermal Field, 2. Horzumsazdere Geothermal Field, 3. Kavaklıdere-Kurudere Geothermal Field, 4. Gobekli Geothermal Field and 5. Acidere Geothermal Field. Although discharge temperatures measured on spa and thermal water wells are no more than 57 celcius degrees, 182 celcius degrees and 213 celcius degrees were measured at the bottom of KG-1 (numbered 5) and AK-2 (numbered 38) thermal wells. According to the IAH (International Association of Hydrogeology) classification, most of hot waters are sodium-bicarbonate and magnesium-sodium-bicarbonate in type. Hot waters have a maximum value of boron concentration as 124 ppm. It is obtained that estimated reservoir rock temperature vary between 100 degrees of celcius and 250 degrees of celcius and estimated mixing ratio of cold waters vary between 75 percentage and 97 percentage using silica mixing model in both. The diagram of silica enthalpy shows the reservoir temperature as 231.5 celcius degrees. Quartz, chalcedony and amorphous silica tend to experience scaling during the quenching. Isotopic data indicate that regional waters are meteorical in origin. Tritium values often vary between 0 and 5 TU (tritium unit), and reflect waters genetically dominated by rain waters with an age of about 40 years ago. Any isotopic value does not demonstrate a magmatic origin. The

most enrichments in oxygen-18 are observed at the wells of AK-2 ve KG-1. Although soil pollution is resulted from geothermal activity and agriculture, it may be also attributed to irrigational purposes at the wells on aquifers where they bear sulphate deposits.

**Keywords:** Alasehir, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Geothermal System, Isotopes, Scaling.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	vii
ABSTRACT .....	ix
<b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Amaç ve Kapsam.....	4
<b>BÖLÜM İKİ - ÖRNEKLEME VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>7</b>
2.1 Örneklem Yöntemi .....	7
2.1.1 Kimyasal ve İzotopik Analizler için Yapılan Su Örneklemesi.....	7
2.1.2 Sediman ve Toprak Örneklemesi .....	8
2.2 Ölçüm Yöntemleri .....	8
2.2.1 Arazide Fiziksel Parametrelerin Ölçüm Yöntemleri .....	9
2.2.1.1 Sıcaklık, Eh, ph, EC Ölçümleri.....	9
2.2.1.2 Karbonat Türlerinin Analizi (Alkalinite, Asidite) .....	10
2.2.1.3 Hidrojen Sülfid Analizi.....	11
2.3 Laboratuarda Ölçüm Yöntemleri.....	11
2.3.1 ICP-MS Yöntemi ile Suların Kimyasal Analizleri .....	11
2.3.2 Gravimetri (Çöktürme) Yöntemi ile Sülfat Analizi.....	12
2.3.3 İzotop Analiz Yöntemi .....	14
<b>BÖLÜM ÜÇ – JEOLojİ.....</b>	<b>15</b>
3.1 Stratigrafi.....	15
3.1.1 Menderes Masifi Metamorfikleri.....	15
3.1.2 Neojen-Kuvaterner Havza Dolgusu.....	18

3.1.2.1 Birinci Sedimenter Birim.....	18
3.1.2.2 İkinci Sedimenter Birim.....	19
3.1.2.3 Üçüncü Sedimenter Birim.....	20
3.1.2.4 Dördüncü Sedimenter Birim.....	22
3.2 Yapısal Jeoloji.....	24
<b>BÖLÜM - DÖRT HİDROLOJİ.....</b>	<b>26</b>
4.1 Yağışlar ve Sıcaklık.....	26
4.2 Su Bütçesi.....	27
4.3 Yüzey Suları ve Dere Akımları.....	29
4.4 Yeraltına Süzülme Hesabı.....	31
<b>BÖLÜM BEŞ – HİDROJEOLJİ.....</b>	<b>34</b>
5.1 Giriş.....	34
5.2 Kaya Birimlerinin Hidrojeolojik Özellikleri.....	38
5.3 Su Noktaları.....	39
5.4 Yeraltı Suyu Akım Yönünün Belirlenmesi.....	41
5.5 Homojen Kabul Edilen Belirli Alanlar İçin Akifer Parametrelerinin Bulunması.....	42
5.6 Hücre Alanlara Giren Çıkan Yeraltı Suyu Akımının ve Hızının Hesaplanması .....	46
<b>BÖLÜM ALTI - İZLEYİCİ DENEYLERİ.....</b>	<b>49</b>
6.1 Giriş.....	49
6.2 Seyrelme Deneyi Verilerinin Analizi ile Boyuna Dispersiyon Katsayısı ve Yeraltı Suyu Hızının Hesaplanması.....	58
6.3 İzleyicilerle Debi Ölçümü.....	60

## **BÖLÜM YEDİ - HİDROJEOKİMYA.....63**

7.1 Suların Kimyasal Özellikleri.....	63
7.2 Su Türleri ve Çözünmüş İyonlar Arasındaki İlişkilerin Değerlendirilmesi.....	75
7.3 Suların Kullanılabilirlik Özellikleri .....	78
7.4 Kimyasal Türleştirme, Akifer Kimyası ve Mineral Doygunluk Hesaplamaları .....	81
7.5 Sıcak ve Mineralli Suların Jeokimyasal Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	88
7.6 Jeotermometre Uygulamaları .....	93
7.6.1 Silis Jeotermometreleri .....	94
7.6.1.1 Silise Dayalı Karışım Modelleri .....	94
7.6.1.1.1 Buhar Kaybının Bulunduğu Varsayımına Dayalı Karışım Modeli.....	94
7.6.1.1.2 Buhar Kaybı Varsayımına Dayalı Karışım Modeli.....	95
7.6.2 Katyon (Na/K, Na-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca) Jeotermometreleri.....	99
7.6.3 Na-K-Ca Jeotermometresi .....	99
7.6.4 Magnezyum Düzeltmeli (R) Na-K-Ca Jeotermometresi .....	99
7.6.5 Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulaması (Na-K-Mg Birleşik Jeotermometresi).....	104
7.6.6 Mineral Denge–Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi.....	106
7.7 Yeraltı Suyu İçerisindeki Bazı İyon Kök ve Parametrelerin Kontur Haritaları ve Yorumlanması .....	113

## **BÖLÜM SEKİZ - SULARIN İZOTOP ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ..... 121**

## **BÖLÜM DOKUZ -TOPRAK JEOKİMYASI..... 129**

9.1 Giriş.....	129
9.2 Örnek Alma ve Hazırlama Yöntemleri.....	133

9.3 Kimyasal Analizlerin Değerlendirilmesi.....	133
9.3.1 Igeo (Jeolojik Birikim İndeksi) Sınıflaması .....	133
9.3.2 EF Sınıflaması.....	136
9.3.3 PI Sınıflaması .....	139
<b>BÖLÜM ON - SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>151</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>159</b>

## BÖLÜM BİR GİRİŞ

Çalışma alanı Alaşehir (Manisa) ilçesinde, 1/25000'lik topoğrafya haritaları paftalarındaki  $06^{\circ}00'00''$ - $06^{\circ}40'00''$  boylamları ile  $42^{\circ}45'00''$ - $42^{\circ}60'00''$  enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 1.1, 1.2).



Şekil 1.1 Çalışma alanının yeri.



**Alaşehir ilçesi**, İç Ege Bölgesinde, Batı Anadolu'daki doğu-batı yönlü ovalardan biri olan Gediz ovasının doğu kesiminde bulunmaktadır. Yüzölçümü 977km<sup>2</sup>'dir. İlçe merkezinin deniz seviyesinden yüksekliği 189m'dir. İlçe, Alaşehir çayının da içinden aktığı bir grabenden ve bunu güneyden ve kuzeyden sınırlayan oldukça yüksek plato ve dağlardan ibarettir. Gediz grabeninin doğu bölümünü oluşturan Alaşehir çayı vadisi, Batı Anadolu Fay kuşağı içerisinde deprem riskinin yüksek olduğu bir sahadır. 28 Mart 1969 tarihinde, Kandilli Rasathanesi kayıtlarına göre 6,5 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş; bu depremde 68 kişi ölmüş, 4651 konut ta yıkılmış veya çok ağır hasar görmüştür.

İlçede Akdeniz ikliminden karasal iklime geçiş özelliği gösteren bir iklim egemendir. Genel olarak ılıman bir iklimin geçtiği Alaşehir'de yaz ayları oldukça sıcak ve kurak geçer. Yazın bölgede sıcaklığın 40°C'ye kadar çıktığı görülür.

İlçe ekonomisi tarım, hayvancılık, sanayi'ye dayalıdır. Kırsal kesimlerde ve ovada genelde bağcılık, yayla ve dağ köylerinde ise genelde meyvecilik, zeytincilik ve hayvancılık yaygındır. Yetiştirilen başlıca tarımsal ürünler; üzüm başta olmak üzere, tütün, pamuk, tahıl, armut ve zeytindir. Hayvancılıkta sığır ve koyun yetiştirilir ayrıca kümes hayvancılığı da yapılmaktadır. İlçede ayrıca 60 üzüm ihracatı yapan firma, 40 üzüm işletmesi, Tariş Üzüm Entegre Tesisleri ve Suma Fabrikası ile Sarıkız Maden Suyu Fabrikası bulunmaktadır.



Şekil 1.2 Alaşehir ilçe merkezine GD'dan bir bakış.

Alaşehir, Pergamon Kralı II. Attalos (MÖ.150-138) tarafından kurulmuş olup, o dönemdeki ismi Philadelphia'dır. Bergama Krallığı zamanında önemli bir kent olan Philadelphia Roma döneminde de önemini korumuştur. Roma döneminde daha da gelişen kent MS. 40 yıllarında Hristiyanlığın yaygınlaşması ile birlikte Aziz Paulos'un müritlerinin toplandığı bir yer olmuştur. Bizans döneminde önemli bir askeri üs olan bu kent, Arap saldırılarına uğramıştır.

Malazgirt Savaşı'ndan (1071) sonra yöreye gelen bazı Türkmen boyları buraya yerleşmiştir. Selçuklular ile Bizanslılar arasında sık sık el değiştirmiştir. Selçukluların yıkılmasından sonra Saruhanoğulları Beyliği'nin egemenliği altına girmiştir. Yıldırım Beyazıt tarafından 1391'de Osmanlı topraklarına katılmıştır.

Bir rivayete göre, Yıldırım Beyazıt, yüksek bir tepeden şehre bakmış ve "Ne Âlâ Şehir" diyerek, kentin Philadelphia olan isminin Alaşehir olarak değişmesine neden olmuştur. Bir başka bilgiye göre de; şehir surlarının siyah ve beyaz taşlardan

oluşması Alaşehir denilmesine neden olmuştur. Bunların yanı sıra Tarihçi İbn-i Bibi'nin Philedelphia adını kullanmadan Ala-şahr adını vermesi, bu beldenin XII. yüzyılın başından itibaren bu isimle anıldığını göstermektedir. Timur istilasından sonra 1402'de yeniden Osmanlı topraklarına dahil olmuştur. XIX. yüzyılda Aydın İli'nin Saruhan Sancağına bağlı bir kasaba olan Alaşehir, Cumhuriyetin İlanı'na kadar Aydın İli Manisa Sancağına bağlı kalmıştır.

I. Dünya Savaşı'ndan sonra Mondros Mütarekesi'ne dayanılarak başlatılan, Ege'deki Yunan işgaline karşı direnişi örgütlemek amacıyla, Erzurum Kongresi'nden kısa bir süre sonra Alaşehir Kongresi (16–25 Ağustos 1919) yapılmıştır. Bu kongrenin toplanmasına Balıkesir eski Mutasarrıfı Hacim Muhiddin Bey'in önemli katkıları olmuştur. Bu kongrenin Erzurum ve Sivas Kongrelerinden farklı olarak, sivil memurlar ve yerel eşrafın önderliğinde toplanmasıdır. Alaşehir, bu kongre ile Anadolu'daki Kuvâ-yı Millîye'nin örgütlenmesinde katkısı olmuştur (Soğuoğlu, 1994).

24 Haziran 1920 tarihinde Yunanlıların işgaline uğramış, 5 Eylül 1922 tarihinde işgalden kurtarılmıştır. Milli Mücadelede işgalci Yunanlılara karşı baş kaldıran ve bu amaçla Milis Teşkilatları kurarak direnen ilk şehirlerimizden biri de Alaşehir'dir. Cumhuriyetin ilanından sonra da Manisa iline bağlı ilçe konumunu sürdürmüştür.

Alaşehir'den günümüze gelebilen tarihi eserler arasında; Hristiyanlığın ön Asya'da ilk yedi kilisesinden biri olan ve Hz. İsa'nın Havarilerinden Hagios Joannes adına yaptırılan Saint John Kilisesi, Yıldırım Beyazıt Camisi, Şeyh Sinan Camisi, Güdük Minare Camisi, Yağhane Camisi, Pazar Camisi bulunmaktadır.

## 1.1 Amaç ve Kapsam

Bu proje ile Alaşehir ilçesi çevresinde bulunan yüzeysel ve yeraltı suyu kaynaklarıyla, sıcak ve mineralli suların envanterlerinin (sayımlarının) yapılarak, jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan incelenmesi, suların kökenlerinin, beslenme boşalma ilişkilerinin, kullanım amaçlarına yönelik kimyasal özelliklerinin ve çevresel etkilerinin araştırılması sıcak suların akifer sıcaklıklarının ve akiferdeki

kimyasal özelliklerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda havza sınırları belirlenerek jeolojik, hidrojeolojik ve su kimyası haritalarının oluşturulması, akiferlerin hidrojeolojik parametrelerinin belirlenmesi, Alaşehir akiferlerinde izleyici deneylerinin yapılarak yeraltı suyu hızı ve akifer parametrelerinin hesaplanması, sıcak ve soğuk tüm su noktalarının kimyasal özelliklerinin eser element düzeyinde kapsamlı olarak incelenmesi hedeflerine ulaşılmıştır. Ayrıca, sıcak su kaynakları çevresinden alınan toprak örneklerinin kimyasal analizlerinin yapılarak toprak jeokimyası ve kirliliği incelenmiş, jeotermal suların çevresel etkileri araştırılmaya çalışılmıştır. Hedefler arasında olan jeotermal kabuklaşma ve alterasyon örneklerinin kimyasal ve mineralojik incelenmesi ise sahada uygun kuyu bulunamaması nedeniyle yapılamamıştır.

Alaşehir çevresinde yapılan soğuk ve sıcak suların envanter araştırmasında birçok sıradan açılmış şahıs kuyusu sularının sıcak ve mineralli su özelliğinde olduğu belirlenmiştir. Suların kimyasal analizleri kullanılarak ayrıntılı kimyasal türleştirme hesaplamaları yapılmıştır. Kabuklaşma, korozyon özellikleri ve mineral doygunlukları irdelenmiş, kullanım alanları ve çevresel etkilerinin giderilmesine yönelik bazı öneriler getirilmiştir. Alaşehir ilçesindeki jeotermal alanlar henüz yeni keşfedilme ve araştırma aşamasında olması bakımından önemlidir ve birçok hidrojeolojik özellik yeterince bilinmemektedir. Yeni keşfedilen ve Türkiye'nin 3. en yüksek sıcaklıklı sahaları olan Kavaklıdere ve Yeniköy jeotermal alanlarında bazı bilinmeyen özellikleri incelenerek diğer kaynaklarla karşılaştırılmış ve jeokimyasal yorumlamalarda bu karşılaştırmalar başvuru noktası oluşturmuştur. Bazı su noktalarından değişik zamanlarda su örnekleme yapılarak zamana bağlı kimyasal ve izotopik değişimler de incelenmiştir. Yapılmış olan su kimyası analizlerinde çoğunlukla major bileşenler dikkate alınmıştır. Proje kapsamında jeotermal alanlarda, akışkanın akiferdeki kimyası, mineral doygunlukları, kabuklaşma ve korozyon özellikleri, reenjeksiyon kuyusunda olması gereken sıcaklıkları, üretim ve reenjeksiyon kuyularının ayrı ayrı kabuklaşma korozyon özellikleri vb. gibi bu güne kadar çalışılmamış ya da eksik görülen alanlar ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Bu tez kapsamında yukarıda belirtilen çalışmalar; giriş, jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji, izleyici deneyleri, hidrojeokimya, çevresel etkiler, izotop jeokimyası, toprak

jeokimyası, jeotermometre uygulamaları, özet ve sonuçlar ana başlıkları altında detaylı olarak irdelenmiştir.

## BÖLÜM İKİ

### ÖRNEKLEME VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

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

#### 2.1 Örneklemeye Yöntemi

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

Örneklemeye yöntemi bu çalışmanın önemli bölümlerinden birini oluşturmaktadır. Laboratuvar analizlerinin güvenilirliği açısından doğru örneklemenin yapılması gerekmektedir. Öncelikle örneklemeye sayısı çalışma alanını temsil edebilecek çoklukta olmalıdır. Örneklemeye 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 örneklemesinde polietilen sızdırmaz kapaklı 50 ve 500 ml hacimli örneklemeye şişeleri kullanılmıştır. Bu şişeler kullanımları sırasında örneklemeye yapılacak sularla en az iki kez çalkalanmıştır. Örneklemeye yapılacak sular su filtrasyon seti yardımıyla 0,2 $\mu$ -0,45 $\mu$  aralıktaki filtre kâğıdından süzölmüştür. Katyon analizleri için 50ml'lik şişelere alınan sulara, pH'ı 2-3 aralığına indirmek için (çökelme ve yüzeye tutunmayı önlemek amacıyla) 0,1-0,2ml arasında derişik yüksek saflıktaki (ultra saflıkta) HNO<sub>3</sub> ilave edilmiştir. Katyon analizi için eklenen HNO<sub>3</sub> ortamda gaz çıkışı oluşturduğundan örneklemeye kabının kapağı gazın çıkması sağlandıktan sonra kapatılmıştır. Anyon analizleri için örneklemeye 500ml'lik şişelere hiçbir kimyasal koruma yapılmadan alınmıştır. Tüm örnekler polietilen şişelere hava kalmayacak şekilde doldurulmuştur.  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  ve Trityum ( $^3\text{H}$ ) analizleri için örneklemeler, çalışma alanındaki farklı suları yansıması 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 500ml hacimli örnekleme şişeleri kullanılmıştır.

### ***2.1.2 Sediman ve Toprak Örneklemesi***

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

## **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 HCO<sub>3</sub> ve sülfid (S<sup>-2</sup>) içerikleri uzun süre korunamayacağından örnekleme sırasında yerinde (in-situ) analiz edilmiştir (Tablo 2.1).

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

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

### 2.2.1 Arazide Fiziksel Parametrelerin Ölçüm Yöntemleri

#### 2.2.1.1 Sıcaklık, Eh (Elektriksel Potansiyel), 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 karşıtıdır ve birimi µmho/cm veya µS/cm dir. Her cismin elektriği geçirme özelliği farklıdır. 1cm<sup>3</sup> 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'ı, hidrojen iyonlarının etkin konsantrasyonu olup, hidrojen iyon konsantrasyonunun 10 tabanına göre negatif logaritması pH değeri olarak tanımlanmaktadır. pH değeri, basınç ve sıcaklığın etkisindeki çözülmüş CO<sub>2</sub> ve diğer CO<sub>3</sub> + HCO<sub>3</sub> bileşikleri arasındaki dengeye bağlı olarak değişmektedir. H<sub>2</sub>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 CO<sub>2</sub>'den ve karbonatlı kütlelerin erimesiyle oluşmaktadır. Basınç altında çoğu zaman CO<sub>2</sub> çözülür haldedir. Yüzeğe ulaşan yeraltı suları, atmosfer ortamından daha fazla içerdiği CO<sub>2</sub>'yi kaybetmeye başlar. Sistemden uzaklaşan çözülür CO<sub>2</sub>, terk ettiği suyun çözelti dengesi ile pH'ının 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 (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) ve asidite (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) 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'ı 4,2'ye düşüncüye kadar sürekli karıştırılarak 0,1 Molar HCl ilave edilir. Elde edilen sarfiyat değerinden aşağıdaki formülle HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> hesaplanır (Appelo ve Postma, 1993).

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

- $c_{\text{HCl}}$ : 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 çözeltide tükenmeye başlar. Çözeltiden diğer bir ayrılma şekli ise, kaynama noktasında düşen basınç ile gaz fazına geçmesidir. Özellikle termal sularda bu parametrenin arazide ölçülmesi daha doğru olacaktır.  $\text{H}_2\text{S}$ , arazi koşullarında batarya ile çalışan, WTW PhotoLab S12 marka taşınabilir spektrofotometre ile analiz edilmiştir.

## 2.3 Laboratuarda Ölçüm Yöntemleri

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

### 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.

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

Dokuz Eylül Üniversitesi Jeokimya Laboratuvarı'nda, gravimetri (çöktürme) yöntemi ile sülfat analizleri yapılmıştır. Bu yöntem, baryum sülfatın ( $BaSO_4$ ) düşük çözünürlüğünden yararlanarak çözelti içindeki kükürt türevlerini  $SO_4$ 'a yükseltgeyip çözeltiye  $BaCl_2$  ekleyerek çöktürme şeklindedir. Analiz edilecek suyun  $SO_4^{-2}$  içeriğine göre 50–100ml örnek suyu kullanılır. 1mg  $BaSO_4$ 'da, 0,4115mg  $SO_4^{-2}$  vardır. Buna göre,  $SO_4^{-2}$  değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.  $SO_4^{-2}$  (mg/l) =  $0,4115 \times 1000 \times \text{mg } BaSO_4 / \text{ml}$  olarak alınan numune hacmi gravimetrik sülfat metodunun relatif standart sapması %4,7 ve relatif hatası ise %19'dur. Ölçüm alt limiti ise 0,1mg/l'dir.

Tablo 2.2 Suların 72 element kimyasal analizlerindeki alt deteksiyon limitleri.

<b>Element</b>	<b>Deteksiyon limiti (ppb)</b>	<b>Element</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

### 2.3.3 İzotop Analiz Yöntemi

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 yapılmıştır. Bu laboratuvarında kullanılan yöntem kısaca şöyledir:

EA-GC/IRMS cihazının su analizleri çıktılarının kalibrasyonun da kullanılan IAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu) su standartları ve  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri belli uluslararası standart olan SMOW, GISP ve YTW (lab standardı) standartları ile analizi yapılacak olan su örnekleri, cihazın elementer analizör kısmından her iki örnekten ikişer adet olmak üzere otosampler yardımıyla verilir. Örnekler elementer analiz cihazında  $\delta^2\text{H}$  için  $1070^\circ\text{C}$  civarında ve  $^{18}\text{O}$  için  $1230^\circ\text{C}$  fırında pirolize uğrar ve sırasıyla hidrojen ve karbon monoksit gazına dönüşür. Bu sırada cihaza referans olarak  $\delta$  bilinen  $^2\text{H}$  için hidrojen ve  $^{18}\text{O}$  için karbon monoksit gazları verilmektedir. Piroliz sonucu çıkan gazlar örnek gazı olarak algılanır ve referans gazı ile karşılaştırılarak su örnekleri için kalibre edilmemiş  $^2\text{H}$  ve  $^{18}\text{O}$  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 laboratuvar standardı YTW'nin izotop değerleri ile analiz edilen su örneklerinin izotop değerleri Excel programında karşılaştırılarak grafiksel yolla kalibre edilir.

Tritiyum ( $^3\text{H}$ ) analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü Kütle Analiz Laboratuvarı'nda sıvı parıldama yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemler laboratuvarında kullanılan standartları ve arazide kimyasal analiz için su toplama standartlarını göstermektedir. Bunların dışında kullanılan diğer spesifik yöntemler ilgili bölümlerde açıklanmıştır.

## BÖLÜM ÜÇ

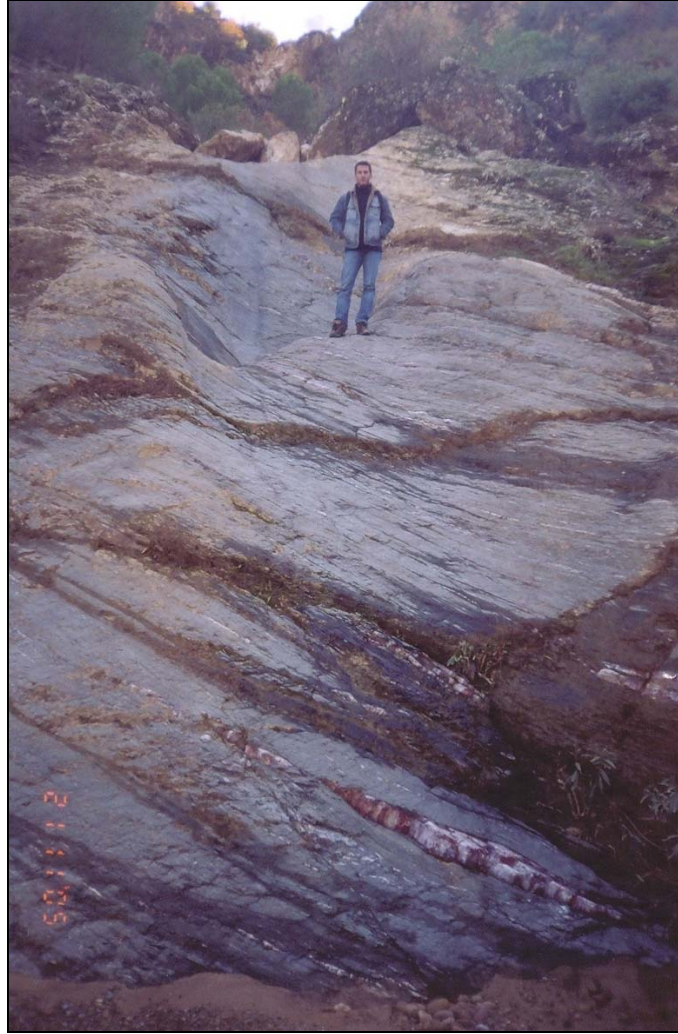
### JEOLOJİ

Çalışma alanı, önceki araştırmacılar tarafından detaylı olarak incelenmiş ve bölgede görülen kaya türleri değişik şekillerde gruplandırılmıştır (Şekil 3.8). Ancak ana yapıda fazla bir değişiklik olmamıştır. Buna göre Batı Anadolu, Gediz ve Büyük Menderes grabenleri civarındaki jeolojik yapı Neojen öncesi temel, Neojen yaşlı sedimentler ve Kuvaterner yaşlı sedimentler olmak üzere üç grupta şekillenmiştir (Arpat ve Bingöl, 1969 ve Bozkurt, 2000). Çalışma alanının temelini oluşturan Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Menderes Metamorfitleri üzerine Erken-Orta Miyosen'de Alaşehir Formasyonu ve Kurşunlu Formasyonu yerleşmiştir. Pliyosen yaşlı Sart Formasyonu alttaki diğer birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. En üstteki Kuvaterner yaşlı Alüvyon alttaki diğer tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir (Seyitoğlu ve Scott, 1996). Bu bölgede yapılan bazı çalışmaların korelasyonu ileride verilmiştir (Şekil 3.8). Seyitoğlu, Tekeli ve diğ.'nin 2002'de yapmış oldukları çalışmaya göre; Alaşehir Grabeninde görülen kaya birimleri alttan üste doğru şu şekilde tanımlanmaktadır. En altta temel kaya olarak Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Menderes Masifi Metamorfitleri, bunun üzerinde uyumsuz olarak Erken-Orta Miyosen'de birinci sedimenter birim ve bu birimle geçişli olarak da ikinci sedimenter birim çökelmiştir. Pliyosen yaşlı üçüncü sedimenter birim alttaki birimler üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. En üstteki Kuvaterner yaşlı dördüncü sedimenter birim ise uyumsuz olarak alttaki birimleri örtmüştür (Şekil 3.2).

### 3.1 Stratigrafi

#### 3.1.1 Menderes Masifi Metamorfitleri

Menderes Masifi Metamorfitleri, “Çekirdek” ve “Örtü” olarak iki ana birime ayrılmaktadır. Çekirdek; ileri derecede başkalaşmış şistler, leptitler, gnayslar, gözlü gnayslar, metagranitler, migmatitler ve metagabrolardan kuruludur. Örtü ise; mikaşist, fillit, metakuvarsit, metabazit, metakoyugranit ve şistlerden oluşmaktadır (Şengör ve diğ., 1984) (Şekil 3.1).



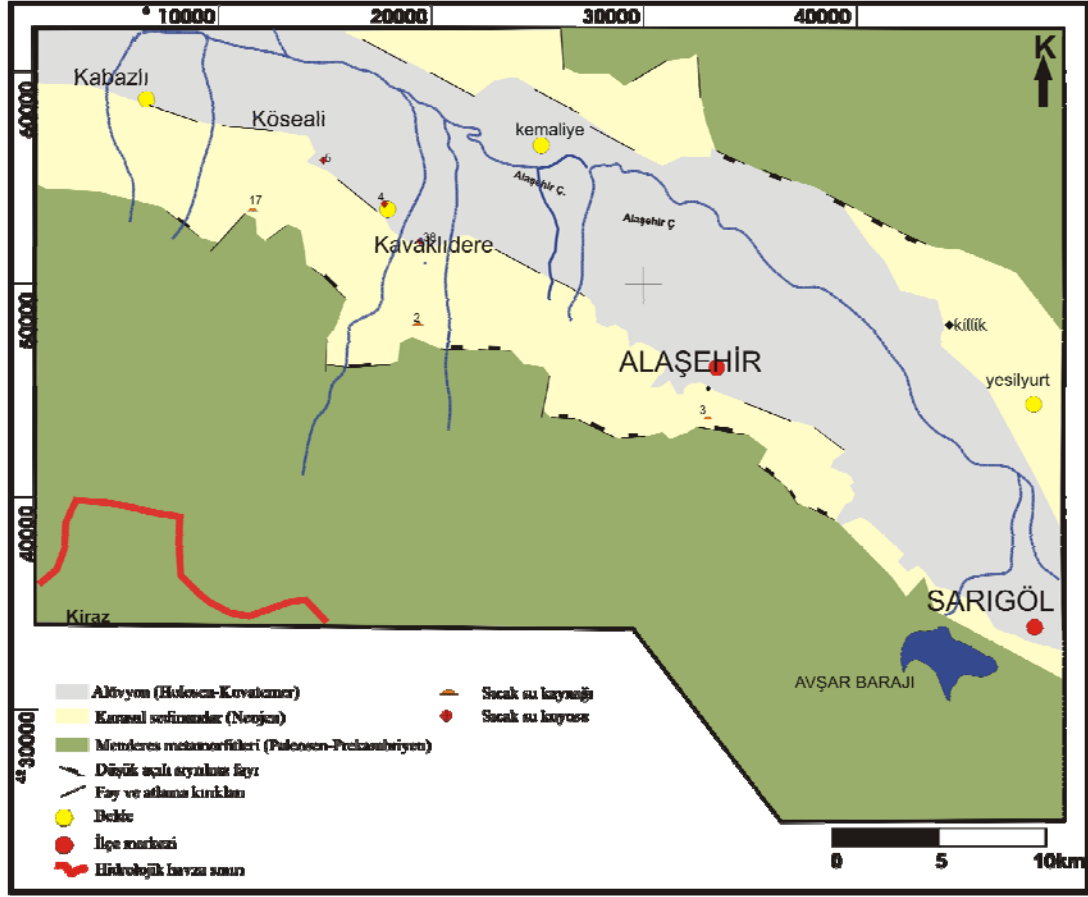
Şekil 3.1 Alaşehir Kaplıcası kuzeyindeki metamorfitle ilgili sistemlerden görünüm.

Çalışma alanı sınırları içerisinde kalan Menderes Masifine ait Metamorfik kayalar çoğunlukla, kuvarsitler, gnayslar, mikaşistler ve kalkışistlerdir. Genellikle bu kayalar grimsi, koyu gri, yeşilimsi ve sarımsı kahverengi renklerde dirler. Bol çatlaklı olan bu kayaların yanısıra yer yer mermer ara katkılarıda gözlenmektedir. Aynı zamanda Yeşilkavak İlçesi'nin GB kesimlerinde görülen, Menderes Masifi Metamorfikleri içerisinde, eş yaşlı denilebilecek granodiyorit sokulumu görülmektedir (Purvis ve Robertson, 2005). Çakaldoğan Granodiyoriti denilen sokulumun, tespit edilmiş mineral bileşimi şunlardır, Kuvars, Albit, Plajyoklast, K-Feldispat, Biotit, Muscovit, Klorit, Garnet, Apatit, Zirkon, Ortoklaz, Mikroclin, Serisit, Amfibol, Epidot, Titanit, Zeosit, Tourmalin, Piemontit, Sillimonit (Evirgen, 1983) . Birimin yaşı Paleozoyik-Mezozoyik'tir (Dora ve diğ., 1990).

Zaman Sistem	Alt Sistem	Seri	Formasyon Simge	Kalınlık (meters)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR				
							KUVATERNER	Pliyosen	4. Sedimenter birim	180
S E N O Z O Y İ K	T E R S İ Y E R	N E O J E N	2. Sedimenter birim	800	<p>açık sarı renkli, yarı pekleşmiş konglomera ve kumtaşı</p> <p>açık kırmızı-gri renkli konglomera ve kumtaşı</p> <p>(Gediz Formasyonu)</p> <p>Çamurtaşı</p> <p>kireçtaşı merceği</p> <p>koyu kırmızı, kızıl renkli köşeli konglomeralar</p>	Uyumsuzluk				
							1. Sedimenter birim	480	<p>kaba taneli, köşeli konglomera</p> <p>sırımsı kumtaşı ve çamurtaşı ardalanması</p> <p>(Alaşehir Formasyonu)</p> <p>Menderes Masif Metamorfiklerine ait oldukça köşeli, şist ve gnays parçaları içeren konglomeralar</p>	Uyumsuzluk
			Menderes Metamorfikleri		Menderes Masifine ait kayalar					

Şekil 3.2 Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafi istifi (Seyitoğlu ve diğ., 2002).





Şekil 3.3 Çalışma alanının jeoloji haritası (Jeoloji haritasının oluşturulmasında Cohen ve diğ. 1995, Sözbilir, 2001, MTA-1/100000 ölçekli jeoloji haritaları, 2002, Seyitoğlu ve diğ. 2002, Bozkurt ve Sözbilir, 2004, Purvis ve Robertson, 2005’den yararlanılmıştır)

### 3.1.2 Neojen-Kuvaterner Havza Dolgusu

#### 3.1.2.1 Birinci Sedimenter Birim

Graben dolgusu dört sedimenter birim içermektedir. Grabenin en altında yer alan birinci sedimenter dolgu **Alaşehir Formasyonu** olarak tanımlanır (İztan ve Yazman, 1990). Birim Alaşehir’in güney kesiminde Metamorfik temel üzerinde uyumsuz olarak uzanmaktadır. Formasyonun tabanı, Menderes Masifi Metamorfiklerine ait oldukça köşeli, şist ve gnays parçaları içeren konglomeralardan oluşur (Seyitoğlu ve diğ., 2002). Formasyon, üste doğru sarımsı kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasıyla devam eder. Birimin alt seviyelerinde, ince taneli gölsel sedimentler yaygın olarak görülmesine karşın ara düzeylerinde yaklaşık 1,5m kalınlıklara sahip kaba taneli,

köşeli konglomera düzeylerine de rastlanmaktadır. Formasyonun üst düzeylerinde, içerisinde kireçtaşı ve konglomera merceklerinin de yer aldığı organik açıdan zengin, laminalı çamurtaşları bulunmaktadır (Şekil 3.4) (Seyitoğlu ve diğ., 2002). Birinci sedimenter birimin fasiyes karakteristikleri, KD-GB yönlü gerilmeye bağlı olarak gelişen fan delta ve gölsel ortamlarla temsil edilir (Yılmaz ve diğ., 2000; Sözbilir, 2001). Birinci sedimenter birimin yaşı Erken-Orta Miyosen'dir (Ediger ve diğ., 1996; Seyitoğlu ve diğ., 2002).



Şekil 3.4 Alaşehir'in kuzeyinde görülen Birinci Sedimentler Birimine ait genel görünüm.

### 3.1.2.2 İkinci Sedimanter Birim

Zeytin Çayı vadisinden Çaltılık Köyü doğusuna kadar devam eden, ikinci sedimenter birim olan **Kurşunlu Formasyonu** uyumlu olarak Alaşehir Formasyonu'nun üzerine oturmaktadır. Birim, Çiftçi & Bozkurt 2009'a göre **Gediz Formasyonu** olarak adlandırılmıştır. Formasyonun alt seviyelerinde koyu kırmızı, kızıl renkli köşeli konglomeralar, üst düzeylerinde ise Göbekli'nin güneydoğu

kesimlerinde tipik olarak görülen açık kırmızı-gri renkli konglomera ve kumtaşı ardalanması yer almaktadır (Şekil 3.5) (Seyitoğlu ve diğ., 2002). Bu birimde lateral alüvyal fan fasiyesleri görülmekle birlikte kırmızı renk baskındır (Seyitoğlu ve Scott, 1996). İkinci sedimenter birimin yaşı Erken-Orta Miyosen'dir (Seyitoğlu ve diğ., 2002).



Şekil 3.5 Göbekli civarında görülen İkinci Sedimenter Birime ait görünüm.

### 3.1.2.3 Üçüncü Sedimenter Birim

Birinci ve ikinci sedimenter birimlerin üzerine uyumsuz olarak üçüncü sedimenter birim olan **Sart Formasyonu** uzanmaktadır (Seyitoğlu ve Scott, 1996). Birim, Çiftçi & Bozkurt 2009'a göre **Kaletepe Formasyonu** olarak adlandırılmıştır. Birim yüksek açılı fayların önünde şekillenmiştir. Bu birimde, flüvyal ve lateral alüvyal fan fasiyesleri hakimdir. Formasyon; açık sarı renkli, yarı pekleşmiş konglomera ve kumtaşlarından oluşur (Şekil 3.6) (Seyitoğlu ve diğ., 2002). Birimin yaşı Pliyosen'dir (Seyitoğlu ve Scott, 1996).

Bununla birlikte, Neojen yaşı birimler içerisinde; çalışma alanı sınırları dahilinde kalan Yeşilyurt civarında, Neojen yaşı Uranyum yığılımları, alt flüvyal birim içindeki gözenek dolgusu ve taneler üstüne sıvamalar şeklinde gelmektedir. Uranyum belirtileri, metamorfik temele yakın olup alüvyon yelpazesi ve örgülü nehir tortulları arasındaki dereceli geçiş dokanağına paralel uzanımlıdır. Yeşilyurt sahasındaki flüvyal tortulların kırıntılı ve otojenik mineralleri şunlardır; Kuvars, Mikroklin, Plajiooklast, Manyetit, Hematit, Pirit, Siderit, Simektit, İllit, Kaolinit, Dolomit, Kalsit'dir (Yılmaz, 1986).



Şekil 3.6 Göbekli-Horsumsazdere arasında Üçüncü Sedimanter Birime ait görünüm.



Şekil 3.7 Üçüncü Sedimenter Birim içinde gelişmiş Paleo Heyelan.

#### *3.1.2.4 Dördüncü Sedimenter Birim*

Dördüncü sedimenter birim olan Kuvaterner yaşlı eski alüvyon, traverten ve günümüze yeni alüvyonel çökelleri içermektedir (Seyitoğlu ve diğ., 2002).

Cohen ve diğ. (1995)	Seyitoğlu ve Scott (1996)	Emre (1996)	Koçyiğit ve diğ. (1999a)	Yılmaz ve diğ. (2000)	Sözbiçir (2001)	Bozkurt & Sözbiçir (2004)	Purvis & Robertson (2005)	Çiftçi & Bozkurt (2009)	Bu çalışmada kabul edilen, Seyitoğlu ve diğ. (2002)
Birim VI: güncel graben dolgunu	Altıvyon	Altıvyon	Altıvyon	Altıvyon	Fan fasiyes ve flüvyal fasiyes	Birim D	Kuvaterner Sediment	Altıvyon	Dördüncü sedimenter birim
Birim IV ve V: yanal alüvyal fan fasiyesi	Sarı Fm.	Asartepo Fm.	Asartepo Fm.	Sarı Grp.	Fan fasiyes	Birim C	Kaba taneli alüvyal fan Fasiyesi	Gediz Formasyonu	Üçüncü sedimenter Birim
Birim III: flüvyal Fasiyesi		Göbekli Fm.		Kızıldağ Grp.	Flüvyal fasiyes	Birim B	Axial-flüvyal Fasiyesi	Çalılık Formasyonu	İkinci sedimenter Birim
Birim II: çamur ve alüvyal fan fasiyesi	Kuşunlu Fm.	Acıdere Fm.	Sallılı Grp.		Fan fasiyesi	Birim A	Çamur-kumlu alüvyal fan Fasiyesi	Alaçehir Formasyonu	Birinci sedimenter Birim
Birim I: gölölü fan delta Fasiyesi				Alaçehir Grp.		Temel	Gölölü Fasiyesi		Temel
									Erken Miyosen-Erken Pliyosen

**Şekil 3.8** Çalışma alanındaki Gediz Grabeni'nin stratigrafisi'nin önceki çalışmalarla korelasyonu (Sözbiçir, 2001 ve Bozkurt ve Sözbiçir 2004'den değiştirilerek) Bu çalışmada, inceleme alanının tamamını kapsadığından Seyitoğlu ve diğ. (2002)'de yapılmış olan isimlendirme kullanılmıştır.

### 3.2 Yapısal Jeoloji

Menderes Masifine günümüzdeki şeklini kazandıran; Gediz, Büyük Menderes, Küçük Menderes Grabenleri yeni tektonik dönemde, sıyrılma (detachment) faylarına bağlı olarak oluşmuştur. Gediz Grabeni BKB-DGD uzanımlı bir yarım grabendir. Gediz Grabeni'nin açınımı, bölgedeki en genç sıyrılma fayı (detachment) olan Karadut Fayı'nın oluşumu ile başlamıştır. Düşük eğimli ( $12^{\circ}$ - $20^{\circ}$ ) normal bir fay olan Karadut Fayı, grabenin güney kenar fayıdır. Bu faylanma bölgesel ölçekte bir kataklastik- milonotik zon oluşturmuştur. Karadut Fayı'nın taban bloğu, Menderes Masifine ait şist ve mermerler ile, bunları kesen granotoidden yapılıdır. Bu granotoidler, ayrılma faylarının oluşum sürecini başlatan genişlemeli tektoniğe bağlı olarak yerleşmiştir. Tavan bloğunda ise, bu faya bağlı olarak hareket etmiş Menderes Masifi kayaları (tavan bloğu temel kayaları) ve bunları örten grabenleşme süresince oluşmuş tortullar bulunur (Emre, 1996). Karadut Fayı'nın oluşumuna bağlı olarak, tavan bloğunda gelişen tortul havza, ayrılma fayındaki kalıtsal blokların hareketleri yanı sıra yüksek açılı genç sentetik faylar tarafından da denetlenmiştir (Emre, 1996).

Gediz Grabeni'nin güney kesiminde bulunan fay sistemleri üç kategoride incelenebilir. Birinci fay sistemi, genellikle  $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$  K'e eğimli düşük açılı normal bir faydır (Emre, 1992a; Hetzel ve diğ., 1995). Bu fay sistemi, başka yazarlar tarafından Gediz Sıyrılma Fayı olarak da isimlendirilmiştir (Emre & Sözbilir, 1995; Emre, 1996; Koçyiğit ve diğ., 1999; Yılmaz ve diğ., 2000; Bozkurt 2001a, b). Gediz Grabeni'nin güney kenarını oluşturan kabuksal ölçekli düşük açılı Gediz Sıyrılma Fayına bağlı olarak kıvrım ve geriye çarpılmış tabakalar şeklinde genişleme kökenli makroskobik yapıların oluşumundan sorumludur. Kıvrımlar genişleme doğrultusuna paralel olarak tavan ve taban bloğunda oluşmuştur (Sözbilir, 2001). Bu fay sistemi tavan blokta depolanmış olan birinci ve ikinci sedimenter birimleri sınırlamaktadır (Seyitoğlu ve diğ., 2002). İkinci fay sistemi, üçüncü sedimenter birim olan Sart Formasyonu'nu kontrol etmektedir ve genellikle K 75 B doğrultulu  $45^{\circ}$ - $50^{\circ}$  KD eğimlidir (Seyitoğlu ve diğ., 2000). İkinci fay sistemi, düşük açılı normal fayın tavan bloğunda yer alır, yüksek açılı faylardan oluşur ve Salihli Alaşehir arasında yaklaşık 25-30 km devam etmektedir (Seyitoğlu ve diğ., 2000). Alanın en uzun fayıdır ve

Acidere Fayı olarak da isimlendirilmiştir (Emre, 1996; Koçyiğit ve diğ., 1999, Yılmaz ve diğ., 2000). Üçüncü fay sistemi, Neojen birimleri ile Kuvaterner alüvyonu ayıran aktif bir faydır (Seyitoğlu ve diğ., 2000).



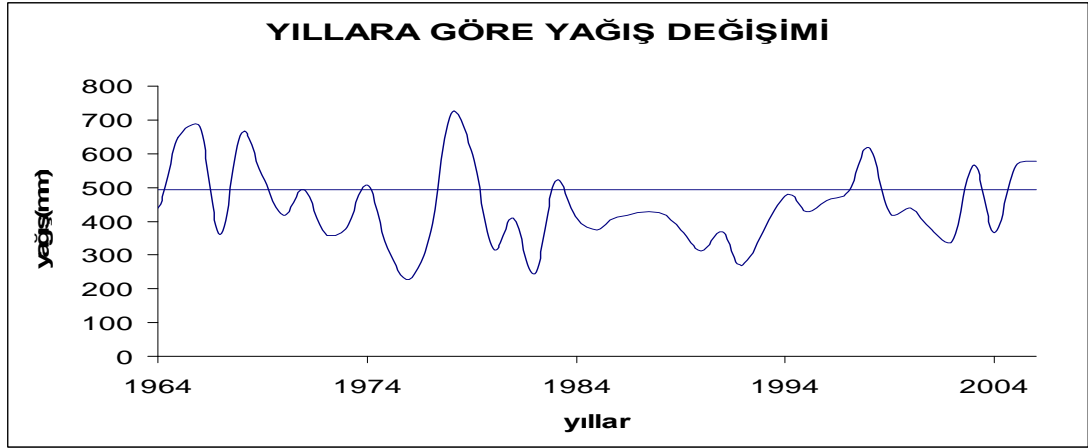
## BÖLÜM DÖRT

### HİDROLOJİ

Bu bölüm yüzey suları, yağışlar, buharlaşma, meteorolojik veriler yardımıyla yapılan hidrolojik özellikler ve yüzey suları beslenme alan sınırlarının belirlenmesi konularını kapsamaktadır. Alaşehir Grabenini de içine alan Gediz Havzası'nın, hidrolojik beslenme sınırı çizilerek üzerine MTA-2002'ye göre jeolojisi işlenmiş ve (Ek:1)'de verilmiştir.

#### 4.1 Yağışlar ve Sıcaklık

Yıllık toplam yağışların ve yıllık sıcaklık ortalamalarının; 1964 ve 2006 yılları arasında değişimi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de görülmektedir. Şekil 4.1'e bakıldığında; yağışların azalma eğiliminde olduğu söylenebilir. Şekil 4.2'ye göre ise; yıllık sıcaklık ortalamalarının yükselme eğiliminde olduğu ve dolayısıyla kuraklığın hakim olacağı bir iklime doğru gidildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.1 Yıllara göre yıllık toplam yağışın değişimi.



Şekil 4.2 Yıllara göre yıllık ortalama sıcaklığın değişimi.

## 4.2 Su Bütçesi

Çalışma alanında ve yakınında bulunan Alaşehir Devlet Meteoroloji İstasyonun'dan alınan 1964-2006 yılları arasındaki düzenli sıcaklık ve yağış verileri (Ek:2) kullanılarak hidrolojik bütçe elemanları Thornthwaite (1948)'e göre hesaplanmıştır (Tablo 4.1). Kullanılan yöntemden genel olarak bahsetmek gerekirse;

Thornthwait'in aylık potansiyel buharlaşma-terlemeyi veren formülü:

$$E_{tp} = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^a \text{ dir.}$$

$$I = \sum i \text{ dir. } i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514} \text{ olup, } i = \text{ sıcaklık indisidir.}$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,412$$

t: Aylık sıcaklık ortalaması (°C).

E<sub>tp</sub>: Aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (cm).

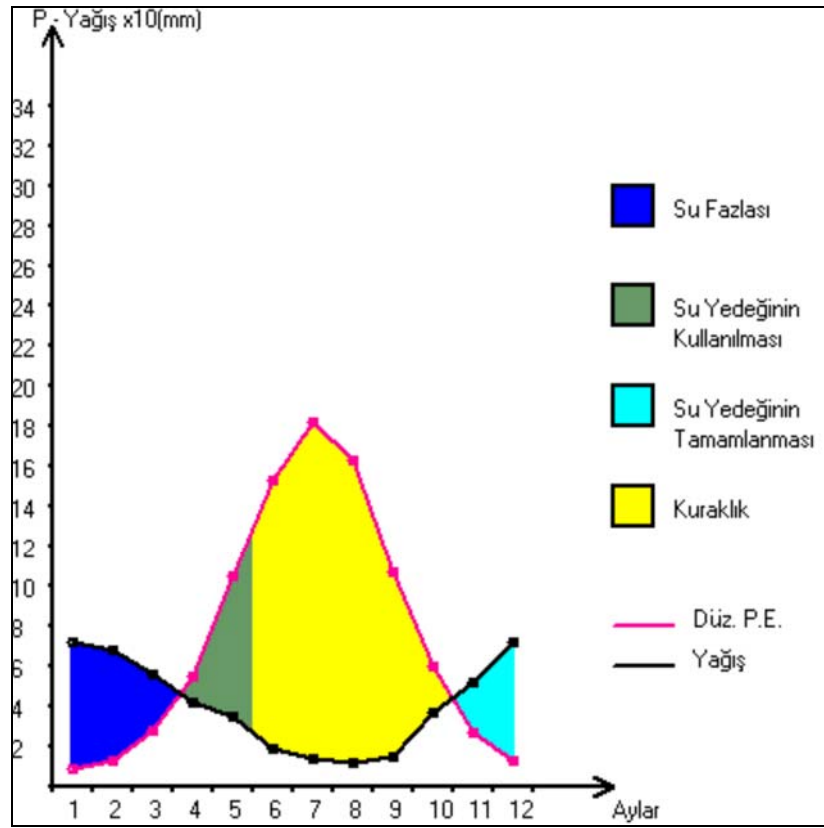
Önce her ay için ayrı ayrı i değerleri hesaplanmaktadır. 12 aya ait i değerleri toplanarak I elde edilir. I, a'yı veren formülde yerine konur ve a hesaplanır. a bulunduğundan sonra her aya ait t değerlerine göre değişen, aylık potansiyel buharlaşma-terleme hesaplanmaktadır.

Aylık potansiyel buharlaşma-terleme değerleri, enlem dairesi düzeltme katsayısı ile çarpılarak düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terleme değerleri elde edilmektedir. İnceleme dönemine ait ayları ilgilendiren değerler toplanarak, dönem için potansiyel buharlaşma-terleme miktarı bulunmaktadır (Canik, 1998).

Tablo 4.1 1965-2006 arasındaki yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak, Thornthwaite, 1948'e göre hazırlanan su bütçesi tablosu.

Öçülmüş ve Hesaplanmış Parametreler	AYLAR												Toplam
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Sıcaklık	6.5	7.8	10.8	15.3	20.5	25.2	27.7	27.0	22.8	17.3	12.0	7.9	16.7
Sıcaklık İndisi	1.5	2.0	3.2	5.4	8.5	11.6	13.4	12.8	9.9	6.5	3.8	2.0	80.6
Potansiyel Buharlaşma (mm)	10.9	15.1	27.0	50.4	85.0	123.0	145.7	139.2	102.8	62.8	32.6	15.4	809.9
Enlem Düzeltme Katsayısı	0.9	0.8	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.2	1.0	1.0	0.8	0.8	-
Düzeltilmiş Potansiyel Buh. (mm)	9.3	12.7	27.8	55.4	104.6	152.5	182.1	162.8	107.0	60.2	27.4	12.8	914.6
Yağış (mm)	71.9	67.5	56.5	41.5	34.8	18.7	13.9	11.8	14.9	36.6	52.3	72.5	492.9
Zemin Rezervi (mm)	100.0	100.0	100.0	86.1	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.9	84.6	
Gerçek Buharlaşma (mm)	9.3	12.7	27.8	55.4	104.6	35.0	13.9	11.8	14.9	36.6	27.4	12.8	362.2
Eksik Su (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	117.5	168.2	151.0	92.1	23.6	0.0	0.0	552.5
Fazla Su (mm)	62.6	54.8	28.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	146.1
YAS'na sızan su(I) (mm)	31.4	43.1	35.9	18.0	9.0	4.5	2.2	1.1	0.6	0.3	0.1	0.1	146.4

Tablo 4.1'de görüldüğü üzere; Alaşehir ilçesindeki yıllık toplam potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 809,9mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 362,2mm olarak elde edilmiştir. Mart sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr'ye eşit olur. Mart sonuna kadar zemin rezervi doludur. Nisan'dan Mayıs sonuna kadar bu yedekten kullanılmakta, Haziran başlarında zemin rezervi tükenmektedir. Buradan, Eylül sonuna kadar zemin rezervi olmadığından tarımsal su açığı gözlenmektedir. Ocak başlarında ise zemin rezervi dolmuş olmaktadır. Bu verilere göre, Haziran başından Eylül sonuna kadar ki dönem "Kurak Dönem", Ekim başından Mayıs sonuna kadar ki dönem "Yağışlı Dönem" olarak adlandırılmıştır. Ortalama yağış ve düzeltilmiş Etp'nin aylık değişimleri Şekil 4.3'de verilmiştir. Thornthwaite indisleri C2B4s2d olarak belirlenmiştir. Buradan **iklim tipi, "yarı nemli, dördüncü dereceden mezotermal, yazın çok kuvvetli su noksanı olan, karasal şartlarda iklim tipi"** olarak tanımlanır.



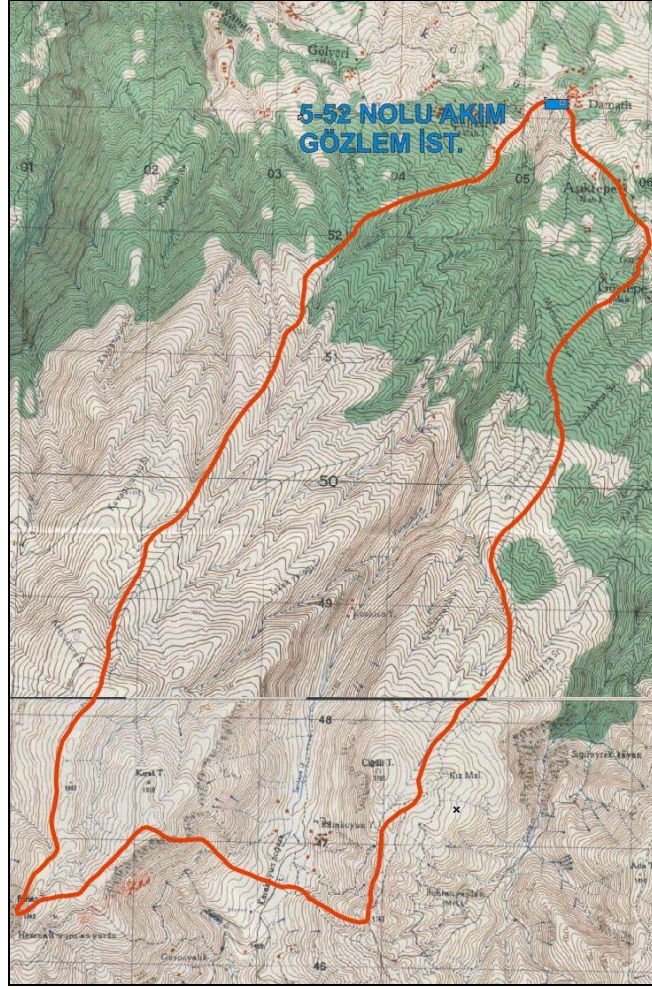
Şekil 4.3 Alaşehir ilçesinde 1964-2004 yılları arasındaki yağış ve düzeltilmiş Etp'nin aylık değişim grafiği.

### 4.3 Yüzey Suları ve Dere Akımları

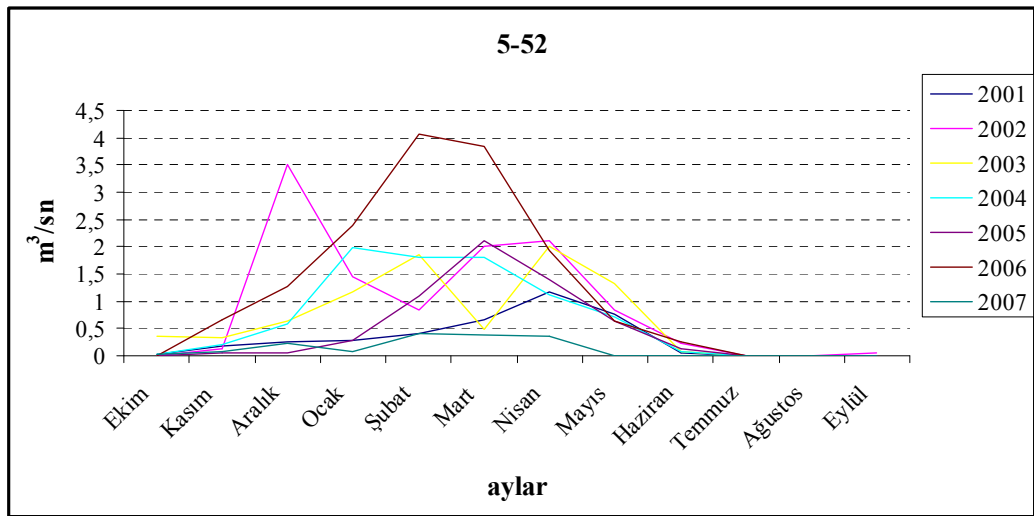
Çalışma alanındaki bazı dere ve akarsulara ait akım rasatları DSİ tarafından yapılmıştır (Ek: 3). 5-52 nolu istasyonun yağış alanı çizilmiştir (Şekil 4.4). Genelde dereler Ekim sonlarında akışa geçer Haziran sonlarında dere akışı sona ermektedir (Şekil 4.5).

Tablo 4.2 Bazı akım gözlem istasyonlarının özellikleri.

AGİ.	Akım Gözlem İstasyonu Bölgesi	Rakım	Yağ. Alanı
5-53	Zeytinçayı	273m	31,7km <sup>2</sup>
5-48	Gediz havzası, Değirmen-Doğanlar	200m	41,8km <sup>2</sup>
5-52	Salihli-Yenipazar	587m	15,5km <sup>2</sup>
5-56	Kavaklıdere-Dereköy	260m	98,65km <sup>2</sup>
5-31	Salihli-Ankara yolu 3km solda Alaşehir Çayı Taytan köprüsü	95m	2513km <sup>2</sup>



Şekil 4.4 5-52 nolu akım gözlem istasyonunun yağış alanı ve lokasyonu.



Şekil 4.5 Salihli-Yenişehir akım gözlem istasyonundaki bazı yıllara göre aylık akışların değişimi.

#### 4.4 Yeraltına Süzülme Hesabı

Genel denklem;  $P = Q_r + ETR + I$  olduğundan;

$Q_r$ : Yüzey akışının toplam yağışa oranı.

ETR: Gerçek buharlaşmanın toplam yağışa oranı.

I: Yeraltına sızan suyun toplam yağışa oranı.

P: Toplam yağış (1 olarak kabul edilir).

Ana denklem kullanılarak yeraltına süzülen su yüzdesini hesaplamak için farklı yöntemler bulunmaktadır;

Thornthwaite'a göre (Tablo 4.1); I hesaplandığında, yeraltına sızan su miktarı 146,4mm olduğundan, bu değeri toplam yağış olan 492,9mm'ye oranlanırsa,  $I=0.297$  olarak bulunur.

Gerçekte ise yağış şiddeti; zamana göre, yüzeydeki litolojinin geçirgenliği, topoğrafya eğimi gibi parametreler ise lokasyona göre farklılıklar göstereceğinden daha doğru bir yaklaşıma ihtiyaç duyulabilir. Bunun için Thornthwaite bütçe hesabının sadece gerçek buharlaşma parametresini alıp, herhangi bir yağış alanı için rasat istasyonunda ölçülen akım miktarını  $Q_r$  parametresi olarak alırsak, meteorolojik yağışı (P) yerine koyduğumuzda, buradan I'yı çekersek belirlenen alan için daha doğru bir süzülme katsayısı belirlenmiş olacaktır. Tablo 4.3'de bazı akım gözlem istasyonlarının yağış alanları için hesaplanmış yeraltı suyuna sızma katsayısı değerleri bulunmaktadır.

Tablo 4.3 Thornthwaite buharlaşma kabulüne göre hesaplanmış karşılaştırmalı yeraltına sızan su ve sızma katsayısı tablosu.(\* burada hesaplanan parametreler veri yılları arasında kalan yağış ve sıcaklık verileri ile ayrı ayrı hesaplandığından farklılık göstermektedir. # Hesaplanan sızma oranları ve yüzdeleri için Thornthwaite buharlaşma hesabı esas alınmış, ancak yüzeysel akış (Q<sub>r</sub>) için DSİ akım gözlem istasyonlarından alınan akım verileri kullanılmıştır).

AGİ no	Veri Yılları	Yağış Alanı(A)	Akış (Q <sub>r</sub> ) (*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yıl)	Yağış(P) (mm/yıl)	Yağışdan havzaya gelen su(A*P) (*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yıl)	ETR' (mm/yıl)	P-ETR' (mm/yıl)	P-ETR' (m/yıl)
5-48	2001-2006	41,8*10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>	17,84	503,27	21,04	378,88	124,39	0,12439
5-52	2001-2006	15,5*10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>	8,725	503,27	7,80	378,88	124,39	0,12439
5-53	2003-2006	31,7*10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>	11,5695	536,42	17,00	366,72	169,7	0,1697
5-56	2003-2006	98,65*10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>	41,195	536,42	52,92	366,72	169,7	0,1697
5-31	1982-2000	2513*10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>	111,3881875	443,74	1115,12	352,47	91,27	0,09127
AGİ no	Veri Yılları	A*(P-ETR) (*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yıl)	Yeraltına Sızan Su' (A*(P-ETR)-(Q <sub>r</sub> )) (*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yıl)	Sızma Oranı(l) #	Sızma Yüzdesi#	Thorntwaite Bütçesi Yeraltına Sızan Su (mm/yıl)	Thorntwaite Bütçesi Sızma Oranı	Sızma Yüzdesi
5-48	2001-2006	5,19	-12,64	-0,001407889	-0,14078886	136,84	0,272	27,2
5-52	2001-2006	1,92	-6,79	-0,001547918	-0,154791788	136,84	0,272	27,2
5-53	2003-2006	5,37	-6,19	-0,000997406	-0,099740559	192,22	0,358	35,8
5-56	2003-2006	16,74	-24,45	-0,001106629	-0,11066292	192,22	0,358	35,8
5-31	1982-2000	229,36	117,97	2,387E-03	0,238680036	113,41	0,255	25,5

Buharlaşma hesabını Thornthwaite'a göre yaptığımızda ve yüzeysel akış (Q<sub>r</sub>) için DSİ akım gözlem istasyonlarının verilerini kullandığımızda 5-31 nolu akım gözlem istasyonunun yağış alanı için sızma oranı ya da süzülme katsayısının değerinin  $2.387*10^{-3}$  olduğu görülmektedir.

Diğer akım gözlem istasyonu yağış alanları için negatif değer çıkmaktadır. Bunun nedeni buharlaşmanın beklenenden daha az olmasından veya birim zamanda yağış şiddetinin yüksek olduğu için süzülme olmaksızın tamamına yakınının yüzeysel akışa geçmesinden ya da komşu yağış alanlarında beslenmeden dolayı olabilir. Bunun dışında negatif çıkan yağış alanlarının alan büyüklükleri nisbeten 5-31 nolu yağış alanına göre oldukça küçük olmasından dolayı gerçeğe yakın değerler vermemiş olabilir. Thornthwaite bütçesi kabullerine göre; süzülme katsayısı hesabı yaptığımızda ise sızma oranının 0,255 ile 0,358 arasında değiştiği görülebilir.

Ayrıca, Cl beslenme yöntemi kullanılarak da sızma katsayısı hesabı yapılabilir. Yağıştan yeraltına süzülme veya beslenme katsayısı klorür yöntemi ile doğrudan hesaplanır. Schoeller'in beslenmeyi veren formülü basitleştirilerek şu şekilde yazılabilir (Schoeller 1960);

$$A = (1 - Q_r) \frac{C_{1P}}{C_{1n}}$$

A: Beslenme yüzdesi (%).

Qr: 1'e oranla gerçek yeryüzü suyu katsayısı yani yüzey suyunun yağışa göre yüzdesi (%).

Cl<sub>p</sub>: Yağmur suyundaki klorür miktarı (mg/l).

Cl<sub>n</sub>: Akifer suyundaki ortalama klorür miktarı (mg/l).

Akifer suyunun ortalama klorür miktarının saptanabilmesi için, inceleme alanında bulunan ve incelenen akifere inen kuyu sularında tahlil edilen klorür değerlerinin Galton yasaları uygulanarak istatistik yöntemle ortalaması saptanır. Akifer suyundan su örnekleri su tablasının veya basınç yüzeyinin en yüksek olduğu dönemde alınmaktadır. Kuyuların doğal olmayan aşırı klorürlü değerleri istatistiki yöntemle ortalama saptanmasına sokulmaz. Tablo 7.3'de 70 ppm'den büyük klorür değerleri hariç bırakıldığında ortalaması 26,5 ppm olarak bulunmuştur. Yağmur suyunun Cl miktarı yaklaşık 2 ppm olduğundan,  $(Cl_p/Cl_n) = 0,075$  yapar. Yüzey akışı (Qr) tablo 4.1'e göre  $Qr = 146,1/492,9 = 0,296$  olarak bulunur. Buradan beslenme yüzdesi yada süzülme, sızma katsayısı A (bazı literatürlerde I olarak geçer) 0,0222 olarak hesaplanmaktadır.

İzotop kimyası sonuçlarına göre jeotermal suların meteorik kökenli olduğu belirlendiğinden (Bkz Bölüm 8) ve yukarıdaki hidrolojik veriler ışığında jeotermal rezervuarların (akiferlerin) su bütünlemesi açısından yüzeysel beslenmenin çok önemli olduğu anlaşılmaktadır. Her ne kadar yer altına önemli miktarlarda beslenmenin olduğu varsayılsa da jeotermal sahaların işletilmesi aşamasında rezervuarların beslenmesinin sağlanması ve basıncın korunması açısından enerji üretiminden dönen suların reenjeksiyonu büyük önem taşımaktadır.



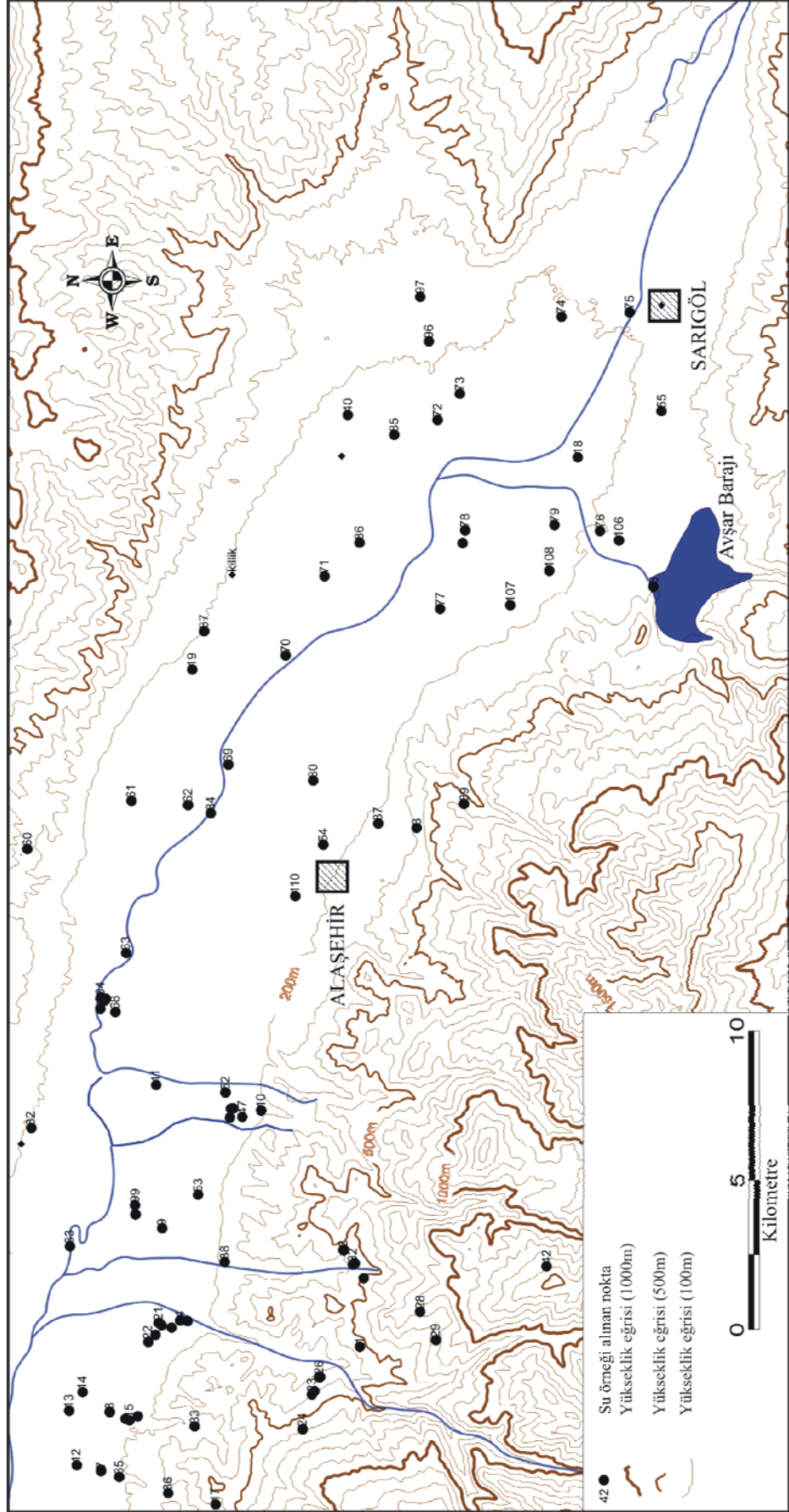
## **BÖLÜM BEŞ**

### **HİDROJEOLOJİ**

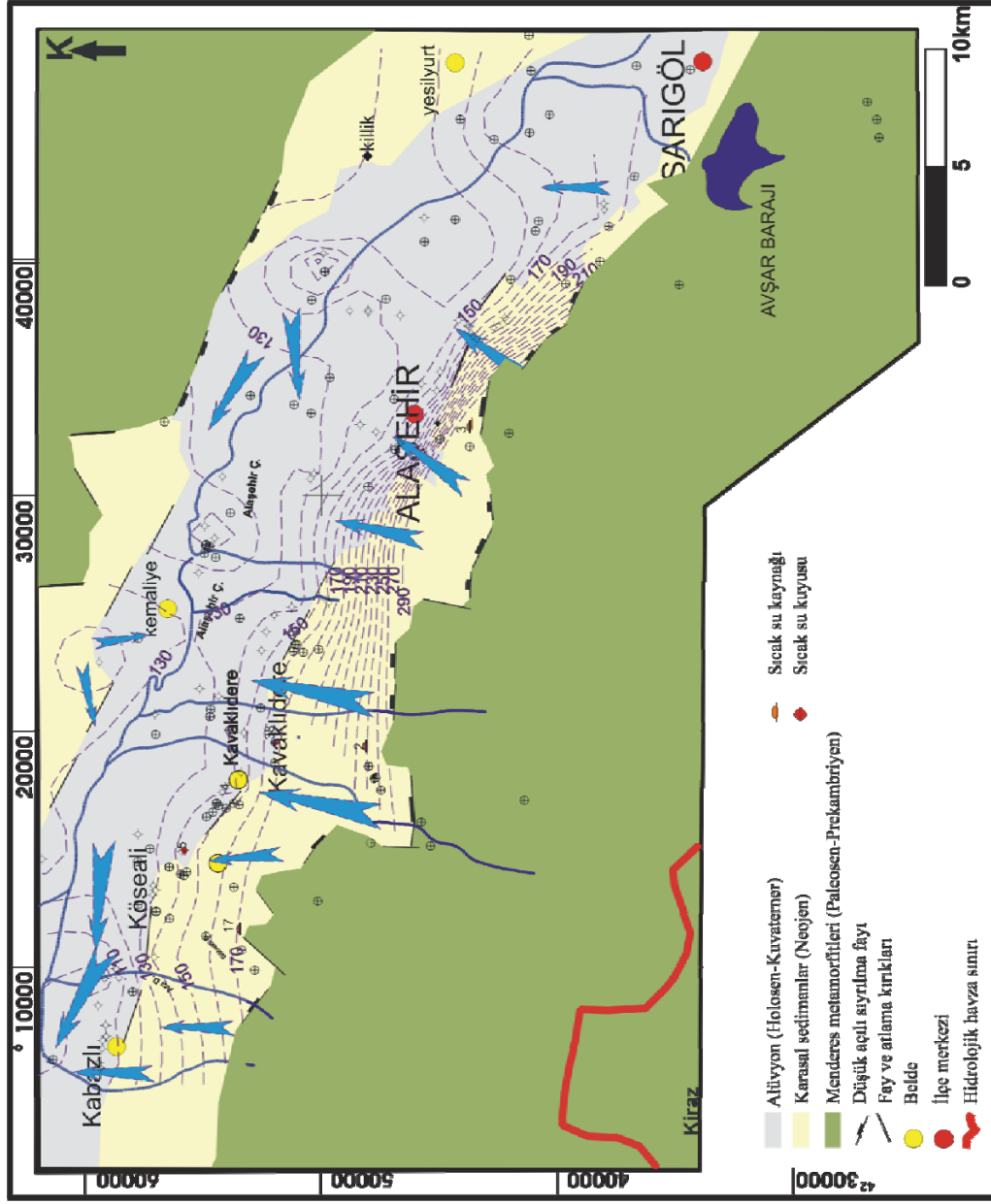
#### **5.1 Giriş**

Örnekleme yapılan su noktalarının yüksekliğe göre dağılımı, yükseklik modelinde görülmektedir (Şekil 5.1). Alanın hidrojeolojik haritası oluşturulmuş ve su noktaları da ayrıca haritalanmıştır (Şekil 5.2 ve 5.3). Yapılan hidrojeolojik haritada; jeolojik yapı sadeleştirilerek, kaya birimleri hidrojeolojik özelliklerine göre 3 ana grupta toplanmıştır. Alanın temelini oluşturan Menderes Masifi kayaları, Neojen yaşlı karasal sedimanlar tarafından üstlenmektedir. Kuvaterner yaşlı genç alüvyonlar ise Gediz'e akan Alaşehir Çayı boyunca grabenin orta kesiminde yer alır (Şekil 5.1 ve 5.3).

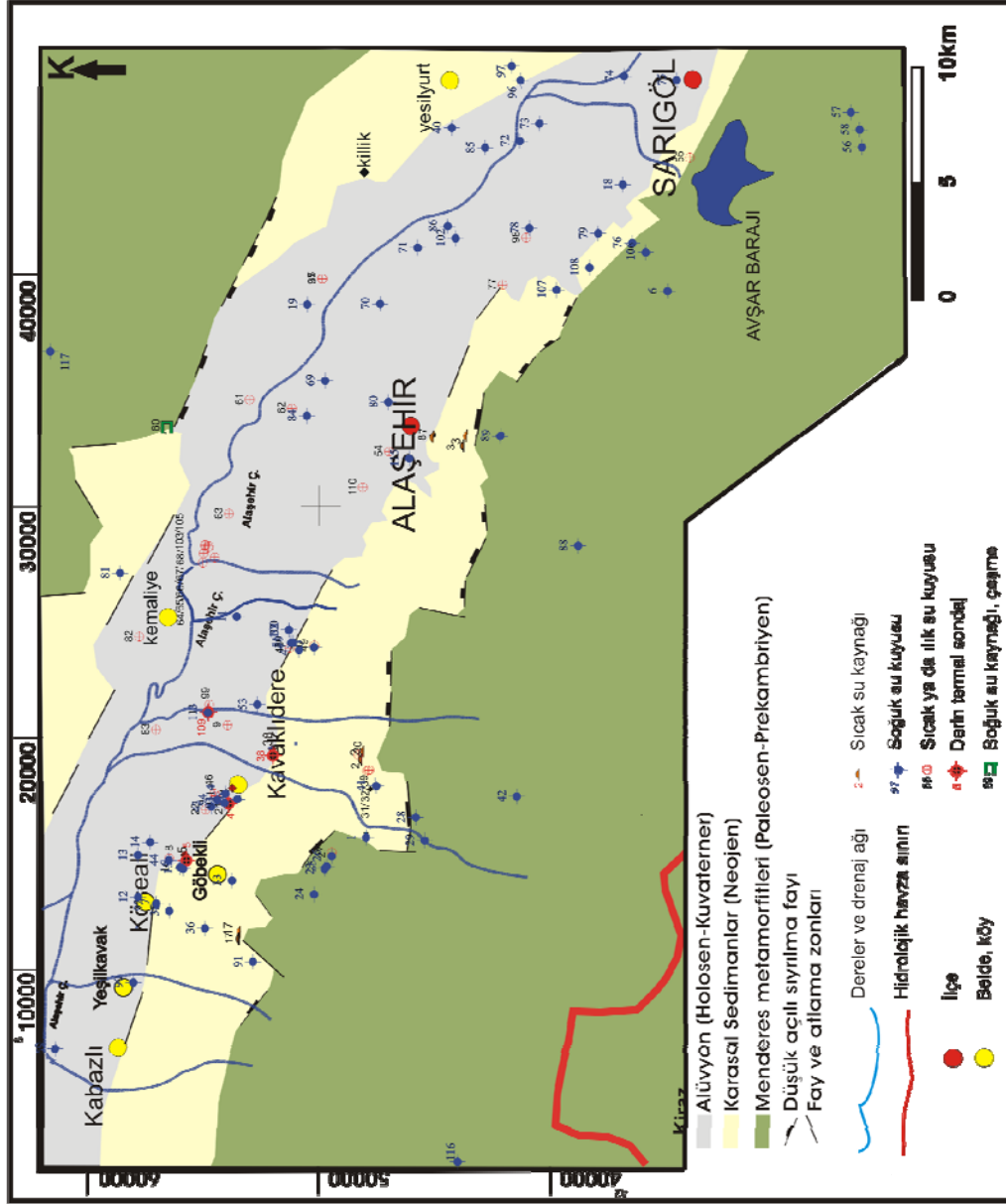
Yeraltı suyu akım yönü genellikle kuzeye ve kuzeybatıya doğrudur (Şekil 5.2). İzohidrohips ve yeraltı suyu akım yönü haritasına bakıldığında, alüvyon akiferin orta kısımlarındaki hidrolik eğimin, alüvyon akiferin Neojen karasal sınırına yakın yerlerdeki hidrolik eğime göre daha düşük olduğu görülmektedir. Yağış miktarındaki değişimin ve akifer kalınlığındaki yersel değişimin ihmal edilebilir olduğu varsayılırsa, Darcy denklemine göre alüvyon akiferin permeabilitesinin orta kısımlarda arttığı söylenebilir. Bununla birlikte Avşar Barajı'nın kuzey kısmında hidrolik gradyantın normalden fazla artması ve barajın mansab yönündeki suların kimyasal karakterinin baraj suyuna yakın karakterde bulunması, barajdaki kaçaklardan dolayı alüvyondaki beslenmenin artışına bağlanabilir. Bunların dışında, izohidrohips haritasına bakıldığında Kemaliye ilçesi'nin kuzeybatı ve güneydoğusunda dairesel izohidrohipsler görülmektedir.



Şekil 5.1 Yükseklik modelinde su notalarının yeri.



Şekil 5.2 İnceleme alanının hidrojeoloji haritası. (Yeraltı suyu seviye eğrileri bu çalışmada ölçülen değerler ve DSI -2005 verileri kullanılarak hazırlanmıştır).



Şekil 5.3 İnceleme alanındaki su noktalarının yeri (su noktaları yanındaki rakamlar örnek alım numaralarını belirtmektedir ve değerlendirmelerde bu numaralar dikkate alınmıştır).

## 5.2 Kaya Birimlerinin Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanının içerisindeki Menderes Masifi'ne ait karbonatlı kayalar (mermer ve dolomitli mermer) karstik ve çok çatlaklı olmalarından dolayı geçirimsizliği yüksek olup, sıcak ve soğuk su kaynakları için akifer oluştururlar. Bazı yerlerde Menderes Metamorfikleri'nin gnays ve kuvars-mikaşistleri de jeotermal sistemlerin akiferi (hazne kaya) olma özelliği gösterirler. Menderes Metamorfiklerine ait şist ve fillitlerin geçirimsizlikleri oldukça düşüktür. Neojen yaşlı, Göbekli ve Acıdere Formasyonuna ait, örtülü akarsu ortamında oluşmuş tortul kayaların kil ve çamurtaşı düzeyleri hidrojeolojik açıdan geçirimsiz veya az geçirimsiz olmaları nedeniyle jeotermal sistemlerin örtü kayacını oluşturmaktadırlar. Jeotermal sistemi ısı kaynağı tartışmalıdır. Isı kaynağı olarak düşünülebilecek alanda yüzlek veren granodiyorit ısı kaynağı oluşturmak için çok yaşlıdır. Çünkü bu zamana kadar derinlerdeki eşdeğeri de çoktan soğumuş olmalıdır. İnceleme alanının kuzeyinde bulunan Kula ve Adala bazaltları genç (Kuvaterner) volkanikler olduğundan ve hatta son evresi 10 bin yıl öncesine dayandığından şu an için soğumuş bile olsa ısı kaynağı oluşturabilecek durumdadır. Ancak alandaki jeotermal sisteme olan uzaklığı ve beslenme alanının farklı yönde olması nedeniyle bu bazaltlar da inceleme alanındaki sistemlerin ısı kaynağı olarak çok uygun değildir. Bununla birlikte alanın bir graben olduğu bilinmektedir. Graben alanlarındaki tektonik etkilerle yükselen jeotermal gradyan sistemin ısı kaynağını oluşturmaktadır (Tarcan ve diğ., 2005). Alaşehir'de jeotermal alanın oluşumunu gösteren kavramsal model Ek: 4'de verilmektedir. Alaşehir'in güneyindeki yüksek kısımlarda bulunan mağmatik, metamorfik kayaların üzerine yağın yağışlar bu kayaların çatlaklarından süzülerek derinlere iner ve yüksek jeotermal gradyent etkisiyle ısınır ve ana graben fayı (detachment fay) üzerindeki sıyrıma zonundan (kataklastik-milonitik zon) itibaren, K-G yönlü fayların yükselme zonlarından yüzeye çıkar. Jeotermal sistemin hazne kayasını Menderes Metamorfikleri'nin çatlaklı kırıklı mermer, şist ve gnaysları oluşturmaktadır.

Bölgede geniş bir yayılım gösteren alüvyon, soğuk sular için en önemli akifer birimidir. Alüvyon içerisinde farklı düzeylerde yer alan, akiklüt özelliği gösteren geçirimsiz kil, silt bantları, alüvyonu farklı seviyelerde yer alan yatay akifer gruplarına dönüştürmüştür. Alüvyondaki akifer gruplarından bazıları serbest akifer özelliğinde olup, büyük bir kısmı da basınçlı akifer özelliği göstermektedir. Bunların dışında Neojen'e ait yüksek kotlarda yer alan kayaçlarda, bazı yerlerde kil bantları sayesinde tünük akifer özelliği göstermekte olup, kil düzeyinin azaldığı yerlerde bazı çakıltaş katmanları da akifer özelliğindedir. Fakat, alüvyonun gözenekliliği ve permeabilitesi yüksek, beslenme açısından da daha alt kotlarda yer aldığından en verimli soğuk su kuyuları alüvyonda açılmıştır. B, %Na, EC gibi parametrelerin artması sulama özellikle suyunun kalitesini düşürmektedir. Bu seviyeler düşey ve yanal yönde çeşitli giriklikler oluşturmakta, kimi yerde merccekler şeklinde, kimi yerlerde ise ara katmanlar şeklinde bulunmaktadır. Bu özellikleri itibariyle alüvyon birimi içinde birçok akifer ve akiklüt katmanları bulunmaktadır. Bu nedenle bazı katmanlar basınçlı akiferleri, bazılarıysa serbest akiferleri oluşturmaktadır. Ancak tüm Alaşehir Grabeni ölçeğinde düşünüldüğünde alüvyon çoğunlukla basınçlı akiferlerden oluşmaktadır ve bazı hidrojeolojik değerlendirmelerde basınçlı akifer koşulları dikkate alınmıştır. 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.

### 5.3 Su Noktaları

Araştırma yapılan alan, Sarıgöl ilçesi'nin batısındaki Avşar Barajı'ndan itibaren batıya doğru uzanan Alaşehir grabeni boyunca Kabazlı beldesine kadar uzanmaktadır. Alandaki su noktaları yüzey suları (baraj gölü ve akarsular), soğuk yeraltı suları (kaynaklar ve kuyular) ve sıcak ve mineralli sular (kaynaklar ve kuyular) olarak sınıflanabilir. Başlıca akarsular Alaşehir Çayı'dır. Bu çay inceleme alanının dışında Gediz Nehri'ni beslemektedir. Alaşehir Çayı grabene drenaj ağından gelen suları kuzeybatıya (Salihli ilçesine) doğru ve daha sonra Gediz Nehri'ne karışarak Ege Denizi'ne boşaltmaktadır. Alaşehir ilçesinin doğusunda Sarıgöl

ilçesine yakın bölgede Avşar Barajı (Şekil 5.4) bulunmakta olup, kendisinin güneyindeki ve doğusundaki suları toplamaktadır. Alaşehir Çayı'na grabenin güneyindeki drenaj sisteminden taşınan sular doğudan batıya doğru sırasıyla Azmak Deresi, Ilıca Deresi, Sarısu Çayı, Gümüşçaylı Deresi, Zeytinçay Deresi, Şahyar Çayı, Alhan Çayı, Kavaklıdere Çayı, Göbekli Deresi, Acıdere, Kınık Dere ve Kabazlı Deresi olarak sıralanır. Kimyasal ve/veya izotop analiz amaçlı örneklenen yüzey suyu noktaları şunlardır; Asar Çayı (no:1), Avşar Barajı (no:6), Göbekli Deresi (no:15, no:16, no:20), Köseali doğusu dere (no:33), Avşar Barajı sol sahil dere (no:108). Bunlardan ayrı 114, 115 ve 116 numara ile belirtilen sular yağmur ve kar sularını yansıtmaktadır.



Şekil 5.4 Avşar Barajına doğudan bakış.

Bölgede yüzey suları dışında doğal olarak çıkan sıcak sular (sıcak su kaynakları) ve açılmış derin sondajlardan boşalan sıcak sular bulunmaktadır. Bu sıcak ve mineralli suların başlıcaları; Sazdere (no:2), Alaşehir (no:3) ve Acıdere (no:17) Ilıcaları, AK-1 (no:4), KG-1 (no:5) ve AK-2 (no:38) derin jeotermal sondajları,

Sazdere (no:30), Horzumembelli (no:34) ve Sarıkız (no:87) maden suyu kaynakları olarak sıralanabilir. AK-1 kuyusu 1996'da açılmış 750m derinlikli ve 63°C kuyu dibi sıcaklığına sahip bir jeotermal sondajdır. Akış debisi kompresörle 3 L/sn olarak kaydedilmiştir (Akkuş ve diğ., 2005). KG-1 (Ek:5)sondajı Göbekli Köyü giriş yolunun kenarında 2002 yılında açılmış, 1447m derinlikli ve 183°C kuyu dibi sıcaklığı olan derin jeotermal kuyudur. Bu kuyuda akış artezyen olup, debisi 12 L/sn olarak kaydedilmiştir (Karahan ve diğ., 2003). Kuyuda, akışkan üretimi büyük oranda 940-965m arasındaki fay zonundan gerçekleşmektedir. Bunun dışında 1220m ve 1300m.'deki çatlak-kırık sistemlerinden de az miktarda üretim olmaktadır (Karahan ve diğ., 2003). Kuyu sıcaklık ölçüm kayıtlarına göre sıcaklık artışı devam ederken sondaj kesilmiştir. Yani daha derinlerde daha yüksek sıcaklıklı ve debili akışkan bulunması olasılığı vardır. AK-2 (Ek:5) ise 2004 yılında açılmış, 1501m derinlikli ve 213°C kuyu dibi sıcaklıklı derin bir jeotermal kuyudur. Kuyudaki akışkan gelişti artezyendir ve 6.74 L/sn olarak kaydedilmiştir. Bütün bu önemli bilinen sıcak ve mineralli suların yanı sıra şahıslar tarafından açılmış bulunan birçok sulama kuyusu suları da sıcak ve mineralli su özelliğindedir (37, 46, 47, 48, 49, 54, 55, 60, 61, 62, 63, 64 65, 66, 67, 68, 77 ve 109 numaralı sular bu tür sondaj sularıdır). Bunlar arasından 109 numaralı Tariş karşısındaki sera sondajı 57°C sıcaklıklı suyuyla önem taşımaktadır.

Soğuk yeraltı sularından 28, 29, 42, 81, 91 numaralı olanlar düşük debili kaynak ve çeşmelerdir. Bunların dışındaki yeraltı sularının tamamı çeşitli derinliklerde açılmış sondaj kuyularıdır. Kuyuların çoğu kayıtdışı olduğundan logları mevcut değildir. Dolayısıyla izinsiz bu kuyuların kuyu derinlikleri, debileri, geçtikleri akifer katmanları belirlenememiştir. Özetle büyük bir çoğunluğu alüvyon akiferde açılmıştır, bir kısmı da Neojen çakıllaşlarından da beslenmektedir.

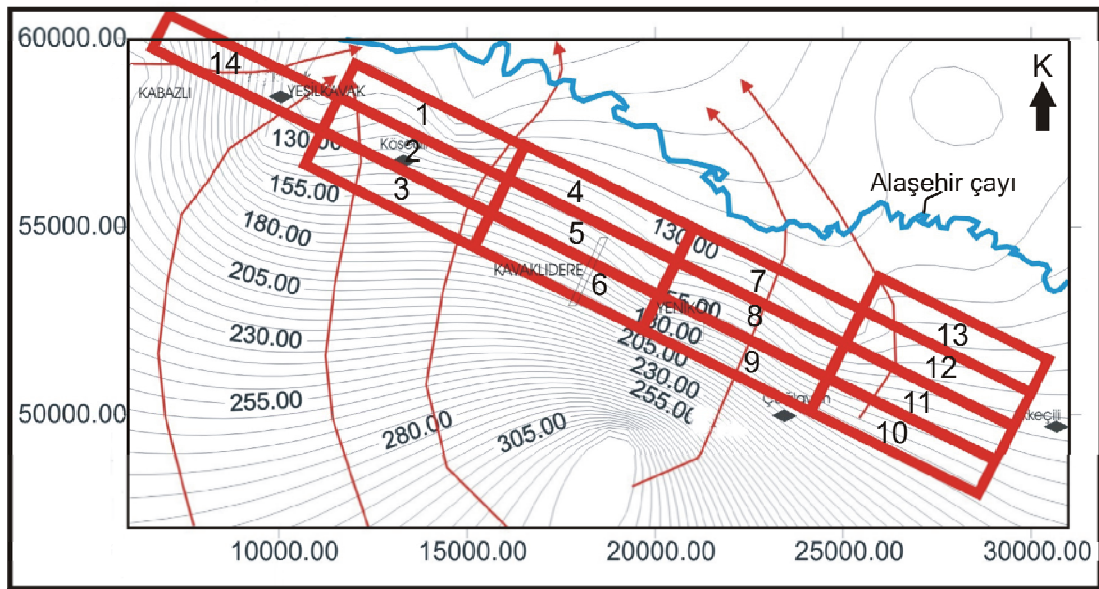
#### **5.4 Yeraltı Suyu Akım Yönünün Belirlenmesi**

DSİ ve İller Bankası'na ait kuyuların verileri değerlendirilerek, kuyu yerlerinin x, y koordinatları çıkarılmıştır. Sonra, her bir kuyu için kuyu başı yüksekliğinden statik seviyeye kadar olan su derinliği çıkarılarak kuyulara ait yeraltı suyu kodları (h)



hesaplanmıştır. SURFER Programı'nda bölgeye ait kuyuların x, y, h değerleri girilerek eş su seviye eğrileri (izohidrohips) haritası oluşturulmuş ve Corel-12 programında işlenerek yeraltı suyu akım yönleri gösterilmiştir. Alaşehir Grabeni boyunca yer alan alüvyon akiferde yeraltı suyu akım yönü, grabenin güney kenarına yakın kısımlarda alüvyonun kuzeydoğuya doğru iken Alaşehir Çayı boyunca kuzeybatıya doğrudur. İzohidrohips eğrilerine göre Alaşehir Çayı yeraltı suyu tarafından beslenmektedir.

Yüzey sularının hareket yönü topoğrafyaya uygun olarak güneydoğudan kuzeybatıya doğrudur (Şekil 5.2, 5.5).

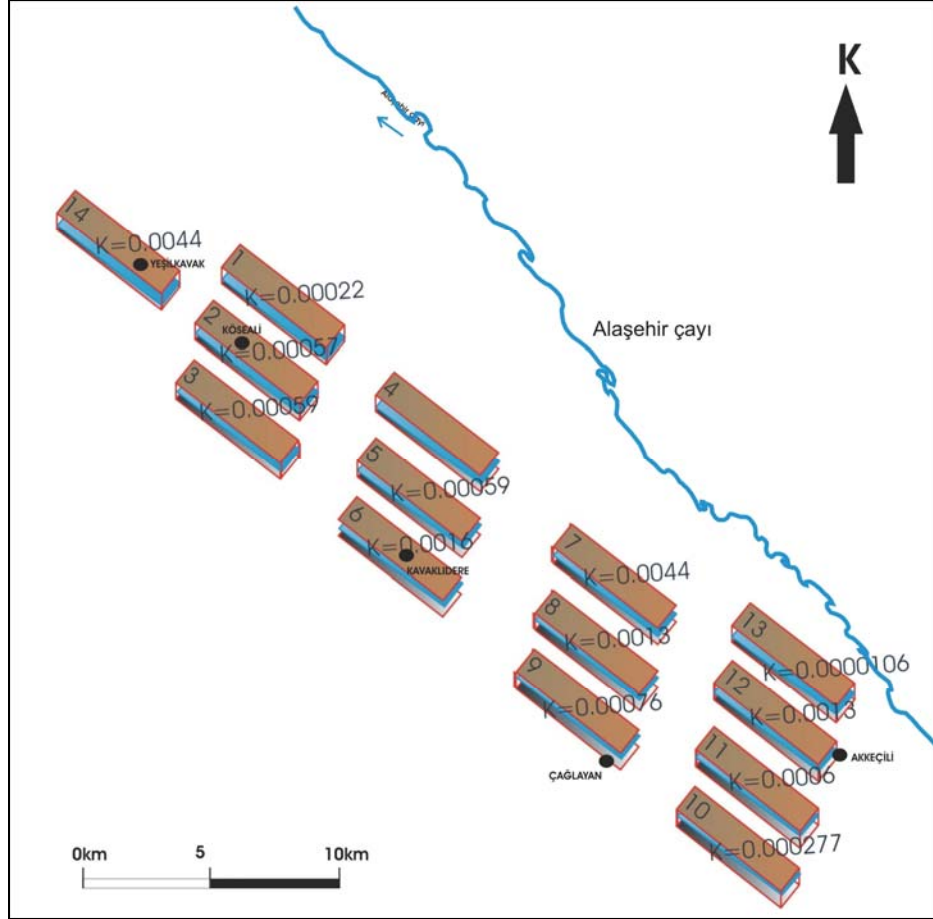


Şekil 5.5 Yeraltı suyu akım yönü ve akifer parametrelerinin (K, T, S) aynı olduğu kabul edilen hücre alanları.

### 5.5 Homojen Kabul Edilen Belirli Alanlar İçin Akifer Parametrelerinin Bulunması

Alaşehir Havzasını besleyen yeraltı suyu akımının miktarını hesaplamak amacıyla öncelikle çalışma alanı  $5 \times 1 = 5 \text{ km}^2$ 'lik hücelere ayrılmıştır (Şekil 5.5 ve 5.6). Her bir hücre için en az bir kuyuya ait veriler (derinlik, statik seviye, dinamik seviye) ve

kuyu pompa testlerinden hesaplanan akifer parametreleri (K, T, S) o hücrenin her yerinde aynı kabul edilmiştir (Tablo 5.1).



Şekil 5.6 Alan için tasarlanan hücrelerin üç boyutlu görünümü (hücrelerin altındaki mavi renkli düzeyler yeraltı suyu seviyesini yansıtır ve akım yönü kuzeye ve kuzeybatıya), hücre numaralandırılması ve hücreler için hesaplanan permeabilite (K) (m/dak) değerleri.

Tablo 5.1 Her bir hücreye ait, Theis yöntemiyle hesaplanmış akifer parametreleri.

Hücre	K (m/dk)	K (m/sn)	S	T(m <sup>2</sup> /dk)	T (m <sup>2</sup> /sn)
1	0,00059	9,83 E-06	0,000082	0,036	6,00 E-04
2	0,00057	9,50 E-06	0,0004	0,035	5,83 E-04
3	0,00022	3,67 E-06	0,00005	0,023	3,83 E-04
4	0,00186	3,10 E-05	0,00039	0,132	2,20 E-03
5	0,00059	9,83 E-06	0,001	0,046	7,67 E-04
6	0,00160	2,67 E-05	0,0000009	0,131	2,18 E-03
7	0,00440	7,33 E-05	0,000034	0,315	5,25 E-03
8	0,00130	2,17 E-05	0,00029	0,127	2,12 E-03
9	0,00076	1,27 E-05	0,000023	0,048	8,00 E-04
10	0,00028	4,62 E-06	0,000069	0,021	3,50 E-04
11	0,00060	1,00 E-05	0,000031	0,051	8,50 E-04
12	0,00130	2,17 E-05	0,000024	0,122	2,03 E-03
13	0,00001	1,77 E-07	0,00005	0,00008	1,33 E-06
14	0,00440	7,33 E-05	0,00018	0,531	8,85 E-03

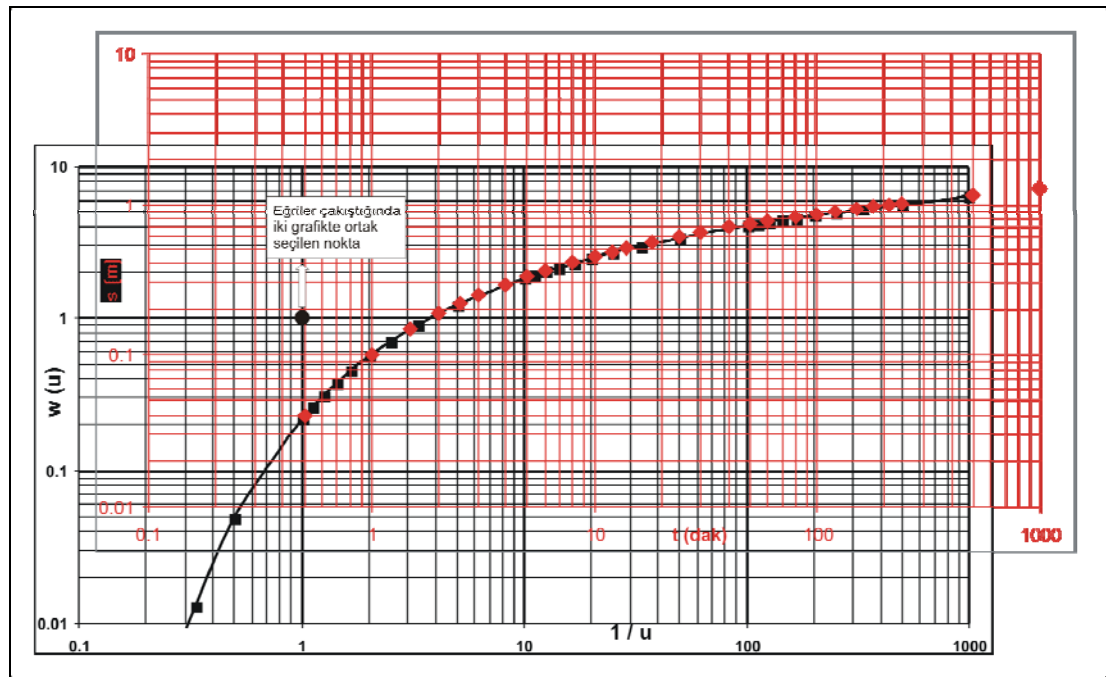
Hücreler arasındaki yeraltı suyu akımının sadece x ve y doğrultusunda olduğu kabul edilerek hücrelerden geçen akım miktarları hesaplanmıştır. Böylece, Alaşehir Havzası'nın güney kesimindeki horsttan, alüvyona, alüvyondan Alaşehir Çayı'na ve Gediz Grabeni'ne olan yeraltı suyu beslenmeleri hesaplanmış ve yeraltı suyu akım hızı bulunmuştur. Alüvyonda açılan kuyularda DSİ ve İller Bankası tarafından yapılan pompaj deneylerinin değerlendirilmesiyle K, T, S parametreleri Theis yaklaşım yöntemiyle hesaplanmıştır.

Yapılan pompaj deneylerinden K, T, S parametreleri hesaplanarak yaklaşık değerler bulunmalıdır. K, T, S parametreleri hesaplanırken Theis Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde W(u)'nun 1/u'ya göre çizilen Theis'in standart eğrisinden yararlanılmıştır. Kuyuların zamana karşı düşüm eğrileri çizilip, Theis'in standart eğrisi ile karşılaştırılarak iki grafikte bir ortak noktaya ait s, t, 1/u, w(u) değerleri (Şekil 5.7) belirlenip formüllerde yerine konularak T, S bulunmuş daha sonra da T kuyu logundan belirlenen akifer kalınlığına bölünerek K hesaplanmıştır.

$$\bullet T = \frac{Q}{4\pi s} W(u) \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad T = Kb$$

T = Transmisibilite	r= Kuyu yarıçapı	K=Permeabilite
Q=Debi-m <sup>3</sup> /s	S= Depolama katsayısı	b=Akifer kalınlığı
s=Kuyuda bir t anında ölçülen düşüm miktarı		t= Zaman

Bölgede permeabilite (K) değerleri 0,0000106 m/dak ( $1,76 \times 10^{-7}$  m/sn) ile 0,0044 m/dak ( $7,33 \times 10^{-5}$  m/sn) arasında değişmektedir. Bu değerler düşük orta dereceli geçirgenliğe ve ince orta kaba kum arasında değişen tane bileşenine sahip akifer ortamını yansıtmaktadır. Bu akiferlerin transmissivite (T) değerleri 0,000085 m<sup>2</sup>/dak ( $1,41 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/sn) ile 0,53 m<sup>2</sup>/dak ( $8,83 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/sn) arasında, depolama katsayısı (S) değerleri ise 0,0000009 (%) ile 0,00108 (%) arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 5.1). Alüvyon akiferdeki yeraltı suyu akım hızları 0,00001 ile 3,01 m/dak ( $1,67 \times 10^{-7}$  ile 0,050 m/sn ) arasında hesaplanmıştır.



Şekil 5.7 Theis yönteminde kuyu fonksiyonu ile düşüm-zaman eğrisinin karşılaştırılması.

## 5.6 Hücre Alanlara Giren-Çıkan Yeraltı Suyu Akımının ve Hızının Hesaplanması

Alaşehir Grabeni'ne olan toplam akım miktarını bulmak için Darcy Yasası'nın hendeğe akım modeli kullanılmıştır. Belirlenen alandaki hücelere (Şekil 5.5, 5.6) giren ve çıkan yeraltı suyu akım ve hızı aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır (Tablo 5.2).

- $Q = -AKi$  (Darcy Yasası)

$$Q = dhK \frac{dh}{dl} \Rightarrow Q = hK \frac{dh}{dl} \Rightarrow Q \int dl = K \int h dh$$

$$\Rightarrow Ql = K \frac{h^2}{2} \Big|_{h_1}^{h_2} \Rightarrow Ql = K \frac{h^2}{2} \Big|_{h_1}^{h_2} \Rightarrow$$

$$Q = \frac{K}{l} \frac{h_2^2 - h_1^2}{2} \text{ (serbest akifer, Dupuit)}$$

$$Q_{N-K} = GQ = \frac{K}{l} \frac{h_2^2 - h_1^2}{2}$$

Her bir hücreden geçen akım, x ve y doğrultusundaki genişlikler G ile çarpılarak bulunur.

$K$  = Permeabilite

$l$  = Uzaklık

$h_2, h_1$  = Yeraltı suyu kotu

$Q$  = Debi

$G$  = Her bir hücre için akım yönüne dik olan genişlik

Tablo 5.2 Hücrelerin birbirleri ile olan yeraltı suyu akımı ilişkileri.

Hücre no	K, batısındaki hücre ile olan akım ilişkisi (Q m <sup>3</sup> /dk)	G, doğusundaki hücre ile olan akım ilişkisi (Q m <sup>3</sup> /dk)	K, doğusundaki hücre ile olan akım ilişkisi (Q m <sup>3</sup> /dk)	G, batısındaki hücre ile olan akım ilişkisi (Q m <sup>3</sup> /dk)	Hücreye giren-çıkan akım toplamı (Q m <sup>3</sup> /dk)
1	(-)	(+)	-4,479	(+)	0
2	-1,05	0,244	-1,671	4,479	2,002
3	(-)	0,259	(-)	1,671	0
4	-0,138	0,023	-7,095	7,21	0
5	-0,244	0,00049	-2,8	7,095	4,05
6	-0,259	0,358	(-)	2,8	0
7	(-)	2,25	-36,294	34,06	0
8	-0,00049	0,36	-3,052	36,294	33,6

Hücre no	K, batısındaki hücre ile olan akım ilişkisi (Q m <sup>3</sup> /dk)	G, doğusundaki hücre ile olan akım ilişkisi (Q m <sup>3</sup> /dk)	K, doğusundaki hücre ile olan akım ilişkisi (Q m <sup>3</sup> /dk)	G, batısındaki hücre ile olan akım ilişkisi (Q m <sup>3</sup> /dk)	Hücreye giren-çıkan akım toplamı (Q m <sup>3</sup> /dk)
9	-0,358	0,025	(-)	3,052	0
10	-2,25	(+)	-11,712	(+)	0
11	-0,36	(+)	-5,804	11,712	0
12	-0,025	(+)	-4,33	5,804	0
13	(-)	(+)	(-)	4,33	0
14	(-)	1,05	(-)	(+)	0

Hücrelere giren çıkan toplam akım “0” sıfır olmalıdır. 2, 5 ve 7 nolu hücrelerde yeraltı suyu akımı sıfır olmadığından yeraltı veya yer üstü kaynaklarından, bu hücrelere giriş olduğu düşünülmektedir. 1, 3, 10, 13, 14 nolu hücrelerde ise yeraltı suyu akımı en az 2 yönde tespit edilemediğinden toplam akım sıfır olarak yazılır. Grabenin güney kanadından geçen yeraltı suyu akım hızı her bir hücre için hesaplanmıştır (Tablo 5.3). Bu hızı bulmak için kesit alanını özgül verime eşit etkin gözeneklilik ile çarpmak gerekir. Hesaplamalar yapılırken  $n_e$ , S (depolama katsayısı) olarak alınmıştır.

Tablo 5.3 Hücreler arası yeraltı suyu hız vektörleri (pozitif değerler varsayılan hücreye giren akımı, negatif değerler ise çıkan akımı göstermektedir).

Hücre no	KD (m/dk)	GB (m/dk)	GD (m/dk)	KB (m/dk)
1	$V_{1-2}= 0,16$		$V_{1-4}= -0,0012$	
2	$V_{2-3}= -0,091$	$V_{2-1}= -0,16$	$V_{2-5}= -0,0025$	$*V_{2-14}=0,032$
3		$V_{3-2}= 0,091$	$V_{3-6}= 0,001$	
4	$V_{4-5}= 0,004$		$V_{4-7}= -0,026$	$V_{4-1}=0,0012$
5	$V_{5-6}= 0,014$	$V_{5-4}= -0,004$	$V_{5-8}= -0,00001$	$V_{5-2}= 0,0025$
6		$V_{6-5}= -0,014$	$V_{6-9}= -0,025$	$V_{6-3}= -0,001$
7	$V_{7-8}= 0,024$		$V_{7-10}= -0,393$	$V_{7-4}= 0,026$
8	$V_{8-9}=0,025$	$*V_{8-7}= -3.01$	$V_{8-11}= -0,016$	$V_{8-5}=0,00001$
9		$V_{9-8}= -0.025$	$V_{9-12}= -0,016$	$V_{9-6}= 0,025$
10	$V_{10-11}= 0,416$			$V_{10-7}= 0,393$
11	$V_{11-12}=0,291$	$V_{11-10}= -0,416$		$V_{11-8}= 0,016$
12	$V_{12-13}= 0,208$	$V_{12-11}= -0,291$		$V_{12-9}= 0,016$
13		$V_{13-12}= -0,208$		
14			$*V_{14-2}= -0,032$	

$$\bullet V_e = \frac{Ki}{n_e} = \frac{Ki}{S} \quad n_e = \text{Etkin gözeneklilik} \quad i = \text{Hidrolik eğim}$$

$$\bullet S = \text{Depolama katsayısı} \quad K = \text{Permeabilite} \quad V = \text{Yeraltı suyu akım hızı}$$

Grabenin güney kenarından alüvyonu besleyen yeraltı suyu akımı hücrelerin güney batısındaki metamorfik kayalardan ve güney doğusundaki alüvyondan gelmektedir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4 Hücrelerin GB ve GD'dan gelen yeraltı suyu akımı.

Hücre no	Yeraltı suyu akımı (m <sup>3</sup> /dak)				Toplam	Ortalama
	1	4	7			
KB'ya doğru olan YAS akımı	0,138	0,023	2,25			
Hücre no	2	5	8			
KB'ya doğru olan YAS akımı	0,244	0,00049	0,36			
Hücre no	3	6	9			
KB'ya doğru olan YAS akımı	0,259	0,358	0,025			
KB'ya doğru olan YAS akımı toplamları	0,641	0.38149	2.635		<b>3,65749</b>	<b>1.219163</b>
Hücre no	2	5	8	11		
KD'ya doğru olan YAS akımı toplamları	4,479	7,095	39,294	11,712	<b>62,580</b>	<b>62,580</b>

Bu tasarımlar sonucunda yeraltı suyu akım hızları en düşük 0,00001 m/dk, en yüksek 0,416 m/dk olarak belirlenmiştir.

## BÖLÜM ALTI

### İZLEYİCİ DENEYLERİ

#### 6.1 Giriş

Su noktaları arasındaki bağlantıların araştırılması, suyun yeraltındaki izlediği yolların araştırılması, yeraltı ya da yüzey sularının gerçek hızlarını belirleyebilmek, yeraltı ve yerüstü sularında kirlilik taşınımını denetleyen parametreleri (difüzyon, dispersiyon, adveksiyon) incelemek için izleyici deneyleri yapılmaktadır. İzleyici deneyleriyle, belirli bir yatakta akmakta olan suyun debisini de ölçmek mümkündür. Ayrıca işletilmekte olan jeotermal sistemlerde re-enjeksiyon yapılan kuyudan izleyici verilerek, üretim kuyularına ulaşma süreleri ve hızları belirlenebilir ve böylece açılacak yeni üretim ve re-enjeksiyon kuyuları hakkında araştırmalar yapılır. Çok çeşitli izleyiciler bulunmakta olup bunlardan bir kısmı yapay, bir kısmı doğaldır. Doğal izleyicilerden en çok kullanılanları izotoplardır. Doğal olan izleyici deneylerinden en yaygın kullanılan suyun içerisindeki duraylı izotoplarla yapılan izleyici deneyidir. Burada suyun  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  gibi duraylı izotopları kullanılır. Duraysız izotoplar bozunmaya uğradıkları için daha çok yaş belirlemede kullanılır.

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 kompleksdir. Çözünenlerin taşınması için iki temel işlem süreci bulunmaktadır. **Difüzyon**, suda çözünmüş iyonik ve moleküler türlerin kimyasal etkinliğinin yüksek derişimli bölgelerden düşük derişimli bölgelere doğru gerçekleştirdiği bir süreçtir (Şekil 6.1). Çözünenlerin akan yeraltı suyunun akan kütlesi ile taşınma işlemine **adveksiyon** denir. Çözünenlerin kütle akış yönündeki saçılmasına **boyuna dispersiyon** denir. Çözünenin akışa dik yöndeki saçılmalarına **enine dispersiyon** denir (Şekil 6.2) (Fetter, 1994).



Sudaki çözünenin difüzyonu Fick yasalarıyla tanımlanır. Fick'in ilk yasası dengeli rejim şartları altında çözünenin akısını tanımlamaktadır. Derişimlerin (konsantrasyonların) zamanla değiştiği sistemlerde, Fick'in ikinci yasası uygulanabilmektedir.

$$\bullet \partial C / \partial t = D \partial^2 C / \partial x^2 \quad (\partial C / \partial t = \text{zaman içinde derişimde oluşan değişimdir.})$$

C : Derişim (kg/m<sup>3</sup>)

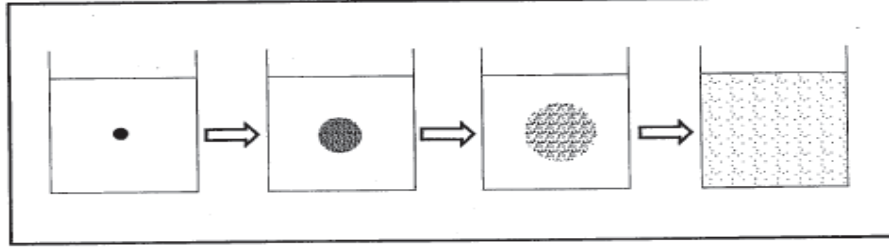
t : Zaman (s)

x: Koordinat (m)

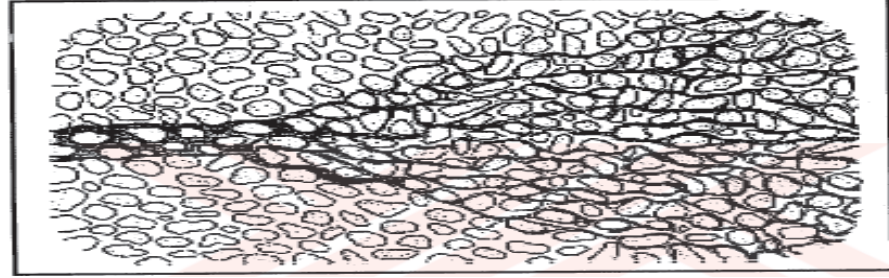
D∂ : Moleküler difüzyon katsayısı (m<sup>2</sup>/s)

Reaksiyona girmeyen çözünen, çekime bağlı olarak suyun ortalama doğrusal hızı eşit bir hızda taşınmaktadır. Ancak çözünenler, akış sisteminin adveksiyon hidroluğine 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 derişimi kaynaktan uzaklığa bağlı olarak azalacaktır.

Yapay olan izleyici deneylerinde genellikle yapay kimyasal izleyiciler kullanılır. Bunlar Na-Fluorocein, Rhodamin gibi kimyasal boyalardır. Burada kullanılan izleyicinin doğal ortamda olmaması ve ortamda tepkimeye girerek, iyon değişimi ile ya da absorbe olarak azalmaya uğramaması istenir. Bu izleyiciler belirtilen özellikleri taşımaktadır. Bu izleyicilerle boya atılan kuyuda zamana karşı seyrelme ölçülerek adveksiyon-dispersiyon etkisi belirlenebilir (şekil 6.2). Ayrıca boya atılan kuyudan itibaren yeraltı suyu akımı yönünde başka bir kuyuda zaman karşı boya derişimi ölçülerek varış zamanının saptanmasıyla, yeraltı suyu hızı belirlenerek akiferin içinden belirli bir kesitten birim zamanda geçen yeraltı suyu miktarı hesaplanabilir. Daha sonra Fick Denklemi kullanılarak çalışılan akifer için kullanılan izleyiciye göre dispersiyon katsayısı bulunabilir.

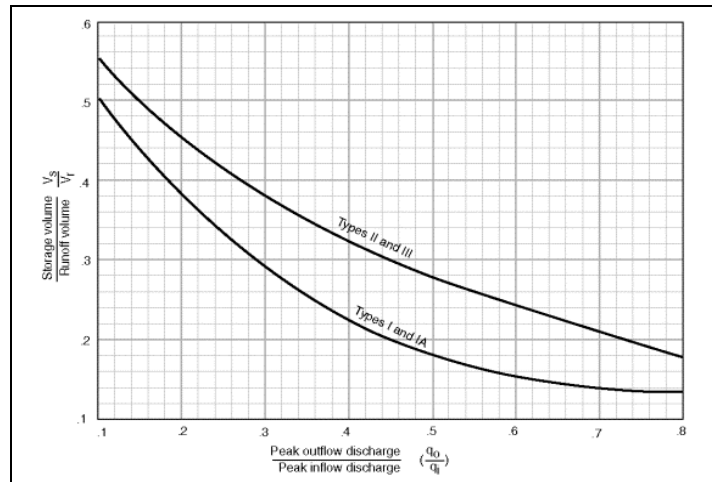


Şekil 6.1 Difüzyonla seyrelme ve karışım (Anonim, bt.) bt: bilinmeyen tarih.



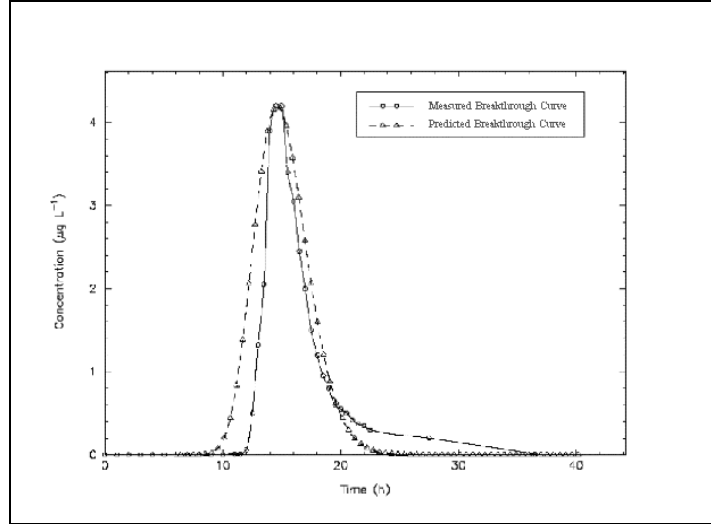
Şekil 6.2 Dispersiyonla seyrelme ve karışım (Anonim, bt.) bt: bilinmeyen tarih.

Eğer gözenekli, homojen bir ortamda bir kuyuda, yeraltı suyuna anlık, belirli miktarda (sürekli değil) izleyici atıldığında, izleyici madde yeraltı suyunda adveksiyon ve dispersiyonla taşınarak kuyu lokasyonunda zamana karşı azalmaya uğrayacaktır ve belirli bir zaman sonra tamamen taşınarak ölçülemeyecek seviyeye inecektir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Homojen izotrop ortamda yeraltı suyuna anlık girdi yapan izleyicinin taşınarak ve dispersiyonla azalmasını gösteren diyagram (Anonim, bt.) bt: bilinmeyen tarih.

Eğer anlık izleyici birinci kuyudan yeraltı suyuna atıldıktan sonra yeraltı suyu akım yönünde diğer bir kuyuda izlenecek olursa, o zaman bir süre suyun blank (ilksel) derişimi izlendikten sonra bir artış gözlenir ve pik yapar. Bundan sonra düşme olur ve zaman içinde tekrar ilksel değerine düşer (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Birinci kuyudan atılan izleyicinin akım yönü ve doğrultusunda bulunan ikinci kuyuda verdiği pik değerlerin temsili görünümü (pikin maximum noktası yaklaşık olarak varış zamanını gösterir) (Anonim, bt.) bt: bilinmeyen tarih.

Bu projede izleyici olarak Uranin (Na-Fluorocein) kullanılmıştır (Şekil 6.6). Floresans izleyiciler düşük dalga boyu (yüksek enerji) ile uyarıldıklarında yüksek dalga boyunda ışımaya (düşük enerji) yaparlar. Cihazlar da bu prensiple çalışır. Uranin suyla iyi karışan ama suyun fiziksel özelliklerini pek değiştirmeyen bir maddedir. Moleküler formülü  $C_{20}H_{10}Na_2O_5$  olup molekül ağırlığı 376,28gr'dır. Güneşin ultraviyole ışınları Uraninin Fluorocein özelliğini kalıcı şekilde kaybetmesine neden olur. Bu özelliğinden dolayı güneş ışığına maruz kalmaması için mor renkli cam şişelerde saklanmalıdır (Şekil 6.7). TURNER FILTER DESIGN 10AU FLUOROMETRE ile ölçümler yapılmıştır (Şekil 6.5). Çalışma alanında işletilen bir jeotermal sistem olmadığından, izleyici deneyleri alüvyondaki soğuk su kuyularında yapılmıştır.



Şekil 6.5 Bu proje kapsamında alınan ve çalışılan Turner 10AU Fluorometre cihazı.



Şekil 6.6 Boya deneyinde kullanılan yüksek derişimde hazırlanmış Na- Fluorocein.



Şekil 6.7 Kuyulardan toplanan izleyici içeren suyun mor renkli şişelerden alınarak seyreltilip okunması.

Diğer bir önemli nokta ise; izleyicinin akım yönünde bulunan ikinci gözlem kuyusuna eriştiğinde, azalan izleyici derişiminin cihazın ölçüm sınırlarında kalmasıdır. Aslında atılan boya miktarı belirlenirken bu durum hesaba katılmalıdır. Bunun için daha önce bölgede yapılmış pompaj deneylerinden K, T, S parametreleri hesaplanarak yaklaşık değerler bulunmalıdır. K, T, S parametreleri hesaplanırken Theis Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde  $W(u)$ 'nin  $1/u$ 'ya göre çizilen Theis'in standart eğrisinden yararlanılmıştır. Kuyuların zamana karşı düşüm eğrileri çizilip, Theis'in standart eğrisi ile karşılaştırılarak iki grafikte bir ortak noktaya ait  $s$ ,  $t$ ,  $1/u$ ,  $w(u)$  değerleri belirlenip formüllerde yerine konularak T, S bulunmuş daha sonra da T kuyu logundan belirlenen akifer kalınlığına bölünerek K hesaplanmıştır.

$$T = \frac{Q}{4\pi s} W(u)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

$$T = Kb$$

- T = Transmisibilite      r= Kuyu yarıçapı      K=Permeabilite
- Q=Debi-m<sup>3</sup>/s      S= Depolama katsayısı      b=Akifer kalınlığı
- s=Kuyuda bir t anında ölçülen düşüm miktarı      t= Zaman

- Q = A\*K\*i ise;

$$q = v_{zahiri} = K*i = K * \frac{h}{l} \text{ olacaktır. } v_{gerçek} = \frac{v_{zahiri}}{n} \text{ olduğundan alüvyon için}$$

yaklaşık  $n = S \approx 0.001$  gibi bir değer alırsak,  $l = 341,9\text{m}$ ,  $h=5\text{ m}$  olduğundan

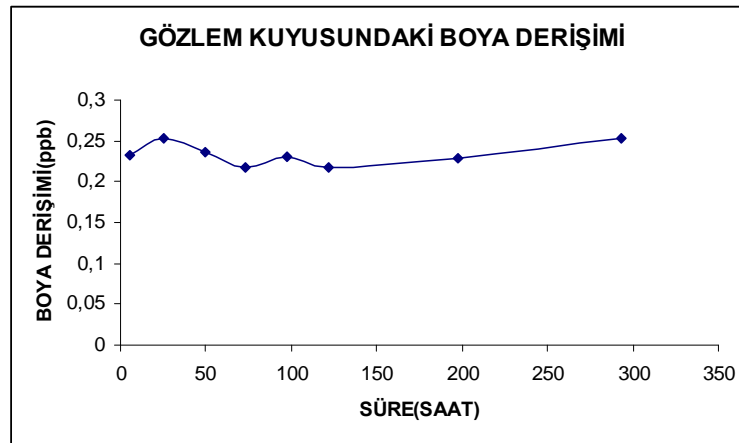
$$v_{zahiri} = 8,625 * 10^{-6} \text{ olur. } v_{gerçek} = \frac{8,625 * 10^{-6}}{0,001} = 8,625 * 10^{-3} \text{ m/dak olacaktır.}$$

$8,625 * 10^{-6} * 3600 = 31,05\text{m/gün}$  yapar. Öyleyse 342m mesafeyi 11 günde gider diye bir yaklaşım yapılabilir.

Alüvyonda seçilen kuyulardan birinden boya enjekte edilmiştir ve yeraltı suyu akım yönünde yaklaşık 350m uzaklıktaki bir kuyudan belirli zamanlarda örnek alınarak fluorometre cihazında ölçümleri yapılmıştır (Tablo 6.1, Şekil 6.8).

Tablo 6.1 Gözlem kuyusunda boya derişimi ve zaman grafiği.

Okuma	Saat	Derişim(ppb)
1	5,5	0,233
2	25,5	0,253
3	49,5	0,236
4	73,5	0,217
5	97,5	0,231
6	121,5	0,217
7	197,5	0,229
8	293,5	0,254



Şekil 6.8 Gözlem kuyusundaki derişim zaman grafiği.

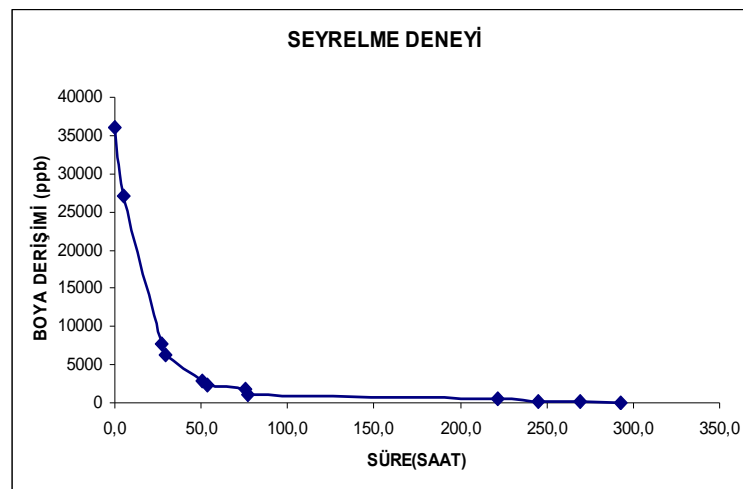
Gözlem kuyusunda ölçülen bu verilerden diğer kuyudan atılan boyanın gözlem kuyusunda belirgin anomali vermediğinden dolayı yeraltı suyu hızı hesaplanamaz. Yani yapılan gözlem kuyusundan izleyici çıkmasının beklenmesine dayalı izleme deneyi sonuçları başarısız olmuştur. Diğer bir deyişle bir kuyudan enjekte edilip diğer kuyudan beklenen izleyici çıkmamıştır. Deney yapmaya başladıktan 10 gün sonra görölmüştür ki, henüz boya ikinci kuyuda ölçülemiyor. Bu varsayılan değerlerin düşünöleden farklı çıkmasıyla olmuştur. Aynı kuyudan yapılan 20 günlük ölçümler sonucunda da izleyici anomalisi kaydedilememiştir. Bunun nedenleri suyun yeraltındaki hızının tahminlerden çok daha yavaş olmasından ya da tahmin edilen yönde hareket etmemesinden veya tahminden fazla su içinde seyren veya formasyon tarafından soğrulan izleyicinin kayıt limitleri altında kalması olabilir. Bu nedenle yeraltı suyu gözlem kuyusundaki ölçümlerden hesaplanamamıştır. Ancak kuyu parametreleri (hidrolik gradyant, statik seviye, varsayılan porozite) ve pompaj testi verileri kullanılarak olası yeraltı suyu hızı hesaplanmıştır. Ayrıca, seyrelme deneyinde de yeraltı suyu hızı hidrojeoloji bölümünde hesaplanmıştır.

Bununla birlikte aynı kuyuda yapılan seyrelme deneyi ile belirli yaklaşımlar elde edilebilmiştir (Tablo 6.2, Şekil 6.9). Seyrelme deneyinde karşılaşılan tek sorun Na-Fluorocein değerlerinin çok yüksek olması nedeniyle doğrudan cihazla okunamayacak olmasıdır. Laboratuarda seyreltilerek cihazın okuyacağı aralığa kadar seyreltilmek suretiyle okunabilmiştir. Seyrelme deneyi; boya atılan kuyuda belli

zaman aralıklarında toplanılan su örneklerinin fluorometre ölçümleriyle yapılmıştır (Şekil 6.7). Buradaki amaç kuyudaki kaydedilen başlangıç derişiminden sonra gittikçe zamana bağlı olarak derişimin azalması sonucu oluşan boyanın seyrelmesinin yorumlanmasıdır.

Tablo 6.2 Boya atılan kuyuda zamanla azalan boya derişimi.

Okuma	Saat	Derişim(ppb)
İksel değer		0,238
1	0,0	36000
2	5,2	27100
3	27,3	7720
4	29,2	6310
5	50,4	2870
6	53,5	2390
7	75,4	1772
8	77,3	1050
9	221,4	450,2
10	245,3	128,8
11	269,3	102,2
12	293,0	41



Şekil 6.9 Boya atılan kuyuda zamanla azalan derişim grafiği.

Dispersiyon değerlerine bakıldığında Őimdiye kadar toplam 293 saatlik, simetrik olduğu için  $293 * 2 = 586$  saatlik bir yayılım gösterdiği anlaşılabilir. Dolayısıyla 48 saatlik ölçüm yapılırsa dahi eğriyi yükselip inerken 10 noktadan yakalamak mümkün olacaktır.



## 6.2 Seyrelme Deneyi Verilerinin Analizi ile Boyuna Dispersiyon Katsayısı ve Yeraltı Suyu Hızının Hesaplanması

$$\bullet y = \frac{M/A}{\sqrt{4\pi Dt}} \cdot \exp\left(-\frac{v^2 t}{4D}\right) \text{ (Bedient ve diğ., 1994)}$$

$$\bullet Y = y \cdot \sqrt{t}$$

M=m: Kuyudan atılan boya miktarı (gr)      A: Alan (m<sup>2</sup>)      t: Zaman (sa)

D: Dispersiyon katsayısı      V: Yeraltı suyu hızı (m/sa)

$$\bullet Y = \left[ \frac{M/A}{\sqrt{4\pi Dt}} \cdot \exp\left(-\frac{v^2 t}{4D}\right) \right] \cdot \sqrt{t}$$

$$\bullet \ln Y = \ln \left[ \frac{M/A}{\sqrt{4\pi D} \cdot \sqrt{t}} \cdot \exp\left(-\frac{V^2 t}{4D}\right) \cdot \sqrt{t} \right]$$

$$\bullet \ln Y = \ln \frac{M/A}{\sqrt{4\pi D}} - \frac{v^2 t}{4D}$$

Buradaki eşitlik bir doğru denklemini olan  $y=ax+b$  olarak düşünüldüğünde (Şekil 6.10) doğrunun eğimi;

$$\bullet a = \frac{v^2}{4D} \text{ dir.}$$

$$\bullet x=0 \text{ noktasında; } y \text{ eksenini kestiği yerde ise; } b = \ln \frac{M/A}{\sqrt{4\pi D}} \text{ dir.}$$

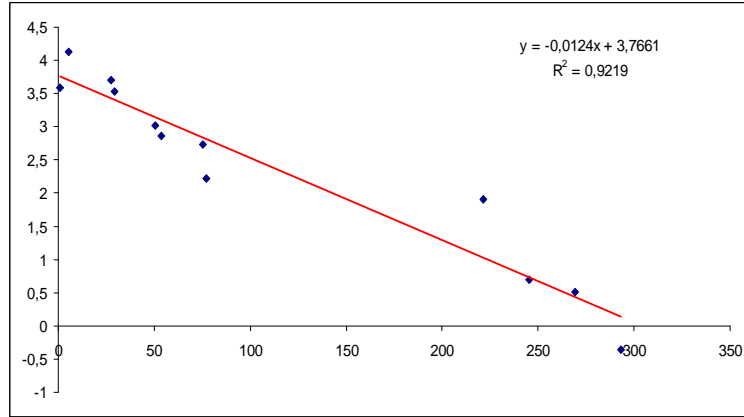
Tablo 6.3 Boya dökülen kuyuda zamana karşı ölçülen derişim değerleri.

Zaman (t) saat	Derişim (c) ppm	ln (c. $\sqrt{t}$ )
1	36	3,583519
5,2	27,1	4,123863
27,3	7,72	3,697258
29,2	6,31	3,52922

Zaman (t) saat	Derişim (c) ppm	$\ln(c \cdot \sqrt{t})$
50,4	2,87	3,014308
53,5	2,39	2,861134
75,4	1,772	2,733512
77,3	1,05	2,222637
221,4	0,4502	1,901922
245,3	0,1288	0,701747
269,3	0,1022	0,517089
293	0,041	-0,3541

Burada kuyuya atılan toplam boya miktarı;  $M=100 \text{ gr}=100000\text{mg}$ 'dır. Boya deneyi yapılan kuyunun; geçirimsiz alt tabanından itibaren yeraltı suyu yüksekliği 60m, kuyunun yarıçapı 0,25m olduğundan boyanın adveksiyon ve dispersiyona uğradığı alan;

- $A= 2 * \pi * r * h$  olacağından  $94,2\text{m}^2$  olarak hesaplanır.



Şekil 6.10 Kuyuda yapılan seyrelme deneyinde  $\ln(c \cdot \sqrt{t})$  - zaman(sa) grafiği.

Kuyuda yapılan seyrelme deneyi sonuçlarının analizi ile  $\ln(c \cdot \sqrt{t})$  -zaman(sa) grafiği çizildiğinde;  $b= 3,7661$ ,  $a= 0,0124$  olarak belirlenmiştir.

$$\bullet b = \ln \frac{M/A}{\sqrt{4\pi D}} \text{ olduğundan } b = \ln \frac{100000/94.2}{\sqrt{4\pi D}} = 3,7661$$

$$\bullet \frac{100000/94.2}{\sqrt{4\pi D}} = e^{3,7661}$$

$$\bullet \frac{100000/94.2}{\sqrt{4\pi D}} = 43.211$$

$$\bullet \frac{100000/94.2}{43.211} = 24.567 = \sqrt{4 * \pi * D}$$

$$\bullet 603.545 = 4 * \pi * D$$

$$\bullet D = 48.053 \text{ m}^2/\text{sa}$$

$$\bullet a = \frac{v^2}{4D} = 0.0124$$

$$\bullet v^2 = 2.383 \text{ m/sa}$$

•  $v = 1.544 \text{ m/sa} = 37.056 \text{ m/gün}$  olarak bulunur. Prof. Dr. Y. K. Birsoy (kişisel iletişim, temmuz 2009).

**Not:** Bu tez kapsamında  $y = \frac{M/A}{\sqrt{4\pi Dt}} \cdot \exp\left(-\frac{v^2 t}{4D}\right)$  (Bedient ve diğ., 1994)

denkleminde en küçük kareler yöntemi kullanılarak grafik çözümlerle D (dispersiyon katsayısı) ve v (yeraltı suyu hızı) hesaplanması, Prof. Dr. Yüksel Kemal Birsoy tarafından yapılmıştır. Denklem uygulamasında kullanılan veriler bu tez kapsamında üretilmiş özgün verilerdir. Bu yöntemin varlığı ve pratik kullanımı ilk kez bu tez kapsamında ele alınmıştır.

### 6.3 İzleyicilerle Debi Ölçümü

İzleyiciler debisi diğer yöntemlerle kolay ölçülemeyecek olan kaynakların debi ölçümünde de kullanılabilir. İnceleme alanındaki Alaşehir İlçesi da değişik gözelerden çıkması ve net gözelerinin bilinmemesi ve küçük bir gölcük oluşturması nedeniyle debisi tam olarak bilinmeyen bir kaynaktır. Bu nedenlerden dolayı bu ilçede izleyici deneyi yapılarak debisi ölçülmüştür. Deney Kasım-2008 tarihinde yapılmıştır. Bu deney için sabit debili (0,1851 L/sn) 6 voltluk elektrikli bir su

pompası hazırlanmıştır. İzleyici olarak Na Fluorocein kullanılmıştır. Arazide bir kovanın içine suyla birlikte yaklaşık 0,2 ile 0,3 g/L Uranin kullanılarak boya çözeltisi hazırlanmıştır (Şekil 6.11). Bu çözeltilerden mor renkli, örnek suyunu güneş ışığından koruyan, bir şişeye örnek çözelti alınmıştır. Daha sonra mor renkli şişelerden bir diğerine Alaşehir Ilıcası'na boya katılmadan önce ilksel beta ışınmasını belirlemek üzere örnek alınmıştır. Kovada hazırlanmış çözelti Alaşehir Ilıcası'nın yüzeysel akımı yönünde ılıcanın suyuna karıştırılmaya başlanmıştır.



Şekil 6.11 Alaşehir Ilıcasından görünüm ve debi ölçüm deneyi.

Karıştırma noktasından 15m ileride ve boya su karışmasının tamamlandığı düşünülen bir süre (7 dakika) geçtikten sonra üç adet şişeye birer dakika ara ile örnekleme yapılmıştır. Şişelere alınan su örnekleri laboratuara götürülerek TURNER DESIGN-A10 marka cihazla Na-Fluorocein ölçümleri yapılmıştır. Sabit debili çözeltilerin karışımında, sabit debili ve sabit derişimli çözeltilerin karışım denklemi  $Q_1 * C_1 = Q_2 * C_2$  kullanılarak debi hesaplanmıştır.

- $Q_1$  = Boya enjeksiyon debisi (L/sn).
- $Q_2$  = Boya enjekte edilen karışım suyun (dere, kaynak) debisi (L/sn).
- $C_1$  = Enjekte edilen boyanın derişimi (ppb).
- $C_2$  = Enjekte edilen karışım suyun (dere, kaynak) derişimi (ppb).

Laboratuarda cihazda ölçülen değerler:  $C_1 = 263000$  ppb

- $C_2 = 1420$  ppb
- $Q_1 = 0,0185$  L/sn
- $Q_2 = ?$
- $0,1851$  L/sn \*  $26300$  ppb =  $Q_2$  \*  $1420$  ppb ve buradan Alaşehir Ilıcası'nın debisi,  $Q_2=3,4$  L/sn olarak belirlenmiştir.

## **BÖLÜM YEDİ**

### **HİDROJEOKİMYA**

Bu bölümde örneklenen su noktalarının kimyasal özellikleriyle birlikte uygulanan bazı temel hidrojeokimyasal konular ve kavramlar ele alınmıştır. Yapılan çalışma kapsamında; suların kimyasal özellikleri, su noktaları arasındaki bağlantıların araştırılması, suların kullanılabilirlik özellikleri, kimyasal türleştirme, akifer kimyası ve mineral doygunluk hesaplamaları ana başlıklar halinde ele alınmıştır.

#### **7.1 Suların Kimyasal Özellikleri**

Bu proje kapsamında örneklenen suların (toplam 126 su örneği) kimyasal analiz sonuçları ve Aquachem programıyla hesaplanan bazı temel hidrojeokimyasal özellikleri tablolarda verilmiştir (Tablo 7.1, 7.3 ve 7.4). Tablo 7.1 su noktalarının yerlerini ve adlarını, sıcaklık (t°C), pH (-log H), Eh (mV) ve elektriksel iletkenlik (EC-µS/cm) gibi arazide ölçülen parametreler ile Aquachem programıyla hesaplanan bazı parametreleri içermektedir. Bu parametrelerden toplam katyon ve anyon miktarları mek/L olarak, TDS (toplam çözünmüş katı) ise mg/L olarak hesaplanmıştır. Suların kimyasal analizlerinde yapılabilecek hatalar anyon katyon dengesinden “ $e = ((\Sigma \text{ katyon} - \Sigma \text{ anyon}) / \Sigma \text{ iyon}) \times 100 \text{ (mek/l)}$ ” bağıntısıyla hesaplanabilir. Pozitif değerler katyon fazlalığını, negatif değerler ise anyon fazlalığını gösterir. Hata yüzdesinin genellikle %5’den düşük olması istenir. Ancak suların analizi sırasında yapılan hatalar dışında da bu oran bazen (özellikle seyreltik sularda) %5’den yüksek olabilir. Bu durumda sularda analizi yapılmamış olan iyon türlerinden bazılarının suda baskın olduğu yorumu yapılabilir.

Elektriksel iletkenlik cisimlerin elektriği geçirme özelliği olup 1cm<sup>3</sup> suyun elektriksel iletkenliğine özgül elektriksel iletkenlik denir. Özgül elektriksel iletkenlik mikromho/cm veya mikrosiemens/cm olarak tanımlanır. Her iki birim birbirine eşittir. Suyun özgül iletkenliği iyon cinsine, derişimine ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. İncelenen Alaşehir sularındaki sıcak suların EC değeri çoğunlukla 1000 µS/cm den yüksek olup derin jeotermal sondajlarda 5880 µS/cm değerine kadar

ulaşmaktadır. Soğuk yeraltı sularının ise çoğunlukla 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  den düşük olan değerleri, kirlenmelere bağlı iyon derişimi artışıyla bazı örneklerde yüksek değerdedir. Suların elektriksel iletkenlik değerleri çözünmüş madde miktarları ile doğrudan ilişkilidir. İyon derişimi arttıkça EC değeri de artmaktadır. Genel bir değerlendirmeye incelenen sıcak ve mineralli suların EC değerleri yanı sıra toplam çözünmüş madde miktarları ve major, minör bileşenleri de yüksektir.

Suda başlıca çözünmüş (en çok çözünen) maddeler ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{SiO}_2$ ); ikincil çözünmüş maddeler ( $\text{CO}_3$ , K, Fe, B) ve az çözünmüş maddeler (örneğin, Li, Cu, Mn, Ni, Pb, vb.) arasındaki ilişkiler de hidrojeokimyasal değerlendirmelerin önemli bir kısmını oluşturabilir. Tablo 7.3’de sularda çözünen major (başlıca çözünen bileşenler) ve sekonder bileşenler (ikincil çözünen bileşenler) ile sertlik ve SAR (tarımda kullanılabilme için sodyum tehlikesi) değerleri verilmiştir. Li; aslında az çözünen bileşenlerden olmakla birlikte sıcak sular için önemli bileşenlerden birisi olduğu için burada birlikte belirtilmiştir. Özetle sıcak sularda soğuk sulara oranla çok daha fazla Li bulunmaktadır. Bunda çözünlüğünün sıcaklıkla artması kadar iyon değişim tepkimelerinin de etkisi bulunmaktadır. Sıcak sularda tüm bileşenler genellikle soğuk sulara oranla daha yüksektir. Ancak özellikle  $\text{SiO}_2$ , Na, Li ve B çok daha yüksek ve belirleyicidir. Bu 4 bileşen sıcak sular için indikatör bileşenler arasındadır. Bu değerler yüksek, ancak sıcaklığı  $20^\circ\text{C}$ ’den düşük olan sular da sıcak ve mineralli sular özelliğindedir.

Suların sertliği su içinde çözünmüş halde bulunan Kalsiyum ve Magnezyum bileşiklerinden ileri gelmektedir. Kalsiyum ve Magnezyum bikarbonatların neden olduğu sertlik geçici sertliktir ve kaynatılarak giderilebilmektedir. Kalsiyum ve Magnezyumun sülfat, klorür ve nitrat gibi diğer tuzlarından ileri gelen sertlik ise kaynatılarak giderilmez ve kalıcı sertlik adını alır.

Suların sertliğinin belirlenmesi için Alman, İngiliz, Fransız sertliği gibi çeşitli sınıflamalar bulunmaktadır. Bu çalışmada suların sertlikleri Fransız sertliği sınıflamasına göre belirlenmiştir. Geçici ve kalıcı sertliğin toplamı suyun toplam sertliğini verir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir. Toplam sertlik “5 x (

$rCa^{++}+rMg^{++}$  ( $r=mek/l$ )". Alaşehir sularının sertlik dereceleri Tablo 7.3'de belirtilmiştir. Sıcak ve mineralli sular sert ve çoğunlukla da çok sert su sınıfında yer alırken soğuk suların sertlikleri yumuşak – sert arasında değişmektedir.

Tablo 7.1 İnceleme alanındaki su noktalarının tanımı ve bazı genel fizikokimyasal özellikleri (Sıcaklık-T °C, toplam katyon ve anyon derişimleri mek/L dir. Sıfır değerler ölçüm yapılamadığı anlamına gelmektedir. Koyu yazılmış değerler TS-266 (1997 ve 2005) içme suyu sınır değerlerin aşıldığını belirtir) (kuyu dibi sıcaklıkları; \* 63°C, \*\* 183°C, \*\*\* 213°C'dir).

No	Örnekleme Yeri ve Adı	Tarih	pH	Eh mV	T (°C)	EC $\mu$ S/cm	$\Sigma$ katyon	$\Sigma$ anyon	Hata (% e)	TDS mg/L
1	Asarçayı Deresi (Horzumembelli)	16.02.07	6,61	213	7,8	244	2,33	2,59	-5,28	139,6
2a	Horzum Sazdere İlıcası	16.02.07	6,58	170	30,6	<b>3720</b>	50,41	47,31	3,17	2356,4
2b	Horzum Sazdere İlıcası	08.05.05	6,48	140	32,4	<b>3680</b>	47,35	44,17	3,47	2213,8
3a	Alaşehir İlıcası	16.02.07	6,13	0	28,4	<b>2630</b>	33,37	33,31	0,09	1552,7
3b	Alaşehir İlıcası	26.06.06	6,19	23	29,6	2230	30,66	40,93	-14,34	1462,7
3c	Alaşehir İlıcası	16.04.08	6,93	128	23	2350	30,45	30,33	0,18	1438,7
3d	Alaşehir İlıcası	03.06.08	6,82	7	30,5	2240	27,63	32,05	-7,40	1268,1
3e	Alaşehir İlıcası	10.03.08	8,13	-66	19	1846	14,31	13,73	2,05	689,2
3f	Alaşehir İlıcası	08.03.09	6,72	16	19	2250	8,49	8,23	1,51	412,8
4a	AK-1 (Kavaklıdere Belediyesi j. son.)	02.03.07	8,14	0	21*	<b>4450</b>	57,99	63,51	-4,54	2154,0
4b	AK-1 (Kavaklıdere Belediyesi j. son.)	08.05.05	7,91	-61	21*	<b>4390</b>	61,93	48,51	12,15	1893,3
5a	KG-1 (Göbekli Köyü jeotermal son.)	02.03.07	6,38	22	23**	<b>5480</b>	83,28	78,08	3,22	2954,0
5b	KG-1 (Göbekli Köyü jeotermal son.)	26.06.06	6,55	-40	23**	<b>5880</b>	92,65	84,95	4,34	3213,2
6	Avşar Barajı suyu	02.03.07	7,89	-59	13	497	6,23	5,11	9,86	391,0
7a	Köseali Belediyesi kuyu	22.02.07	7,34	22	24,4	720	7,41	7,40	0,10	357,7
7b	Köseali Belediyesi kuyu	08.05.05	7,73	-53	14,3	798	11,74	8,32	17,05	519,9
8	Göbekli yolu girişı kuyu	22.02.07	6,79	75	28,3	816	8,94	8,52	2,40	401,7
9	Örnekköy Yeniköy arası kuyu	19.03.07	6,86	110	26,4	1130	14,75	13,29	5,20	646,9
10	Alhan -Şahyar arası kuyu	19.03.07	6,81	-5	19,7	757	9,65	8,68	5,31	472,3
11	Gürsu-Piyadeler arası kuyu	19.03.07	6,86	-5	17,2	1133	14,50	23,31	-23,28	706,1
12	Köseali girişı kuyu	22.02.07	7,19	37	21,2	973	11,28	9,93	6,37	542,1
13	Ulaşlı Çiftliğı civarı kuyu	22.02.07	6,92	158	21,8	790	8,96	9,30	-1,88	446,3
14	Ulaşlı Çiftliğı kuyu	22.02.07	6,93	41	23,3	764	9,21	8,97	1,32	451,2
15	Göbekli girişı dere suyu	22.02.07	6,67	110	17,9	264	2,39	1,96	9,80	155,1
16	Göbekli girişı dere suyu	22.02.07	7,05	178	15,9	223	2,43	2,10	7,12	149,1
17a	Acidere İlıcası	26.06.06	5,94	8	28,5	1538	19,63	19,59	0,11	918,1
17b	Acidere İlıcası	08.05.05	6,06	42	29,1	1735	20,96	20,58	0,91	972,4
18	Ahmetağa Köyü kuyu (100m)	12.06.07	7,28	99	20	695	8,22	8,57	-2,06	452,6
19	Cafertakılı sondaj kuyu	12.06.07	7,17	150	25,2	959	10,00	10,51	-2,47	574,3
20	Kavaklıdere-Göbekli yolu dere suyu	02.03.07	8,22	-76	12,3	844	10,10	9,33	3,96	432,6
21	Kum ocağı kuyu	02.03.07	6,54	14	28	1445	17,99	17,92	0,19	763,9
22	Kavaklıdere-Köseali arası kuyu	02.03.07	6	27	31	1655	20,96	18,64	5,87	866,7
23	Horzumalayaka-Camidere arası kuyu	08.05.05	6,87	-16	23,9	1560	22,10	20,24	4,40	1479,4
24	Horzumalayaka-Camidere arası kuyu	08.05.05	7,5	-46	23,9	155	1,66	2,07	-10,99	111,9
25	Horzumalayaka-Camidere arası kuyu	08.05.05	8,2	-80	18	790	11,51	9,59	9,08	730,0
26	Horzumalayaka-Camidere arası kuyu	08.05.05	7,17	-25	23,9	1021	15,52	14,17	4,53	1008,4
27	Horzumalayaka-Camidere arası kuyu	08.05.05	7,33	-33	14,7	1354	18,24	16,86	3,93	1260,3
28	Peynircukuru civarı kaynak	08.05.05	6,98	-14	14,7	1246	15,50	12,76	9,69	1018,2
29	Peynircukuru civarı kaynak	08.05.05	8,14	-77	11	683	9,60	8,82	4,26	634,9
30a	Horzum-Sazdere m. suyu kayn.	08.05.05	8,34	-90	16,7	2240	28,41	23,90	8,61	1312,7
30b	Horzum-Sazdere m. suyu kayn.	08.05.05	6,34	3	16,4	<b>2710</b>	29,95	16,06	30,19	1420,7
30c	Horzum-Sazdere m. suyu kayn.	08.05.05	6,69	3	15,1	<b>3150</b>	51,22	23,54	37,04	2826,4
33	Köseali doğusu dere suyu	08.05.05	7,57	-44	11,3	225	8,21	2,85	48,43	353,6
35	Acidere çevresi kuyu	08.05.05	7,65	-49	14,7	619	7,84	7,20	4,25	339,0
36	Acidere çevresi kuyu	08.05.05	7,24	-25	14,7	1237	14,24	14,42	-0,65	596,6
37	Yeşilyurt ılık su kuyusu	12.06.07	6,61	137	25,3	1992	16,53	24,68	-19,78	721,6
38	AK-2 (Kavaklıdere derin jeotermal sondaj)	08.05.05	7,99	-72	45****	<b>3150</b>	51,39	41,01	11,23	2677,0
39	Horzumembelli civarı maden suyu	08.05.05	7,01	-12	17,3	2270	52,31	27,78	30,63	2440,6



No	Örnekleme Yeri ve Adı	Tarih	pH	Eh mV	T (°C)	EC µS/cm	Σ katyon	Σ anyon	Hata (% e)	TDS mg/L
40	Sondaj kuyusu	12.06.07	7,68	123	21	561	6,39	6,43	-0,26	342,5
41	Horzum-Sazdere civarında kuyu	08.05.05	7,29	-20	16,9	945	11,30	9,81	7,03	611,3
42	Çulhakaya Tepesi kaynak	08.05.05	7,94	-68	24,4	203	3,11	1,94	23,04	190,6
43	Kavaklıdere- Göbekli yolu kuyu	08.05.05	7,94	1	24,4	1128	17,90	11,61	21,32	1064,4
44	Göbekli girişi kuyu	08.05.05	7,17	-22	24,4	808	10,16	8,29	10,11	463,5
46	Kavaklıdere Beldesi kuyu	08.05.05	6,55	13	31,2	1634	21,14	13,33	22,65	902,7
47	Şahyar Köyü kuyu	19.03.07	6,68	141	21	1331	16,21	15,36	2,71	826,2
48	Alhan İstasyonu kuyu	19.03.07	6,66	0	25,5	1141	14,64	13,12	5,49	700,7
49	Alhan kuyu	19.03.07	6,42	21	28	1348	17,10	17,59	-1,40	768,7
50	Şahyar-Piyadeler arası kuyu	19.03.07	7,16	-21	21,3	915	11,51	10,20	6,03	574,1
51	Şahyar-Piyadeler arası kuyu	19.03.07	7,14	-19	20,5	876	11,34	9,33	9,73	778,1
52	Şahyar-Piyadeler arası kuyu	19.03.07	6,94	-13	20,6	686	8,74	8,24	2,91	449,6
53	Yeniköy civarı kuyu	19.03.07	8,03	-64	15,6	611	7,59	7,89	-1,97	384,0
54	Akgüller BP benzinlik kuyusu	30.07.07	6,61	179	24,6	1641	21,20	17,26	10,26	1353,0
54	Akgüller BP benzinlik kuyusu	16.04.08	7,52	145	11,5	1769	24,68	25,50	-1,63	1144,8
55	Sarıgöle yakın sondaj	30.07.07	7,38	37	24,9	1204	14,85	13,56	4,56	1009,0
56	Dadağlı sondaj kuyusu	30.07.07	7,25	-4	21,2	867	11,47	10,82	2,92	588,2
57	Dadağlı-Dındarlı arası kuyu	30.07.07	7,4	61	22,1	715	8,10	8,23	-0,81	410,8
58	Dadağlı-Dındarlı arası kuyu	30.07.07	7,24	96	21	941	11,16	11,74	-2,54	598,1
59	Alaşehir-Ankara sapağı petr. ist	30.07.07	7,76	-100	22,8	621	6,68	6,44	1,79	283,8
60	Hayrat Çesmesi (Alaşehir-Kula)	30.07.07	7,3	121	33,3	1102	12,95	10,39	10,95	853,6
61	Tepe-Selce civarı koop. kuyusu	30.07.07	6,39	184	29,1	1568	19,02	16,23	7,90	902,9
62	Sondaj kuyusu (Musaağa civarı)	30.07.07	6,71	-44	23,6	2040	27,27	23,33	7,78	1271,3
63	Sondaj kuyusu (Alaşehir Çayı)	30.07.07	6,88	94	21,6	<b>2830</b>	38,63	36,82	2,39	2023,8
64	Sondaj kuyusu (Der:60m, ss:25)	30.07.07	6,76	46	23,5	1952	24,75	21,58	6,85	1250,8
65	Sondaj kuyusu (Şendurak-Kasaplar)	30.07.07	6,76	98	28,5	1848	22,82	23,39	-1,22	908,6
66a	Sondaj kuyusu (Şendurak-Kasaplar)	30.07.07	7,02	45	19,7	<b>4320</b>	60,37	54,18	5,41	3141,0
66b	Sondaj kuyusu (Şendurak-Kasaplar)	28.05.08	7,61	-35	19,4	<b>4010</b>	57,31	67,01	-7,80	3487,8
67	Sondaj kuyusu (52m, ss:18m)	30.07.07	7,01	62	20,7	1791	22,78	21,70	2,44	1150,8
68	Sondaj kuyusu (47m, ss:29m)	30.07.07	7,23	-129	19,7	<b>7780</b>	119,79	119,7	0,01	6947,4
69	Sondaj kuyusu (Horozköy Havaalanı)	30.07.07	7,57	-50	22,5	785	9,94	10,41	-2,29	497,6
70	Sondaj kuyusu (İlgin-Kovanlı arası)	30.07.07	7,67	-31	22	568	6,86	7,30	-3,08	393,4
71	Sondaj kuyusu (Kovanlı)	30.07.07	7,74	-116	19,3	1004	12,40	12,85	-1,77	728,3
72	Sondaj kuyusu (Bağlıca DSİ kuyusu)	30.07.07	7,56	128	20,7	732	8,60	9,14	-3,02	471,2
73	Sondaj kuyusu (DSİ kuyusu/4707)	30.07.07	7,52	120	21,4	813	9,64	10,23	-2,95	520,5
74	Tirazlar sondaj kuyusu	30.07.07	7,78	138	21,2	549	6,46	6,89	-3,16	366,4
75	Sarıgöl Akpet ist. sondaj kuyu	30.07.07	7,68	13	18,7	601	7,06	7,03	0,23	404,7
76	Sondaj kuyusu(Avsar Barajı kuzeyi)	30.07.07	7,5	155	18,2	774	9,48	9,55	-0,36	507,8
77	Üzümlü Köyü sondaj kuyusu	30.07.07	7,54	-129	20,6	1882	24,66	26,25	-3,11	1502,9
78	Subaşı Köyü sondajı	30.07.07	7,54	76	18,4	804	9,89	10,09	-0,99	583,6
79	Sondaj kuyusu (Hacıaliler Köyü)	30.07.07	7,69	121	17,6	700	8,37	8,33	0,23	470,6
80	Sondaj kuyusu (Alaşehir küçük s.)	30.07.07	7,54	2	21,6	984	12,86	12,30	2,22	650,6
82	Hayrat Çesmesi (Kemaliye kaynağı)	30.07.07	7,2	132	25,7	1159	14,56	13,64	3,27	693,2
83	Sondaj kuyusu (İsmetiye, 60m)	30.07.07	7,26	46	21,7	1437	17,53	18,20	-1,90	966,2
84	Alaşehir Deresi lağım suyu	30.07.07	7,06	33	20	835	22,13	22,91	-1,72	1181,2
85	Sondaj kuyusu (Bağlıca-Yeşilyurt)	12.06.07	6,86	76	19,9	762	9,18	9,06	0,63	506,0
86	Sondaj kuyusu	12.06.07	7,26	64	20,4	689	8,35	8,47	-0,69	459,6
87a	Sarıköz Pınarı maden suyu kaynağı	16.04.08	6,39	55	14,6	1083	14,81	14,11	2,40	749,3
87b	Sarıköz Pınarı maden suyu kaynağı	28.05.08	6,4	0	15,2	1113	14,48	8,60	25,46	785,4
87c	Sarıköz Pınarı maden suyu kaynağı	03.06.08	6,44	27	21,5	1024	12,86	13,60	-2,82	627,6
87d	Sarıköz Pınarı maden suyu kaynağı	30.10.08	8,23	-50	19	1120	6,56	6,65	-0,68	362,0
87e	Sarıköz Pınarı maden suyu kaynağı	08.03.09	6,46	30	19	1174	15,63	15,38	0,80	744,5
89	Evrenli Kaynak (çeşme)	16.04.08	7,84	-208	11,9	589	7,17	6,90	1,92	547,7
90	Sondaj kuyusu (Yeşilkavak yolu)	16.04.08	7,98	219	16,9	403	4,36	4,03	3,84	234,5
91	Acidere kaynak suyu	16.04.08	5,8	115	13,5	1493	17,56	16,65	2,66	774,7
92	Köseali Köyü belediye kuyusu	16.04.08	8,12	259	23,5	765	8,88	7,06	11,47	428,8
93	SS Kavaklıdere sulama koop. kuyusu	16.04.08	8,1	-45	20,1	0	5,93	6,24	-2,52	310,4
94	Kavaklıdere Tarış kuyusu	16.04.08	7,33	254	22,5	873	10,11	6,04	25,18	589,3
95	Killik civarı kuyu	16.04.08	7,19	202	25,2	2030	25,09	15,88	22,50	1419,5
96	Kocakır Çavuşlar Köyü kuyusu	16.04.08	7,9	213	16,6	767	9,80	7,47	13,52	612,4
97	Cabertatar Köyü kuyusu	16.04.08	8,05	250	18,4	715	8,20	7,61	3,72	595,3
98	Sondaj kuyu (ss:7-15m, Subaşı)	16.04.08	7,74	-66	18,1	2100	27,22	24,42	5,43	1762,5
99	Yenimuhacırköy (Örnekköy) kuyu	28.05.08	7,05	12	20	1928	25,67	16,19	22,66	1331,0
100	Alhan-Şahyar civarı kuyu	28.05.08	6,96	23	21	1127	14,81	8,34	27,98	780,2
102	Sondaj kuyusu (Yeşilyurt – Katırlı)	28.05.08	8,06	-54	19	695	7,36	8,36	-6,39	409,8

No	Örneklem Yeri ve Adı	Tarih	pH	Eh mV	T (°C)	EC µS/cm	Σ katyon	Σ anyon	Hata (% e)	TDS mg/L
103	Sondaj kuyusu (Şendurak-Kasaplar)	28.05.08	7,03	-5	22	2180	19,95	27,89	-16,59	1035,1
104	Sondaj kuyusu (Şendurak-Kasaplar)	28.05.08	8,44	-77	20	2360	29,00	29,17	-0,29	1652,4
105	Sondaj kuyusu (Şendurak-Kasaplar)	28.05.08	8,3	16	21	0	6,74	7,23	-3,49	367,9
106	Sondaj kuyusu (Bereketli civarı)	28.05.08	8,01	-53	19,3	738	6,88	7,35	-3,34	371,1
107	Sondaj kuyusu (Belenyaka civarı)	28.05.08	8,31	-69	23	654	6,83	7,44	-4,27	371,3
108	Avşar Barajından gelen sol sahil suyu	03.06.08	8,74	-80	19	435	5,66	5,89	-2,00	313,8
109	Sondaj kuyusu (Tariş Tat karşısı)	03.06.08	7,93	-53	57	<b>3690</b>	56,43	47,97	8,10	1768,7
110	Sondaj kuyusu (Alaşehir-Kavaklı)	03.06.08	7,23	-13	19	1943	17,60	28,61	-23,83	948,7
113	Sondaj kuyusu (Alduranlar sera)	03.06.08	8,17	-65	19	1091	14,65	15,18	-1,77	632,1
115	Alaşehir yağmur suyu (ilçe merkez)	10.03.08	7,8	-55	19	215	1,43	1,44	-0,38	78,4
116	Bozdağ kar suyu	08.03.09	7,9	-50	19	12	0,13	0,28	-36,93	14,6
117	Kula Sandal Belediyesi yeraltı suyu	10.08.08	7,31	-20	19	334	9,02	9,08	-0,33	438,1

Tablo 7.2 Suların sertliklerine göre sınıflandırılması.

Fransız Sertliği	Suyun Sınıfı
0,0 - 7,2	Çok yumuşak
7,2 - 14,5	Yumuşak
14,5 - 21,5	Az sert
21,5 - 32,5	Oldukça sert
32,5 - 54,0	Sert
> 54,0	Çok sert

Tablo 7.3 İnceleme alanındaki su noktalarında çözülmüş birincil ve ikincil bileşenler ve bazı genel kimyasal özellikleri (tüm iyon derişimleri mg/L, sertlik Fransız Sertliği, SAR % olarak verilmiştir. Sıfır-0 kaydedilen değerlerin ölçüm limitlerinin altında olduğunu, koyu yazılmış değerler TS-266 (1997 ve 2005) içme suyu sınır değerlerin aşıldığını belirtmektedir).

No	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	B	Fe	Li	Sertlik	SAR
1	8,6	3,4	20,0	10,5	113	0	6	27	19,0	0,013	0,058	0,004	9,3	0,4
2a	<b>715,0</b>	66,9	116,6	65,3	2563	0	169	25	181,7	<b>110,568</b>	0,000	6,348	56,0	13,1
2b	<b>742,8</b>	80,0	14,2	68,8	2313	0	202	26	203,5	<b>110,438</b>	0,103	6,592	31,8	18,1
3a	<b>267,6</b>	15,2	134,6	160,0	1668	0	72	189	59,9	<b>26,783</b>	1,127	1,368	99,4	3,7
3b	<b>202,2</b>	12,6	136,7	166,7	2090	0	59	240	50,5	<b>19,337</b>	<b>0,402</b>	0,966	102,7	2,7
3c	<b>211,5</b>	14,7	139,2	153,9	1452	0	61	231	58,4	<b>18,286</b>	0,000	1,229	98,0	2,9
3d	<b>231,5</b>	15,9	2,8	192,3	1477	12,1	60	276	57,4	<b>18,710</b>	0,000	1,194	79,8	3,6
3e	108,9	6,5	32,5	86,1	644	0	23	122	57,4	<b>8,756</b>	0,000	0,700	43,5	2,3
3f	56,7	4,0	37,6	45,0	396	0	13	66	28,6	<b>4,618</b>	0,028	0,328	27,9	1,5
4a	<b>1289,7</b>	17,6	5,0	1,8	2929	0	<b>342</b>	<b>280</b>	89,7	<b>15,001</b>	<b>10,394</b>	0,643	2,0	125,9
4b	<b>1351,1</b>	15,6	6,5	2,5	2445	0	<b>277</b>	<b>290</b>	69,7	<b>11,880</b>	<b>47,815</b>	0,478	2,7	114,0
5a	<b>1718,4</b>	58,9	11,9	2,2	4424	0	174	31	201,2	<b>107,595</b>	<b>68,578</b>	3,702	3,9	120,0
5b	<b>1894,2</b>	61,0	16,3	2,4	4866	0	159	34	221,2	<b>110,215</b>	<b>107,827</b>	3,677	5,1	115,8
6	17,8	8,0	59,6	27,6	168	0	15	93	1,4	0,017	0,000	0,004	26,2	0,5
7a	79,8	6,2	42,4	19,1	330	0	33	51	31,2	<b>1,017</b>	0,065	0,076	18,5	2,6
7b	94,3	12,9	69,5	43,9	417	0	17	48	29,2	<b>1,994</b>	<b>0,721</b>	0,166	35,4	2,2
8	108,7	4,2	62,1	11,2	439	0	18	39	44,4	0,610	0,000	0,068	20,1	3,3
9	125,5	7,8	80,9	59,7	702	0	19	60	37,7	<b>2,233</b>	0,000	0,115	44,7	2,6
10	52,3	6,9	71,4	42,9	407	0	18	72	22,4	<b>1,947</b>	0,081	0,093	35,5	1,2
11	70,8	9,0	103,1	73,0	1220	0	24	126	29,1	<b>1,013</b>	0,000	0,030	55,8	1,3
12	75,3	9,4	63,3	55,0	452	0	41	66	26,3	<b>1,243</b>	0,027	0,060	38,4	1,7
13	59,9	4,1	70,3	32,8	439	0	19	75	31,2	0,790	0,044	0,025	31,0	1,5
14	53,1	4,8	82,1	32,3	476	0	15	36	33,5	0,621	0,079	0,017	33,7	1,3
15	22,5	2,1	16,4	6,2	66	0	9	30	32,6	0,850	0,192	0,015	6,6	1,2
16	13,4	1,5	22,5	7,9	85	0	5	27	24,7	0,384	<b>0,466</b>	0,010	8,9	0,6
17a	168,0	11,4	185,8	27,1	1149	0	20	9	83,6	<b>7,369</b>	<b>3,405</b>	0,354	57,5	3,0



No	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	B	Fe	Li	Sertlik	SAR
84	142,0	49,1	148,9	87,1	824	0	156	240	45,3	<b>1,393</b>	0,000	0,086	73,0	2,3
85	42,8	5,4	75,9	41,0	326	0	41	123	29,2	0,033	0,046	0,008	35,8	1,0
86	33,7	5,8	83,6	30,9	331	0	26	111	27,2	0,043	0,150	0,004	33,6	0,8
87a	62,7	7,2	107,9	75,6	613	0	27	159	31,1	<b>3,405</b>	0,131	0,274	58,0	1,1
87b	68,4	6,6	95,4	75,7	342	0	22	114	29,0	<b>3,862</b>	0,101	0,318	55,0	1,3
87c	63,6	7,4	56,3	82,6	635	5,2	21	117	34,3	<b>3,429</b>	0,000	0,295	48,0	1,3
87d	7,5	2,3	32,6	55,2	365	0	8	21	33,3	<b>3,472</b>	0,000	0,004	30,9	0,2
87e	81,3	6,7	96,0	82,1	745	0	17	129	30,5	<b>4,526</b>	0,000	0,365	57,7	1,5
89	7,8	5,7	60,4	44,4	366	0	12	27	18,4	0,006	0,010	0,012	33,3	0,2
90	18,8	2,2	50,6	11,5	198	0	6	30	22,5	0,053	0,021	0,005	17,3	0,6
91	188,5	13,6	57,5	73,5	549	0	32	<b>324</b>	14,4	0,120	0,104	0,075	44,6	3,9
92	89,2	6,7	53,0	25,3	270	0	38	75	31,9	0,776	0,000	0,095	23,6	2,5
93	24,5	4,5	61,9	19,6	299	0	12	48	20,0	0,385	0,067	0,036	23,5	0,7
94	84,6	6,0	82,6	25,5	283	0	23	36	31,6	<b>1,177</b>	0,113	0,040	31,1	2,1
95	<b>203,1</b>	14,4	187,9	77,8	647	0	96	123	50,0	0,609	0,094	0,075	78,9	3,1
96	37,2	7,9	98,6	36,9	262	0	37	102	22,6	0,059	0,000	0,020	39,8	0,8
97	27,9	7,3	86,1	30,1	288	0	34	93	21,6	0,044	0,054	0,016	33,9	0,7
98	93,6	16,5	280,1	105,1	317	0	81	<b>813</b>	40,2	0,040	0,625	0,007	113,1	1,2
99	182,1	13,8	76,6	161,4	415	0	69	<b>357</b>	27,9	<b>2,725</b>	0,046	0,191	85,5	2,7
100	91,1	11,1	106,4	63,1	319	0	26	114	30,9	<b>1,452</b>	0,092	0,044	52,5	1,7
102	38,2	5,1	52,2	35,8	303	2,48	29	120	28,5	0,060	0,000	0,007	27,8	1,0
103	175,2	11,5	83,4	94,5	1043	8,55	133	<b>324</b>	39,6	0,892	0,000	0,082	59,7	3,1
105	<b>387,9</b>	11,3	28,4	125,7	342	0	131	<b>954</b>	7,2	0,688	0,013	0,082	58,8	7,0
105	30,6	9,7	29,4	44,8	260	0	21	114	26,7	0,031	0,000	0,010	25,7	0,8
106	30,5	9,2	33,3	44,2	277	0	20	108	26,0	0,030	0,000	0,011	26,5	0,8
107	34,5	6,3	39,7	38,6	315	0	21	81	35,1	0,027	0,000	0,012	25,8	0,9
108	14,4	7,3	60,1	22,3	225	0	16	84	12,8	0,020	0,013	0,004	24,2	0,4
109	<b>1126,1</b>	33,7	59,4	29,8	2611	21,4	69	120	144,9	<b>8,579</b>	<b>0,776</b>	1,097	27,1	29,8
110	57,9	11,5	14,0	171,0	1062	8,7	24	<b>492</b>	32,4	0,094	0,000	0,024	73,8	0,9
113	127,6	9,0	65,2	66,1	821	0	21	54	37,7	<b>2,070</b>	0,041	0,153	43,5	2,7
115	2,4	0,5	25,2	0,4	64	0	3	15	1,2	0,011	0,018	0,000	6,4	0,1
116	0,7	0,2	1,7	0,1	2	0	2	9	0,7	0,000	0,024	0,000	0,5	0,1
117	49,3	44,2	73,4	25,2	519	0	7	18	46,0	0,013	0,049	0,003	28,7	1,3

Tablo 7.4'de suda az çözülmüş (iz) bileşenler (çoğunlukla metaller) ve her bir suyun kimyasal özelliğini yansıtan su tipleri belirtilmiştir. Suları adlandırmak, birbiri ile karşılaştırmak, su noktaları arası etkileşimlerini araştırmak, kökeni ile ilgili yorum yapabilmek ve suların tipini belirlemek amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmış olup, bu çalışmada Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH,1979) sınıflaması kullanılmıştır. Buna göre suda çözülmüş başlıca anyon ve katyonlardan ayrı ayrı olmak üzere meq/l olarak %20'den fazla çözülmüş bulunan iyonlar su tipini belirlemektedir. Alaşehir sıcak ve mineralli suları çoğunlukla Na-HCO<sub>3</sub> tiplidir. Alaşehir Ilıcası'nda Mg ve Acıdere Ilıcası'nda da Ca majör katyon durumundadır. Diğer sıcak ve mineralli sularda da bazı katyon ve anyon çeşitlenmesi olmakla birlikte anyonlar açısından HCO<sub>3</sub> iyonu baskın, kısmen de SO<sub>4</sub> iyonu bikarbonata eşlik etmektedir.

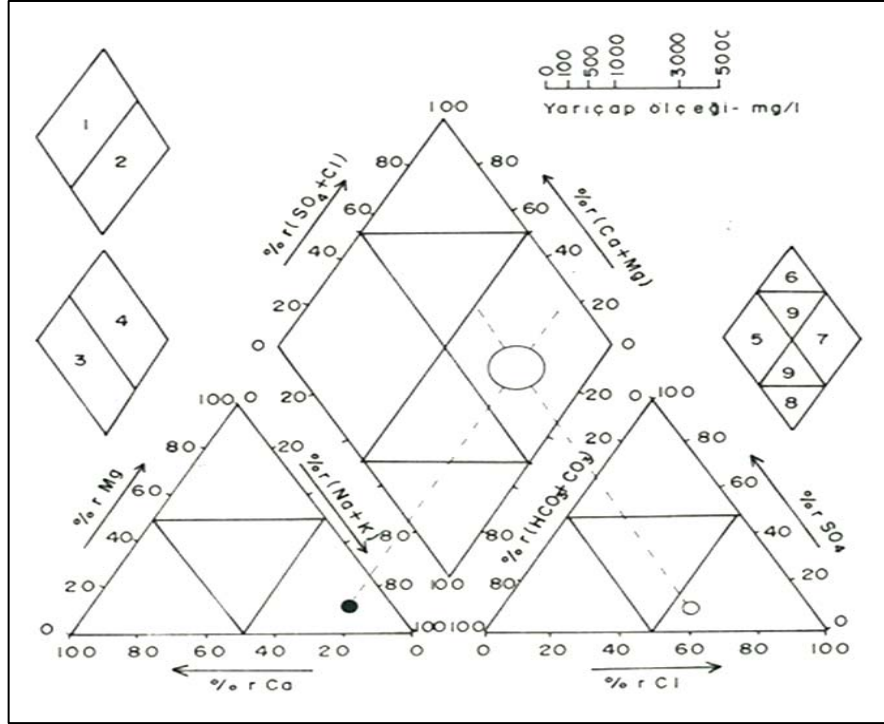
Tablo 7.4 İnceleme alanındaki su noktalarında az çözünen (iz) bileşenler ve bazı genel kimyasal özellikleri (tüm iyon derişimleri mg/L, su tipi IAH-1979'a göredir, "0" ölçüm limitlerinin altındaki kayıtları, koyu yazılmış değerler TS-266 (1997 ve 2005) içme suyu sınır değerlerini aşıldığını belirtir).

No	Sr	Mn	Ba	Zn	Cu	Ni	Br	Al	As	P	Su Tipi
1	0,096	0,003	0,014	0,019	0,003	0,008	0,029	0,031	0,008	0,028	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
2a	1,764	0,283	<b>0,625</b>	0,000	0,003	0,000	1,218	0,057	0	0	Na-HCO <sub>3</sub>
2b	1,140	0,002	<b>0,382</b>	0,007	0,004	0,002	1,187	0,087	0	0	Na-HCO <sub>3</sub>
3a	1,162	0,637	0,113	0,008	0,003	0,020	0,444	0,034	0,009	0,064	Mg-Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
3b	1,117	0,093	0,075	0,005	0,002	0,007	0,304	0,07	0,004	0,05	Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
3c	1,128	0,083	0,089	0,046	0,004	0,008	0,309	0,015	0,008	0,032	Mg-Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
3d	0,024	0,031	0,002	0,001	0,002	0,004	0,254	0,002	0,005	0	Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
3e	0,096	0,026	0,004	0,000	0,001	0,003	0,112	0,002	0,003	0	Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
3f	0,322	0,025	0,021	0,002	0,001	0,002	0,053	0,001	0,001	0	Mg-Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
4a	0,457	0,044	<b>0,891</b>	0,021	0,058	0,010	2,213	<b>0,536</b>	<b>0,260</b>	0	Na-HCO <sub>3</sub>
4b	0,382	0,217	<b>1,033</b>	0,080	0,073	0,018	1,469	<b>1,218</b>	<b>0,378</b>	0	Na-HCO <sub>3</sub>
5a	1,440	1,202	<b>1,018</b>	0,000	0,005	0,000	0,984	0,139	0	0	Na-HCO <sub>3</sub>
5b	2,124	1,253	<b>3,962</b>	0,000	0,002	0,003	0,794	0,136	0	0	Na-HCO <sub>3</sub>
6	0,218	0,000	0,066	0,000	0,001	0,000	0,076	0,003	0,002	0	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
7a	0,448	0,006	0,136	0,004	0,003	0,001	0,143	0,032	0,005	0,108	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
7b	0,978	0,144	0,296	0,013	0,003	0,000	0,043	0,033	0,007	0,067	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
8	0,433	0,072	0,107	0,003	0,002	0,000	0,063	0,028	0,004	0,116	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
9	0,660	0,182	0,132	0,003	0,007	0,016	0,1	0,016	0,001	0,021	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
10	0,294	0,002	0,129	0,006	0,005	0,006	0,071	0,015	0,001	0,027	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
11	0,465	0,000	0,150	0,000	0,001	0,000	0,08	0,006	0,001	0,021	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
12	0,769	0,011	0,175	0,019	0,008	0,002	0,094	0,037	0,003	0,271	Mg-Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
13	0,347	0,011	0,152	0,003	0,003	0,001	0,065	0,015	0,004	0,082	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
14	0,421	0,007	0,195	0,006	0,006	0,001	0,065	0,036	0,001	0,114	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
15	0,088	0,003	0,044	0,003	0,001	0,005	0,027	0,028	0,001	0,131	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
16	0,101	0,011	0,040	0,002	0,001	0,001	0,017	0,336	0,001	0,082	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
17a	1,600	0,536	0,296	0,006	0,005	0,000	0,099	0,577	0	0,049	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
17b	1,533	0,588	0,303	0,001	0,001	0,002	0,116	0,037	0,001	0,029	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
18	1,327	0,302	0,120	0,000	0,001	0,000	0,118	0,031	0,038	0,285	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
19	0,261	0,001	0,017	0,003	0,001	0,000	0,167	0,030	0,001	0	Mg-Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
20	0,453	0,134	0,126	0,009	0,003	0,005	0,045	0,044	0,004	0,033	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
21	0,720	1,213	0,156	0,004	0,006	0,002	0,138	0,013	0,002	0,061	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
22	0,673	0,263	0,439	0,001	0,002	0,000	0,168	0,008	0,001	0,043	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
23	0,670	0,006	0,043	0,061	0,004	<b>0,082</b>	0,042	0,018	0,009	0	Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
24	0,079	0,001	0,002	0,004	0,001	0,009	0,013	0,014	0,018	0	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
25	0,493	0,020	0,037	0,048	0,002	0,013	0,035	0,069	0,004	0,03	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
26	0,186	0,000	0,006	0,000	0,001	0,000	0,306	0,001	0,001	0	Mg-HCO <sub>3</sub>
27	0,479	0,001	0,055	0,002	0,002	0,000	0,145	0,013	0,001	0	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
28	0,357	0,005	0,090	0,008	0,003	0,003	0,123	0,107	0,001	0	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
29	0,305	0,022	0,048	0,009	0,007	0,003	0,022	0,116	0,001	0,029	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
30a	0,871	0,000	0,078	0,000	0,002	0,002	0,347	0,005	0,011	0	Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
30b	0,180	0,000	0,012	0,000	0,001	0,000	0,423	0,006	0,002	0	Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
30c	1,978	0,238	0,338	0,000	0,002	0,003	0,605	0,027	0	0	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
33	0,705	0,001	0,039	0,014	0,001	0,000	0,034	0	0	0	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
35	0,490	0,001	0,143	0,001	0,001	0,000	0,043	0,022	0,003	0,029	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
36	0,753	0,003	0,147	0,000	0,003	0,001	0,086	0,001	0,018	0	Na-Mg-HCO <sub>3</sub>

No	Sr	Mn	Ba	Zn	Cu	Ni	Br	Al	As	P	Su Tipi
37	0,590	0,001	0,046	0,000	0,001	0,016	0,293	0,007	0,007	0	Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
38	0,515	0,023	<b>2,319</b>	0,008	0,005	0,015	1,344	0,428	0,791	0	Na-HCO <sub>3</sub>
39	1,819	0,339	0,456	0,000	0,004	0,004	0,864	0,169	0	0,231	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
40	0,234	0,006	0,117	0,010	0,012	0,003	0,068	0,045	0,010	0,038	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
41	1,069	0,005	0,319	0,004	0,003	0,003	0,103	0,054	0,007	0,2	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
42	0,134	0,022	0,045	0,036	0,004	0,005	0,034	<b>0,329</b>	0,004	0,064	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
43	0,572	0,006	<b>0,403</b>	0,012	0,007	0,005	0,194	0,103	0,001	0,047	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
44	0,524	0,093	0,165	0,006	0,003	0,003	0,073	0,073	0,004	0,122	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
46	0,825	1,617	1,471	0,006	0,011	0,003	0,171	0,09	0,004	0,075	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
47	0,512	0,004	0,245	0,001	0,003	0,002	0,119	0,068	0,001	0,044	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
48	0,438	0,001	0,259	0,001	0,003	0,002	0,076	0,018	0,001	0,032	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
49	0,415	0,131	<b>0,319</b>	0,042	0,003	0,004	0,085	0,033	<b>0,042</b>	0,106	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
50	0,323	0,001	0,204	0,004	0,004	0,002	0,088	0,01	0,001	0,024	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
51	0,313	0,001	0,193	0,001	0,001	0,004	0,088	0,009	0,001	0,028	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
52	0,332	0,006	0,124	0,000	0,001	0,001	0,045	0,009	0,001	0,048	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
53	0,219	0,024	0,099	0,009	0,002	0,004	0,053	0,085	0,002	0,059	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
54	1,013	0,032	0,079	0,173	0,058	0,009	0,147	0,371	0,009	0,053	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
54	1,103	0,120	0,149	0,021	0,008	0,000	0,38	0,011	0,002	0,062	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
55	0,811	0,026	0,057	0,016	0,003	0,006	0,297	0,028	0,003	0,02	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
56	0,388	0,219	0,201	0,114	0,033	0,040	0,189	0,27	0,006	0,047	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
57	0,274	0,009	0,070	0,017	0,004	0,006	0,131	0,048	0,006	0,039	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
58	0,410	0,010	0,076	0,030	0,003	0,154	0,303	0,092	0,003	0,076	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
59	0,308	0,230	0,080	0,006	0,001	0,002	0,074	0,026	0,015	0,051	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
60	0,833	0,033	0,140	0,004	0,002	0,011	0,298	0,025	0,011	0,042	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
61	0,732	0,915	0,106	0,011	0,003	0,004	0,328	0,023	0,003	0,126	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
62	2,185	2,540	0,244	0,009	0,002	0,002	0,172	0,013	0,084	0,02	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
63	1,493	1,040	0,048	0,000	0,005	0,000	0,34	0,017	0,009	0,229	Ca-Na-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
64	1,227	0,311	0,095	0,009	0,007	0,004	0,274	0,143	0,005	0,097	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
65	1,203	1,078	0,268	0,007	0,003	0,000	0,19	0,017	0,003	0,084	Na-Ca-HCO <sub>3</sub>
66a	1,795	0,788	0,061	0,000	0,007	0,015	0,810	0,045	0,011	0	Na-Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
66b	1,106	0,249	0,022	0,010	0,005	0,000	0,939	0	0,022	0	Na-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
67	1,139	0,738	0,098	0,036	0,059	0,000	0,297	0,037	0,005	0,168	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
68	2,992	1,781	0,032	0,018	0,028	0,000	1,957	0,014	0,008	0	Mg-Na-SO <sub>4</sub>
69	0,714	0,705	0,085	0,007	0,004	0,002	0,158	0,06	0,085	0,273	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
70	0,391	0,275	0,128	0,011	0,003	0,000	0,074	0,029	0,036	0,221	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
71	0,641	1,099	0,117	0,010	0,003	0,002	0,187	0,034	0,074	0,161	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
72	0,378	0,055	0,082	0,005	0,002	0,001	0,153	0,038	0,006	0,061	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
73	0,580	0,008	0,059	0,004	0,002	0,000	0,188	0,022	0,003	0,047	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
74	0,876	0,006	0,102	0,008	0,002	0,000	0,088	0,032	0,005	0,117	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
75	0,902	0,026	0,104	0,008	0,002	0,000	0,093	0,013	0,013	0,185	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
76	0,285	0,007	0,116	0,012	0,003	0,001	0,18	0,057	0,005	0,06	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
77	1,060	1,193	0,238	0,022	0,004	0,000	0,245	0,022	0,006	0,068	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
78	0,282	0,057	0,100	0,083	0,003	0,029	0,094	0,035	0,004	0,149	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
79	0,288	0,008	0,096	0,014	0,002	0,001	0,125	0,017	0,004	0,099	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
80	0,380	0,051	0,179	0,025	0,002	0,008	0,097	0,015	0,031	0,091	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
82	0,516	0,003	0,104	0,095	0,002	0,000	0,262	0,022	0,005	0,424	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub>
83	1,006	0,030	0,195	0,025	0,004	0,002	0,423	0,028	0,004	0,09	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
84	0,457	0,001	0,021	0,002	0,003	0,003	0,141	0,001	<b>0,031</b>	2,345	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
85	0,406	0,004	0,119	0,036	0,005	0,003	0,198	0,029	0,005	0,238	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
86	0,370	0,057	0,124	0,037	0,005	0,006	0,115	0,068	0,009	0,118	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
87a	0,329	0,221	0,088	0,018	0,005	0,004	0,105	0,014	0,003	0,037	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>

No	Sr	Mn	Ba	Zn	Cu	Ni	Br	Al	As	P	Su Tipi
87b	0,304	0,086	<b>0,419</b>	0,041	0,014	0,005	0,09	0,016	0,001	0,045	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
87c	0,016	0,051	0,005	0,001	0,001	0,002	0,07	0,001	0,001	0	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
87d	0,139	0,000	0,044	0,000	0,000	0,000	0,028	0,001	0,003	0	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
87e	0,327	0,079	0,107	0,024	0,004	0,004	0,062	0,001	0,001	0	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
89	0,219	0,017	0,047	0,015	0,005	0,002	0,056	0,021	0,003	0,026	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
90	0,269	0,029	0,062	0,004	0,002	0,002	0,021	0,016	0,006	0,055	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
91	0,668	0,014	0,080	0,004	0,005	0,017	0,05	0,033	0,005	0,05	Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
92	0,556	0,005	0,117	0,018	0,005	0,000	0,143	0,022	0,005	0,067	Na-Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
93	0,202	0,053	0,049	0,005	0,003	0,001	0,035	0,046	0,004	0,049	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
94	0,377	0,005	0,140	0,006	0,001	0,002	0,084	0,017	0,003	0,044	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
95	1,184	0,140	0,126	0,027	0,010	0,004	0,398	0,017	0,002	0,067	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>
96	0,419	0,015	0,105	0,006	0,002	0,003	0,123	0,015	0,003	0,052	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
97	0,350	0,008	0,101	0,011	0,003	0,005	0,133	0,023	0,003	0,076	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
98	0,760	1,547	0,138	0,023	0,005	0,002	0,286	0,018	0,009	0,101	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
99	1,266	0,203	0,134	1,991	0,006	0,017	0,292	0,016	0,002	0,085	Mg-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
100	0,443	0,001	<b>0,324</b>	0,065	0,006	0,000	0,073	0,01	0,001	0,064	Ca-Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
102	0,268	0,000	0,070	0,006	0,001	0,000	0,137	0,004	0,003	0	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
103	0,979	0,000	0,044	0,001	0,001	0,000	0,301	0	0,002	0	Mg-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
105	0,116	0,000	0,007	0,002	0,002	0,000	0,534	0,001	0,001	0	Na-Mg-SO <sub>4</sub>
105	0,155	0,000	0,045	0	0,001	0,000	0,114	0,001	0,002	0	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
106	0,217	0,000	0,063	0	0,000	0,000	0,11	0	0,002	0	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
107	0,266	0,000	0,096	0	0,000	0,000	0,071	0	0,01	0	Mg-Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
108	0,162	0,007	0,050	0,003	0,003	0,001	0,054	0,013	0,003	0,048	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
109	1,144	0,121	<b>0,489</b>	0,013	0,057	0,004	0,432	<b>0,363</b>	<b>0,939</b>	0,37	Na-HCO <sub>3</sub>
110	0,018	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,064	0	0,001	0	Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
113	0,729	0,028	0,272	0,006	0,002	0,000	0,105	0,014	0,043	0,063	Na-Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
115	0,102	0,000	0,044	0,786	0,000	0,000	0,005	0,001	0	0	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
116	0,004	0,002	0,002	0,026	0,000	0,002	0	0,03	0	0	Ca-SO <sub>4</sub> -Cl
117	0,312	0,000	0,011	0,002	0,002	0,000	0,03	0	0,001	0,037	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub>

Piper diyagramı, % mek/L cinsinden anyon ve katyonların ayrı ayrı gösterildiği iki üçgenden ve tüm iyonların ortak gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlarda suların fasiyes tiplerinin saptanması, eşkenar dörtgende ise suların sınıflaması ve karşılaştırılması mümkündür. Ayrıca eşkenar dörtgen diyagram dokuz bölüme ayrılmıştır (Şekil 7.1).



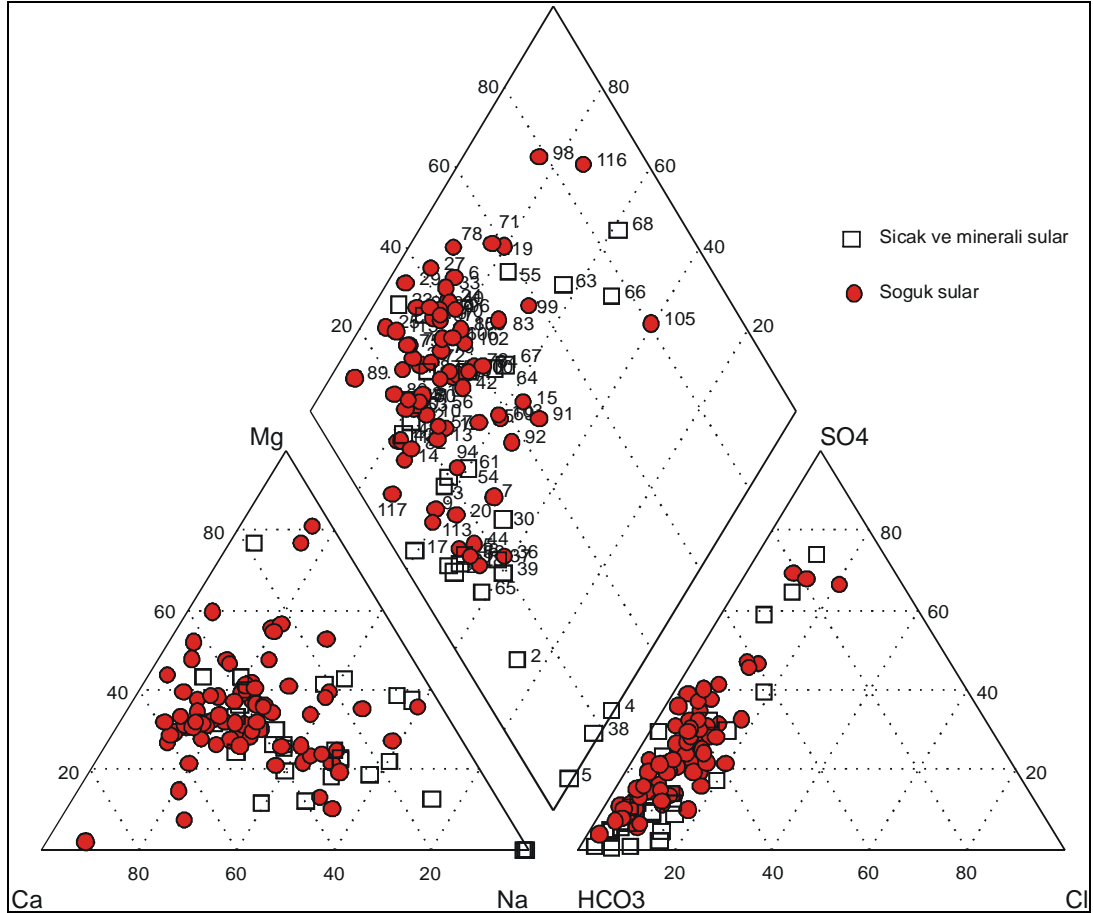
Şekil 7.1 Piper üçgen diyagramında su noktalarının gösterilmesi ve sınıflara ayrılması.

Diyagramda ayrılan bölümlerin yorumu aşağıda verilmiştir.

- 1 no'lu alan; alkali toprak elementler ( $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ) > alkali elementler ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ).
- 2 no'lu alan; ( $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ ) < ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ).
- 3 no'lu alan; zayıf asit kökleri ( $\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-$ ) > güçlü asit kökleri ( $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ ).
- 4 no'lu alan; ( $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ ) > ( $\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-$ ).
- 5 no'lu alan; karbonat sertliği %50'den fazla olan sular.
- 6 no'lu alan; karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular.
- 7 no'lu alan; karbonat olmayan alkalitesi %50'den fazla olan sular. NaCl, KCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır.
- 8 no'lu alan; karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer.
- 9 no'lu alan; iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen, karışık sular bu alana girer.



İnceleme alanındaki suların büyük bir çoğunluğu 1, 3, 5 ve 9 nolu alanlara karşılık gelmektedir. Çoğunlukla iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen karışık sular ve karbonat sertliği %50'den fazla olan,  $(SO_4+Cl) < (HCO_3+CO_3)$  sınıfında ve  $(Ca+Mg) > (Na+K)$  olan sulardır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2 Çalışma alanındaki suların Piper diyagramında gösterilmesi (Örnek numaraları Tablo 7.1 ve Şekil 5.3 ile aynıdır).

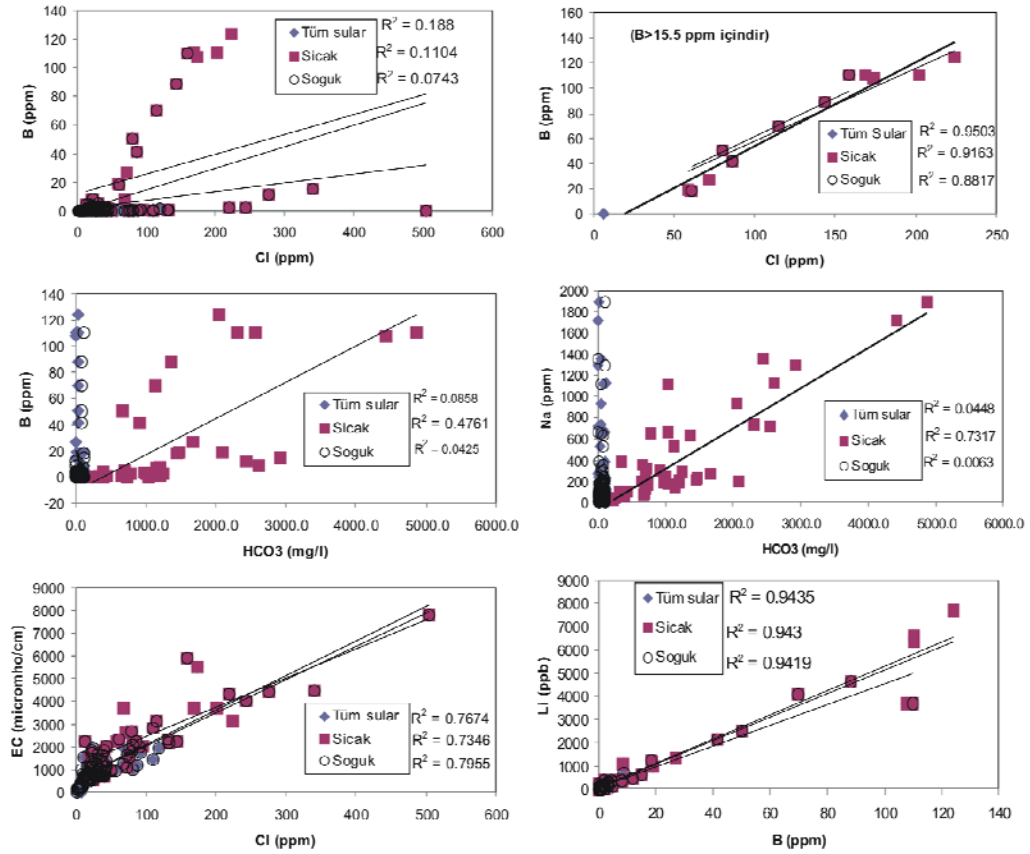
68, 66, 63 ve 55 nolu sular, pirit, siderit cevherleşmesine (Yılmaz, 1986) bağlı  $H_2S$ 'in  $SO_4$ 'a yükseltgenmesiyle, yüksek miktardaki  $SO_4$  ve  $H_2SO_4$  oluşumuna bağlı olarak artan yüksek EC ile karakterize olan sulardır.  $HCO_3$  bakımından da zengin bu tür sular uygun kapitaj yapıldığı takdirde maden suyu olarak değerlendirilebilir. Bunların dışında tüm sıcak ve minerali sularda egemen anyon bikarbonattır. Egemen kation da büyük çoğunlukla sodyum olmakla birlikte bazı sıcak su noktalarında Mg ve Ca egemen hale gelmektedir. Alandaki 3 derin jeotermal sondaja ait sular, 4 (AK-1), 5 (KG-1) ve 38 (AK-2) nolu sular, doğada ender rastlanan suların bölgesine (8

nolu bölgeye) karşılık gelmektedir. Alaşehir Ilıcası, Acıdere Ilıcası vb. yüzeysel sıcak su kaynakları ise soğuk suların düştüğü alanla, bu derin jeotermal suların düştüğü alan arasında yer alırlar. Buradan da jeotermal sistemlerdeki baskın hidrojeokimyasal süreçlerin su kayaç etkileşimi ve yüzeye erişinceye kadar soğuk sularla değişik oranlardaki karışımı süreci olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Su kayaç etkileşimi önemli bir etkidir. Bu süreç iyon değişim sürecini de beraberinde getirmektedir. Son süreç ise soğuk yeraltı sularıyla karışım sürecidir.

## 7.2 Su Türleri ve Çözünmüş İyonlar Arasındaki İlişkilerin Değerlendirilmesi

Suda çözülmüş bileşenler arasındaki ilişkilerin araştırılması birçok hidrojeokimyasal problemlerin çözümünde yardımcı olabilir. Özellikle alandaki varolan ve/veya baskın hidrojeokimyasal süreçleri belirlemede oldukça önemlidir. Bileşenler arasındaki ilişki araştırmanın basit yollarından birisi de bileşenlerin doğrusallık ilişkisinin regresyon analiziyle belirlenmesidir. Bir çok hazır istatistiksel program doğrusallık ilişkisini korelasyon matrisi olarak da verebilmektedir. Burada örnek olarak verilen korelasyon matrisi Aquachem programından (Calmbach, 1997) alınmıştır. Bilindiği gibi  $y = a + bx$  şeklinde tanımlanan bir doğruya  $a$  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. Aquachem programında hesaplanan Alaşehir sularının korelasyon matrisi Tablo 7.5'de verilmiştir. Burada, doğru denkleminde belirtilen  $a$  ve  $b$  katsayıları da matris halinde verilmiştir. Ancak yorumlamalarda iyonlar arasında oluşturulan doğru denklemlerinden ziyade, doğrusal ilişki olup, olmadığı ele alınmıştır. Anlamlı bir doğrusallık ilişkisi verebilecek parametreler koyu olarak belirtilmiştir (Tablo 7.5). Tablo 7.5'de gösterilen korelasyon matrisinde ve Şekil 7.3'de görüleceği gibi sodyum iyonu bikarbonat iyonuyla iyi bir doğrusal ilişki ( $r=0.89$ ) ve doğru orantı (pozitif korelasyon) gösterir. Tersine kalsiyum ve magnezyum iyonlarıyla hem  $\text{HCO}_3$  hem de Na iyonları çok kötü doğrusal ilişki ( $r$  sıfıra yakın) belirtir.





Şekil 7.3 Bazı iyonlar arasındaki ilişkiler (sıcak sular, soğuk sular ve tümü olarak korele edilmiştir).

Bu veriler de bize alandaki egemen hidrojeokimyasal oluşumlar hakkında fikir verebilir. Örneğin ilk akla gelebilecek olay; eğer alandaki sıcak ve mineralli sular için yalnızca çözünme tepkimelerinin egemenliği olmuş olsa kalsiyum (ve/veya magnezyum) ile bikarbonat iyonları arasında yaklaşık eğimi 0,5 olan çok iyi bir doğrusal ilişki olması gerekirdi. Oysa çizelgeden de görüleceği üzere iyi bir doğrusal ilişki yerine en kötü doğrusal ilişki bu iyonlar arasında görülmektedir. Özetle bu doğrusallık analizinin bir yorumu yapılacak olursa, inceleme alanındaki sularda Na ve HCO<sub>3</sub> iyonları doğru orantılı olarak artmakta ve aralarında oldukça iyi bir doğrusallık ilişkisi bulunmaktadır. Kalsiyum ve Magnezyum iyonları ise Sodyum ve Bikarbonat iyonları ile hiçbir doğrusal ilişki kurulamayacak veriler göstermektedir. Bütün bu veriler alandaki sıcak suların kimyasal yapılarının şekillenmesinde karbonatların ve silikatların çözünürlük tepkimeleri ile birlikte, doğal yumuşatma tepkimesi olarak isimlendirilebilen iyon değişim tepkimeleri, karışım olayları (sıcak

su soğuk su karışımı ve/veya farklı beslenmeli suların karışımı) ve bu gibi oluşumların da olabileceğini göstermektedir.

Sıcak sular yüzeyleyinceye kadar çeşitli oranlarda soğuk yeraltı sularıyla karışırlar. Alaşehir suları için Na, HCO<sub>3</sub>, Fe, SiO<sub>2</sub>, B, As ve Li parametreleri sıcaklıkla iyi bir doğrusal ilişki belirtmektedirler. Bu da sıcak sular için indikatör elementler açısından önemlidir. Bu parametrelerin sudaki çözünürlükleri (HCO<sub>3</sub> dışında) sıcaklıkla artmaktadır. Bu parametreler genel anlamda birbirleriyle de iyi doğrusal ilişki belirtmektedir. Örneğin Li-B, SiO<sub>2</sub>-B parametreleri çok iyi doğrusal ilişkileri göstermektedir. İleride değinileceği gibi soğuk sularda gözlenen yüksek bor derişiminin sıcak sulardan kaynaklandığının kanıtları arasındadır.

### 7.3 Suların Kullanılabilme Özellikleri

İçme sularının özellikleri TS-266 (1997 ve 2005) (Türk Standartlar Enstitüsü) tarafından 2 grupta toplanarak belirlenmiştir. Bu tanımda şişlenebilir kaynak suları (mema suları) ayrı, şehir şebekesinden vb. yerlerden gelen sular için ayrı ölçütler tutulmuş olup, herbir parametre için kabul edilebilir ve maksimum olması gereken değerler belirlenmiştir. Buna göre bu değerleri aşan miktardaki iyon veya benzeri parametre içeren sular içime uygun değildir (Tablo 7.6). TS-1997'deki bazı üst sınır değerler 2005 yılında revize edilmiştir. Örneğin; Arsenik 0,050 mg/L'den 0,010 mg/L'ye, bor 2,0 mg/L'den 1,0 mg/L'ye, 0,050 mg/L'den 0,020 mg/L'ye indirilmiştir. Diğer bir deyişle sınır değerler azaltılmıştır.

Tablo 7.6 Türk içme suları standartlarına göre bazı parametrelerin sınır değerleri (TS-266, 1997 ve 2005). Bu sınır değerler içilebilir nitelikteki her türlü suyu (örneğin içme suyu) kapsar.

Parametre	Simge	Bulunabilecek en yüksek değer (mg/L)	Parametre	Simge	Bulunabilecek en yüksek değer (mg/L)
Antimon	(Sb)	0,005	Krom	(Cr)	0,050
Arsenik	(As)	0,010	Kurşun	(Pb)	0,010
Bakır	(Cu)	2,000	Mangan	(Mn)	0,050
Baryum	(Ba)	1,000	Nikel	(Ni)	0,020
Bor	(B)	1,000	Nitrat	(NO <sub>3</sub> )	50,00
Civa	(Hg)	0,001	Nitrit	(NO <sub>2</sub> )	0,500

Parametre	Simge	Bulunabilecek en yüksek değer (mg/L)	Parametre	Simge	Bulunabilecek en yüksek değer (mg/L)
Florür	(F)	1,500	Selenyum	(Se)	0.010
Kadmiyum	(Cd)	0,005	Siyanür	(CN)	0.050
Alüminyum	(Al)	0,200	Klorür	(Cl)	250,0
Demir	(Fe)	0,200	Sodyum	(Na)	200,0
Sülfat	(SO <sub>4</sub> )	250,0	İletkenlik	(EC)	2500 µS/cm

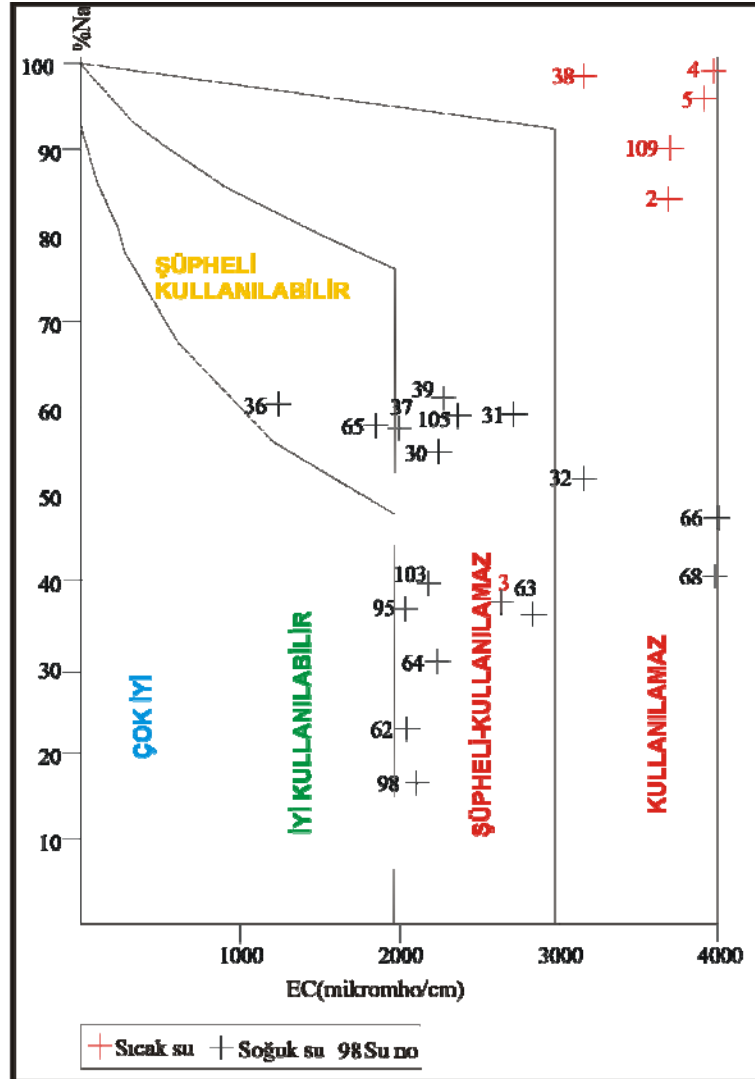
Alaşehir sularında bu sınır değerleri aşan parametreler; tablo 7.1, 7.3 ve 7.4’de, her su örneğinde koyu işaretlenerek belirtilmiştir. Sıcak ve mineralli sular çoğunlukla başta bor derişimi olmak üzere EC, Na, Cl, SO<sub>4</sub> bileşenleri vb. bazı bileşenler nedeniyle içilmesi uygun olmayan sular sınıfına karşılık gelmektedir. Alandaki sıcak ve mineralli sular Türkiye’deki tüm sıcak ve mineralli sulardan daha yüksek bor derişimine sahiptir. Bununla birlikte, pek çok sıcak ve mineralli suların tersine hemen hemen hiç As kirlenmesi göstermemesi açısından ilginçtir. Mineralli sular için de çoğunlukla benzer standartlar kullanılmaktadır. Özellikle şişelenip satılan ve içme küründe kullanılacak olan mineralli sular için bu sınır değerlerine dikkat etmek gerekir.

Sulama sularının sınıflanmasında çok çeşitli ölçütler vardır. Bunlardan en yaygın EC ve SAR parametrelerinin kullanıldığı ölçütlerdir. 2000’den yukarı EC değeri içeren sular tarımsal sulamada şüpheli kullanılmı, 3000’i aşan değerler ise kullanılmamalıdır. **SAR** suların sulamada kullanılabilmesinde kullanılan bir özellik olup özetle sodyum tehlikesine değinir. Sulama suları için sodyum katyonunun fazla bulunması hiç istenmeyen bir parametredir. Çünkü sodyum toprağın geçirgenliğini azaltarak bitki köklerinin hava almasını engeller ve kurummasına yol açar. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan Sodyum Apsorpsiyon Oranı (SAR) sulama suları sınıflanmasında kullanılan önemli bir özelliktir (Tablo7.7). Çalışma alanındaki suların, sulama suları sınıflanmasında WILCOX sınıflanması da kullanılmıştır (Şekil 7.4).

Tablo 7.7 SAR parametresine göre sulama sınıflandırılması (Şahinci, 1991a, b).

SAR	Suyun sınıfı
0	Çok iyi özellikte sulama suları
10 - 18	İyi özellikte sulama suları
18 - 26	Kullanılabilir özellikte sulama suları
> 26	Kullanılmaz özellikte sulama suları

$SAR = r Na / ((r Ca^{++} + r Mg^{++})/2)^{0,5}$  bağıntısıyla bulunur. Değerler mili ekivalan/litre'dir. Suların Sodyum Apsorpsiyon Oranı'na (SAR) göre sınıflaması yukarıdaki gibidir (Tablo 7.7) (Şahinci, 1991 a,b). Alaşehir sularının SAR değerleri de tablo 7.3'de verilmiştir. Derin jeotermal kuyular ve bazı sıcak sular dışında tüm sular çok iyi özellikteki sulama suları sınıfında yer almaktadır.



Şekil 7.4 Çalışma alanındaki sular için WILCOX diyagramı.

Sıcak ve mineralli suların kullanım alanları çok çeşitlidir. Daha önce değinilen diğer sular gibi içme ve tarımsal sulama dışında çok farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Sağlık amaçlı, yıkanma veya içme kürü olarak kullanım alanları da bilinmektedir. İçme kürü olarak kullanımlarda yukarıda değinilen TS-266 (Türk içme suları standartları) ölçütleri gözetilmelidir (Tablo 7.6).

#### **7.4 Kimyasal Türleştirme, Akifer Kimyası ve Mineral Doygunluk Hesaplamaları**

126 suyun kimyasal analizi kullanılarak PhreeqCi (Parkhurst ve Appelo, 1999) programı yardımıyla türleştirme hesapları yapılmış ve bu hesaplamaların sonucu olarak çeşitli minerallere karşı hesaplanmış doygunluk indeksleri ek tablolar halinde sunulmuştur. Jeotermal akışkanların (termal ve mineral sular) hidrojeokimyasal değerlendirilmesi için çözülmüş iyon ve bileşiklerin termodinamik davranışlarının bilinmesi gerekir. Tüm çözeltilerde olduğu gibi jeotermal akışkanların içindeki bir bileşiğin termodinamik hareketi ise bu bileşiğin derişimi (konsantrasyonu) yerine etkinliğiyle belirlenmektedir. Hesaplamalar Tarcan (2003), Tarcan ve diğer. (2004)' de ayrıntılarıyla belirtilmiştir. Çözülmüş bir iyon veya bileşiğin etkinliğini laboratuarda ölçmek olası değildir. Laboratuarda kimyasal analiz sonucunda ölçülen iyon ve bileşikler çoğu kez litrede miligram (mg/L), 1 kilogramda miligram (mg/kg), milyonda bir kısım (ppm = part per million) olarak belirlenir. Sulu çözeltilerde bu derişim birimleri yaklaşık özdeştir. Birçok hidrojeokimyasal değerlendirme çözülmüş her bir iyonun eş değer ağırlığının (mili ekivalan değerinin=mek/L) ve yüzdelerinin belirlenmesi ile molaritelerinin (su için molalite=molarite) hesaplanması ile yapılmaktadır. Kısaca mek/l ve M olarak belirtilen bu kavramlar;

- mek/L =  $C_i/P_i/Z_i$  ve molarite de;

$$M_i = C_i/P_i \times 1000 \text{ denklemleriyle tanımlanır.}$$



- $C_i$  = Her bir iyonun derişimi (mg/L, mg/kg veya ppm).
- $P_i$  = Her bir iyonun formül gram ağırlığı.
- $Z_i$  = Her bir iyonun değeriği (+ veya – yük sayısı).

Bir iyonun etkinliği ( $a_i$ )

- $a_i = M_i \times \gamma_i$  ( $\gamma_i$  = iyon etkinlik katsayısı) bağıntısıyla hesaplanır.

İyon etkinliği çözeltideki iyonların tepkimelerdeki hareketinin miktarını açıklamaktadır. Yani sudaki iyonun analiz edilen derişiminin gerçek derişime dönüştürülmesinin bir ifadesidir. Laboratuarda analiz edilen değeri o iyon veya bileşimin gerçek görünümünü yansıtmazlar. Bu nedenle mg/l ve benzeri analiz derişim birimleri iyonun görünür (zahiri) derişimini, iyon etkinliği ise gerçek derişimini tanımlamaktadır. İyon etkinlik katsayısı ( $\gamma_i$ ) derişimin gerçek değeri den sapmasının bir ölçüsüdür ve tuzluluk ile yakın ilişkilidir. Seyreltik çözeltilerde etkinlik katsayısı 1'e eşit olup, tuzluluk arttıkça etkinlik katsayısı da 1'den farklı (daha düşük) değeri alır. Tuzlulukla ilişkili termodinamik bir terim olan iyonlaşma gücü veya iyonik kuvvet (I) (Ionic strength);

- (I):  $0,5 \sum C_i Z_i^2$

- (C= Her bir iyonun molarite olarak derişimi,  $Z_i$  = Her bir iyonun değeriği) bağıntısıyla tanımlanır.

Seyreltik suların iyonlaşma güçeri düşük, derişik sularınsa yüksek değeri dedir. Örneğinin deniz sularının iyonlaşma gücü 0,7 (mol) civarında iken, seyreltik tatlı sular (göl suyu, akarsu, yeraltı suyu vb.) 0,003–0,01 (mol) gibi değeri alabilmektedirler.

Çözünmüş bileşiklerin iyon etkinlik katsayılarının ( $\gamma$ ) hesabı için iyonlaşma gücü 0,1 ile 0,5 arasında değerişen derişik sularda;

Davies Bağıntısı :

- $(\text{Log } \gamma_i = -A Z_i^2 ( I^{0.5} / 1 + I^{0.5} - 0,2 I ))$  kullanılır.

0,5'den yüksek olan aşırı derişik sularda ve salamuralarda Pitzer denklemleri kullanılmalıdır. Ancak hidrojeolojik incelemelerin çoğu konusunu oluşturan sular genellikle 0,5'den düşük iyonlaşma gücüne sahiptir. Deniz suyu bu sınırın biraz yukarısında kaldığından zaman zaman deniz suyu için de Davies bağıntısı kullanılabilir. İyonlaşma gücü (molarite olarak) 0,1'den düşük olan tüm diğer sularda

Debye-Hückel Bağıntısı :

- $(\text{Log } \gamma_i = -A Z_i^2 I^{0.5} / 1 + Br_o I^{0.5})$  kullanılır.

Bağıntılardaki A ve B sabitleri sıcaklık ve basınca bağlı parametreler olup, yapılan hesaplamalarda suların sıcaklıklarına uygun parametreler kullanılmalıdır (Tablo 7.8). Örneğin 20°C sıcaklıklı sular için A=0,505, B=0,3276 olarak alınmalıdır.

Tablo 7.8 A ve B katsayılarının çeşitli sıcaklıklara göre değişimi şu şekildedir (Helgeson ve diğ., 1981).

t°C	A	B	t°C	A	B	t°C	A	B
0	0.4913	0.3247	100	0.5998	0.3422	200	0.8099	0.3655
10	0.4976	0.3261	110	0.6158	0.3443	210	0.8387	0.3681
20	0.5050	0.3276	120	0.6328	0.3465	220	0.8697	0.3707
30	0.5135	0.3291	130	0.6507	0.3487	230	0.9030	0.3734
40	0.5231	0.3307	140	0.6697	0.3510	240	0.9391	0.3762
50	0.5336	0.3325	150	0.6898	0.3533	250	0.9785	0.3792
60	0.5450	0.3343	160	0.7111	0.3556	260	1.0218	0.3822
70	0.5573	0.3362	170	0.7336	0.3580	270	1.0699	0.3855
80	0.5706	0.3381	180	0.7575	0.3605	280	1.1238	0.3889
90	0.5848	0.3401	190	0.7829	0.3629	290	1.1850	0.3926

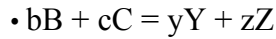
Hidratlaşma yarıçapı olan  $r_o$  ise  $K^+$  ve  $Cl^-$  için 3,  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$  ve  $SO_4^{=}$  için 4,  $CO_3^{=}$  için 4,5,  $Ca^{++}$  için 6 ve  $Mg^{++}$  için 8 olarak alınmalıdır.

Suların mineral doyunlukları su içindeki iyonların ve minerallerin Gibbs serbest enerjileri ( $\Delta G^\circ$ ) ile iyon etkinliklerinin bilinmesi ile ilişkilidir. Su içindeki kimyasal bir tepkimenin Gibbs serbest enerjisi ( $\Delta G^\circ$ ) ile tepkimedeki iyon veya bileşiklerin derişimleri arasındaki ilişki  $\Delta G^\circ = -RT \ln K$  denklemiyle yazılabilir.

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 toplamı ( $\Sigma \Delta G^\circ_{ts}$ ) ile tepkime başlangıcındaki maddelerin toplam serbest enerjileri ( $\Sigma \Delta G^\circ_{tb}$ ) farkına eşittir.

$$\bullet \Delta G^\circ = \Sigma \Delta G^\circ_{ts} - \Sigma \Delta G^\circ_{tb}$$

Standart koşullarda herhangi bir kimyasal tepkime şu şekildedir.



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

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

Denklemden a ilgili iyonun etkinliğini (etkin derişimini) tanımlar ve

$$\bullet a = \gamma C$$

ile tanımlanır; bu denklemden de  $\gamma$  iyon etkinlik katsayısını, C ise molarite olarak iyon derişimini belirtir. Denklemler birleştirilirse;

$$\bullet \Delta G^\circ = -RT \ln [(aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c]$$

Elde edilen denklemde ilgili parametreler (standart koşullarda) yerine koyulur ve ondalık logaritmaya çevrilirse;

$$\bullet \log K = - \Delta G^{\circ} / 1,3641$$

$$\bullet \log [(aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c] = - \Delta G^{\circ} / 1,3641 \text{ denklemi elde edilir.}$$

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.

$$\bullet D\ddot{I} = \log [(aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c] / (- \Delta G^{\circ} / 1,3641) = \log (Q/K)$$

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 DI denklemi de şu şekilde gelişecektir.

$$\bullet D\ddot{I} = \log [(aY)^y (aZ)^z] / (- \Delta G^{\circ} / 1,3641) = \log (AP/K)$$

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.

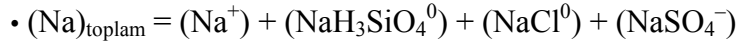
Dİ ( $\log Q/K$ ) = 0 ise, su ilgili mineral ile dengededir (doygundur).

Dİ ( $\log Q/K$ ) > 0 ise, su ilgili mineralle aşırı doygundur (mineral çöktürücü özelliktedir).

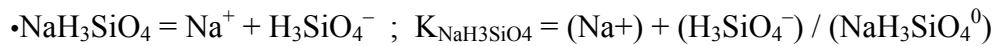
Dİ ( $\log Q/K$ ) < 0 ise, su ilgili mineralle doygun değildir (minerali çözündürücü özelliktedir).

Bu anlatılan mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökellerin önceden tahmin edilmesi üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir.

Bir jeotermal akışkan (sıcak su + buhar) pek çok çeşit kimyasal madde içerir. Yapılan kimyasal analizlerde içerdikleri bileşenlerin toplam miktarı (derişimleri) belirlenir. Örneğin,  $(Na)_{\text{toplam}}$ ,  $(Ca)_{\text{toplam}}$ ,  $(Mg)_{\text{toplam}}$ ,  $(HCO_3)_{\text{toplam}}$ ,  $(Cl)_{\text{toplam}}$ ,  $(SO_4)_{\text{toplam}}$  vb. Oysa suda çözülmüş türler bileşenlerin miktarına, cinsine, sıcaklığa vb ölçütlere bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan PhreeqCi gibi jeotermal akışkan kimyasında kullanılan bilgisayar programları ile akışkan içindeki hangi bileşenlerin hangi türlerden oluştuğu bulunmak istenir. Bunu yapmak için de bir dizi kütle dengesi ve kimyasal denge eşitliklerine gereksinim duyulur. Yani bir kimyasal bileşenin derişimi türlerinin derişimleri toplamına eşittir. Örneğin, aşağıdaki örnek olarak sunulan bileşenlerde olduğu gibi her bileşenin bir eşitliği vardır.



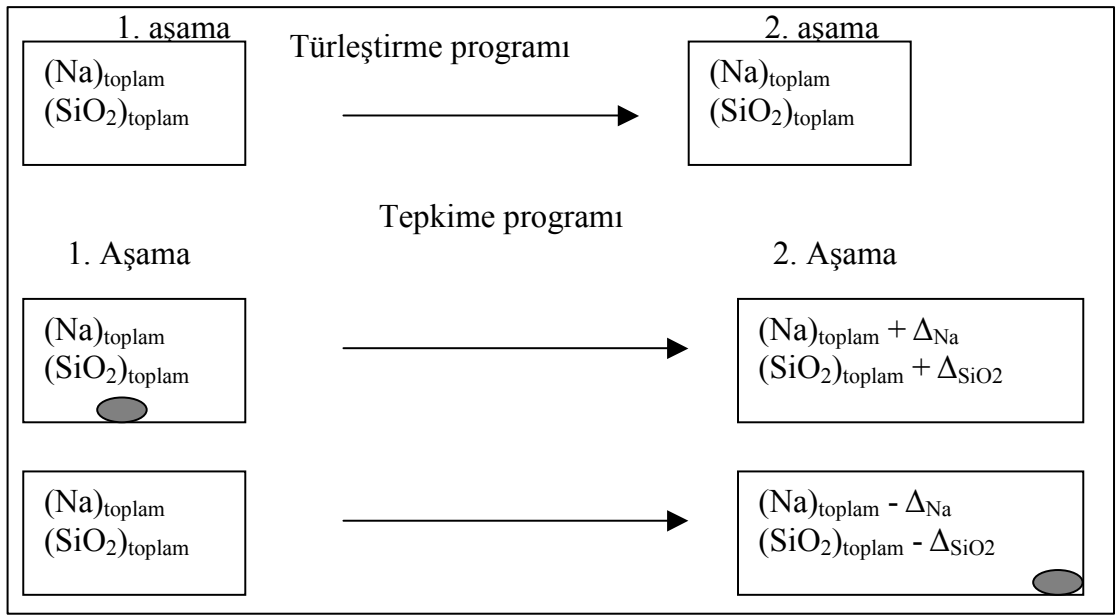
Genellikle 12-20 bileşen kullanmak yeterlidir. Kimyasal denge bağlantılı bileşenlere örnekler de şu şekilde verilebilir.



Her karmaşık türün bir eşitliği vardır. İyon etkinlik katsayıları da önceki bölümlerde anlatıldığı gibi kullanılır. Debye-Hückel kuramı en yaygın olarak kullanılanıdır ve seyreltik çözeltiler için uygundur. Pitzer bağıntıları ise çok veri ister ve salamura türü aşırı derişik çözeltilerde kullanılır. Program, akışkanın yoğunluğuna, tuz derişimine göre kendi kendine ayarlar. Sıcaklık değişimlerinde pH yeniden hesaplanmalıdır. En zor hesaplama türlerinden birisi pH hesaplanmasıdır. Çünkü su  $H^+$  iyonunun her çeşidini hemen kabul edebilme eğilimindedir. Yeni pH ile derişimlerin türleştirme hesabı tekrar yapılır. Doymunluk indeksi (çeşitli mineraller için) hesaplanır. Bazı kimyasal jeotermometreler, redoks potansiyelleri vb. hesaplamalar da yapılır. Eğer ortamda buhar varsa;

- $\text{CO}_2 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) = \text{H}_2\text{CO}_3 (\text{aq}); \text{H}_2\text{CO}_3 (\text{aq}) = \text{HCO}_3^- (\text{aq}) + \text{H}^+ (\text{aq})$
- $\text{H}_2\text{S} (\text{g}) = \text{H}_2\text{S} (\text{aq}); \text{H}_2\text{S} (\text{aq}) = \text{HS}^- (\text{aq}) + \text{H}^+ (\text{aq})$
- $\text{H}_2 (\text{g}) = \text{H}_2 (\text{aq}); \text{CH}_4 (\text{g}) = \text{CH}_4 (\text{aq})$

Bileşenlerin ve türlerin miktarları su-buhar oranlarına göre değişir. Kimyasal türleştirme programları ile kimyasal tepkime programları arasındaki basit bir ayırım şu şekilde şematize edilebilir.



Bu çalışmada yukarıda kısaca anlatılan ilke ve hesaplamalar doğrultusunda kimyasal türleştirme ve mineral doygunluk hesaplamaları yapılmış olup, her bir su noktasına ait hidrojeokimyasal hesaplamalar ve mineral doygunluk değerleri PhreeqCi 2.15 (Parkhurst ve Appelo, 1999) ve WATCH 2004 programıyla hesaplanmış ve ek'lerde belirtilmiştir. Bu hesaplamalarda sıcak sular için kaynak çıkış sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Ancak derin jeotermal kuyulardan 38 numaralı AK-2 ve 5 numaralı KG-1 kuyu sularının hesaplamaları sırasıyla 213°C ve 183°C (her iki kuyuda ölçülmüş kuyu dibi sıcaklığı) sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Kimyasal türleştirme hesapları girilen verilere göre çeşitlere ayrılmaktadır. Örneğin Fe, Al analizi olan örneklerde çok daha fazla parametre girmekte ve türleştirme yapılacak tuzların miktarı artmaktadır. Eklerdeki doygunluk indeksi ve türleştirme

hesaplamalarında görüldüğü üzere mineral olmayan CO<sub>2</sub> gaz fazının pozitif değerde bulunduğu, dolayısıyla termal suyun CO<sub>2</sub> gazı bakımından zengin olduğu anlaşılmaktadır. Yüksek oranda CO<sub>2</sub> içeren termal sulardan, CO<sub>2</sub>'den kuru buz üretimi yapılmaktadır. Aynı şekilde çalışılan bölgedeki jeotermal alanlar işletmeye açıldığında kuru buz üretimi yapılabilir.

Yapılan mineral doygunluk indeksi hesaplamalarına göre; soğuk sularda; Kalsit, Aragonit kısmen Dolomit doygunluk üzeri değerler göstermekte iken, sıcak sularda; Amorf Silis, Kalsedon, Kuvars doygunluk üzeri değerler vermektedir. Sıcak sulardaki doygunluk üzeri değerler 25°C'ye kadar soğuduğunda dahi görülmeye devam etmektedir. Bundan dolayı, jeotermal kuyularda ve jeotermal akışkan taşıyan borularda kabuklaşmayı engellemek için inhibitör kullanılması düşünülebilir ayrıca jeotermal akışkan kullanılmaya başlandığında re-enjeksiyon ile sisteme geri verilerek beslenme sağlanmalı ve zararlı etkileri bertaraf edilmelidir. Anhidrit, Jips ve Sölestin gibi Sülfat mineralleri termal sular için doygunluk altı değer aralıklarında olup jeotermal alanların işletilmesi halinde kuyularda ve termal akışkan taşıyan borularda korozyon problemi ile karşılaşılabilir.

### **7.5 Sıcak ve Mineralli Suların Jeokimyasal Özellikleri ve Sınıflandırılması**

Alaşehir sularının başlıca çözünmüş bileşenleri jeotermal suların sınıflamasında kullanılan diyagramlarda gösterilmiştir (Şekil 7.7, 7.8). Sıcak ve mineralli suların büyük çoğunluğu Na+K köşesinde yer alır. Soğuk sular çoğunlukla Ca köşesinde yer almakla birlikte, bazı sıcak ve mineralli sular da Ca köşesinde bulunmaktadır. Bunlar sistem olarak karışmış (soğuk ve sıcak suların karışımı) sulara işaret eder. En yüksek sıcaklığa sahip derin jeotermal kuyu suları 4, 5 ve 38 nolu sular (AK-1, 2 ve KG-1 kuyu suları) (Şekil 7.5, 7.6) en uç Na köşesinde bulunmaktadır (Şekil 7.7). Anyon üçgeninde ise 66, 68 ve 77 nolu sıcak ve mineralli sular haricindeki tüm sular HCO<sub>3</sub> köşesinde yer almaktadır. Bu sular yüzeye yakın, yada sığ derinliklerden beslenmeli sıcak sulara işaret etmektedir. Bu sular Üzümlü Köyü ile Şenduraklar-Kasaplar Köyü civarında açılmış şahıs kuyularına ait mineralli su nitelikli sulardır. SO<sub>4</sub> zenginleşmesi derin beslenmeli suların karışımından kaynaklanmış olabileceğini

veya farklı özellikli kirlilik içeren bir karışım suyunu gösterebilir. Soğuk suların da hemen hemen tamamı  $\text{HCO}_3$  köşesinde yer alır. Alışehir jeotermal alanlarının akifer kayaları tamamen metamorfiktir. Bu tür akiferlere sahip sıcak sular doğal olarak kalsiyum, sodyum ve bikarbonat iyonlarınca zenginleşmektedir. Bazı sularda gözlenilebilen bağıl olarak yüksek  $\text{SO}_4$  değeri mağmadan kaçan  $\text{H}_2\text{S}$  gazının oksitlenmesi ile ilgili olabilmektedir (Gökgöz, 1998).

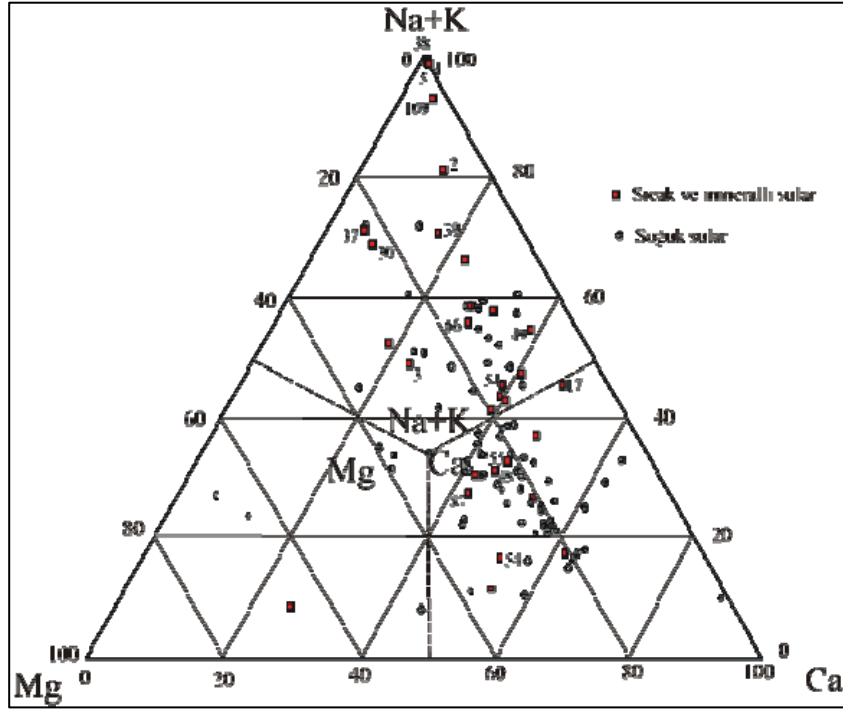


Şekil 7.5 AK-2 nolu kuyudan görünüm.



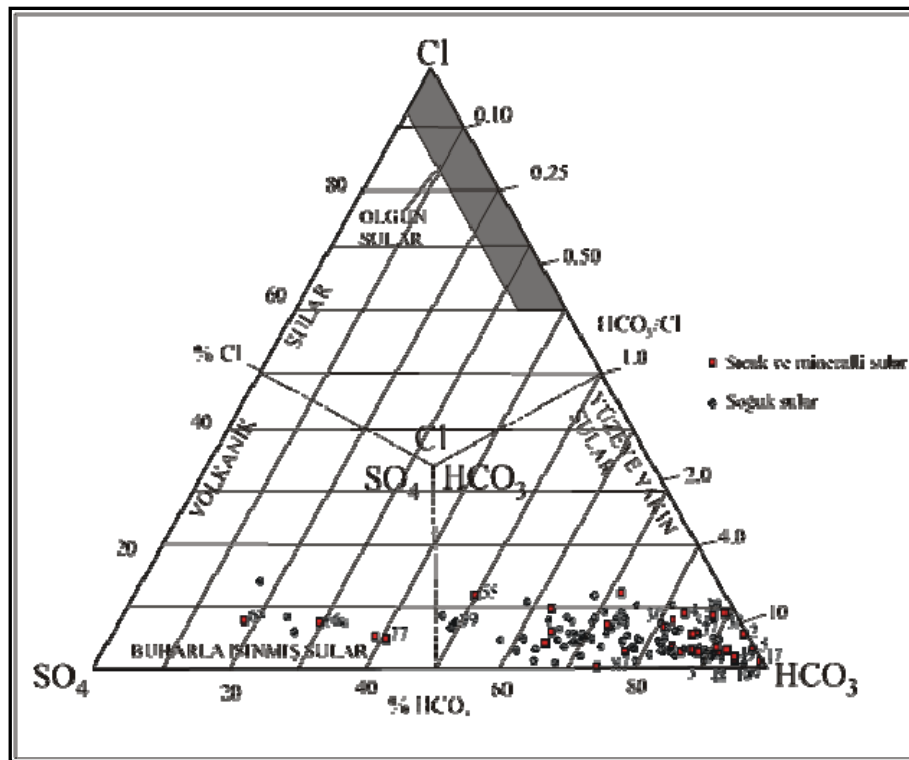


Şekil 7.6 AK-1 sondajından bir görünüm.



Şekil 7.7 Çalışma alanındaki suların başlıca çözülmüş katyon bileşenlerine (Na+K-Ca-Mg) göre sınıflanması (Örnek numaraları Tablo 7.1 ve Şekil 5.3 ile aynıdır).

Alandaki jeotermal sistemler sıcak ve mineralli suların buldukları alanlara göre Alaşehir, Kavaklıdere, Göbekli, Horzum-Sazdere, Acıdere suları olarak gruplanabilir. Şişelenip satılan ünlü Sarıkız Pınarı maden suyu da Alaşehir’de, Acıdere ve Sazdere maden suları da (kullanım yok) aynı adı geçen köylerde bulunmaktadır. Bunların yanı sıra alüvyonda çeşitli yörelerde pek bilinmeyen birçok sıcak ve mineralli su özelliği taşıyan şahıs kuyuları bulunmaktadır. Bunlar büyük çoğunlukla eski hidrotermal sistemler ile güncel soğuk suların karışımına işaret eden sulardır. 55, 68, 66, 77 vb. sular üçgen diyagramlarda bu tip karışım suları özelliğini yansıtmaktadır (Şekil 7.8 ve 7.10). Giggenbach (1991) tarafından geliştirilen Li-Cl-B üçgen diyagramında, Alaşehir suları çoğunlukla B ve Cl köşeleri arasında B-Cl kenarına yakın seyretmektedir (Şekil 7.10). Giggenbach (1991) bu diyagramda suları düşükleri alana göre sınıflamıştır.

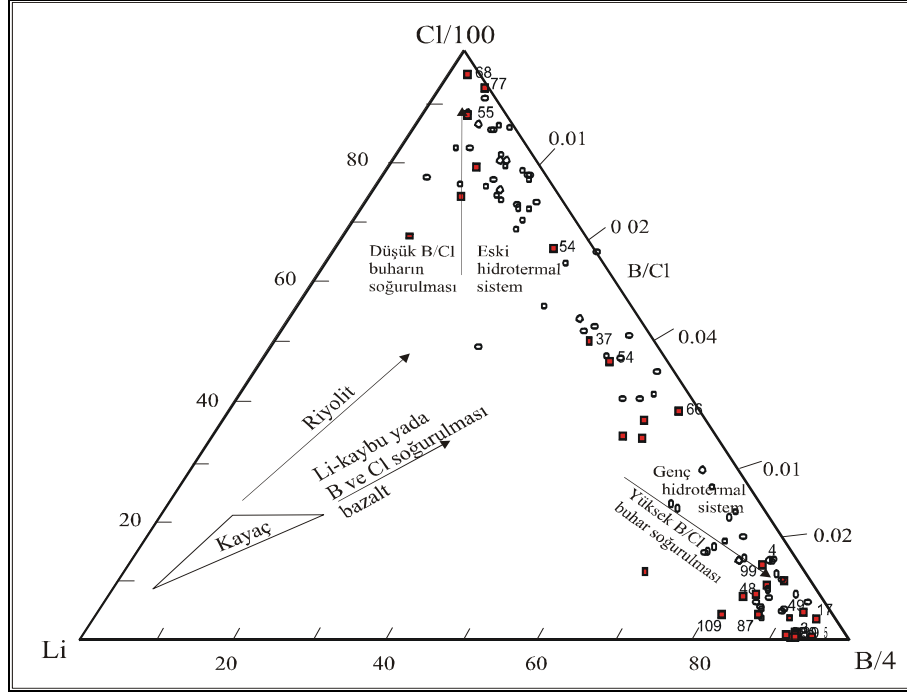


Şekil 7.8 Çalışma alanındaki suların başlıca çözünmüş anyon bileşenlerine (Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>) göre sınıflandırılması (Örnek numaraları Tablo 7.1 ve Şekil 5.3 ile aynıdır).



Şekil 7.9 Horzum-Sazdere Ilıcası.

$Li^+$ , ikincil süreçlerden en az etkilenen alkali metal element olduğundan, termal suların diğer iki önemli bileşeninin (B ve Cl) derin kayalardaki başlangıç çözünürlük süreçlerinin ve kökenlerinin değerlendirilmesinde izleyici olarak kullanılabilir. Diyagrama göre (Şekil 7.10) Alaşehir suları çoğunlukla genç jeotermal sistemlere işaret etmektedir. Yüksek B/Cl içerikli buharın soğurulmasını yansıtırlar. Özellikle derin jeotermal sular ve bilinen jeotermal sularda bu çok belirgindir. Çok bilinmeyen bazı maden suyu özelliğindeki kuyu suları ise eski hidrotermal sistemleri yansıtan klorür köşesine daha yakındır. Bu sular aynı zamanda magmatik-volkanik bağlantıya ve soğuk sularla karışıma da işaret etmektedir. Ancak, daha önce de belirtildiği üzere suların büyük çoğunluğu genç hidrotermal suları ve yüksek B/Cl içerikli buhar soğurulmasını gösteren B köşesine yakın düşmektedir. Bu diyagramda suların çoğunun B köşesine düşmesi yüksek B içeriğinin su kayaç etkileşimine bağlı ve kısmen de magmatik uçuculardan kaynaklanabileceğini belirtir (Tarcan, 2005). Nitekim bu alandaki jeotermal sular tüm Türkiye'deki jeotermal sulardan daha yüksek B derişimine sahiptir. AK-2 derin jeotermal kuyuda en yüksek değere erişir (124 mg/L).



Şekil 7.10 Çalışma alanındaki suların sıcak sulara belirleyici parametre bileşenlerine (Cl-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>) göre sınıflanması (Örnek numaraları Tablo 7.1 ve Şekil 5.3 ile aynıdır).

## 7.6 Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermometreler akiferdeki suyun sıcaklığının (suların yeraltı sıcaklığının) tahmininde kullanılmaktadır. Bu nedenle jeotermometreler yeni jeotermal sahaların araştırılmasında ve üretim yapılan sistemlerin izlenmesinde büyük yararlar sağlamaktadırlar. 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. Her bir jeotermometre için denge sıcaklığı farklıdır.

Jeotermal sistemlerin üst düzeylerindeki kaynaklardan veya sığ sondaj kuyulardan elde edilen sular kaynama veya kondüksiyon yoluyla soğuyabilir. Kaynaklardan yada sığ sondajlardan elde edilen sıcak suların soğuma bölgesinin alt kesimlerdeki akifer sıcaklığının bulunmasında jeotermometreler yardımcı olurlar. Sıcak suyun yukarı çıkışı sırasında soğuk sularla karışması soğumasına neden olur (Arnórsson, 2000).

Sıcak suların yeraltında yüzeye erişirken dokanakta bulunduğu kayalarla ısı alışverişi, soğuk yeraltı suları ile karışımı, akifer sıcaklığının atmosferle ilişkisini kesen geçirimsiz örtü kayaların çok ince oluşu veya bulunmaması gibi nedenler suların sıcaklıklarının azalmasında başlıca etkenlerdir. Suların yeraltında geçirdiği yol ne kadar kısa ve debisi yüksek ise, o oranda akifer sıcaklığına yakındır (Şahinci, 1991b). Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklığının tahmin edilmesi sıcak suların uygun şekilde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklıklarının doğrudan ölçülmesi masraf ve zaman gerektirdiğinden her zaman mümkün olmamaktadır. Buna bağlı olarak gerek ekonomikliği, gerekse de kullanımdaki kolaylığı nedeniyle akifer sıcaklığının saptanması için geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır. Sıcak suların arazide veya laboratuarda elde edilmiş olan kimyasal özelliklerine dayalı olan kimyasal jeotermometreler ekonomik ve pratik olmaları nedeni ile akifer sıcaklığının tahmininde en çok kullanılan jeotermometrelerdendir.

### **7.6.1 Silis Jeotermometreleri**

#### *7.6.1.1 Silise Dayalı Karışım Modelleri*

Silise dayalı karışım modelleri, buhar kaybının bulunmadığı ve buhar kaybının varsayıldığı modeller olarak iki kısımda incelenir.

*7.6.1.1.1 Buhar Kaybının Bulunduğu Varsayımına Dayalı Karışım Modeli.* Bu modelde, karışım ile soğuk yeraltı sularını ısıtan akışkan (buhar+sıcak su) entalpisinin hazne kayadaki entalpisine eşit olduğu varsayılır. Hazne kaya sıcaklığı ve soğuk su karışım oranını saptamak için şu iki bağıntı verilmiştir.

$$H_c \times H + H_h (1-X) = H_s \dots \dots \dots (1)$$

$$S_i \times X + S_{ih} (1-X) = S_{is} \dots \dots \dots (2)$$

Bağıntılarda,  $H_c$ ,  $H_h$ ,  $H_s$ , sırası ile soğuk, hazne kaya ve kaynak sularının entalpileri (cal/g);  $X$ , karışımı temsil eden kaplıca suyundaki soğuk su oranı;  $S_{ic}$ ,  $S_{ih}$ ,

$S_{i_s}$ , soğuk, hazne kaya ve kaynak sularında bulunan silis (mg/l) miktarıdır. Yukarıdaki bağıntılardan soğuk su oranı çekilerek şöyle yazılabilir.

$$H=(H_h-H_s)/(H_h-H_c) \dots \dots \dots (3)$$

$$X=(S_{i_h}-S_{i_s})/(S_{i_h}-S_{i_c}) \dots \dots \dots (4)$$

Hazne kaya içindeki suyun entalpisi ( $H_h$ ), Na-K-Ca jeotermometresi ile saptanan sıcaklık yardımı ile bulunur ve (3) bağıntısından, kaynak sularındaki soğuk su oranı ( $X$ ) saptanır. Çalışma alanındaki bazı suların silis karışım modeline göre hesaplanmış hazne kaya ve soğuk su karışım oranları belirlenmiştir (Şekil 7.11, Şekil 7.12).

*7.6.1.1.2 Buhar Kaybı Varsayımına Dayalı Karışım Modeli.* Buhar kaybı modelinde, sıcak akışkandan buhar ayrıldıktan sonra geri kalan sıcak suyun soğuk yeraltı suları ile karıştığı varsayılır. Buhar kaybı nedeniyle, sıcak ve soğuk karışım bölgesindeki sıcak suyun entalpisi hazne kayadakininden azdır. Sıcak suda kuvars çözünürlüğü kabul edilir ve buhar ayrılımdan sonra kalan suda silis zenginleşmesi şu bağıntı ile bulunur.

$$\text{Silis zenginleşmesi} = (\text{ilkel silis})/(1-y)$$

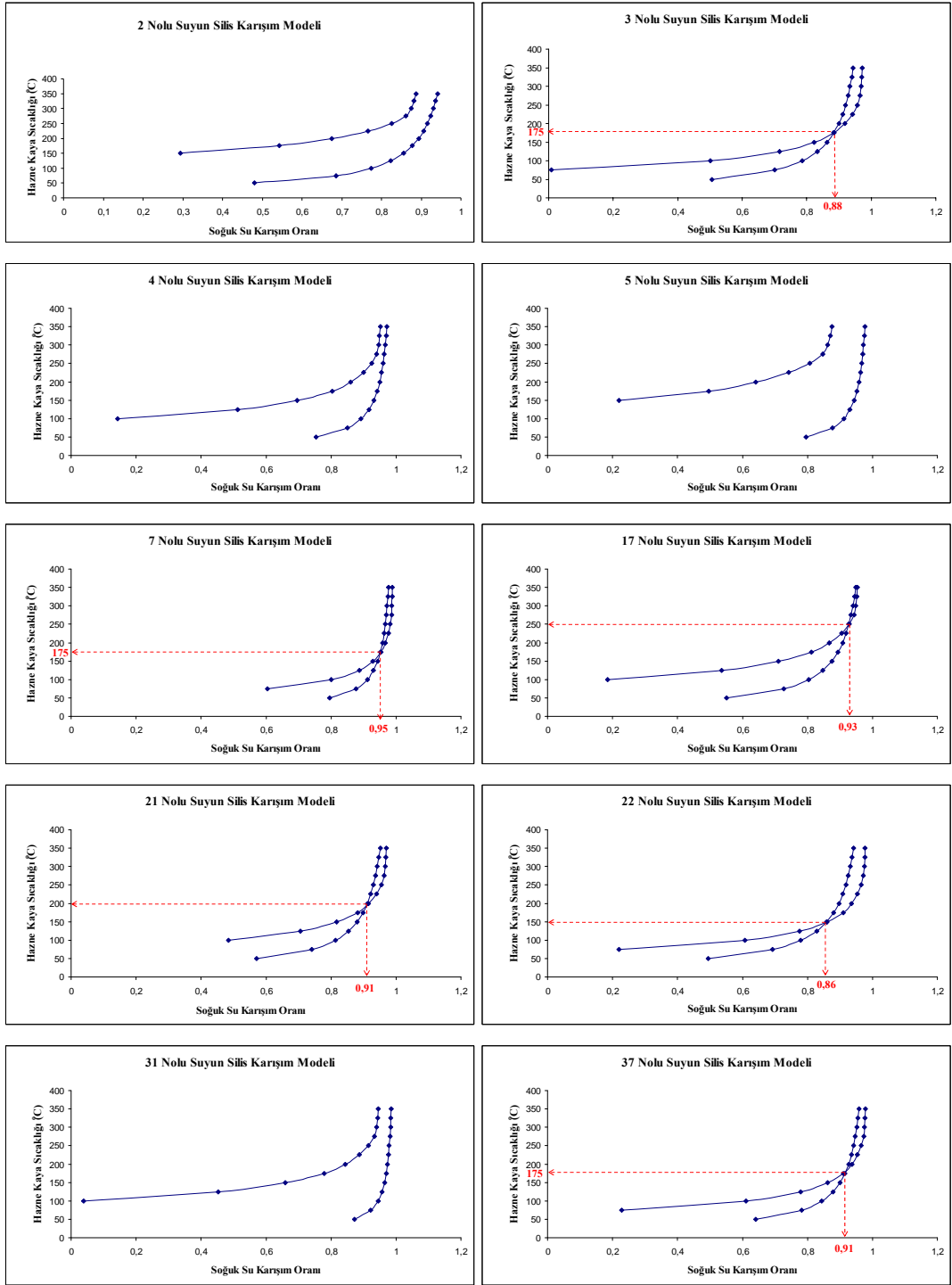
Bağıntıda  $y$ , derinlerde ayrılan buhar miktarıdır. Eğer, derinlerdeki buharlaşma sıcaklığı ( $t_s$ ) bilinirse, silis zenginleşmesi saptanabilir. Böylece, buhar ayrılmadan önce, akışkan sıcaklığının saptanması mümkündür. Genellikle, sıcak suyun yüzeye eriştiği bölgede suyun kaynama sıcaklığı, sıcak akışkandan buharın ayrıldığı sıcaklık ( $t_s$ ) olarak alınır.

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, akifer (hazne) sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler 150–225°C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225°C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına

veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır. Silisin bu özelliğinden yola çıkılarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır. İyon değişim denge sabitleri sıcaklığın etkisindedir. Suda iyon değişimine uğrayan birçok mineral bulunur ve bunlardan yararlanılarak birçok ampirik jeotermometre geliştirilmiştir (Şahinci, 1991b).

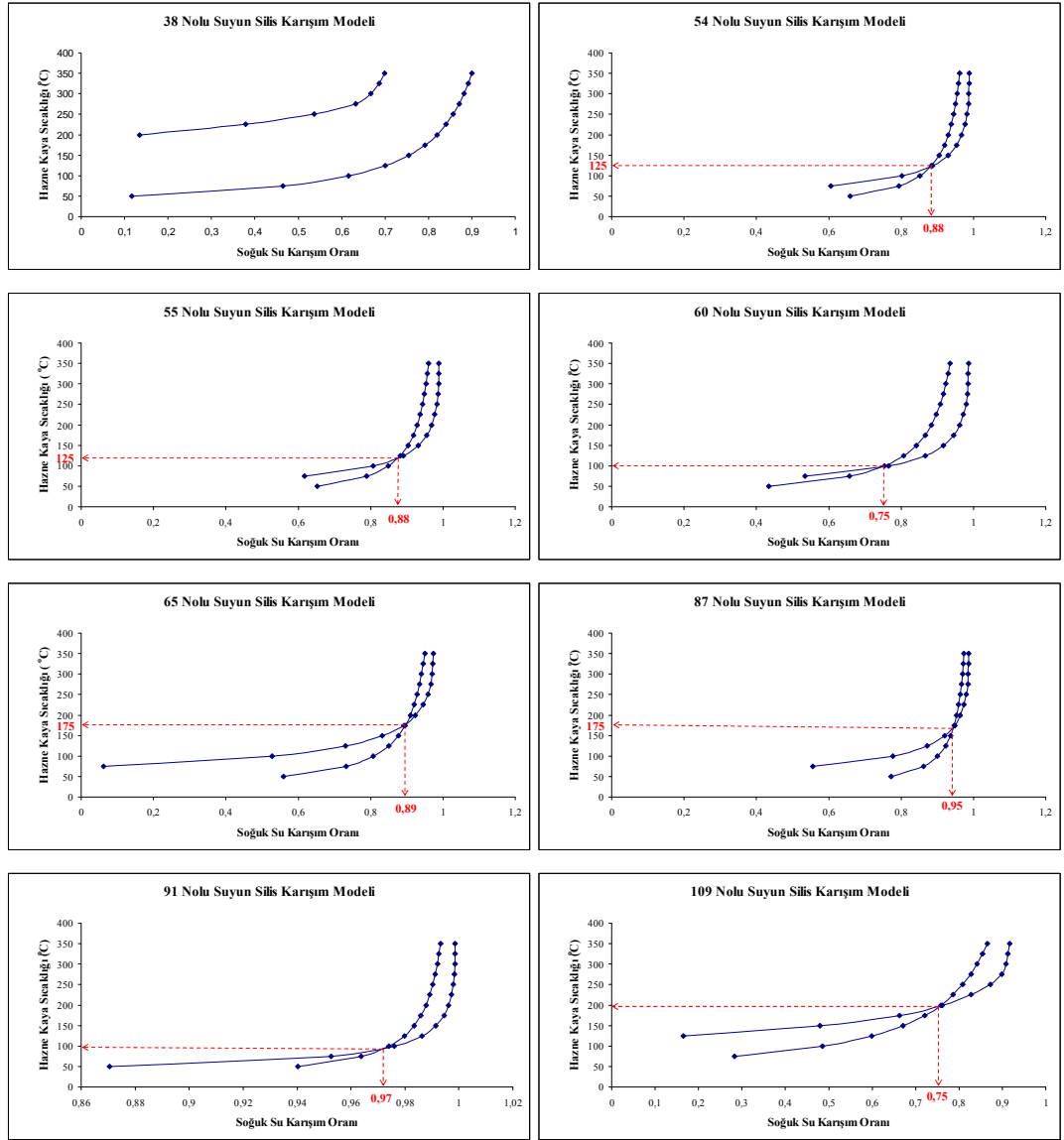
Çalışma alanındaki bazı suların karışım modeline göre hesaplanmış hazne kaya sıcaklıkları ve soğuk su karışım oranları belirlenmiştir (Şekil 7.11, Şekil 7.12).

Bazı sıcak sular için silis karışım modeline göre hesaplanan hazne kaya sıcaklığı genelde 150°C'den fazla olduğu için Avustralya Bilim Konseyi'nin düzelttiği Lindal diyagramına göre elektrik enerjisi, yiyecek kurutma, şeker rafinesi, soğutma sistemleri, konut ısıtmacılığı ve seracılık kullanımında uygun olacaktır (Lindal, 1973).



Şekil 7.11 Çalışma alanındaki bazı sular için silis karışım modelleri.





Şekil 7.12 Çalışma alanındaki bazı sular için silis karışım modelleri.

Tablo 7.9 Silis karışım modeline göre termal sulardaki soğuk su karışım oranları.

Su no	Soğuk su karışım oranı (%)	Hazne kaya sıcaklığı (°C)	Su no	Soğuk su karışım oranı (%)	Hazne kaya sıcaklığı (°C)
2	-	-	37	91	175
3	88	175	38	-	-
4	-	-	54	88	125
5	-	-	55	88	125
7	95	175	60	75	100
17	93	250	65	89	175
21	91	200	87	95	175
22	86	150	91	97	100
31	-	-	109	75	200

### 7.6.2 Katyon (Na/K, Na-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca) Jeotermometreleri

Bu jeotermometreler suda fazla miktarda  $Ca^{++}$  iyonu bulunuyorsa, akifer (hazne) sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması,  $\log(\sqrt{Ca} / Na)$  değerinin 0,5'ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350°C sıcaklıktaki bir akiferden gelen sularda daha iyi sonuçlar vermektedir.

### 7.6.3 Na-K-Ca Jeotermometresi

Özellikle Ca/Na (mol/l) oranının birden büyük olduğu durumlarda Na/K jeotermometre bağıntıları, akifer sıcaklığı hesaplamalarında çok yüksek değerler vermektedir. Bu olumsuz yönü gidermek için Fournier ve Truesdell (1973) tarafından şöyle bir bağıntı önerilmektedir.

$$t^{\circ}C = \frac{1647}{\log(Na/K) + \beta \log(\sqrt{Ca} / Na) + 2,24} - 273,15$$

Bağıntıda Na, K, Ca, mol/l olarak alınır.  $\beta$  bir katsayıdır. Eğer  $\log(\sqrt{Ca}/Na)$  değeri (-) ise  $\beta = 1/3$ , (+) ise  $\beta = 4/3$  olarak bağıntıya konur. Ayrıca  $\beta = 4/3$  olarak hesaplanan akifer sıcaklığı 100°C' den fazla ise  $\beta = 1/3$  alınarak akifer sıcaklığı tekrar hesaplanabilir.

### 7.6.4 Magnezyum Düzeltmeli (R) Na-K-Ca Jeotermometresi

Fournier ve Potter (1979), Na-K-Ca jeotermometre bağıntısında bazı koşullarda düzeltmeler yapılmasını önermişlerdir. Buna göre düzeltme katsayısı ( R ) şu bağıntı ile bulunur;

$$R=(Mg/Mg+Ca+K) \times 100$$

Bağıntıda iyonlar mek/l olarak ele alınır. Eğer R, 50' den büyük ise, suların oldukça soğuk bir ortamdan geldiği ve akifer sıcaklığının, kaynakta ölçülen sıcaklığa yakın olduğu düşünülebilir. Bu nedenle Na-K-Ca bağıntısından elde edilen yüksek akifer sıcaklıklarında bazı düzeltmeler yapılması gereklidir. Bulunan akifer sıcaklığı 70°C'nin altında ise düzeltme yapılmaz. Tersine akifer sıcaklığı 70°C'den fazla ve 5-50 arasında veya daha yüksek ise aşağıda belirtilen bağıntılardan yararlanarak düzeltme hesaplanabilir ve akifer (hazne) sıcaklığından çıkarılır.

$$\bullet \text{ } t^{\circ}\text{C} = 10,66 - 4,741R + 325,87 (\log R)^2 - [ 1,032 \times 10^5 (\log R)^2 / T ] - [ 1,968 \times 10^7 \times (\log R)^2 / T^2 ] + 1,605 \times 10^7 (\log R)^3 / T^2$$

Eğer R, 0,5 – 5 arasında ise şu bağıntı kullanılır;

$$\bullet \text{ } t^{\circ}\text{C} = -1,03 + 59,971 (\log R) + 145,05 (\log R)^2 - 36711 (\log R)^2 / T - 1,67 \times 10^7 (\log R) / T^2$$

Bağıntılarda  $t^{\circ}\text{C}$ , magnezyum düzeltme sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ), R düzeltme katsayısı; T, Na-K-Ca jeotermometresinde hesaplanan akifer sıcaklığıdır ( $^{\circ}\text{K}$ ).Günümüzde çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan çok sayıda kimyasal jeotermometre bulunmakta olup, bunlardan bu çalışmada kullanılanları aşağıda belirtilmiştir (Tablo 7.10).

Tablo 7.10 Bu çalışmada kullanılan bazı kimyasal jeotermometre eşitlikleri ve eşitliğin alındığı kaynaklar.

Uygulanan jeotermometreler	Bağıntılar	Kaynaklar
1. SiO <sub>2</sub> (Amorf silis)	$t = 731 / (4.52 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
2. SiO <sub>2</sub> ( $\alpha$ Kristobalit)	$t = 1000 / (4.78 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
3. SiO <sub>2</sub> ( $\beta$ Kristobalit)	$t = 781 / (4.51 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
4. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	$t = 1032 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
5. SiO <sub>2</sub> (Kuars)	$t = 1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
6. SiO <sub>2</sub> (Kuars buhar kaybı)	$t = 1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
7. Na/K	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnórsson vd., 1983
8. Na/K	$t = 1319 / (1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnórsson vd., 1983

Uygulanan jeotermometreler	Bağıntılar	Kaynaklar
9. Na/K	$t = 777 / (0.70 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnórsson vd., 1983
10. Na/K	$t = 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Truesdell, 1976
11. K/Mg	$t = 4410 / (13.95 - \log K^2/\text{Mg}) - 273.15$	Giggenbach vd., 1983
12. Na-K-Ca (mmol)	$t = 1647 / (\log \text{Na/K} + \beta \log \sqrt{\text{a/Na} + 2.24}) - 273.15$	Fournier & Truesdell, 1973
13. Na-K-Ca (R)(Mg düz)	$R = (\text{Mg}/\text{Mg} + \text{Ca} + \text{K}) \times 100$	Fournier ve Potter, 1979
14. Li/Mg	$t = 2200 / (5.470 - \log (\text{Li}/\text{Mg}^{0.5})) - 273.15$	Kharaka ve Mariner, 1989
15. Na/Li	$t = 1590 / (0.779 + \log (\text{Na}/\text{Li})) - 273.15$	Kharaka vd., 1982
16. Na/Li (mmol) Cl<0.3	$t = 1000 / (0.389 + \log (\text{Na}/\text{Li})) - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
17. Na-Li (mmol) Cl>0.3	$t = 1195 / (0.130 + \log (\text{Na}/\text{Li}^{0.5})) - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981

Kimyasal jeotermometreler sıcaklığa bağlı su-kayaç dengesine dayalıdır ve su kayaç ilişkisindeki son denge sıcaklığını verir. Her bir jeotermometre için denge sıcaklığı farklıdır. Alaşehir jeotermal alanlarındaki sıcak ve mineralli suların jeotermometre uygulama sonuçları silis jeotermometreleri ve katyon jeotermometreleri olarak 2 ayrı tabloda verilmiştir (Tablo 7.11 ve 7.12). Bu tablolarda örnek numaralarından sonra, jeotermometre sonuçlarının kaynak çıkış sıcaklıkları ile birlikte irdelenebilmesi kolaylığı açısından, kaynak çıkış sıcaklıkları ve bilinen kuyu dibi sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 7.11 Alaşehir sıcak ve mineralli sularının Silis (SiO<sub>2</sub>) kimyasal jeotermometre sonuçları (1. satırdaki ayraç içindeki numaralar Tablo 7.10'da belirtilen jeotermometre eşitliği numarasını belirtir).

Örnek no	T(°C) Örnek sıcaklığı	(1) SiO <sub>2</sub> Amorf	(2) SiO <sub>2</sub> α-Kristobalit	(3) SiO <sub>2</sub> B-Kristobalit	(4) SiO <sub>2</sub> Kalsedon	(5) SiO <sub>2</sub> Kuvars	(6) SiO <sub>2</sub> Kuvars buh. kaybı
2a	30,6	45	123	74	151	173	163
2b	32,4	52	131	82	160	181	169
3a	28,4	-11	60	13	81	110	110
3b	29,6	-18	52	5	72	102	103
3c	23	-12	59	11	80	109	109
3d	30,5	-12	58	11	79	108	108
3e	19	-12	58	11	79	108	108
3f	19	-38	28	-17	46	77	81
4a	63	7	80	32	104	131	128
4b	63	-4	67	20	89	118	116
5a	183	52	131	81	159	180	168
5b	183	58	137	87	167	187	174
17a	28,5	4	77	29	100	127	124
17b	29,1	6	80	31	103	130	127
21	28	-11	59	12	80	109	109
22	31	-20	49	3	70	100	101
23	23,9	-39	27	-18	45	76	80
30a	16,7	-14	56	9	77	107	107
30b	16,4	12	86	37	110	137	132
30c	15,1	18	93	44	118	144	138

Örnek no	T(°C) Örnek sıcaklığı	(1) SiO <sub>2</sub> Amorf	(2) SiO <sub>2</sub> α-Kristobalit	(3) SiO <sub>2</sub> B-Kristobalit	(4) SiO <sub>2</sub> Kalsedon	(5) SiO <sub>2</sub> Kuvars	(6) SiO <sub>2</sub> Kuvars buh. kaybı
37	25,3	-20	49	2	69	99	100
38	213	121	206	156	243	251	224
39	17,3	41	119	69	146	169	159
46	31,2	-4	68	20	90	118	117
47	21	-25	43	-3	63	93	95
48	25,5	-32	35	-11	53	85	88
49	28	-2	70	23	93	121	119
54	11,5	-19	51	4	71	101	102
55	24,9	-37	29	-16	47	79	83
60	33,3	-33	34	-12	53	84	87
61	29,1	-14	56	9	77	107	107
62	23,6	-22	47	0	67	97	99
63	21,6	-26	42	-4	61	92	94
64	23,5	-25	43	-3	63	93	95
65	28,5	-14	56	9	77	106	106
66a	19,7	-29	38	-7	58	89	91
66b	19,4	-17	52	6	73	103	103
67	20,7	-22	46	0	66	97	98
68	19,7	-35	31	-14	50	81	85
77	20,6	-21	48	2	68	98	100
87a	14,6	-35	31	-14	50	81	84
87b	15,2	-38	28	-17	47	78	82
87c	21,5	-32	35	-11	54	85	88
87d	19	-33	34	-12	53	84	87
87e	19	-36	30	-15	49	80	84
109	57	32	109	59	135	159	151

Tablo 7.12 Alaşehir sıcak sularının katyon jeotermometre sonuçları (1. satırdaki ayraç içindeki numaralar Tablo 7.10'da belirtilen jeotermometre eşitliği numarasını belirtir).

Örnek no	T (°C) Örnek	(7) Na/K	(8) Na/K	(9) Na/K	(10) Na/K	(11) K/Mg	(12) Na-K-Ca	(13) Na-K-Ca-Mg	(14) Mg/Li	(15) Na/Li	(16) Na/Li	(17) Na/Li
2a	30.6	176	181	231	211	42	187	29	125	289	183	169
2b	32.4	193	196	245	223	40	217		125	289	183	169
3a	28.4	126	134	188	173	67	144		64	245	138	133
3b	29.6	135	142	196	180	69	144		55	240	133	129
3c	23	145	152	205	188	67	150		62	254	148	141
3d	30.5	144	151	204	187	68	184		58	245	139	134
3e	19	131	139	193	177	69	144		55	262	156	147
3f	19	145	152	205	188	68	140		45	254	147	141
4a	63	30	41	99	90	21	129	92	108	116	17	29
4b	63	21	33	90	83	25	120	77	93	103	5	18
5a	183	86	96	152	140	13	169	143	172	188	83	87
5b	183	81	91	148	136	13	165	142	169	182	77	82
17a	28.5	143	149	203	186	51	143	88	52	187	82	86
17b	29.1	137	144	198	182	51	142	83	52	183	78	83
21	28	85	95	151	139	62	120	29	18	114	15	27
22	31	87	97	153	141	60	122	42	10	92	-4	9
23	23.9	243	241	284	258	87	158		-16	154	51	59
30a	16.7	228	228	273	248	52	205		80	269	163	153

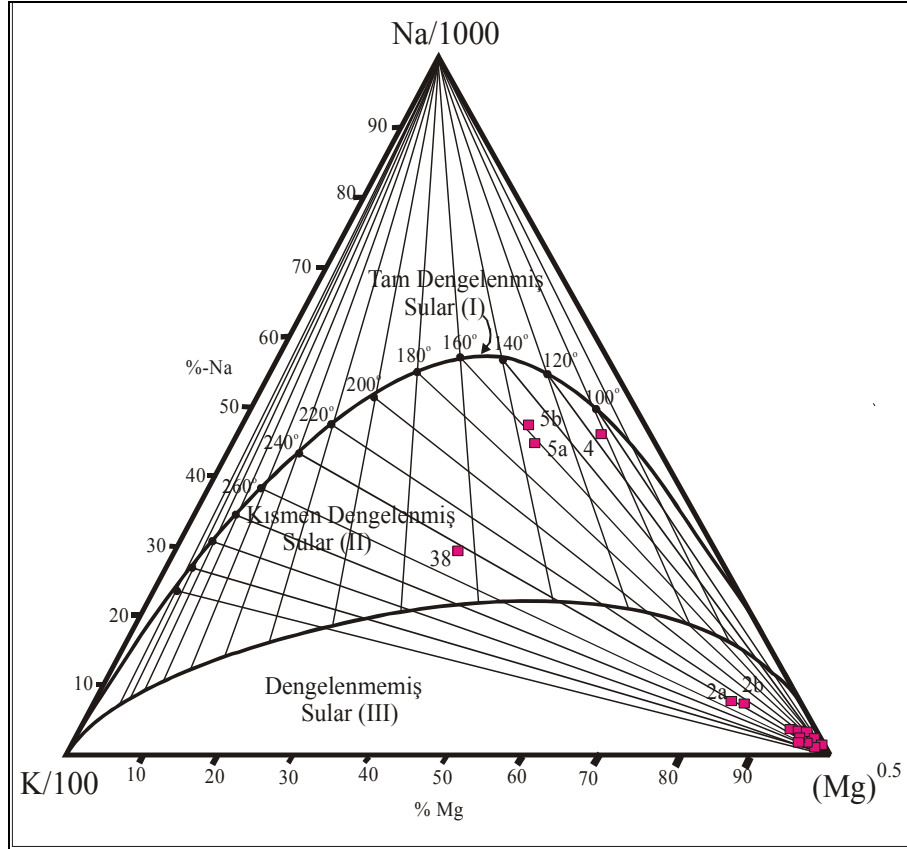
Örnek no	T (°C) Örnek	(7) Na/K	(8) Na/K	(9) Na/K	(10) Na/K	(11) K/Mg	(12) Na-K-Ca	(13) Na-K-Ca-Mg	(14) Mg/Li	(15) Na/Li	(16) Na/Li	(17) Na/Li
30b	16.4	207	209	256	234	53	211		83	269	163	153
30c	15.1	193	196	245	223	52	184		96	276	170	159
37	25.3	143	150	203	186	59	166		10	104	6	19
38	213	197	200	249	227	5	227	209	220	283	178	165
39	17.3	190	193	243	221	48	188		103	272	166	156
46	31.2	85	95	151	139	63	121	28	17	109	11	23
47	21	222	223	268	244	61	163	34	19	174	69	75
48	25.5	241	240	283	258	60	173	22	25	189	84	88
49	28	89	99	155	143	55	119	74	36	142	40	50
54	11.5	145	151	205	187	59	147	33	8	103	6	19
55	24.9	274	270	308	279	56	185	28	-7	101	4	17
60	33.3	266	262	302	274	52	183	48	12	136	35	45
61	29.1	103	112	168	154	61	125	50	22	128	28	39
62	23.6	180	185	235	214	66	155		36	206	100	101
63	21.6	-26	-14	41	37	96	3		21	123	23	34
64	23.5	135	143	197	180	61	141	34	19	130	29	40
65	28.5	96	106	162	149	57	131	29	33	131	31	41
66a	19.7	-37	-25	30	26	95	14		2	65	-27	-12
66b	19.4	80	90	147	135	66	129		0	64	-28	-13
67	20.7	130	138	192	176	64	138	26	20	139	37	47
68	19.7	26	37	94	87	84	71		-16	35	-52	-35
77	20.6	300	293	327	296	61	183	42	-41	38	-50	-34
87a	14.6	201	204	252	230	67	157		35	234	127	124
87b	15.2	180	185	235	214	68	151		38	238	131	128
87c	21.5	202	204	252	230	67	162		35	238	131	127
87d	19	362	347	371	334	77	180		-34	119	20	31
87e	19	163	168	220	201	68	146		40	235	129	125
109	57	76	86	143	132	41	143	34	81	146	44	53

Kimyasal jeotermometre sonuçları üzerine genel bir değerlendirme yapılırsa, bazı silis jeotermometreleri ile bazı katyon jeotermometrelerinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği söylenebilir. Silis jeotermometrelerinden Amorf Silis ve Beta-Kristobalit jeotermometreleri çok düşük ve hatta bazıları kaynak sıcaklığından daha düşük ve/veya negatif değerler vermektedir. Katyon jeotermometreleri arasında da bu gibi sonuçlar hiç dikkate alınmamalıdır ve o jeotermometre uygulamasının bu alan için uygun olmadığı şeklinde yorumlanmalıdır. Hem kuyu dibi hazne sıcaklığı hem de kimyasal analiz sonuçları bilinen 5 nolu KG-1 (183°C) ve 38 nolu AK-2 (213°C) derin jeotermal kuyularının sonuçları temel olarak alındığında; silis jeotermometreleri arasında Kuvars ve Kuvars buhar kaybı jeotermometre tahminlerinin daha uygun olduğu düşünülebilir. Bu sonuçlara göre alandaki hazne sıcaklıklarının 76°C ile 224°C arasında değiştiği tahmin edilebilir. Benzer yaklaşım

ve karşılaştırma Na/K jeotermometreleri arasında yapılırsa (10) numaralı jeotermometrenin en yakın sonuç verdiği görülmektedir. Ancak genel anlamda Na/K jeotermometreleri genellikle gerçeğinden çok daha yüksek sonuç vermektedir. En uygun olduğu düşünülen (10) numaralı jeotermometre sonuçları 83°C ile 334°C arasında çok abartılı ve geniş bir aralıkta sonuç vermektedir. Katyon jeotermometreleri arasında en güvenilir sonuçları 12 nolu Na-K-Ca ve 14 nolu Mg/Li jeotermometreleri veriyor gibi gözükmemektedir. Derin jeotermal kuyular karşılaştırıldığında Na-K-Ca jeotermometresi KG-1 için 169°C, AK-2 için 224°C, Mg/Li ise KG-1 172°C, AK-2 227°C jeotermometre sonuçları vermektedir. Ölçülmüş sıcaklıklara çok yakın değerlerdir. Buradan bazı olamayacak değerler elimine edilerek bir genelleme yapılırsa, alandaki hazne sıcaklıklarının 120°C ile 227°C arasında değiştiği tahmin edilebilir.

#### ***7.6.5 Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulaması (Na-K-Mg Birleşik Jeotermometresi)***

Jeotermometrelerin sıcak suyun kimyasal yapısına bağlı olarak uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından grafiksel modeller geliştirilmiştir. Burada üçgen şekilli diyagram verilmiştir. Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen üçgen diyagram sıcak suların akifer (hazne) sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiştir. Bu Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınanmaktadır (Şekil 7.13).



Şekil 7.13 Na-K-Mg jeotermometre diyagramı (Giggenbach, 1988).

Diyagram kısaca, su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu (karışmış sular) ve su-kayaç ilişkisinin tam dengede olduğu sular olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri olgunlaşma indeksinin ( $MI = \text{maturity index}$ )  $MI = 2,0$  olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların birleşimiyle oluşmuştur. Olgunlaşma indeksi;  $MI = 0,315 \text{ Log } ((K^2/Mg) - \text{Log } (K/Na))$  bağıntısıyla tanımlanmıştır. Su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu alanlar (karışmış sular) ve tamamen dengede olduğu alanlar ise eş kimyasal özellikteki noktalar ile  $K^+ - Mg^{++}$  ve  $K^+ - Na^+$  jeotermometre eşitlikleri ile elde edilen eş sıcaklık (izoterm) değerlerinin kesişim noktalarının oluşturduğu eğriyle birbirinden ayrılmıştır. Dolayısıyla diyagram aynı anda hem su-kayaç ilişkisinin denge durumunu, hem de jeotermometre sonucunu gösterebilmektedir. Giggenbach (1988) ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini belirtmektedir. Alaşehir sıcak ve mineralli suları derin jeotermal kuyular (38:AK-2, 4:AK-1, 5:G-1 kuyuları) haricinde hemen tamamı



olgunlaşmamış (ham) sular bölgesine düşmektedir. Bu durumda katyon jeotermometre sonuçları pek güvenilir değildir. Derin jeotermal kuyuların suları ise kısmen dengelenmiş sular bölgesine düşmektedir. Düşükleri izoterm doğruları da jeotermometre sıcaklıklarını vermektedir. AK-2 kuyusunda ölçülmüş 213°C kuyu dibi sıcaklık temel alınacak olursa, düştüğü sıcaklık eğrisi (240°C) biraz yüksek, KG-1 kuyusu ise 183°C kuyu dibi sıcaklığıyla düştüğü 160°C izoterm eğrisi biraz düşük değerler vermektedir. Bu diyagram sonuçları, yukarıda yapılan tartışmayı doğrulamaktadır. Bazı silis buhar kaybı kuvars ve kuvars jeotermometreleri ile buradaki sonuçlar birleştirilirse alandaki jeotermal sistemlerin 80°C ile 220°C arasında olabileceği tahmin edilebilir.

#### ***7.6.6 Mineral Denge–Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi***

Jeotermal alanlardaki hazne sıcaklığının tahmin edilmesi için mineral dengeleri ile sıcaklık ilişkisinden yola çıkılarak hazırlanan diyagramlar da kullanılabilir (Reed ve Spycher, 1984). Bu yöntem sıcaklıkla mineral doygunluklarının değişmesi esasına dayalıdır. Gerçekte bilinmektedir ki, minerallerin denge sabitleri hem sıcaklıkla hem de basınçla ilişkilidir. Ancak Arnorsson ve diğ. (1983)'nin de belirttiği gibi alterasyon minerallerinin denge sabitlerinin değişiminde basıncın etkisi (0-200 bar arası) oldukça sınırlıdır. Bu gerçekten yola çıkılarak; her bir su için sıcaklığın bir fonksiyonu olan pek çok hidrotermal mineral ile denge durumları arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesiyle oluşturulan sıcaklık – mineral denge diyagramı geliştirilmiştir (Reed ve Spycher, 1984).

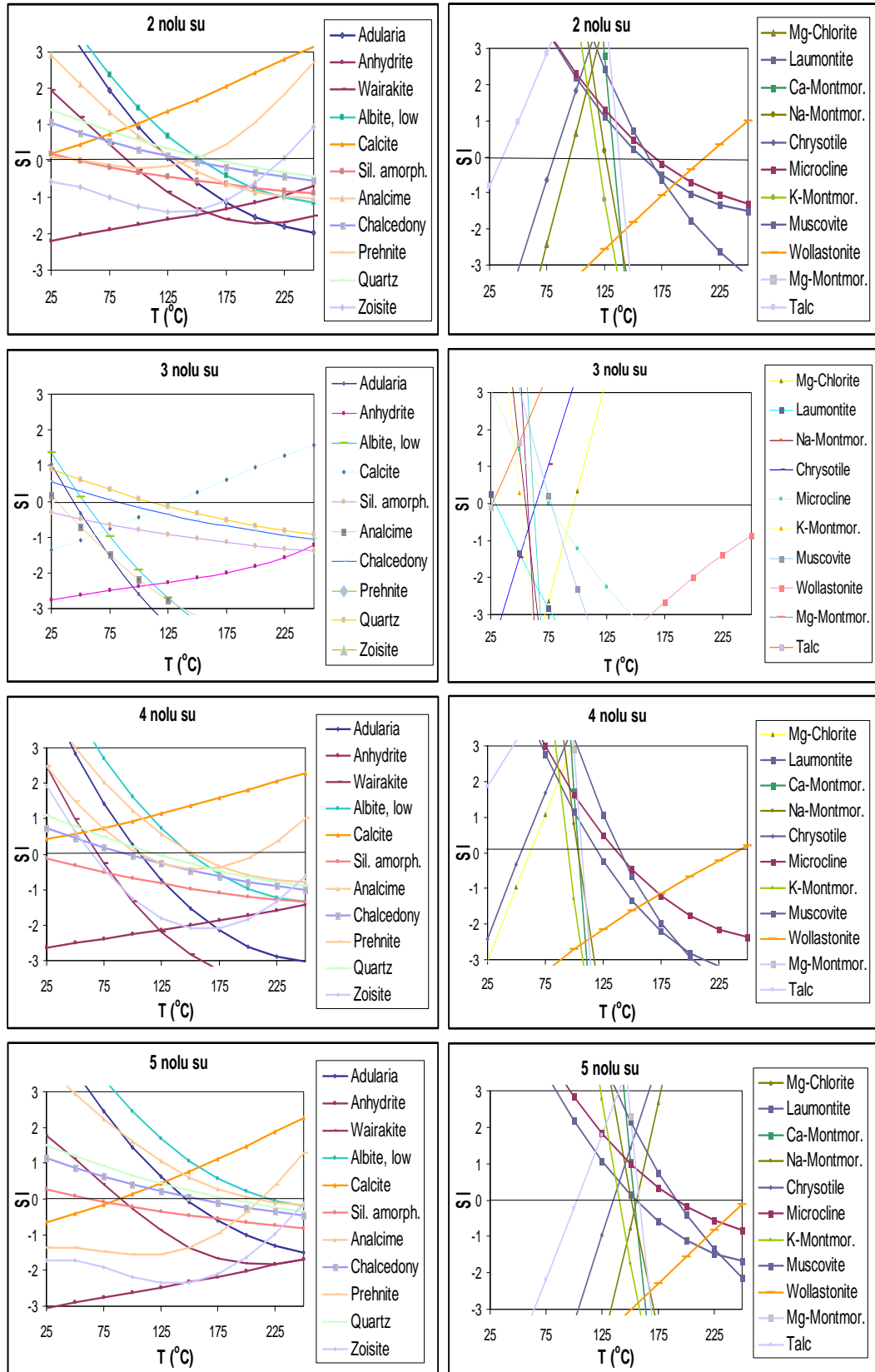
Bu yöntem kısaca suyun kimyasal analizi sonucunda yukarıda belirtildiği gibi çeşitli mineraller ile bu minerallerin her bir sıcaklık değerinde ayrı ayrı doygunluk indekslerinin ( $SI = \log AP/Kt$ ) hesaplanması ve bu sıcaklık değerleri ile doygunluk indeksi değerlerinin bire bir doğrularını içeren mineral denge diyagramlarının çizilerek yorumlanması ilişkisine dayanır. Bu yorumlamada, minerallerin çözünürlük denge sabitleri sıcaklıkla yakın ilişkili olduğundan, bir grup mineral doğrusu denge doğrusunu ( $SI=0$  doğrusunu) belirli bir sıcaklık değeri civarında kesiyorsa, bu

doğruların kesişim yerine karşılık gelen sıcaklık değeri en iyi akifer (hazne) sıcaklığını vermektedir. DI denge doğrusunun aşağısında (negatif kısımda) olabilecek kesişmeler farklı sıcaklıktaki akışkanların karışımını ve dolayısıyla bu akışkanların sıcaklıklarını belirtebilir. Denge doğrusunun yukarısında gerçekleşen kesişimler sudan buhar ayrılması ile farklı sıcaklık karışımlarını gösterebilir (Reed ve Spycher, 1984).

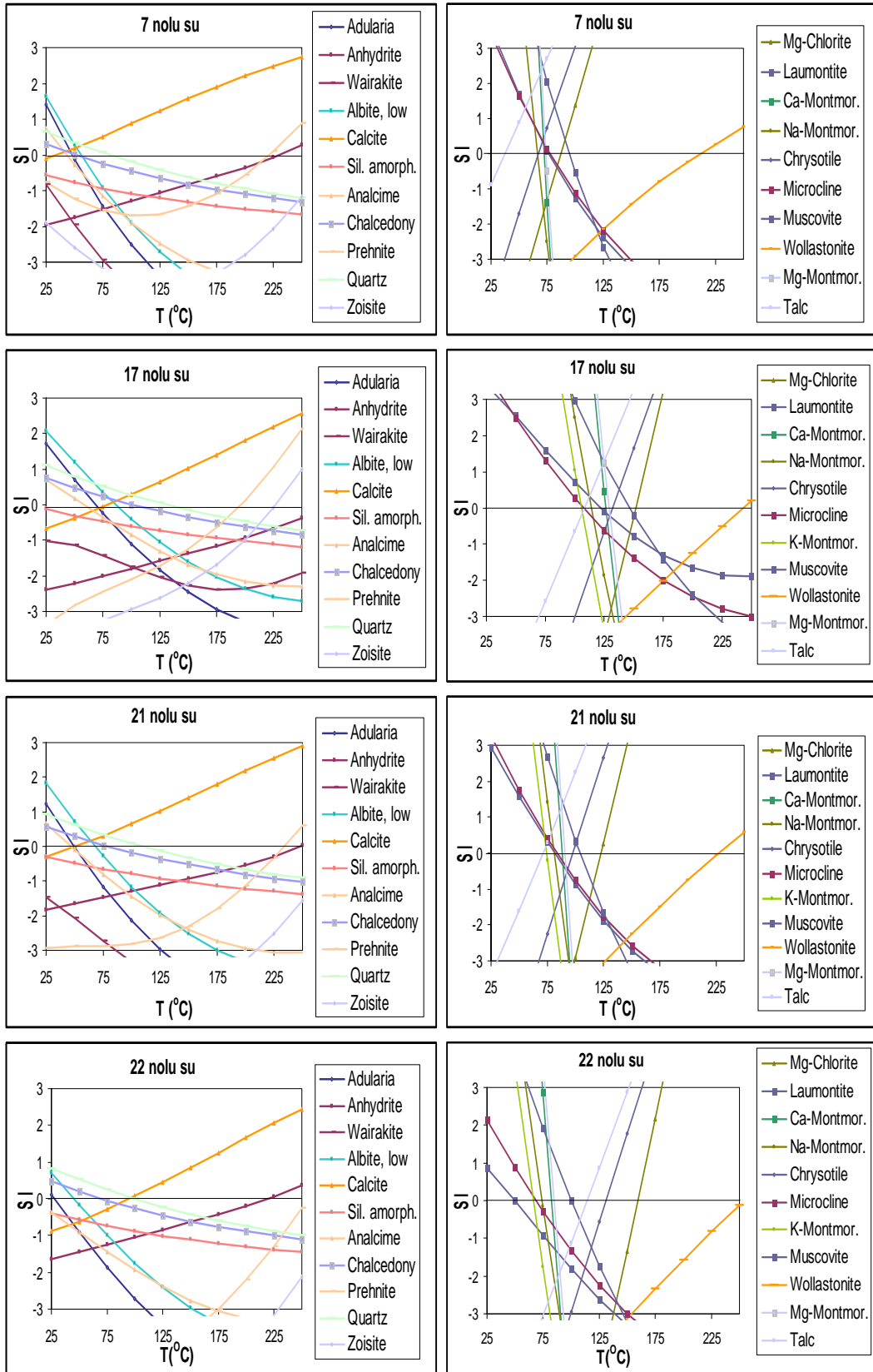
Bu çalışmada inceleme alanında seçilmiş bazı önemli sıcak ve mineralli su noktalarının ayrı ayrı sıcaklık-mineral denge diyagramları Watch-2004 ve PhreeqC 2.15 programı kullanılarak (Ek:7, Ek:8) hazırlanmıştır (Şekil 7.14, 7.15, 7.16, 7.17). Çizilen diyagramlara göre; AK-1 (4 nolu su) kuyusu, sıfır çizgisi yakınında 160°C ve 200°C sıcaklıklarında 2 şer mineral kesişmektedir. Bunun dışında eğrinin yukarısında ve aşağısında kesişen mineraller bulunmaktadır. Bu durum çok farklı sıcaklıklara sahip akışkanların ve buhar ayrılımlına bağlı sıcak akışkanların karışımına uğradığı şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca AK-1 kuyusu 700m derinlikte açıldığından jeotermal sistemin birincil hazne kayasına ulaşmadığı ve sığ soğuk su akiferlerindeki soğuk suların karışmasıyla ve mineral dengesi açısından olgunlaşmadığı söylenebilir. KG-1 (5 nolu su) kuyusuna ait diyagramda 170-180°C civarında sıfır doygunluk indeksi çizgisi yakınında kesişmeler bulunmaktadır, buda KG-1 (5 nolu su) kuyusu için ölçülen kuyu dibi sıcaklığı olan 182°C'ye çok yakın bir değerdir. Ancak sıfır çizgisinin altında ve üzerindeki kesişimler daha fazladır. Denge çizgisinin (SI=0 çizgisi) altındaki çakışmalar da farklı sıcaklıklardaki akışkanların yeraltında sular yüzeyleyinceye kadar karıştığını gösterebilir. Alaşehir Ilıcasında (3 nolu su) 70-90°C ve Sazdere Ilıcasında (2 nolu su) da 120°C civarında doygunluk anı ortak kesişmeleri gözlenmektedir. Bununla birlikte hem negatif hem de pozitif kesimde ortak kesişmeler de bulunmaktadır. Bu durum ana akışkanın 70-120°C arasında olabileceği ve çok farklı sıcaklıklardaki çoğunlukla soğuk akışkanlar ile karıştıkları yorumu ile açıklanabilir. Sarıkız (87 nolu su) maden suyu ise sıfır çizgisi yakınından ziyade negatif kesimde kesişmeler göstermektedir. Bununla nedeni soğuk su karışımlarının daha egemen olmasıdır. 1501 m derinliğinde açılan ve 213,5°C sıcaklığı ölçülen AK-2 sondajı (38 nolu su) için sıcaklık mineral denge diyagramlarında minerallerin yaklaşık 130°C'de 170°C'de doygunluk indeksinin sıfır çizgisine yakın yerlerde

olduğu görülmektedir. Farklı hazne kaya sıcaklıklarının görülmesi ani buhar ve gaz kaybına bağlanabilir ve akışkanın 170°C civarında olabileceği söylenebilir. Yaklaşık 700m derinlikte açılan, Tariş karşısındaki sera sondajından (109 nolu su) alınan suya ait mineral sıcaklık denge diyagramına göre, sıfır değerine yakın olarak mineral doygunluk indekslerinin kesiştiği sıcaklığa bakıldığında; akışkanın yaklaşık 150-160°C civarında olduğu söylenebilir. Bu sondaj sığ olarak açıldığından birincil jeotermal rezervuara girememiştir ve bu yüzden mineral dengesi henüz olgunlaşmadığından mineraller farklı sıcaklıklarda da kesişmektedirler. Acıdere Fayı üzerinden, derin bir vadinin tabanından çıkmakta olan bir sıcak su kaynağı olan Acıdere Ilıcasin'dan (17 nolu su) alınan su örneğinin mineral sıcaklık denge diyagramına bakıldığında; minerallerin 75-125-220°C'de, doygunluk indeksinin sıfır çizgisine yakın yerlerde kesiştiği görülmektedir. Buradan bu kaynağı farklı fazdaki suların oluşturduğunu, yüzeye yakın soğuk su karışımı olduğunu ve kaynaktaki suyun henüz mineral dengesini tamamlamadığını söyleyebiliriz. Özetle bu sıcaklık mineral diyagramları Alaşehir suları için çok net bir sıcaklık aralığı gösteremese de derin jeotermal kuyuların yaklaşık 160-180-200°C sıcaklıklarda ana akışkanın yanı sıra farklı sıcaklıklardaki akışkanların karışımını gösterir. Alaşehir ve Sazdere Ilıcalarında da 80-120°C'lik ana akışkan yanı sıra daha soğuk akışkanlar tarafından karışımı yansıtmaktadır. Maden sularında ise doygunluk anında dengeye ulaşan mineral görülmemekte ve çoğunlukla soğuk su karışımlarının egemen olduğu görülmektedir (Şekil 7.14, 7.15, 7.16, 7.17).

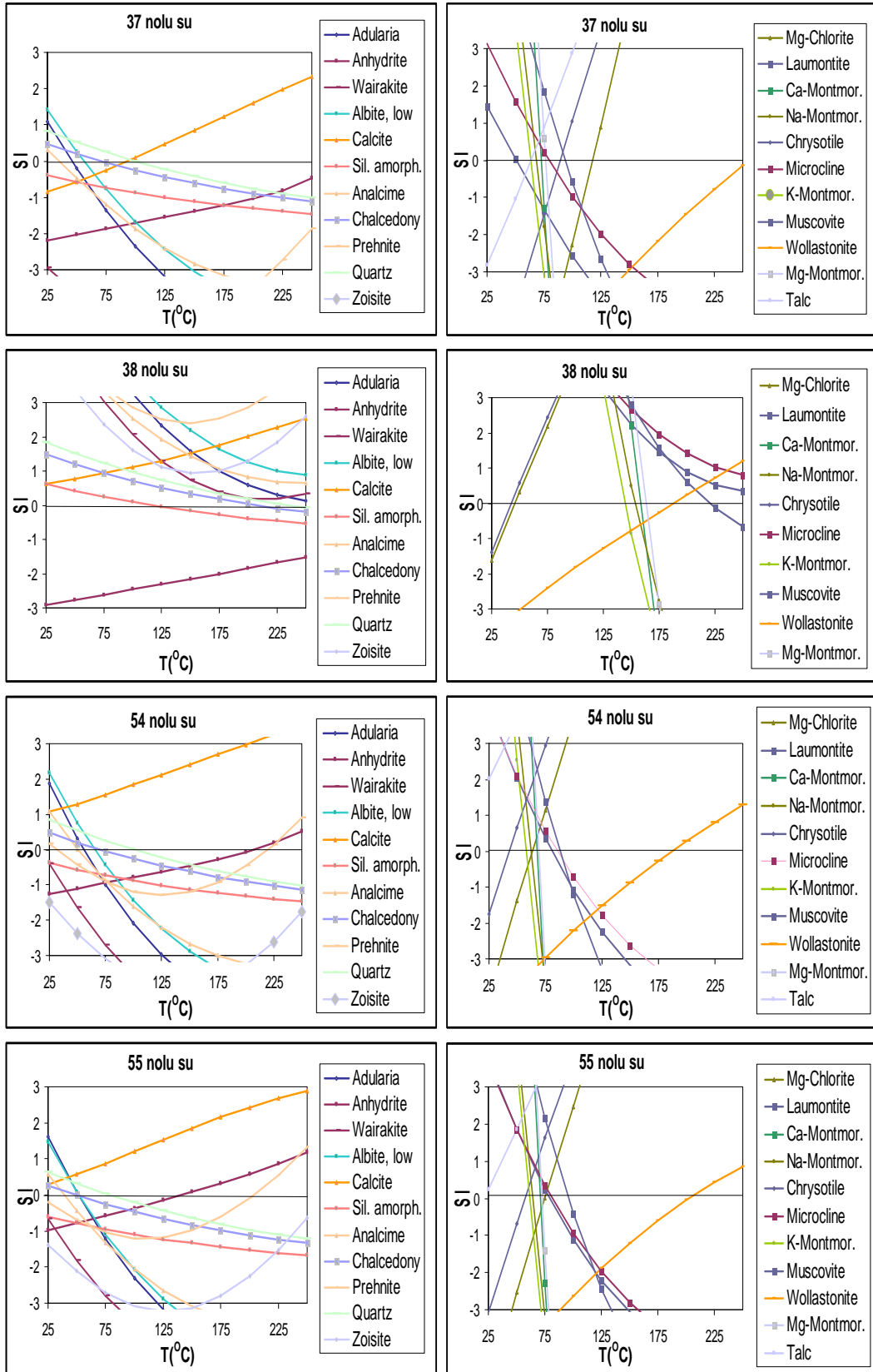
Bu diyagramlar jeotermometre olarak kullanılabilmelerinin yanı sıra türleştirme hesaplamalarının görüntülenmesi açısından da önem taşımaktadır. Kalsit, Aragonit hemen hemen tüm sularda doygunluk üstü değer vererek önemli kabuklaşma riski taşımaktadır. Yüksek sıcaklıklı AK-2 ve KG-1 kuyularında Barit, Amorf Silis düşük sıcaklıklarda doygunluk üstü değer vermektedir. Bu durumda ileride açılacak re-enjeksiyon kuyuları için Barit ve Amorf Silis kabuklaşma problemi de sorun oluşturabilir.



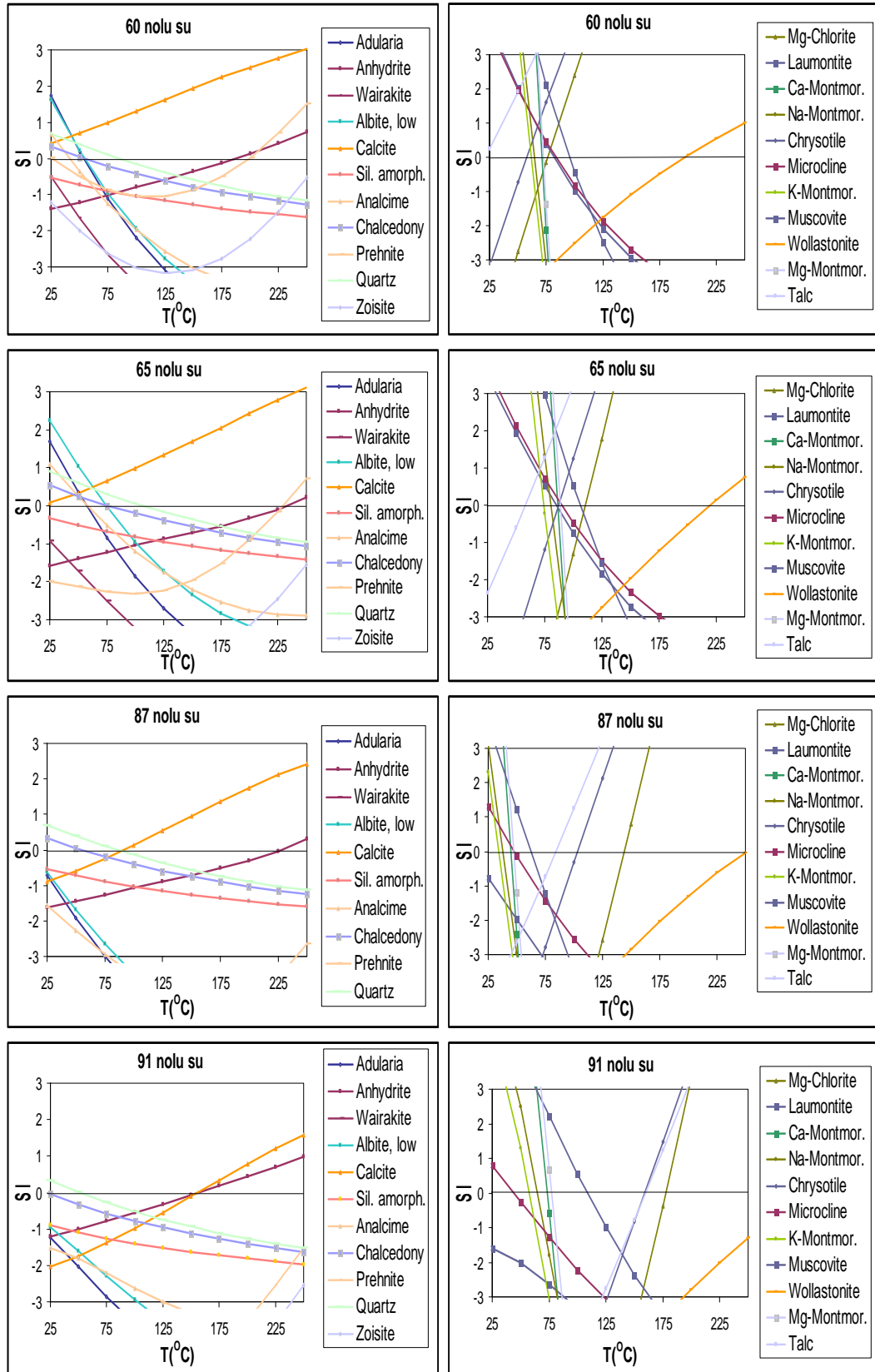
Şekil 7.14 Çalışma alanındaki sıcak sular için WATCH-2004 programında hazırlanmış doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramları.



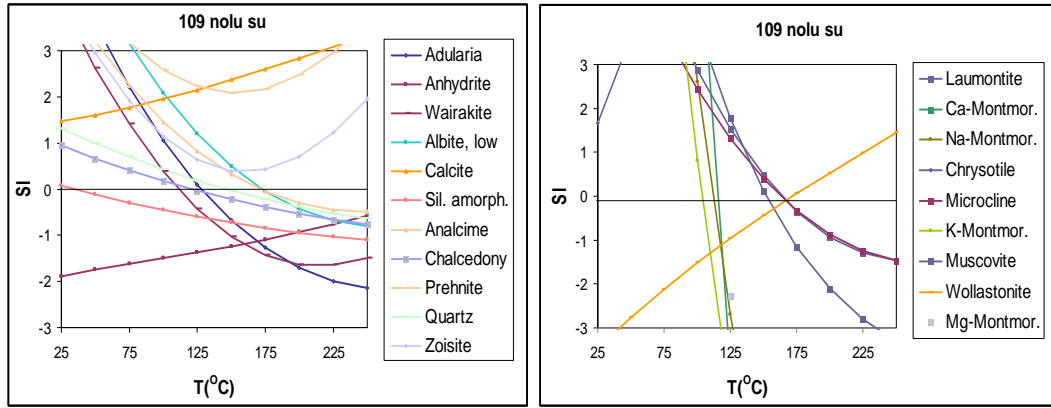
Şekil 7.15 Çalışma alanındaki sıcak sular için WATCH-2004 programında hazırlanmış doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramları.



Şekil 7.16 Çalışma alanındaki sıcak sular için WATCH-2004 programında hazırlanmış doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramları.



Şekil 7.17 Çalışma alanındaki sıcak sular için WATCH-2004 programında hazırlanmış doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramları.



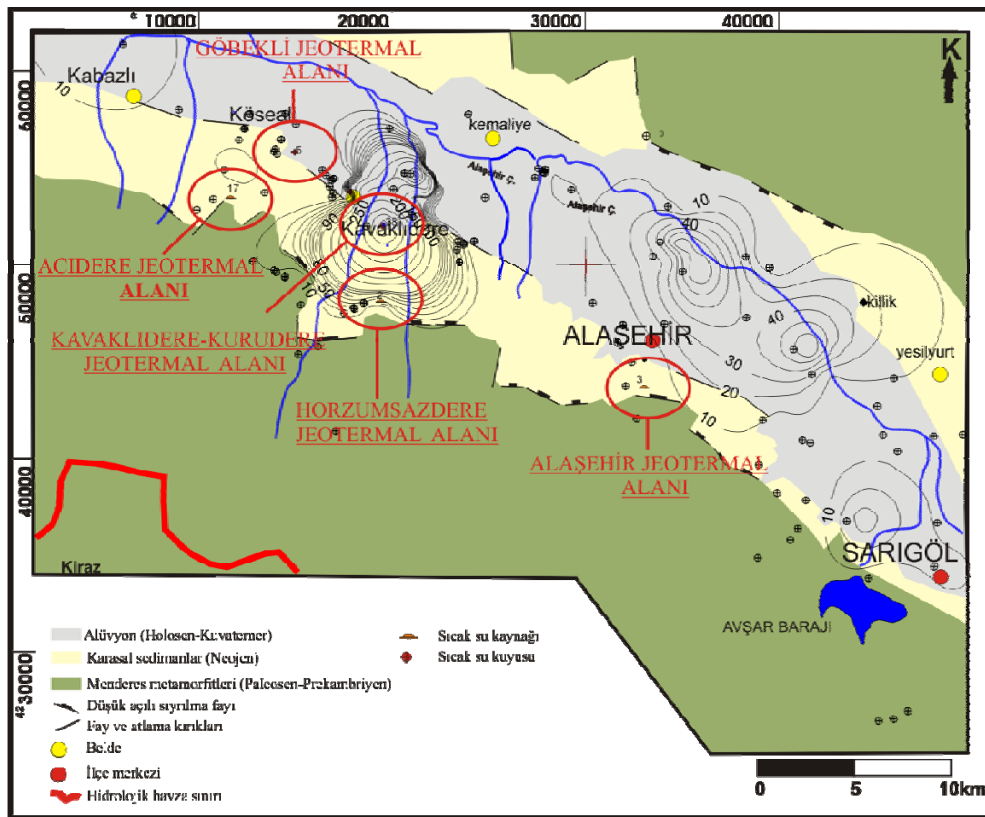
Şekil 7.17 Devam; Çalışma alanındaki 109 nolu su için WATCH-2004 programında hazırlanmış doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramları.

## 7.7 Yeraltı Suyu İçerisindeki Bazı İyon Kök ve Parametrelerin Kontur Haritaları ve Yorumlanması

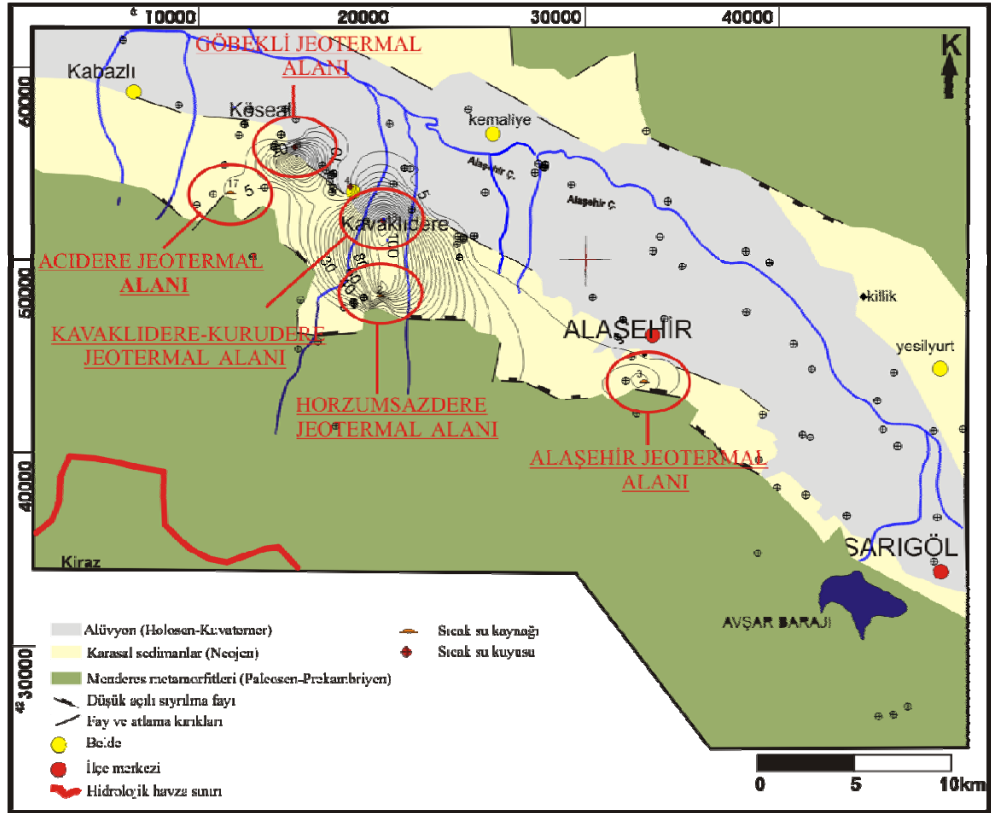
Hidrojeokimya haritasındaki B, Cl, EC ve HCO<sub>3</sub> (Şekil 7.19, 7.20, 7.22, 7.23) konturlarının aynı lokasyonlarda yoğunlaşması ve bu lokasyonların segment fayların sıçrama yaparak, dikey yönde gözeneklilik ve permeabilitenin artmış (Çakır, 1999) olduğu lokasyonlarla çakışması ve de jeotermal kaynakların kotlarının 300-400m'ye kadar çıkış verebilmesi (alüvyondaki yeraltı suyu seviyesinden daha yüksek) (Şekil 5.1), bu lokasyonlardaki izohidrohips yükselmelerinin, basınçlı jeotermal akiferden gelen termal su katkısına bağlı olduğunu düşündürmektedir. As iyon derişimi (Şekil 7.18) Horzumsazdere jeotermal alanında pik yapmış olup, tüm jeotermal alanlarda belirgin anolamali vermektedir. Bunun dışında; alüvyon akiferde Alaşehir Çayına yakın yerlerde yüzeye yakın Siderit, Pirit cevherleşmesine bağlı olarak (Yılmaz, 1986) yer yer artış yaptığı gözlenir. Bor ve Li elementleri ise (Şekil 7.19, 7.24) Göbekli, Kavaklıdere, Horzumsazdere, Alaşehir jeotermal alanlarında ve bu alanlara bağlı termal su katkısının olduğu bölgelerde anomali vermektedir. Ayrıca Cl, Cu, EC (Şekil 7.20, 7.21, 7.22); Siderit, Pirit cevherleşmesine bağlı olarak (Yılmaz, 1986) Kasaplı civarında artar.



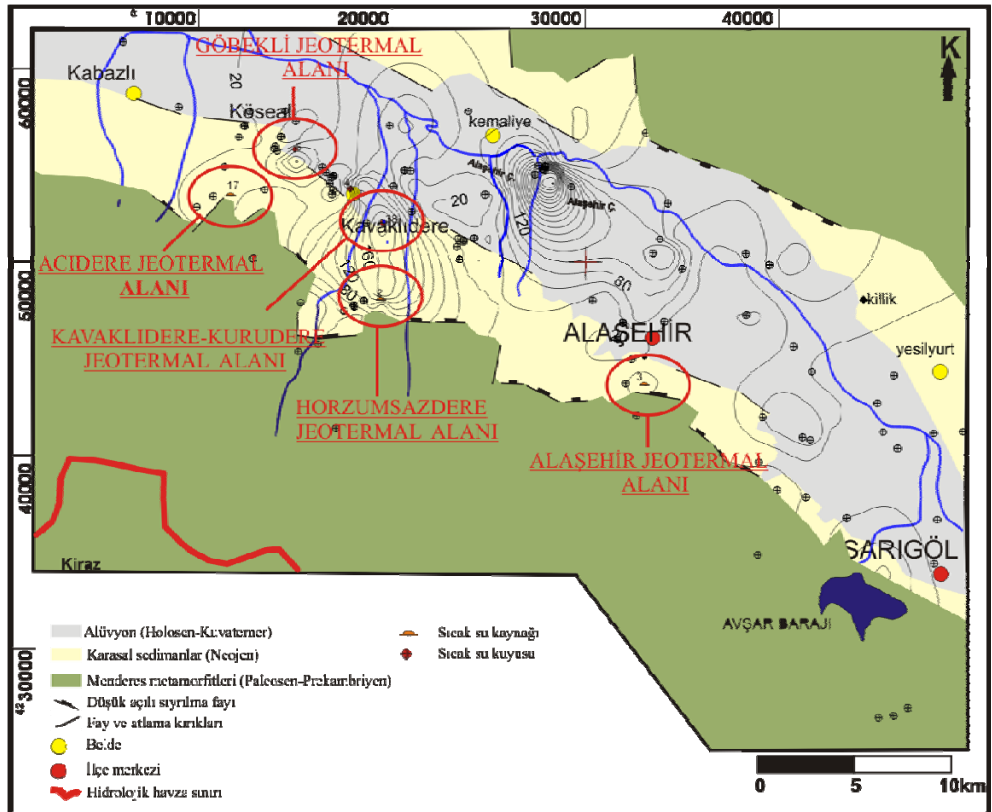
Sülfat miktarı (Şekil 7.27) Sarıgöl, Alaşehir arasında ve Kasaplı civarında artar. Fosfor derişimde (Şekil 7.26) görülen normal değerler, gübrelemeden gelen fosfat katkısına bağlanabilir, ancak bazı kesimlerde özellikle Alaşehir Çayına yakın, ovanın ortasında yeraltı suyundaki fosfor değerlerinin 2,5 ppm'e kadar çıkması Alaşehir ilçesinden, Alaşehir çayına karışan foseptik katkısıyla açıklanabilir. Silis derişiminin (Şekil 7.28) Kavaklıdere Jeotermal alanında çok yüksek değerler vermesi ve yoğunlaşması, bu alanın yüksek entalpili bir jeotermal alan olduğunu düşündürür. Kasaplı ve Şenduraklar civarında Sülfat, Bakır, Klorür, Çinko derişimlerinin birlikte anomali vermesi Siderit, Pirit cevherleşmesine bağlı olduğunu gösterir. Klorür ve Bikarbonat derişiminin ve EC değerlerinin Killik'in kuzeydoğusunda ve Yeşilyurtla Sarıgöl arasındaki bölgede anomali vermesi yeni jeotermal alanların bu civarda araştırılmasını gerektirebilir (Şekil 7.20, 7.22, 7.23). Ayrıca Alaşehir deresi civarındaki alüvyonun yeraltı suyunda yer yer kümelenme gösteren Mangan derişiminde bu bölgelerde derin sondajlarla yeni araştırmalar yapılması gerektiğini gösterir (Şekil 7.25).



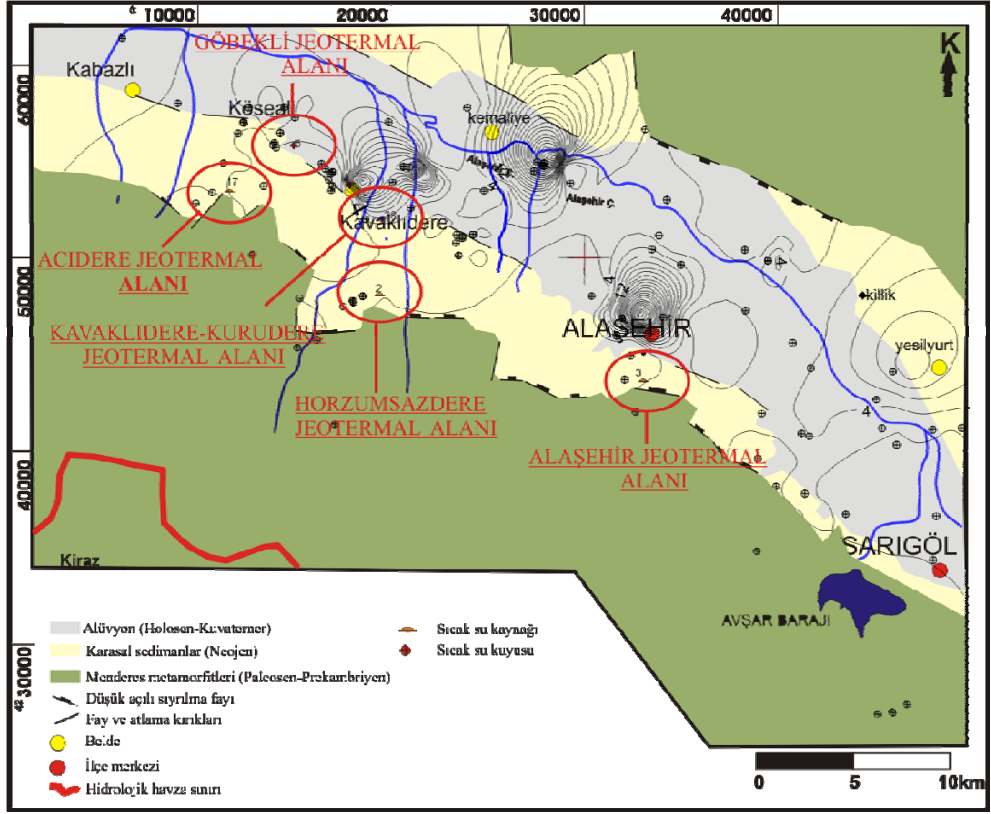
Şekil 7.18 Yeraltı suyundaki As iyonunun kontur haritası (ppb).



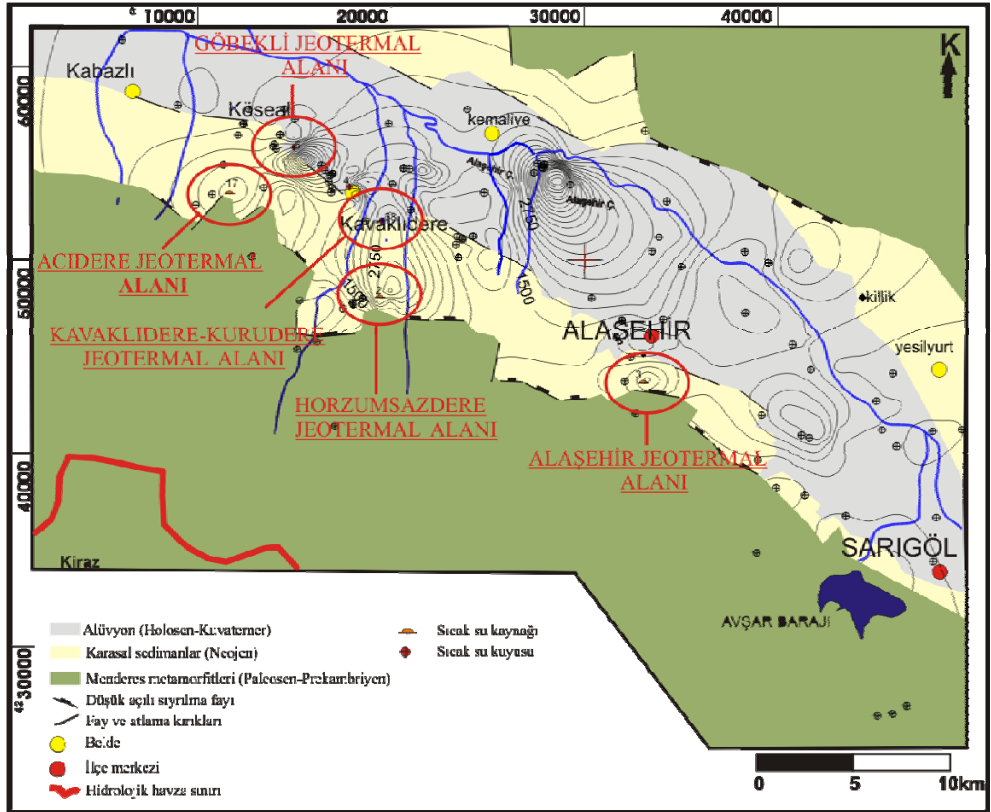
Şekil 7.19 Yeraltı suundaki B iyonunun kontur haritası (ppm).



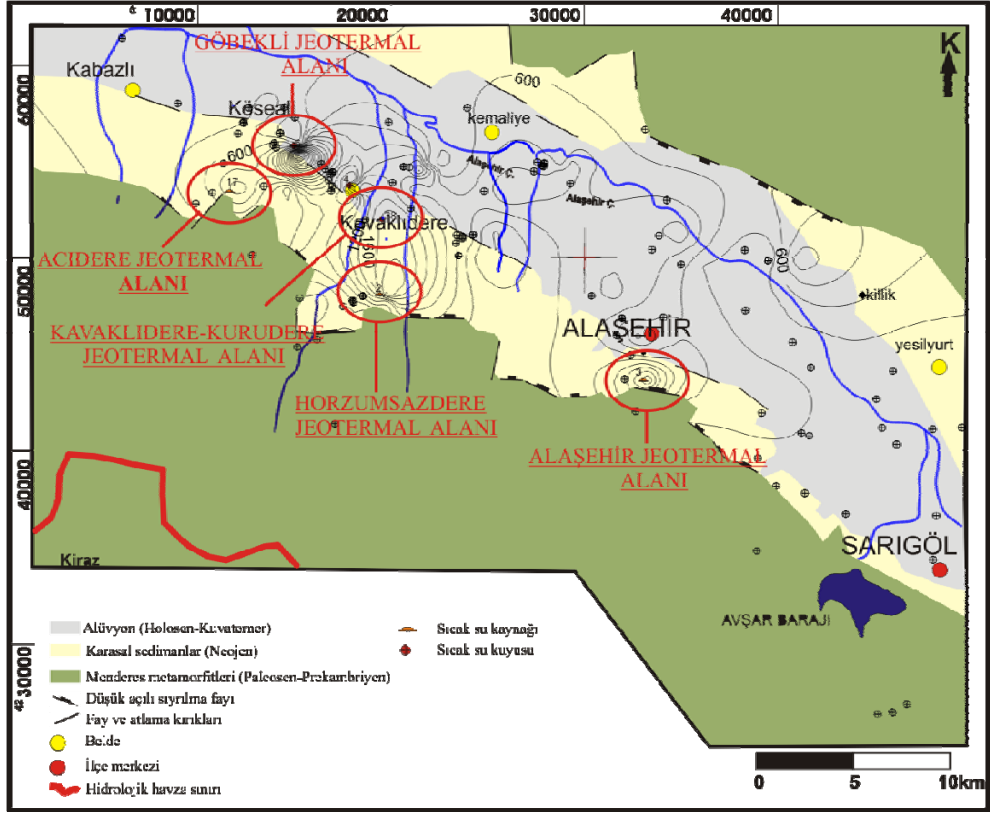
Şekil 7.20 Yeraltı suundaki Cl iyonunun kontur haritası (ppm).



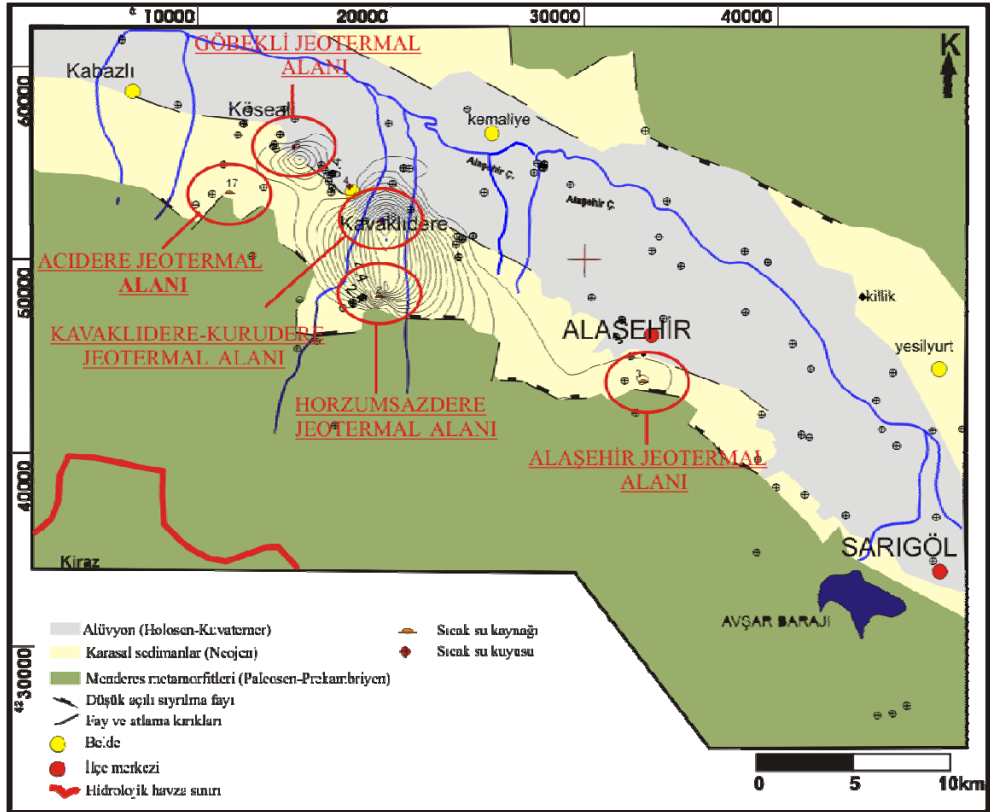
Şekil 7.21 Yeraltı suyundaki Cu iyonunun kontur haritası (ppb).



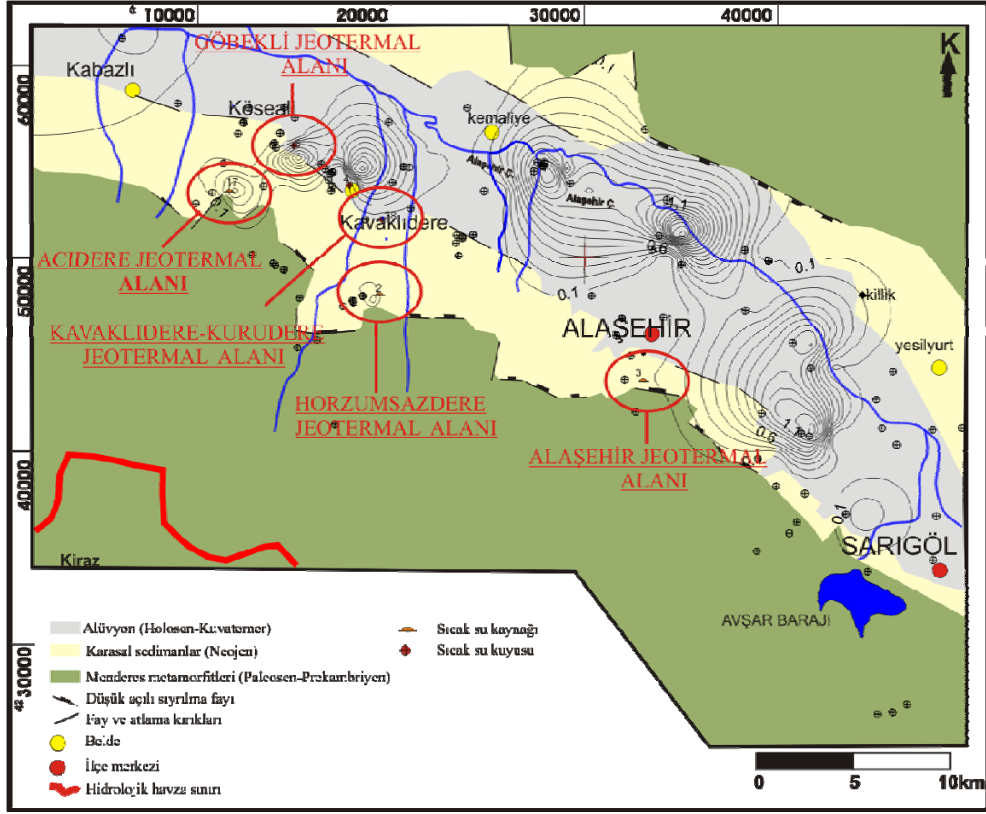
Şekil 7.22 Yeraltı suyundaki EC kontur haritası (mikromho/cm).



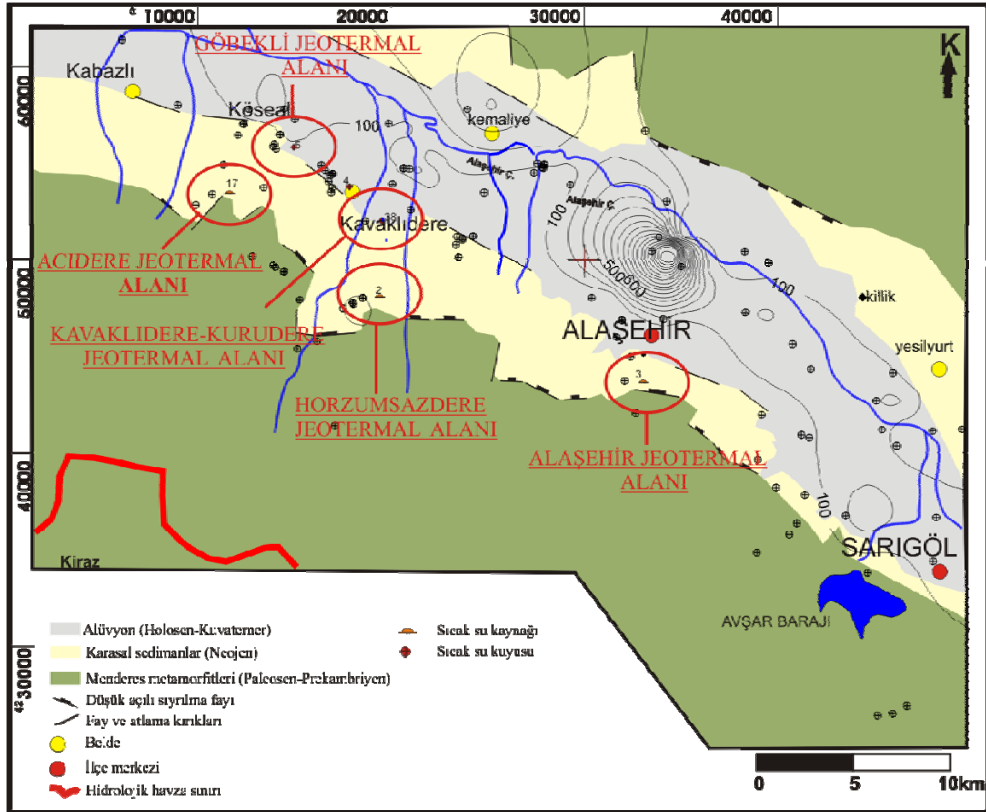
Şekil 7.23 Yeraltı suyundaki  $\text{HCO}_3^-$  iyonunun kontur haritası (ppb).



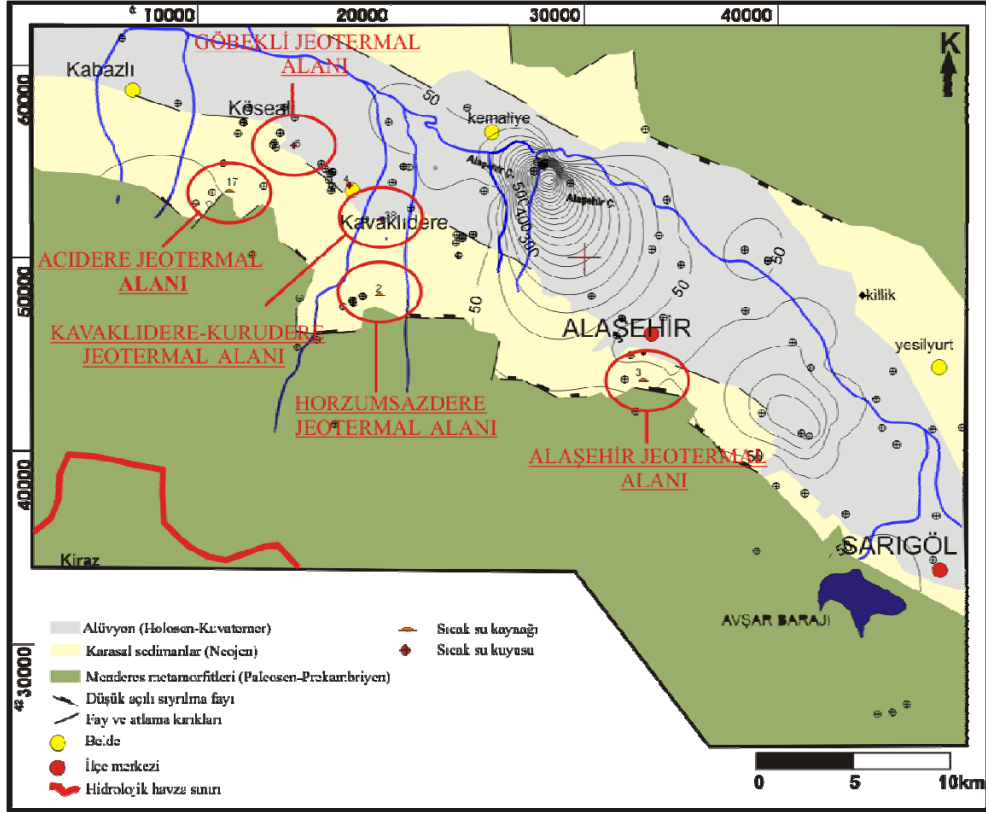
Şekil 7.24 Yeraltı suyundaki Li iyonunun kontur haritası (ppm).



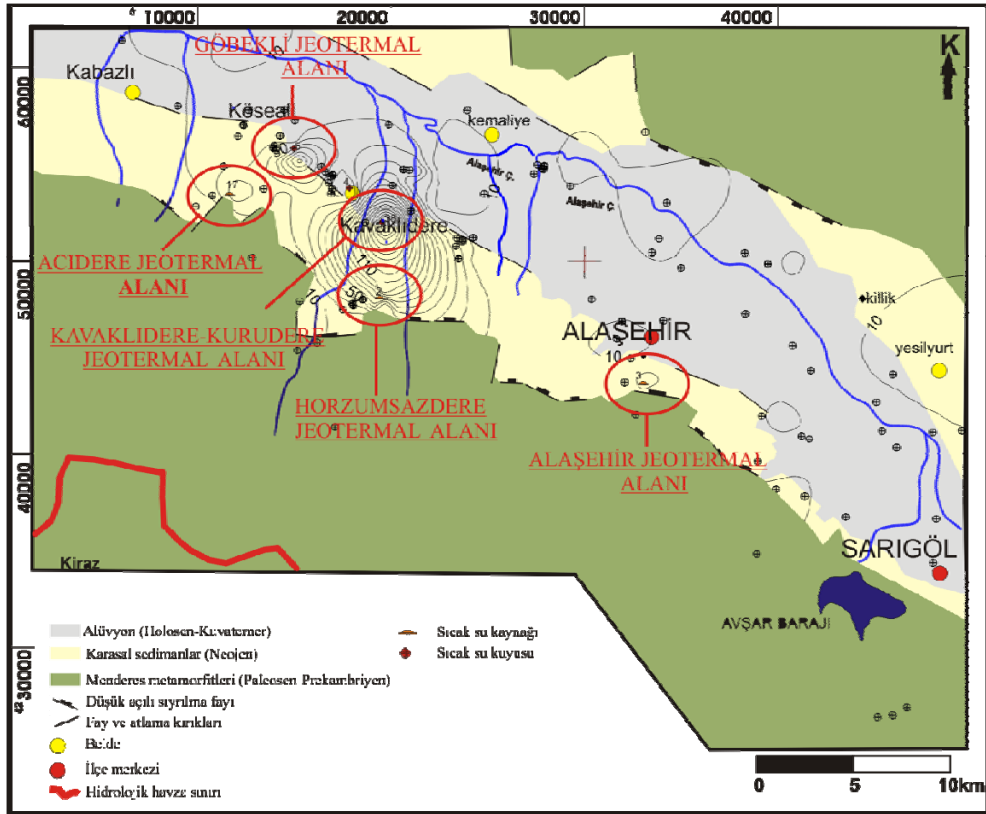
Şekil 7.25 Yeraltı suyundaki Mn iyonunun kontur haritası (ppm).



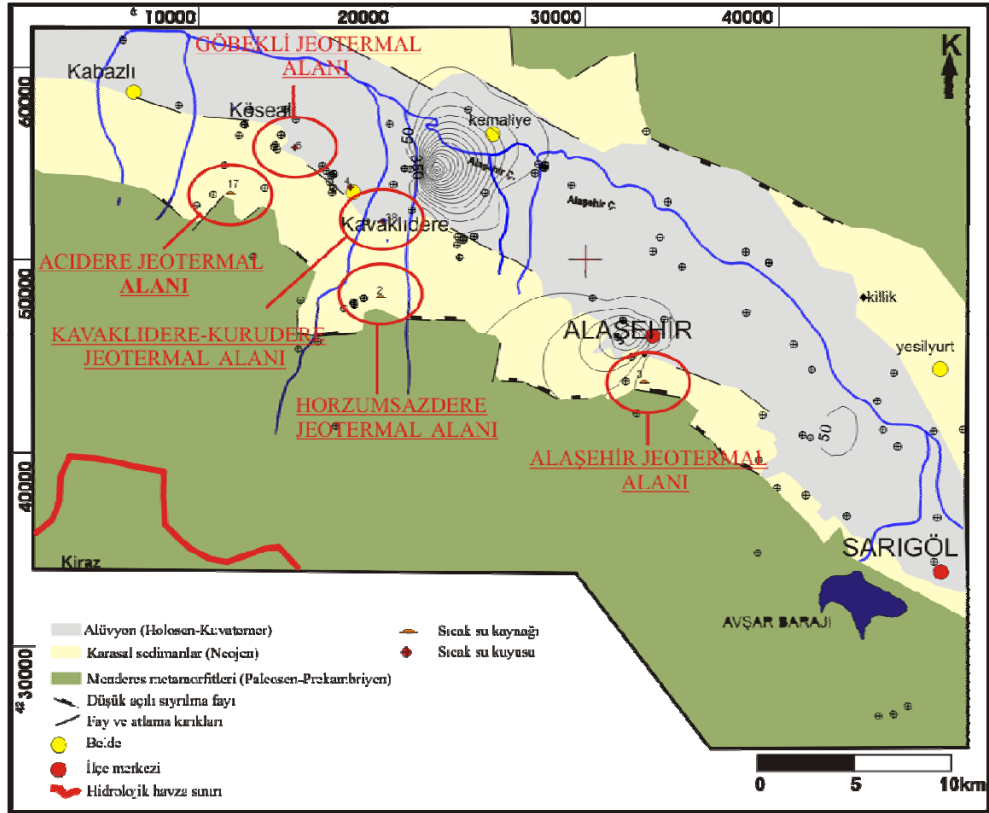
Şekil 7.26 Yeraltı suyundaki P iyonunun kontur haritası (ppb).



Şekil 7.27 Yeraltı suyundaki S iyonunun kontur haritası (ppb).



Şekil 7.28 Yeraltı suyundaki Si iyonunun kontur haritası (ppm).



7.29 Yeraltı suyundaki Zn iyonunun kontur haritası (ppb).

## BÖLÜM SEKİZ

### SULARIN İZOTOP ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İzotop tekniklerinin hidrojeolojide uygulanmasının amacı, yeraltı suyu örneklerinden ölçülmüş olan izotop oranları kullanılarak, suyun yeraltına girdiği andan itibaren yeraltında geçirdiği evrimi saptamaktır. İzotop teknikleri kullanılarak hidrojeolojik olaylar hakkında bilgi elde edilebilir. Bu amaçla suyun duraylı ve duraysız izotopları kullanılır. En çok kullanılan duraylı izotoplar Hidrojen ( $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ =döteryum), Oksijen ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ), Karbon ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ) ve Kükürt ( $^{32}\text{S}$ ,  $^{34}\text{S}$ ) izotoplarıdır. Suyun duraysız izotopları ise yeraltı suyunun yeraltında geçirdiği zamanın tayininde kullanılırlar. Suların izotop analizleri sonucunda elde edilen  $\delta$  değerlerinin güvenilir bir şekilde yorumlanabilmesi izotopların belli standartlarla karşılaştırılmasına bağlıdır. Hidrojeolojik çalışmalarda en sık kullanılan standartlar SMOW, PDB ve CD standartlarıdır. Bu standartlara göre  $\delta$  değeri her zaman için sıfır değerini alır ( $\delta=‰ 0$ ). Herhangi bir su numunesinin kararlı izotop içeriği mutlak değer olarak değil, ağır izotopun hafif izotopa oranının belirlenmiş bir standarttan farkı olarak ifade edilir. Burada kullanılan standart SMOW'dur. Ölçülen izotopun değeri ‰ (binde) olarak tanımlanır ve  $\delta$  değeri olarak gösterilir.

$$\delta x(‰) = \left( \frac{R_x}{R_{\text{standart}}} - 1 \right) 1000 = \left( \frac{R_x - R_{\text{standart}}}{R_{\text{standart}}} \right) 1000$$

- Rx: Ağır izotopun hafif izotopa olan oranıdır ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  gibi).
- R standart: Standartın izotop oranıdır.

Bu durumda suyun Oksijen ve Hidrojen izotop içeriği aşağıdaki bağıntılarla elde edilir.

$$\delta^{18}\text{O}(‰) = \left( \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{numune}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} \right) 1000$$

$$\delta^2\text{H}(‰) = \left( \frac{(^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{numune}} - (^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{SMOW}}}{(^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{SMOW}}} \right) 1000$$



Elde edilen  $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$  değerinin + olması (örneğin +10 değerine sahip olması) su numunesinin  $^{18}\text{O}$  yönünden referans suyuna göre ( $\text{‰}$  10 daha fazla) zenginleştiğini gösterir. Suyun yeryüzündeki devinimine bağlı olarak gelişen buharlaşma, yağış, erime yüzey akış olaylarının her biri Oksijen ve Hidrojen izotoplarının oranlarını etkiler. Hidrojeolojik devinimin karmaşıklığına karşın,  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  değerlerindeki değişim izlenilebilmektedir. Craig (1961) yağış sularındaki  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri arasındaki ilişkiyi;  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$  bağıntısıyla göstermiştir. Craig'in çizgisi birçok bölgedeki bölgesel yağışların bir ortalamasıdır. Bu nedenle yöresel yağış çizgilerinden farklılık sunar. Yöresel yağış çizgileri gerek eğim gerekse de döteryum fazlası değeri yönünden farklılık sunabilir.

Bu çalışma kapsamında yapılan izotop analizleri tablo 8.1'de sunulmuştur. Bu tablodaki suların  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  ve  $^3\text{H}$  değerleri kullanılarak kökenleri, soğuk yeraltı suları ile bağlantıları, kalitatif hazne kaya sıcaklıkları ve bağlı yaşları belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 8.1'de sunulan  $\delta^{18}\text{O} - \delta^2\text{H}$  grafiği incelendiğinde; AK-1, AK-2, KG-1 derin jeotermal kuyular ile Alaşehir Ilıcası suları dünya çapında geçerli olan yağış doğrusunun altında ve sağında yer almaktadır. Ayrıca, yöredeki bazı soğuk sular da eğrinin altında kalmakla birlikte, geri kalan suların büyük çoğunluğu iki doğru arasında kalmaktadır. Bu durum alandaki tüm suların meteorik kökenli olduğunu kanıtlamaktadır.  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  diyagramında en fazla sapma gösteren derin jeotermal kuyu suları da yüksek hazne sıcaklığı ve su-kayaç ilişkisinin yüksekliğini yansıtmaktadır. Mağmatik kökeni yansıtan suların  $^{18}\text{O}$  değerleri + 5 çıkmaktadır. Bu nedenle zenginleşme magmatik kökenle açıklanamaz. Yukarıda değinilen jeotermal sularda  $^{18}\text{O}$  zenginleşmesi olmakla birlikte, sıcaklık artışıyla su kayaç etkileşimi nedeniyle O içeren minerallerin daha çok çözünmesini yansıtan bir  $^{18}\text{O}$  zenginleşmesini belirtmektedir. Sıcaklık artışıyla  $^2\text{H}$  zenginleşmesinin olmamasının nedeni oksijen içeren minerallerin çok olmasındandır.

Suyun yeraltında geçirdiği zamanın belirlenebilmesi amacıyla suyun duraysız izotopları kullanılmaktadır. Suların trityum ( $^3\text{H}$ ) değerleri bağlı yaşlarının saptanmasında kullanılabilir.  $^3\text{H}$  hidrojenin radyoaktif izotopu olup, yarılanma hızı 12,25 yıldır.  $^3\text{H}$  birimi (TU) olarak gösterilir ve bir  $^3\text{H}$  birimi  $10^{18}$

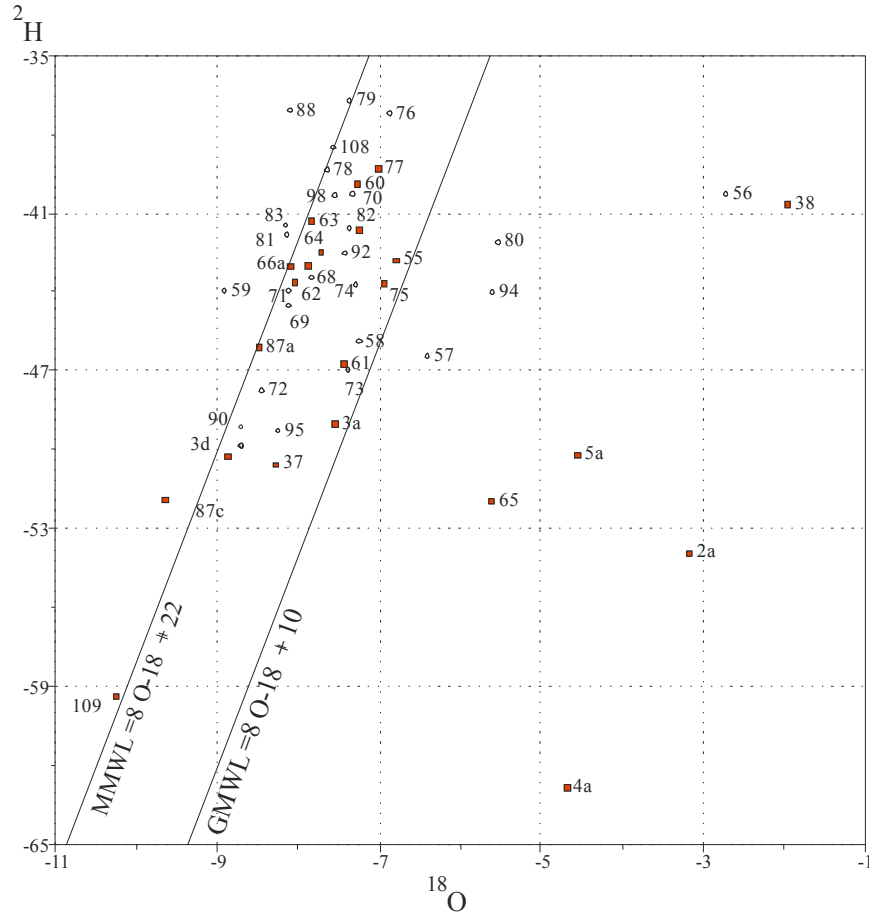
hidrojen atomu içersinde 1 atom  $^3\text{H}$  olduğunu belirtir.  $^3\text{H}$  analizlerinin yorumunda çok genelleştirilmemekle birlikte, kuzey yarı küresi ılıman bölgeleri için şu ölçütler kabul edilebilir. 40 yıl önceki suyun bileşeninin üstün geldiği  $^3\text{H}$  tenörleri 0-5 TU, yeni yağış sularının belirgin olduğu eski sularda  $^3\text{H}$  tenörleri 5-40 TU ve yeni yağış sularının üstünlüğünün gözlemlendiği sularda ise  $^3\text{H}$  değeri 40 TU'dan fazladır (Margarita ve diğ., 1970).

Tablo 8.1 Alaşehir çevresinde yer alan suların Oksijen-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ), Döteryum ( $\delta^2\text{H}$ ) ve Trityum ( $^3\text{H}$ ) izotop analiz sonuçları.

Örnek no	Örnek adı ve yeri	Tarih	T (°C)	EC (µS/cm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (D) ‰	$^3\text{H}$ (T) TU
1	Asarçayı Deresi (Horzumembelli)	16.02.07	7.8	244			4.19
2a	Horzum Sazdere Ilıcası	16.02.07	30.6	3720	-3.17	-53.9	0.39
2b	Horzum Sazdere Ilıcası	08.05.05	32.4	3680			0.42
3a	Alaşehir Ilıcası	16.02.07	28.4	2630	-7.55	-48.97	0.46
3b	Alaşehir Ilıcası	26.06.06	29.6	2230			2.63
3d	Alaşehir Ilıcası	03.06.08	30.5	2240	-8.88	-50.23	2.89
3e	Alaşehir Ilıcası	10.03.08	19	1846			2.95
4a	AK-1 (Kavaklıdere Belediyesi jeotermal sondaj)	02.03.07	21	4450	-4.69	-62.82	0.09
5a	KG-1 (Göbekli Köyü jeotermal sondaj)	02.03.07	25.6	5480	-4.55	-50.17	0.6
5b	KG-1 (Göbekli Köyü Jeotermal Sondaj)	26.06.06	23.1	5880			0.06
6	Avşar Barajı suyu	02.03.07	13	497			5
7a	Köseali Belediyesi kuyusu	22.02.07	24.4	720			0.45
8	Göbekli yolu girişi kuyu	22.02.07	28.3	816			0.54
10	Alhan -Şahyar arasında kuyu	19.03.07	19.7	757			4.11
11	Gürsü-Piyadeler arası kuyu	19.03.07	17.2	1133			4.68
12	Köseali girişi kuyu	22.02.07	21.2	973			0.66
17a	Acidere Ilıcası	26.06.06	28.5	1538	-6.95	-43.67	
17b	Acidere Ilıcası	08.05.05	29.1	1735			0.78
37	Yeşilyurt ılık su kuyusu	12.06.07	25.3	1992	-8.29	-50.55	
38	AK-2 (Kavaklıdere derin jeotermal sondaj)	08.05.05	45.5	3150	-1.96	-40.67	0.11
54	Akgüller BP benzinlik kuyusu	30.07.07	24.6	1641	-7.26	-41.64	5.29
55	Sarıgöle yakın sondaj	30.07.07	24.9	1204	-6.8	-42.78	0.32
56	Dadağlı sondaj kuyusu	30.07.07	21.2	867	-2.73	-40.22	0.11
60	Hayrat Çeşmesi (Alaşehir-Kula)	30.07.07	33.3	1102	-7.28	-39.85	3.44
61	Tepe-Selce civari koop. kuyusu	30.07.07	29.1	1568	-7.44	-46.7	1.4
62	Sondaj kuyusu (Musağa civari)	30.07.07	23.6	2040	-8.06	-43.61	0.78
63	Sondaj kuyusu (Alaşehir Çayı sondaj).	30.07.07	21.6	2830	-7.85	-41.29	4.09
64	Sondaj kuyusu (Der:60m, ss:25)	30.07.07	23.5	1952	-7.73	-42.45	3.3

Örnek No	Örnek Adı ve yeri	Tarih	T (°C)	EC (µS/cm)	δ <sup>18</sup> O (‰)	δ <sup>2</sup> H (D) ‰	<sup>3</sup> H (T) TU
65	Sondaj kuyusu (Şendurak-Kasaplar)	30.07.07	28.5	1848	-5.62	-51.92	
66a	Sondaj kuyusu (Şendurak-Kasaplar)	30.07.07	19.7	4320	-8.1	-43.01	3.75
66b	Sondaj kuyusu (Şendurak-Kasaplar)	28.05.08	19.4	4010			2.78
68	Sondaj kuyusu (47m, ss:29m)	30.07.07	19.7	7780	-7.89	-43	1.77
69	Sondaj kuyusu (Horozköy Havaalanı)	30.07.07	22.5	785	-8.14	-44.46	
70	Sondaj kuyusu (İlgin-Kovanlı arası)	30.07.07	22	568	-7.34	-40.23	
71	Sondaj kuyusu (Kovanlı)	30.07.07	19.3	1004	-8.13	-43.94	1.82
72	Sondaj kuyusu (Bağlıca DSİ kuyusu)	30.07.07	20.7	732	-8.46	-47.7	
73	Sondaj kuyusu (DSİ kuyusu/4707)	30.07.07	21.4	813	-7.4	-46.9	
74	Tirazlar sondaj kuyusu	30.07.07	21.2	549	-7.85	-43.39	
75	Sarıgöl AKPET ist. sondaj kuyu	30.07.07	18.7	601	7.31	-43.69	
76	Sondaj kuyusu(Avşar Barajı kuzeyi)	30.07.07	18.2	774	-6.88	-37.19	
77	Üzumlü Köyü sondaj kuyusu	30.07.07	20.6	1882	-7.03	-39.31	4.02
78	Subaşı Köyü sondaj	30.07.07	18.4	804	-7.65	-39.33	
79	Sondaj kuyusu (Hacıaliler Köyü)	30.07.07	17.6	700	-7.38	-36.69	
80	Sondaj Kuyusu (Alaşehir küçük sanayi sitesi)	30.07.07	21.6	984	-5.54	-42.07	
81	Toygarlı üstü, kaynak	30.07.07	18	515	-8.16	-41.79	
82	Hayrat Çeşmesi (Kemaliye kaynağı)	30.07.07	25.7	1159	-7.38	-41.53	1.53
83	Sondaj kuyusu, İsmetiye, 60m	30.07.07	21.7	1437	-8.17	-41.42	3.39
87a	Sarıköz pınarı maden suyu kaynağı	16.04.08	14.6	1083	-8.5	-46.11	3.56
87c	Sarıköz pınarı maden suyu kaynağı	03.06.08	21.5	1024	-9.66	-51.89	5.23
87d	Sarıköz pınarı maden suyu kaynağı	30.10.08	19	1120			5.45
88	Dededağı - Ayıdağı civarındaki kar örneği	16.04.08	0	0	-8.11	-37.07	4.23
90	Sondaj kuyusu (Yesilkavak yolu)	16.04.08	16.9	403	-8.72	-50	2.72
91	Acidere kaynak suyu	16.04.08	13.5	1493			4.02
92	Köseali Köyü belediye kuyusu	16.04.08	23.5	765	-7.43	-42.48	1.24
94	Kavaklıdere Tariş kuyusu	16.04.08	22.5	873	-5.62	-43.96	3.63
95	Killik civari kuyu	16.04.08	25.2	2030	-8.27	-49.24	0.71
98	Sondaj kuyusu (ss:7-15m, Subaşı Köyü)	16.04.08	18.1	2100	-7.56	-40.29	5.58
102	Sondaj kuyusu (Yeşilyurt – Katırlı civarı)	28.05.08	19	695			4.46
103	Sondaj kuyusu (Şendurak Köyü-Kasaplar)	28.05.08	22	2180			2.31
105	Sondaj kuyusu (Şendurak Köyü-Kasaplar)	28.05.08	20	2360			1.66

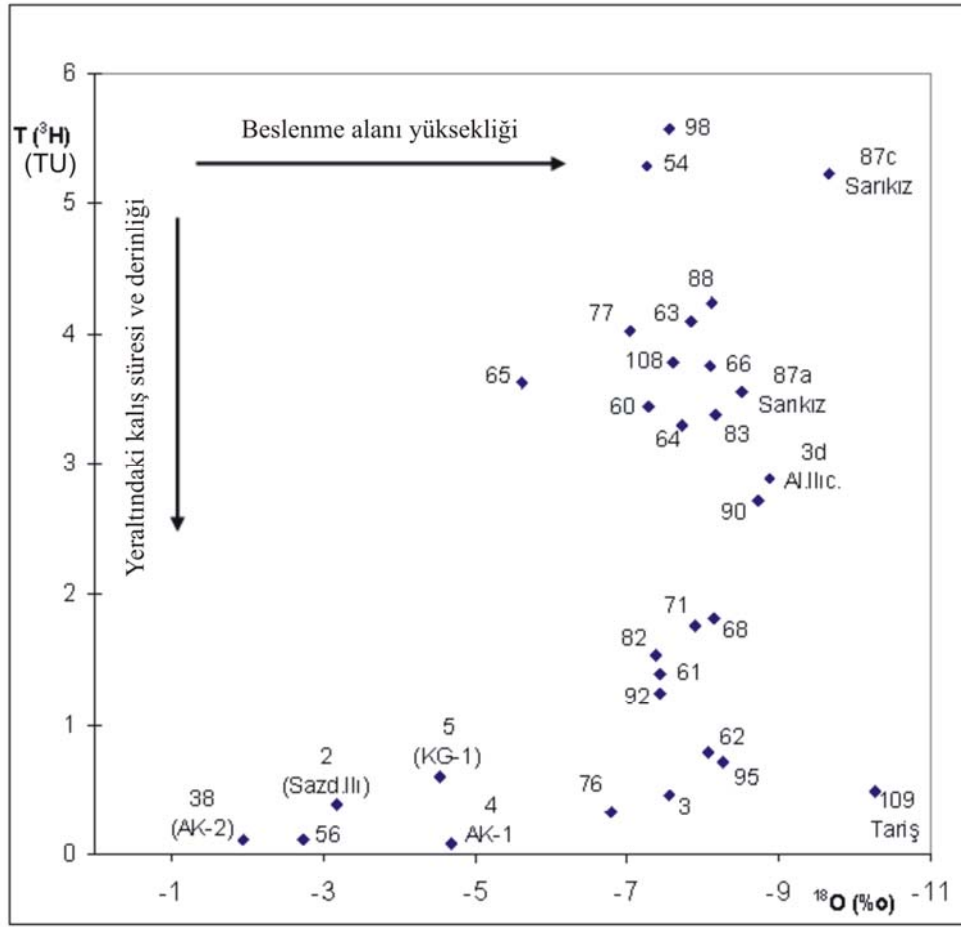
Örnek No	Örnek Adı ve yeri	Tarih	T (°C)	EC (µS/cm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (D) ‰	$^3\text{H}$ (T) TU
106	Sondaj kuyusu (Bereketli civarı)	28.05.08	19.3	738			4.1
107	Sondaj kuyusu (Belenyaka civarı)	28.05.08	23	654			4.66
108	Avşar Barajından gelen sol sahil sulama)	03.06.08	19	435	-7.59	-38.48	3.78
109	Sondaj kuyusu (Tariş Tat karşıtı)	03.06.08	57	3690	-10.26	-59.39	0.49
110	Sondaj kuyusu (Alaşehir-Kavaklıdere arası)	03.06.08	19	1943			4.29
113	Sondaj kuyusu (Alduranlar Sera)	03.06.08	19	1091			0.13
114	Kavaklıdere yağmur suyu	16.04.08	19	42			2.61
115	Alaşehir yağmur suyu	10.03.08	19	215			2.91
116	Bozdağ'dan alınan kar suyu	08.03.09	19	12			5.91
117	Kula Sandal Belediyesi yeraltı suyu	10.08.08	19	334			4.18



Şekil 8.1 Bu çalışma kapsamında örneklenen sulardaki izotop analizlerinin  $\delta^{18}\text{O}$  –  $\delta^2\text{H}$  diyagramındaki görünümü. MMWL ( $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 22$ ) Akdeniz meteorik su doğrusunu IAEA, (1981), GMWL ( $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ ) ise dünya meteorik su doğrusunu (Craig, 1961) belirtir.

İzotop analizleri ortak olarak değerlendirildiğinde inceleme alanından alınan örneklerin meteorik kökenli oldukları anlaşılır.  $^3\text{H}$  değerleri çoğunlukla 0-5 TU arasında olup, yaklaşık 40 yıl önceki yağış sularının egemen olduğu suların özelliklerini yansıtırlar. Hiç bir izotop değeri magmatik kökeni yansıtmamaktadır. Magmatik kökeni yansıtan sularda  $^{18}\text{O}$  değerleri  $\delta 5/\text{SMOW}$ ,  $\delta 10/\text{SMOW}$  değerlerine çıkar. İzotop zenginleşmeleri hazne sıcaklığı açısından ele alınıp, kalitatif olarak değerlendirilirse  $^{18}\text{O}$  ile  $^2\text{H}$  diyagramında yağış doğrularından sapmaları değerlendirilmelidir.  $^2\text{H}$  değeri sabit kalırken,  $^{18}\text{O}$  izotopundaki hızlı artış yüksek hazne sıcaklığını belirtebilir. Bu tanıma uyan 2 örnek; AK-2 ve KG-1 kuyusuna ait izotop örnekleridir. En fazla  $^{18}\text{O}$  zenginleşmesi AK-2 ( $213^\circ\text{C}$  akışkan sıcaklığına sahiptir) ve KG-1 kuyusunda ( $183^\circ\text{C}$  akışkan sıcaklığına sahiptir) bulunmaktadır. Aynı zamanda Alaşehir Ilıcası sularında bu zenginleşme görülmektedir. Diğer suların hemen hemen hiç birisinde  $^2\text{H}$  değeri sabit kalırken,  $^{18}\text{O}$  değerleri artış göstermemektedir.

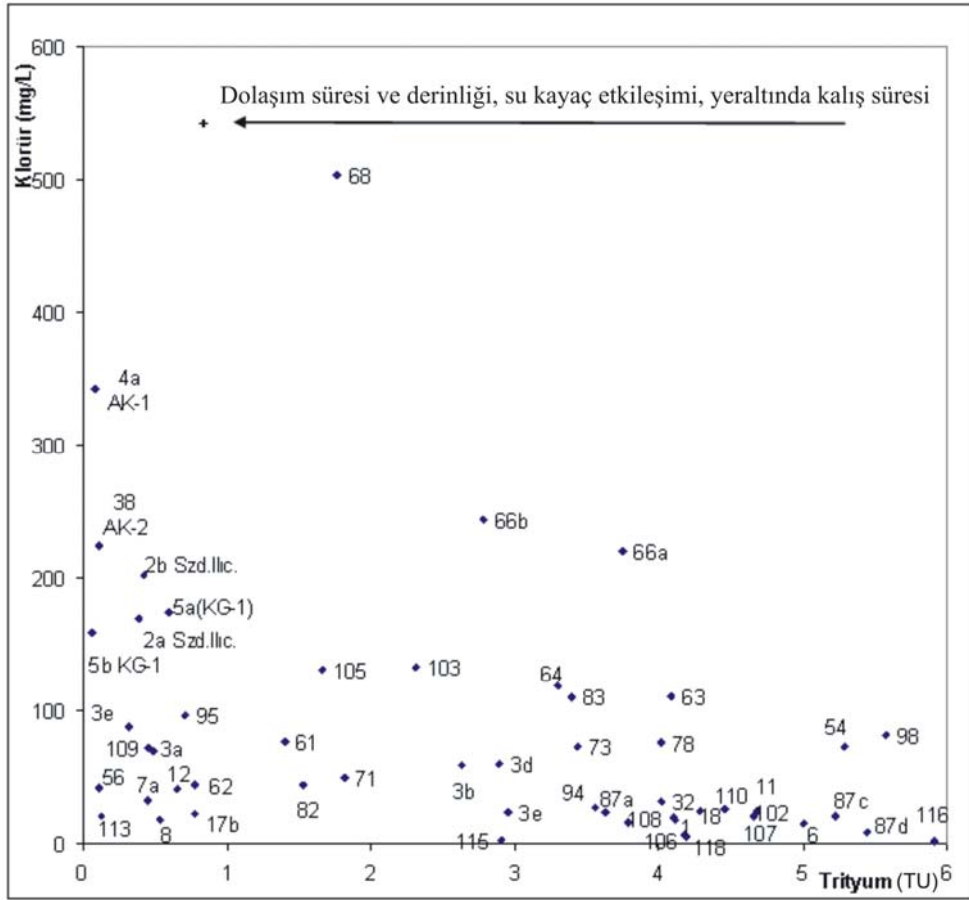
İnceleme alanındaki suların  $^3\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$  ilişkisi termal suların dolaşım sürelerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 8.2).



Şekil 8.2 Suların  $^3\text{H}-\delta^{18}\text{O}$  diyagramındaki konumu.

Bu diyagrama göre; 38 (AK-2), 2 (Sazdere Ilıcası), 4 (AK-1), 3 (Alaşehir Ilıcası), 109 (Tariş karşıtı sıcak sondaj-57°C) sıcak ve minerali sular ile 56 (Dadağlı sondajı) 76 ve 95 nolu soğuk sondaj sularının yeraltındaki kalış ve dolaşım sürelerinin uzun oldukları tahmin edilmektedir. Bu suların arasında beslenme alanı en derin olan AK-2 aynı zamanda en sıcak akışkana sahiptir. 109 nolu Tariş karşıtı sondaj ise en sığ ve en yüzeysel beslenmeleri yansıtmaktadır. Sarıkız Pınarı ve diğer mineral suların dolaşım süreleri nispeten uzun ancak güncel yağış sularının karışımının etkisinde oldukları düşünülmektedir. Diğer tüm soğuk sular ise hem sığ beslenmeli hem de yeraltında kalış ve dolaşım süresi yönünden genç suları yansıtır. Bu tip suların güncel meteorik sulardan fazlaca etkilendikleri tahmin edilmektedir.

$\text{Cl}-^3\text{H}$  diyagramı da suların karşılaştırılması, sınıflanması ve beslenme alanları ile yeraltında kalış sürelerinin yorumlanmasında başarıyla kullanılmaktadır (Şekil 8.3).



Şekil 8.3 Suların Cl-<sup>3</sup>H diyagramındaki konumu.

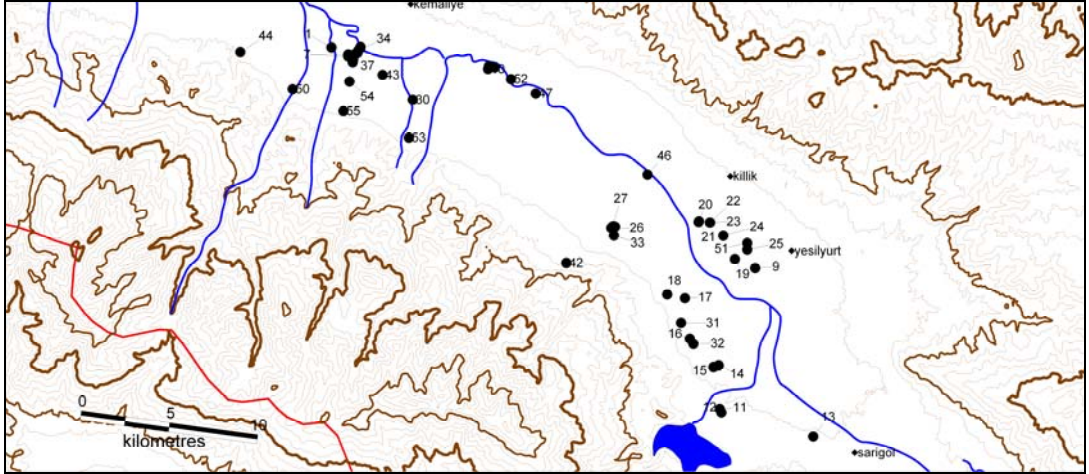
AK-1, AK-2, KG-1, 2 (Horzumsazdere Ilıcası) termal suları olmak üzere birçok sıcak ve mineralli sular yüksek Cl ve düşük <sup>3</sup>H içeriği göstermektedir. 3 numaralı Alaşehir Ilıcası, 87 numaralı Sarıkız Pınarı gibi birçok su örneğinin farklı zamanlardaki örnekleme sonuçları yaklaşık birbirine yakın Cl düzeylerine sahipken farklı <sup>3</sup>H değerleri göstermektedir. Bu durum farklı zamanlarda farklı oranlarda güncel yağış sularından etkilendiklerini göstermektedir. Bununla birlikte bir oranlama yapılacak olursa diyagramın sağına doğru yer alan sular daha sık beslenmeli ve genç suları yansıtır. Diyagramın üzerinde ok ile gösterildiği gibi dolaşım süresi ve derinliği ile yeraltında kalış süreleri sağa ve aşağıya doğru artmaktadır.

## BÖLÜM DOKUZ

### TOPRAK JEOKİMYASI

#### 9.1 Giriş

İnceleme alanında daha çok jeotermal sistemden ve diğer sebeplerden kaynaklanan nedenlerle olumsuz yönde etkilendikleri düşünülen topraklardan sediman örnekleri alınmış (Şekil 9.1) ve kimyasal analizleri yaptırılmıştır (Tablo 9.1). Tortul ve toprak örneklerinin analizleri farklı kirlilik parametreleri bakımından değerlendirilerek, farklı elementler açısından toprak kirliliği incelenmiştir. Tablo 9,1’de yapılan ham kimyasal analiz sonuçları verilmekle birlikte bu çalışmada değerlendirmeye tabi tutulan örneklerin mantodaki derişimleri de değerlendirilmiştir.



Şekil 9.1 İnceleme alanındaki toprak ve tortu örnekleme noktalarının yeri.









## 9.2 Örnek Alma ve Hazırlama Yöntemleri

Arazide bazı dere tortularından, gözlemler ile kirli olduğu düşünülen verimsiz toprak alanlarından ve bazı verimli tarımsal alanlardan, toprak arazilerinden olmak üzere toprak örnekleme alanları seçilmiştir. Toprağın 3-4cm üzerindeki kısımdan örnekleme yapılarak, örnekler laboratuarda 40°C'de havalandırılmalı etüvde kurutulmuş ve 2mm tane boylu elekten geçirilerek içerisindeki taşlar ayıklanmıştır. Bu işlem sonrasında örnek malzemesi agat havanda öğütülmüştür. Örnekler daha sonra çeyrekleme yöntemi yapılarak 30gr'lık poşetlerde analize hazır hale getirilmiştir. Tortu örneklerinin kimyasal analizi ACME Analitik Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. 48, 49 ve 50 nolu örnekler ise jeotermal suların oluşturduğu travertenlerden alınan örneklerdir. Diğer örneklerin çoğu tarım toprağı olmakla birlikte yukarıda değinilen örnekleme alanlarına aittir.

## 9.3 Kimyasal Analizlerin Değerlendirilmesi

Tortu ve toprak örneklerinin analizleri çeşitli sınıflandırmalar kullanılarak (Gemici ve diğ., 2009) ağır metal içeriğı bakımından değerlendirilmiştir.

### 9.3.1 Igeo (Jeolojik Birikim İndeksi) Sınıflaması

Jeolojik birikim (jeo-akümülyasyon (Igeo)) indeksi, Müler (1979) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemle sedimanların ve toprakların içerdikleri iz elementlerin, aynı elementin kabuktaki derişimine göre birikme derecesi belirlenebilmektedir. Jeolojik birikim (jeo-akümülyasyon) indeksi aşağıdaki formülle hesaplanabilmektedir;

$$• Igeo = \log_2 \frac{Cn}{1.5Bn}$$

- Cn: Elementin kimyasal analizler ile ölçülen derişimi (Tablo 9.2'deki değerler)
- Bn: Elementin kıtasal kabuktaki derişimidir

Bn değeri (referans değer) her element için ayrı olup bu çalışmada kullanılan değerler Tablo 9.1' de en alt satırlarda, kaynakları ile birlikte verilmiştir.

Tablo 9.2 Jeolojik Birikim İndeksine (Igeo) göre sınıflandırma şu şekildedir (Müller, 1979).

Igeo <0 ise	0<Igeo<1 ise	1<Igeo <2 ise	2<Igeo <3 ise	3<Igeo<4 ise	4<Igeo <5 ise	Igeo>5 ise
Temiz (kirlenme miş)	Az kirli	Az-orta kirli	Orta kirli	Orta- çok kirli	Çok kirli	Aşırı kirli

Alaşehir tortu ve toprak örneklerinin hesaplanan Igeo değerleri Tablo 9.3'de görülmektedir. Al için Igeo indeksi değerleri tüm örneklerde negatiftir. Yani sıfırdan küçüktür. Igeo indeksine göre toprakların kirlenebilirlik sınıflamasına göre de tüm topraklar temiz (ya da kirlenmemiş) olarak sınıflanmaktadır. Uranyum için de hemen hemen tüm örnekler temiz bir iki örnek ise az kirli özellik vermektedir. Bu durumda inceleme alanı tarım toprakları için Al ve U parametreleri kirlenme tehlikesi oluşturmamaktadır. Arsenik için az kirli–aşırı kirli arasında değişen jeolojik birikim indeksleri, antimon için temiz ve çok kirli sınıfları arasında değer vermektedir. B açısından değerlendirildiğinde temiz çıkan örnek sayısı bir hayli fazladır. Bunun nedeni Bor derişiminin yüksekliği tarım toprakları için alanda özel bir öneme sahip olması ve bağcılık ve meyveciliğin gelişkin olduğu yörede bor açısından az zengin toprakların tercih edilmesi ve örneklerin çoğunun tarımsal alanlardan alınışdır.

Genel bir değerlendirme yapılırsa, Jeolojik Birikim İndeksi sınıflamasına göre inceleme alanında örnekleme yapılan tüm noktalarda; As, Sb ve B bileşenlerinin Igeo değerlerinin yüksek olduğu ve kirlilik sunduğu söylenebilir. Igeo parametreleri Arsenik için, 0,3 ile 4,6 arasında, Bor için, -3,9 ile 5,3 arasında, Antimon için ise -1,17 ile 4,40 arasında değişim gösterir. İnceleme alanında jeotermal alanların çokluğu bu Arsenik ve Bor kirliliğinin başlıca nedenlerinden birisi olmalıdır. Çünkü

daha önceden de değinildiği gibi inceleme alanındaki sıcak ve mineralli sular çok yüksek bor bileşenine sahiptir. Hatta Türkiye'deki tüm jeotermal sular arasında en yüksek değerlere sahiptirler. Sıcak sulardaki bu yüksek bor, soğuk yüzey ve yeraltı sularını da belirgin oranda karışım ve sızma yoluyla etkilemektedir. Birçok su noktasında bor derişimi içme suları için sınır değer olan 1,0 mg/L'yi geçmektedir (Tablo 7.3). Bu durum yörede tarımla uğraşanlar tarafından yıllardır bilinmektedir. Sıcak ve mineralli sulardaki bu yüksek bor derişimi karışım ve sızma yoluyla yüzey ve yeraltı sularını etkilemekle birlikte yıkama (leaching) yoluyla da toprakları olumsuz olarak etkileyebilmektedir. B ve As zaten sıcak sular için indikatör bileşenlerdir. Coğrafik olarak da bakıldığında alınan örneklerden sıcak ve mineralli sulara (jeotermal sistemlere) yakın olan örnekler kirlilik göstermektedir. Sonuç olarak sulardaki bor kirliliği topraktaki bor kirliliğini de beraberinde getirmektedir.

Tablo 9.3 Alaşehir toprakları için hesaplanan Igeo (jeolojik birikim) indeksleri ve toprağın Igeo indeksine göre sınıflanması.

I <sub>GEO</sub>	Al	Sınıfı	As	Sınıfı (As için)	B	Sınıfı (B için)	Sb	Sınıfı (Sb için)	U	Sınıfı (U için)
1	-2,9	Temiz	2,7	Orta - Çok Kirli	4,3	Çok - Aşırı Kirli	1,19	Orta Kirli	-1,53	Temiz
2	-3,2	Temiz	2,6	Orta - Çok Kirli	3,9	Çok Kirli	1,53	Orta Kirli	-1,53	Temiz
3	-3,4	Temiz	2,6	Orta - Çok Kirli	3,1	Çok Kirli	1,38	Orta Kirli	-0,27	Temiz
4	-3,3	Temiz	2,6	Orta - Çok Kirli	3,5	Çok Kirli	1,34	Orta Kirli	0,23	Temiz - Az Kirli
5	-3,0	Temiz	2,9	Orta - Çok Kirli	3,6	Çok Kirli	1,62	Orta Kirli	-0,37	Temiz
6	-2,6	Temiz	3,3	Çok Kirli	2,6	Orta - Çok Kirli	1,78	Orta Kirli	-0,53	Temiz
7	-2,8	Temiz	2,8	Orta - Çok Kirli	2,3	Orta - Çok Kirli	1,42	Orta Kirli	-0,98	Temiz
8	-2,9	Temiz	3,1	Çok Kirli	3,8	Çok Kirli	1,54	Orta Kirli	0,06	Temiz - Az Kirli
9	-4,3	Temiz	1,9	Orta Kirli	-1,9	Temiz	-1,04	Temiz	-1,91	Temiz
10	-3,2	Temiz	2,5	Orta - Çok Kirli	-1,1	Temiz	1,06	Orta Kirli	-1,91	Temiz
11	-3,5	Temiz	2,0	Orta Kirli	-2,9	Temiz	0,40	Temiz - Az Kirli	-1,91	Temiz
12	-3,5	Temiz	2,3	Orta - Çok Kirli	-2,9	Temiz	0,53	Temiz - Az Kirli	-1,77	Temiz
13	-2,3	Temiz	2,5	Orta - Çok Kirli	-2,3	Temiz	-1,17	Temiz	-2,06	Temiz
14	-3,1	Temiz	2,8	Orta - Çok Kirli	-2,9	Temiz	0,80	Temiz - Az Kirli	-1,42	Temiz
15	-3,5	Temiz	3,4	Çok Kirli	-2,9	Temiz	0,76	Temiz - Az Kirli	-2,23	Temiz
16	-3,0	Temiz	4,6	Çok - Aşırı Kirli	-2,3	Temiz	2,21	Orta - Çok Kirli	-1,06	Temiz
17	-2,6	Temiz	4,5	Çok - Aşırı Kirli	-0,4	Temiz	3,14	Çok Kirli	-0,37	Temiz
18	-3,9	Temiz	3,5	Çok Kirli	-2,9	Temiz	2,96	Orta - Çok Kirli	-1,77	Temiz
19	-2,5	Temiz	3,2	Çok Kirli	-1,9	Temiz	0,98	Temiz - Az Kirli	-0,71	Temiz
20	-2,5	Temiz	2,8	Orta - Çok Kirli	-2,3	Temiz	-0,39	Temiz	-0,84	Temiz
21	-3,0	Temiz	2,3	Orta - Çok Kirli	-3,9	Temiz	-0,29	Temiz	-1,77	Temiz
22	-2,8	Temiz	2,1	Orta - Çok Kirli	-1,6	Temiz	-0,85	Temiz	-1,42	Temiz
23	-3,1	Temiz	2,5	Orta - Çok Kirli	-2,3	Temiz	-0,26	Temiz	-1,77	Temiz
24	-3,5	Temiz	2,3	Orta - Çok Kirli	-2,9	Temiz	0,00	Temiz - Az Kirli	-1,64	Temiz
25	-3,4	Temiz	1,7	Orta Kirli	-1,9	Temiz	-1,17	Temiz	-1,91	Temiz
26	-3,6	Temiz	4,2	Çok - Aşırı Kirli	3,9	Çok Kirli	3,69	Çok Kirli	0,44	Temiz - Az Kirli
27	-3,4	Temiz	4,4	Çok - Aşırı Kirli	5,3	Aşırı Kirli	3,74	Çok Kirli	0,63	Temiz - Az Kirli
28	-3,3	Temiz	4,5	Çok - Aşırı Kirli	3,8	Çok Kirli	3,87	Çok Kirli	-0,58	Temiz
29	-3,1	Temiz	4,3	Çok - Aşırı Kirli	2,8	Orta - Çok Kirli	3,60	Çok Kirli	-0,91	Temiz
30	-3,1	Temiz	2,4	Orta - Çok Kirli	1,6	Orta Kirli	0,69	Temiz - Az Kirli	-1,23	Temiz
31	-3,4	Temiz	4,2	Çok - Aşırı Kirli	-1,9	Temiz	0,93	Temiz - Az Kirli	-1,53	Temiz
32	-2,9	Temiz	4,6	Çok - Aşırı Kirli	-1,9	Temiz	2,10	Orta - Çok Kirli	-1,06	Temiz
33	-3,6	Temiz	4,4	Çok - Aşırı Kirli	3,4	Çok Kirli	4,40	Çok - Aşırı Kirli	-1,14	Temiz
34	-2,4	Temiz	3,5	Çok Kirli	1,0	Orta Kirli	2,05	Orta - Çok Kirli	-0,98	Temiz

I <sub>GEO</sub>	Al	Sınıfı	As	Sınıfı (As için)	B	Sınıfı (B için)	Sb	Sınıfı (Sb için)	U	Sınıfı (U için)
35	-2,8	Temiz	3,0	Orta - Çok Kirli	0,0	Temiz - Az Kirli	1,01	Orta Kirli	-1,64	Temiz
36	-2,2	Temiz	3,6	Çok Kirli	0,3	Temiz - Az Kirli	1,71	Orta Kirli	-0,91	Temiz
37	-2,5	Temiz	3,2	Çok Kirli	1,0	Orta Kirli	1,82	Orta Kirli	-1,14	Temiz
38	-3,2	Temiz	2,7	Orta - Çok Kirli	3,9	Çok Kirli	1,44	Orta Kirli	0,20	Temiz - Az Kirli
39	-3,1	Temiz	2,7	Orta - Çok Kirli	2,8	Orta - Çok Kirli	1,66	Orta Kirli	-1,23	Temiz
40	-3,2	Temiz	2,6	Orta - Çok Kirli	4,5	Çok - Aşırı Kirli	1,56	Orta Kirli	-0,71	Temiz
41	-2,7	Temiz	2,9	Orta - Çok Kirli	1,2	Orta Kirli	1,67	Orta Kirli	-1,42	Temiz
42	-4,7	Temiz	3,8	Çok Kirli	4,4	Çok - Aşırı Kirli	2,90	Orta - Çok Kirli	-1,64	Temiz
43	-2,8	Temiz	3,1	Çok Kirli	2,5	Orta - Çok Kirli	0,64	Temiz - Az Kirli	-0,71	Temiz
44	-7,5	Temiz	0,3	Temiz - Az Kirli	5,3	Aşırı Kirli	1,02	Orta Kirli	-21,84	Temiz
45	-1,7	Temiz	3,1	Çok Kirli	-0,2	Temiz	-0,42	Temiz	-0,37	Temiz
46	-1,7	Temiz	3,1	Çok Kirli	-0,4	Temiz	-0,39	Temiz	-0,18	Temiz
47	-1,7	Temiz	3,2	Çok Kirli	0,1	Temiz - Az Kirli	-0,44	Temiz	-0,06	Temiz
48	-2,7	Temiz	3,2	Çok Kirli	0,4	Temiz - Az Kirli	1,87	Orta Kirli	-1,42	Temiz
49	-2,6	Temiz	3,3	Çok Kirli	0,4	Temiz - Az Kirli	1,87	Orta Kirli	-1,42	Temiz
50	-4,4	Temiz	2,8	Orta - Çok Kirli	-2,3	Temiz	0,61	Temiz - Az Kirli	-2,42	Temiz
51	-1,9	Temiz	3,1	Çok Kirli	-0,6	Temiz	-0,42	Temiz	-0,42	Temiz
52	-3,2	Temiz	2,5	Orta - Çok Kirli	-2,9	Temiz	-0,92	Temiz	-2,06	Temiz
53	-3,7	Temiz	2,4	Orta - Çok Kirli	-0,3	Temiz	0,74	Temiz - Az Kirli	-1,77	Temiz
54	-4,1	Temiz	2,0	Orta - Çok Kirli	-1,6	Temiz	1,21	Orta Kirli	-2,42	Temiz
55	-4,0	Temiz	2,1	Orta - Çok Kirli	-0,9	Temiz	0,68	Temiz - Az Kirli	-2,23	Temiz
56	-3,3	Temiz	2,6	Orta - Çok Kirli	-1,3	Temiz	1,75	Orta Kirli	-1,64	Temiz

### 9.3.2 EF Sınıflaması

Toprakta herhangi bir kirlilik olup olmadığına anlaşılması için sularda olduğu gibi sınır değerler belirlenmemiştir. Topraktaki metal içeriklerinin değerleri daha farklı yoldan belirlenmektedir ve içindeki elementlerin kirlilik derecelerini ölçmek için bazı indeksler ve bağlı zenginleşme faktörleri bulunmaktadır. Igeo İndeksine göre (jeolojik birikim indeksine göre) sınıflamaya ve yorumlamaya daha önce değinilmişti. Zenginleşme faktörü (EF=enrichment factor) ise kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer yöntemdir. Bu yöntemde, ender bulunan bir element referans olarak kabul edilir (Loska ve diğ., 2004). Bu gibi elementlerin uzun süre kıtasal kabukta tek düze halde oldukları varsayılmaktadır (Sutherland, 2000). En çok kullanılan referans elementler Al, Fe, Li, Mn, Sc, Cr ve Ti'dir (Sutherland, 2000, Loska ve diğ., 2004). Zenginleşme faktörü (enrichment factor) Buat-Menard ve Chesselet (1979) tarafından aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$\bullet \text{ EF} = (\text{Cn} / \text{Cref})_{\text{örnek}} / (\text{Bn} / \text{Bref})_{\text{referans element}}$$

- Cn: Hesaplanmak istenen elementin kimyasal analiz derişimi.
- Cref: Hesaplanmak istenen elementin kıtasal kabuktaki bolluk derişimi.
- Bn: Referans elementin kimyasal analizle belirlenen derişimi.
- Bref: Referans elementin kıtasal kabuktaki bolluk derişimidir.

Bu çalışmada referans element olarak (Bn) Al seçilmiştir. Al'nin kıtasal kabuktaki bolluk değeri 84000 mg/kg'dır (Perkins ve Gunter, 1999). Zenginleşme faktörüne göre 5 ayrı kirlilik tanımlaması yapılmıştır (Sutherland, 2000) (Tablo 9.4).

Tablo 9.4 Zenginleşme faktörüne göre 5 ayrı kirlilik tanımlaması (Sutherland, 2000).

<b>Aluminyuma göre zenginleşme faktörü (EF)</b>	<b>Toprağın zenginleşme derecesi</b>
EF < 2	Ender zenginleşme
2 < EF < 5	Orta derecede zenginleşme
5 < EF < 20	Yüksek derecede zenginleşme
20 < EF < 40	çok yüksek derecede zenginleşme
EF > 40	Aşırı yüksek derecede zenginleşme

İnceleme alanındaki örneklerin EF değerleri Tablo 9.5' de 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.



Tablo 9.5 İnceleme alanındaki örneklerin Al'a göre hesaplanmış EF (Zenginleşme Faktörü) ve PI (Kirlilik İndeksi=Pollution Index değerleri).

No	EF-As	EF-Sr	EF-B	EF-Hg	EF-Se	EF-Li	EF-U	EF-Sb	PI
1	78	1,0	149	3	62	11	3	18	0,32
2	85	1,7	142	3	51	24	3	28	0,31
3	95	1,4	88	5	56	13	9	28	0,28
4	90	2,1	115	5	67	12	12	25	0,28
5	90	1,4	97	4	43	13	6	25	0,35
6	92	1,5	38	4	42	13	4	22	0,43
7	73	1,2	36	3	38	13	4	19	0,35
8	91	1,4	99	4	68	13	8	21	0,37
9	106	1,1	5	2	78	5	5	9	0,13
10	78	0,9	4	6	36	7	2	19	0,28
11	69	0,6	2	5	31	5	3	15	0,21
12	86	0,5	2	6	47	6	3	17	0,24
13	43	0,3	1	0	27	4	1	2	0,33
14	89	0,4	1	5	45	5	3	15	0,32
15	181	1,1	2	2	30	7	2	19	0,29
16	285	0,3	2	3	32	6	4	37	0,85
17	213	0,9	5	4	41	6	5	54	0,74
18	254	0,5	2	5	40	6	4	117	0,41
19	81	0,8	2	5	39	6	4	11	0,41
20	60	0,6	1	1	31	3	3	4	0,29
21	61	0,7	1	2	22	5	2	7	0,24
22	47	0,5	2	1	28	4	3	4	0,23
23	74	1,4	2	3	35	5	3	7	0,24
24	83	0,8	2	6	45	5	4	11	0,22
25	52	0,7	3	1	28	4	3	5	0,17
26	342	1,9	181	151	148	12	17	160	0,83
27	337	1,7	418	174	672	15	16	140	0,93
28	329	1,3	139	169	182	11	7	143	1,01
29	252	1,2	61	73	93	11	5	106	0,85
30	65	1,5	26	5	56	9	4	14	0,29
31	277	0,4	3	3	28	7	4	20	0,45
32	276	0,4	2	4	41	6	4	33	0,85
33	397	1,7	136	52	134	19	6	266	0,90
34	90	1,3	11	4	42	8	3	22	0,51
35	86	0,8	7	6	29	8	2	15	0,35
36	84	0,9	6	2	44	7	2	15	0,52
37	76	1,1	12	3	53	9	3	20	0,44
38	87	1,8	140	2	73	18	10	25	0,29
39	80	1,3	58	4	78	14	4	26	0,32
40	80	1,8	202	3	48	40	6	27	0,31
41	74	1,0	15	3	44	8	2	21	0,40
42	543	7,0	530	143	103	37	8	193	0,53
43	91	1,0	41	4	48	11	4	11	0,37
44	336	2121,0	7200	7923	240	417	5	365	0,47
45	44	0,8	3	1	22	4	3	2	0,48
46	42	0,7	2	1	22	4	3	2	0,47
47	43	0,8	3	1	17	4	3	2	0,49
48	91	1,2	9	7	34	7	2	24	0,42
49	88	1,2	8	6	41	7	2	22	0,44
50	231	1,7	4	9	28	10	4	33	0,20
51	47	0,7	2	1	25	4	3	3	0,42
52	79	0,5	1	11	12	8	2	5	0,23
53	107	1,3	11	4	54	8	4	23	0,30
54	106	1,2	6	9	23	9	3	40	0,21
55	99	1,8	8	6	21	8	3	25	0,20
56	92	0,8	4	7	41	9	3	34	0,33

### 9.3.3 PI Sınıflaması

Toprak kirliliği üzerine bir diğer sınıflama ölçütü Kirlilik İndeksine göre yapılan (PI=Pollution Index) sınıflamadır (Nishida ve diğ., 1982). Bu sınıflama şekli ile inceleme alanındaki tortu ve topraklarda görülebilecek dokuz farklı ağır metal elementi kullanılarak kirlilik indeksi hesaplamaları yapılmıştır (Tablo 9.5).

Kirlilik İndeksi aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmıştır;

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

Bağıntıda her element için belirtilen düzeyler As, Cd, Hg, Pb, Sb, Zn için Chon ve diğ., (1996)'dan, Ni ve Cr ise Sponza ve Karaoğlu (2002)'den alınmıştır. Bu dokuz metalden bir Kirlilik İndeksi (PI) oluşturulmuştur. İzin verilebilen kirlilik sınırları PI değerleri için 1'dir.  $\text{PI} > 1$  ise kirlilikten bahsedilebilmektedir (Kim ve diğ., 2001). Bu sınıflamaya göre As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb, Zn, Ni ve Cr elementleri için hesaplanan değerler 1'in altında olmalıdır. Kabul edilebilir değer üzerindeki zenginleşme insan veya doğal jeolojik kaynaklara bağlıdır. Ancak Alaşehir topraklarında yukarıda belirtilen elementlere göre hesaplanan PI indeksleri 28 nolu örnek dışında 1'den küçüktür ve herhangi bir kirlilik tehlikesi bulunmamaktadır. Daha önce vurgulandığı gibi bu sınıflamada eğer bor gibi yöre için sorun oluşturan elementler kullanılmış olsaydı, durum biraz daha farklı olabilirdi.

Toprağın kirlenmesi yukarıda değinildiği gibi yalnızca jeolojik süreçlerden kaynaklanmayabilir. Toprak kirlenmesi, genellikle sağlığa aykırı alışkanlıkları, çeşitli tarım uygulamaları, katı ve sıvı atıkların yok edilmesiyle ilgili yetersizlikler ve hava kirliliği serpintilerinden de etkilenebilir. Çürüyebilen maddelerin doğal olarak karşılaştıkları dönüştürme olayı yetersiz kalacak olursa aynı sorun ortaya çıkabilir.

İnsanın sürdürdüğü çeşitli etkinlikler sonucu toprağın, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve jeolojik yapısındaki değişimler tanımlanabilir ve daha genel anlamda toprak sorunları içinde incelenebilir. Bunlar; 1-Erozyon, 2-Taşlılık, 3-Nemlilik ve

kuraklık, 4-Gübreleme, 5-Pestisit ve intersektinit kullanımı, 6-Açık maden işletmeciliği, 7-Evsel ve sanayi atıkları, 8-Tarım alanlarının tarım dışı kullanımları olarak sınıflandırılabilir. Kirlenme, 1-Gübreler ve gelişmeyi düzenleyici maddelerin tarımda kullanımına 2-Kömür ve madenlerin çıkartılması ya da eritme fırınlarından oluşan atıkların toprağa yığılması, bunların içerisinde bulunan zehirli maddelerin eriyerek toprağa süzülmesi 3-Ev çöprü, lağım suları, endüstri atıklarının toprağa boşaltılmasına bağlı olarak ortaya çıkar. Gelişmiş ülkelerde en önemli kirlenme nedenlerini daha çok kimyasal maddeler, ağır metaller ve petrol ürünleri oluşturmaktadır. Toprak kirliliği özellikle su kaynaklarının kirliliği ile de yakından ilişkilidir. Toprakta kimyasal, nükleer ve katı atıklara bağlı kirlenmeler söz konusu olabilir. Ayrıca toprak üstünde biriken katı atıklar, metaller, kâğıtlar vb. maddeler hem görüntü ve hem de çevre kirliliği nedeni olabilir.

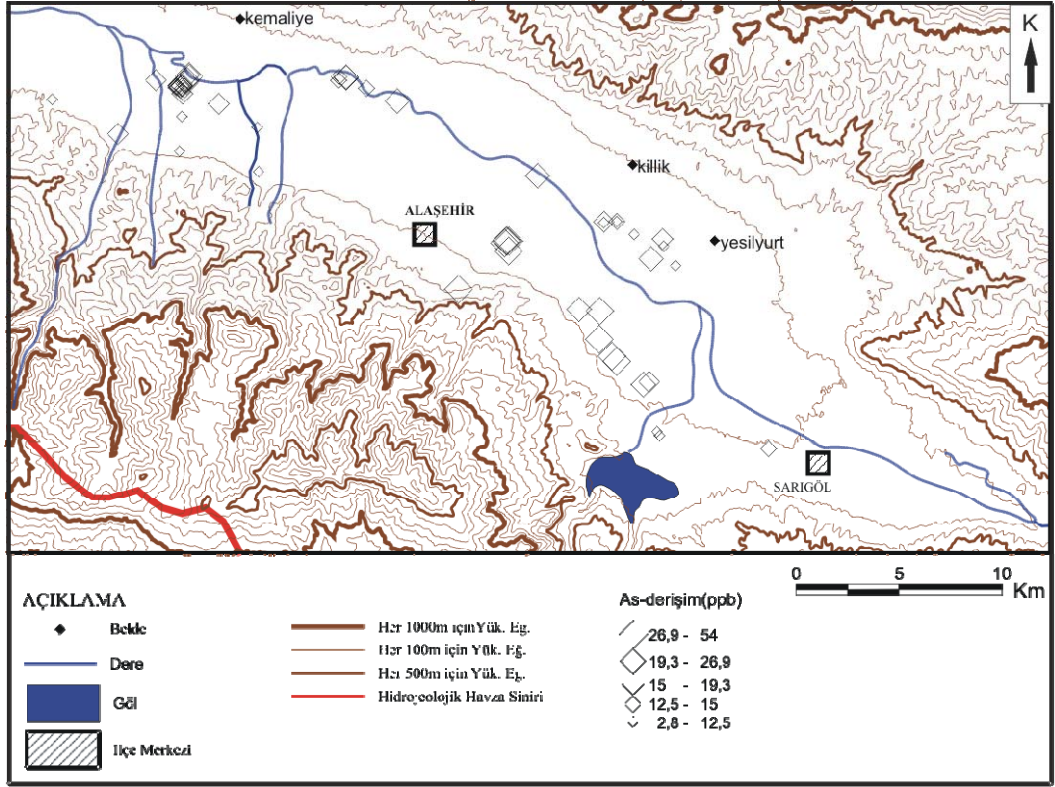


Şekil 9.2 Toprak kirliliğine bir örnek.

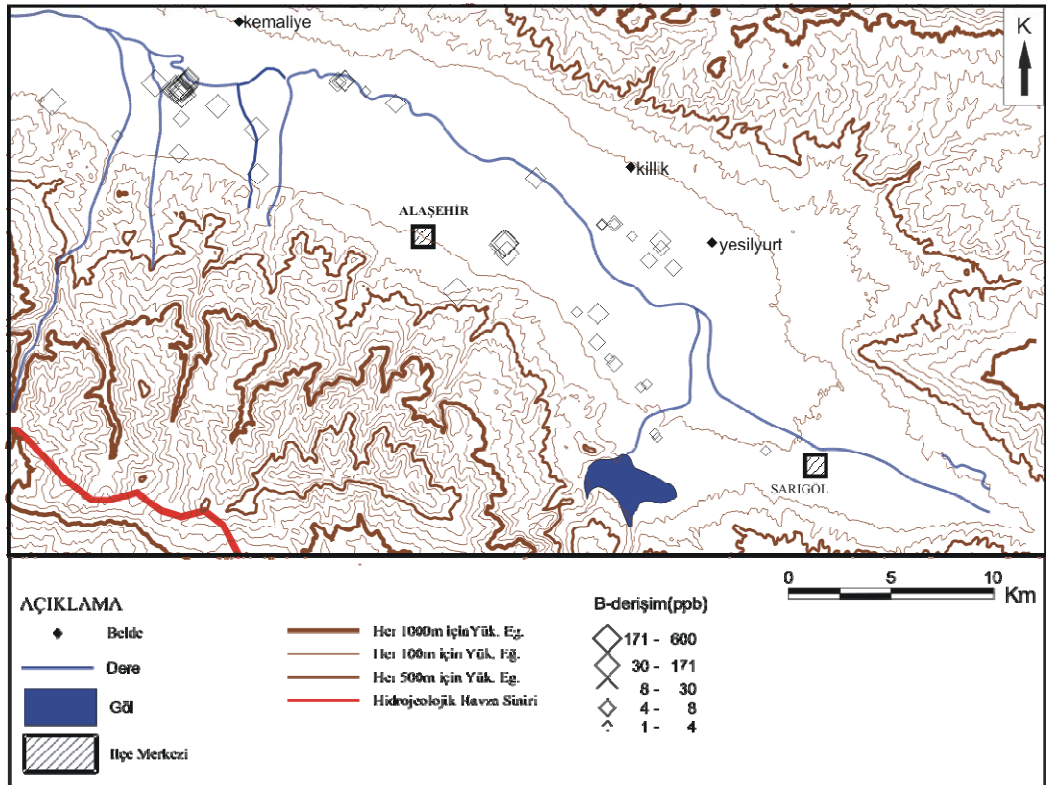


Şekil 9.3 Toprak kirliliğinin yakından görünümü.

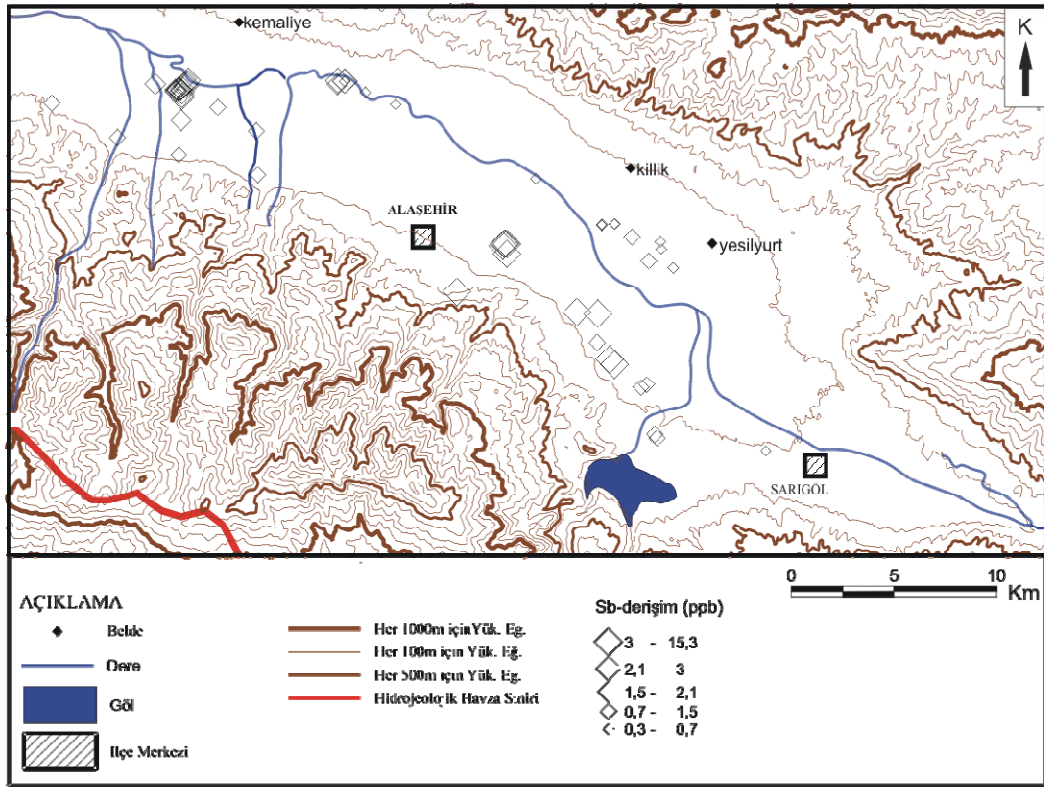
Toprak kirliliği üzerine kirlenme açısından şüpheli elementlerin sahada yayılım durumlarına göre de inceleme yapılabilir. Bu amaçla daha önce değinilen ve toprak kirliliği açısından sorun yaratabilecek parametreler her toprak numunesinin alındığı yer gözetilerek haritalanmıştır. Map-Info programına örnekleme noktası koordinatları girilerek, ilgili element derişim değeri kaydedilmiştir. Daha sonra, programda aralık sınıflandırması fonksiyonu belirlenerek bölgedeki element derişim aralıklarını gösteren haritalar hazırlanmıştır (Şekil 9.4-9.19).



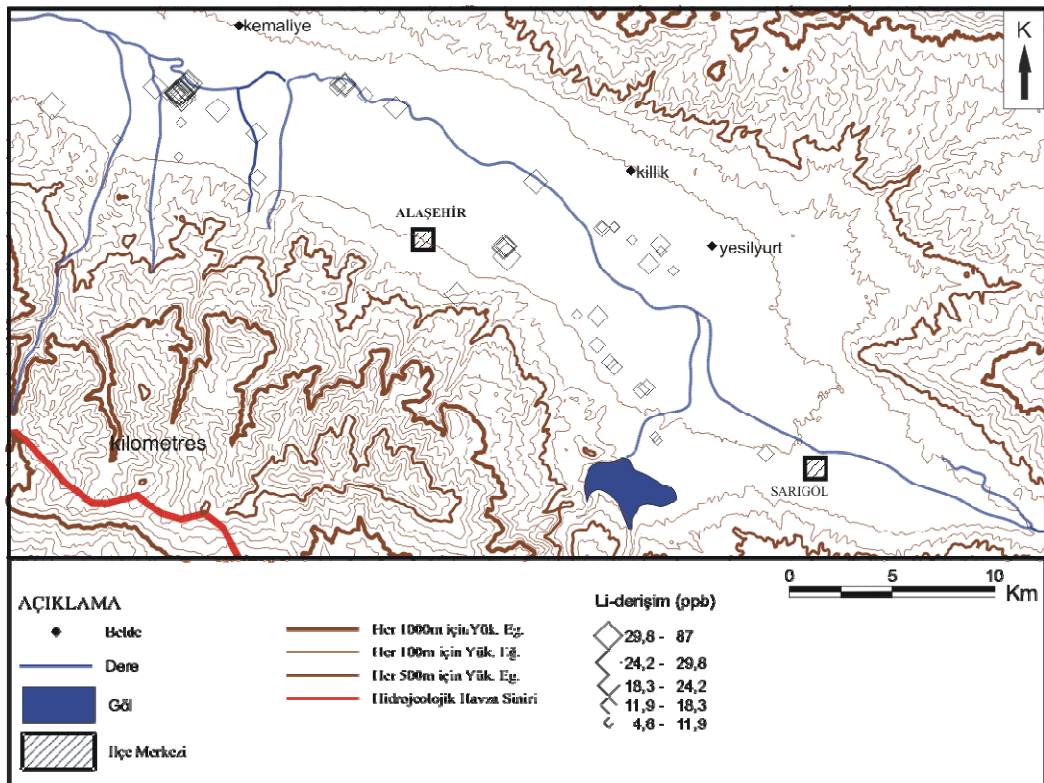
Şekil 9.4 İnceleme alanındaki toprakların Arsenik (As) derişim aralıklarını gösteren harita.



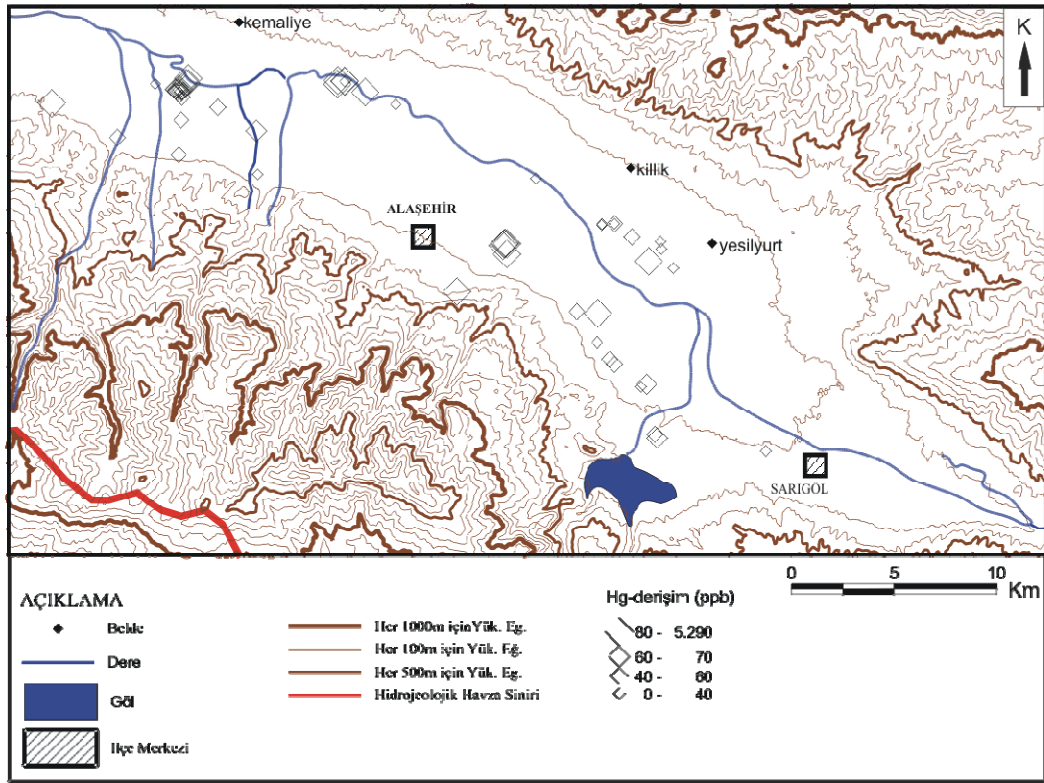
Şekil 9.5 İnceleme alanındaki toprakların Bor (B) derişim aralıklarını gösteren harita.



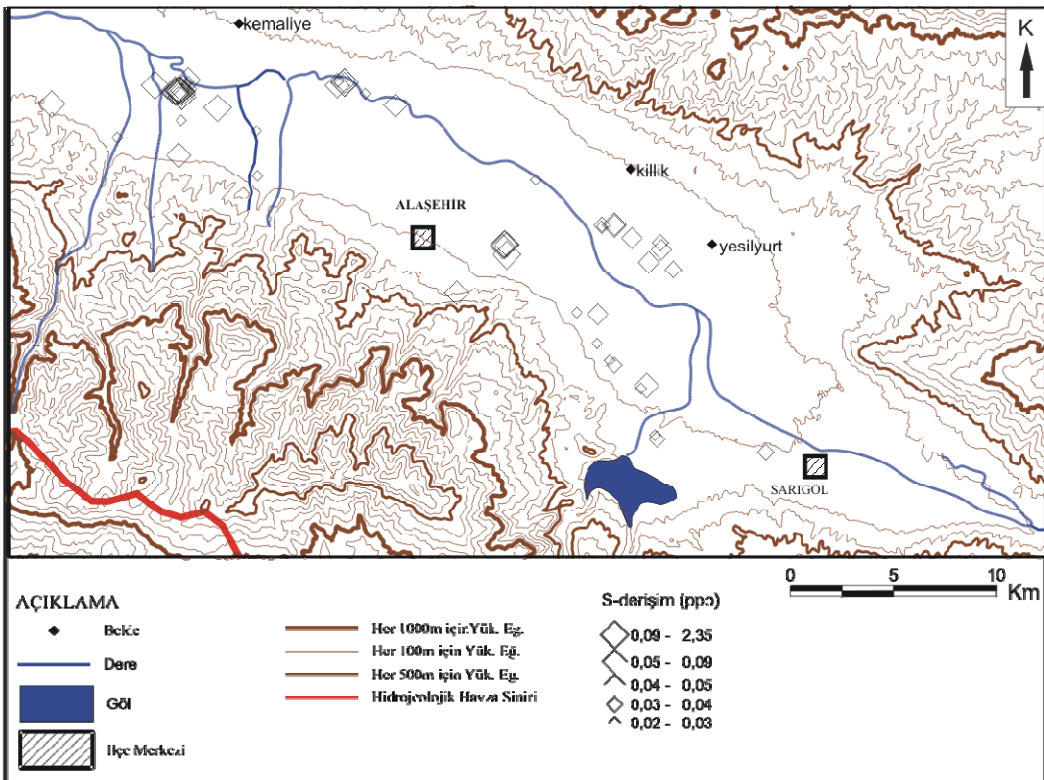
Şekil 9.6 İnceleme alanındaki toprakların Antimon (Sb) derişim aralıklarını gösteren harita.



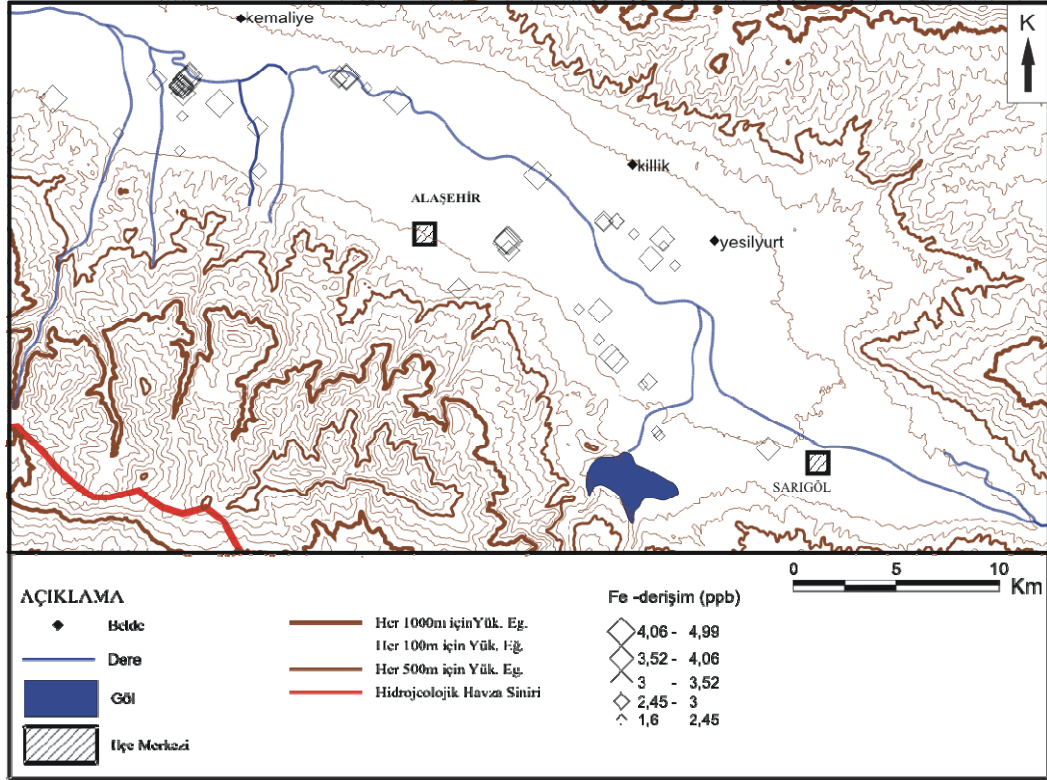
Şekil 9.7 İnceleme alanındaki toprakların Lityum (Li) derişim aralıklarını gösteren harita.



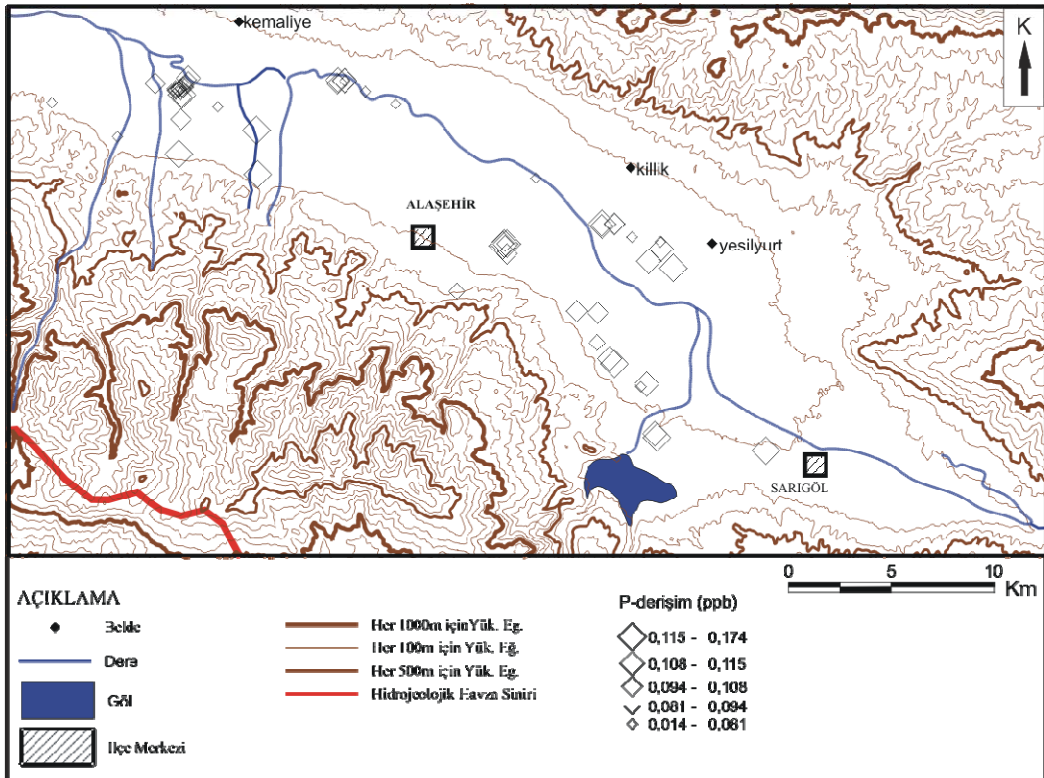
Şekil 9.8 İnceleme alanındaki toprakların Civa (Hg) derişim aralıklarını gösteren harita.



Şekil 9.9 İnceleme alanındaki toprakların Kükürt (S) derişim aralıklarını gösteren harita.

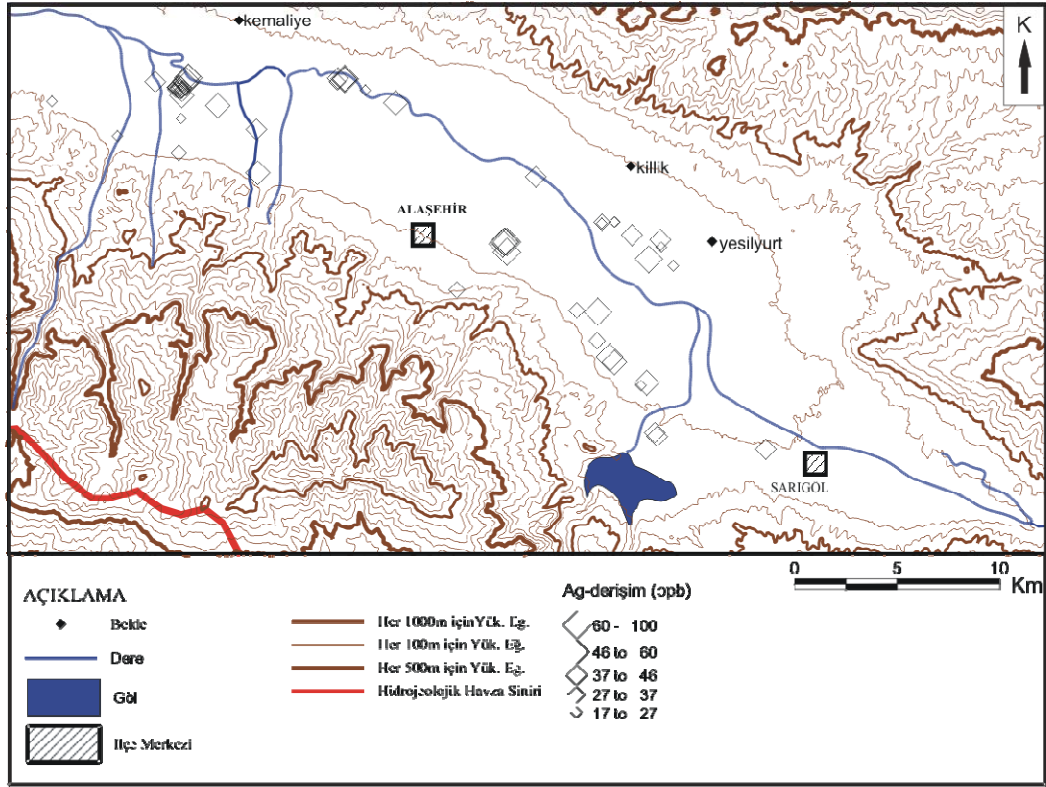


Şekil 9.10 İnceleme alanındaki toprakların Demir (Fe) derişim aralıklarını gösteren harita.

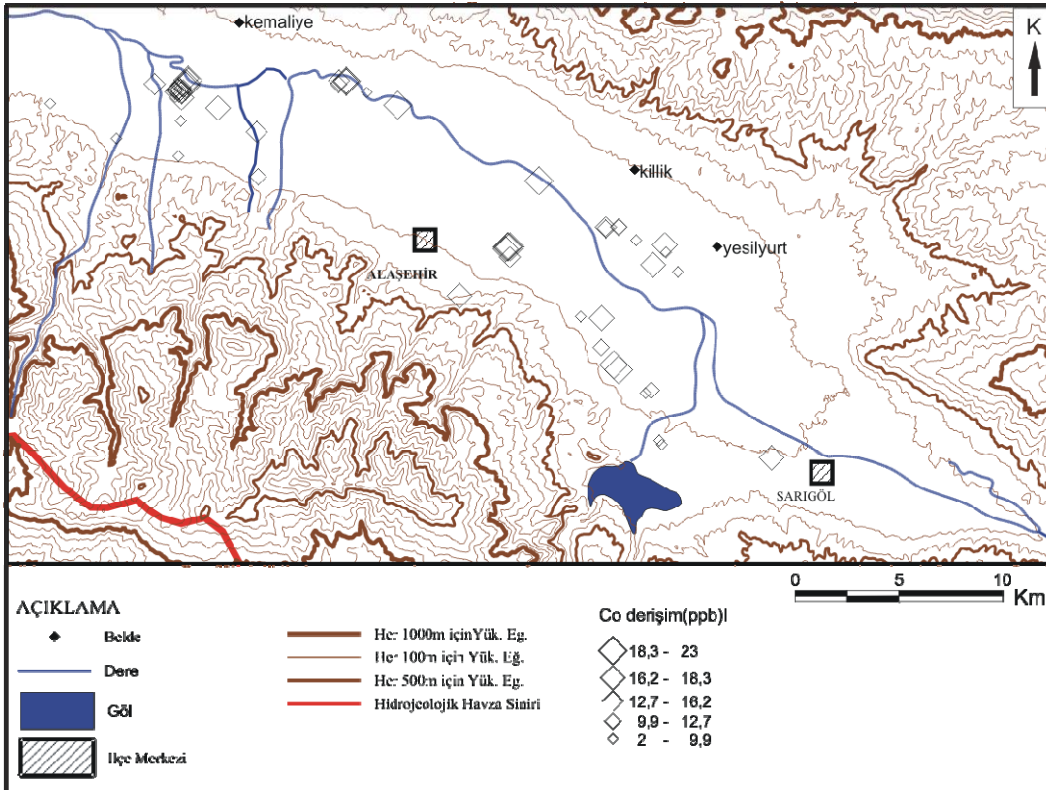


Şekil 9.11 İnceleme alanındaki toprakların Fosfor (P) derişim aralıklarını gösteren harita.

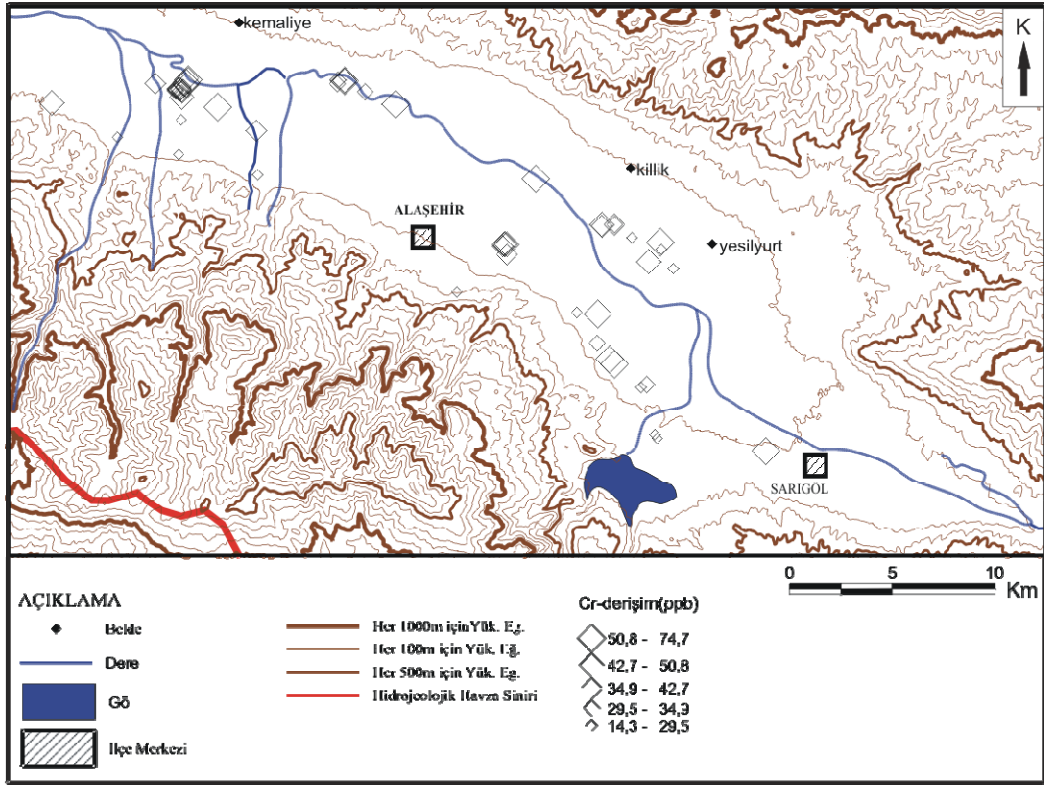




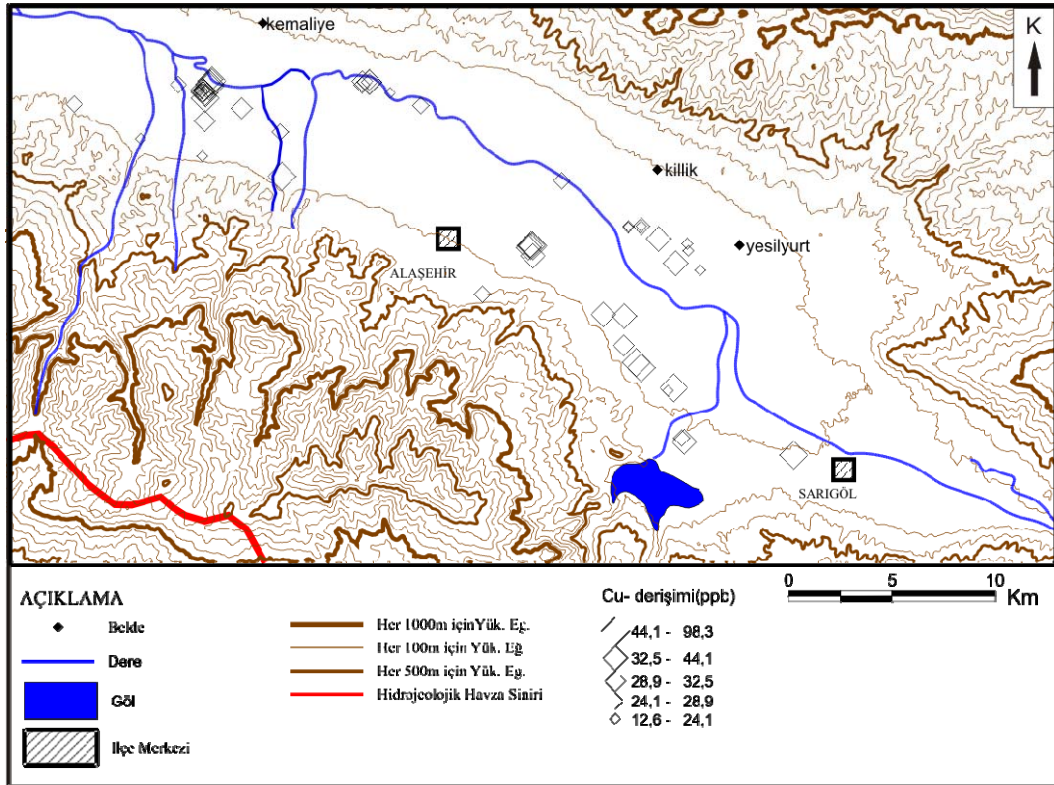
Şekil 9.12 İnceleme alanındaki toprakların Gümüş (Ag) derişim aralıklarını gösteren harita.



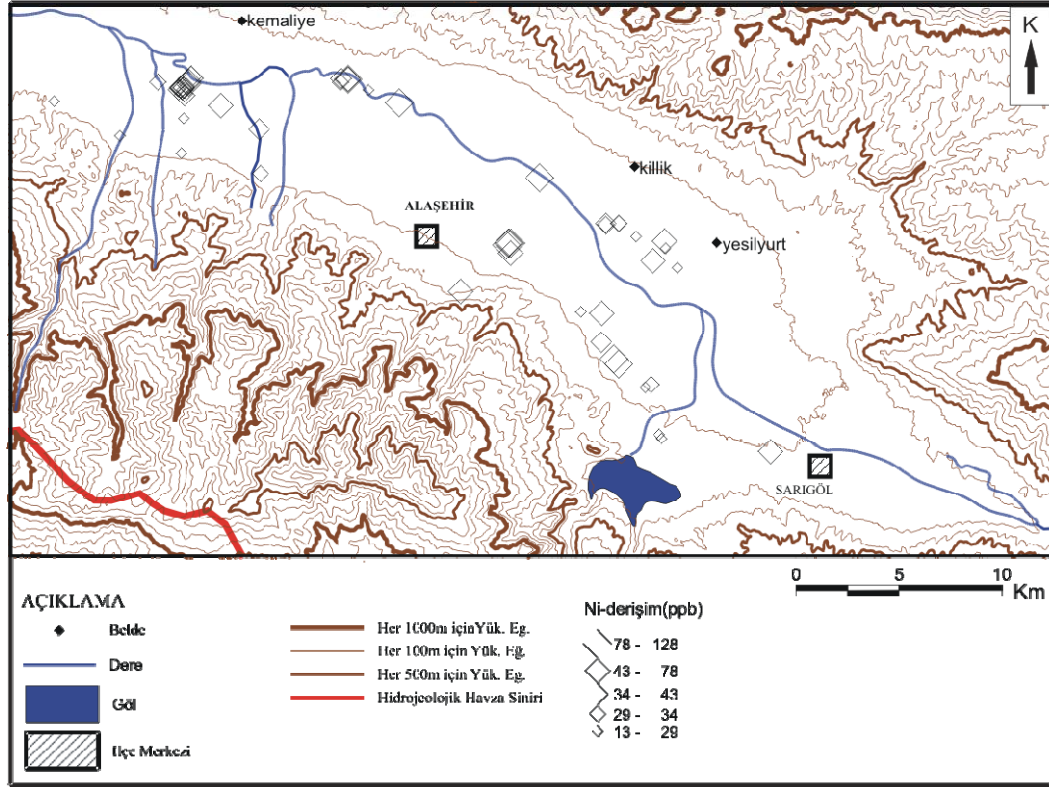
Şekil 9.13 İnceleme alanındaki toprakların Kobalt (Co) derişim aralıklarını gösteren harita.



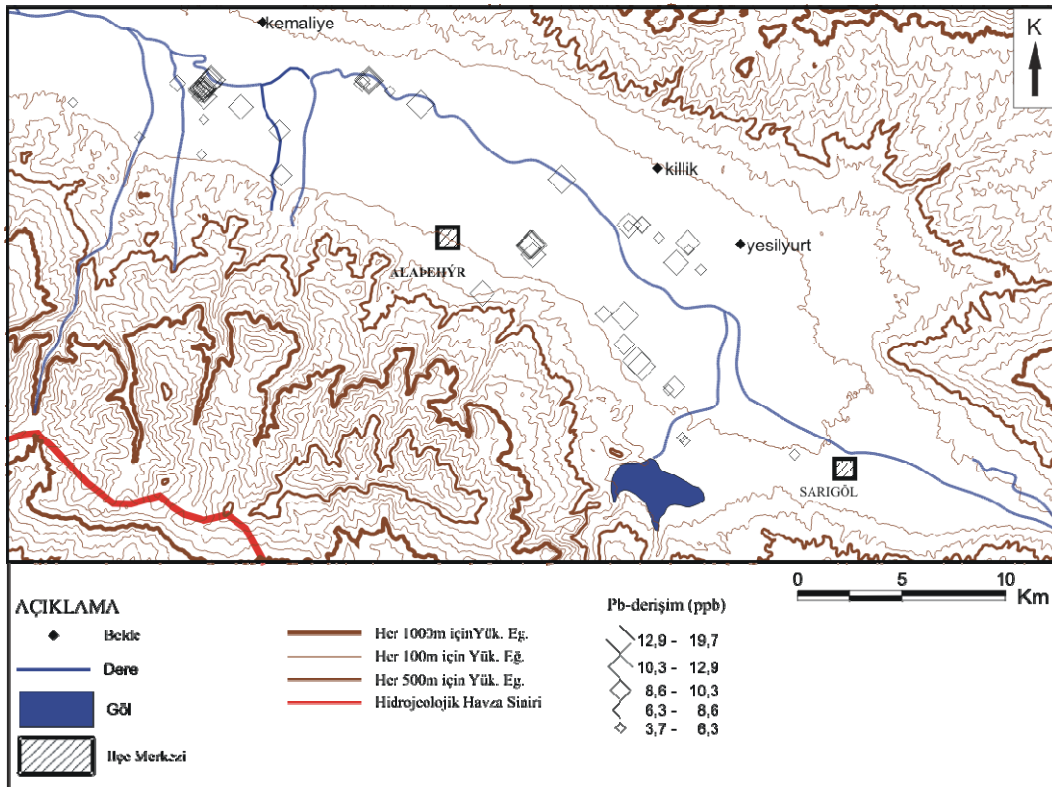
Şekil 9.14 İnceleme alanındaki toprakların Krom (Cr) derişim aralıklarını gösteren harita.



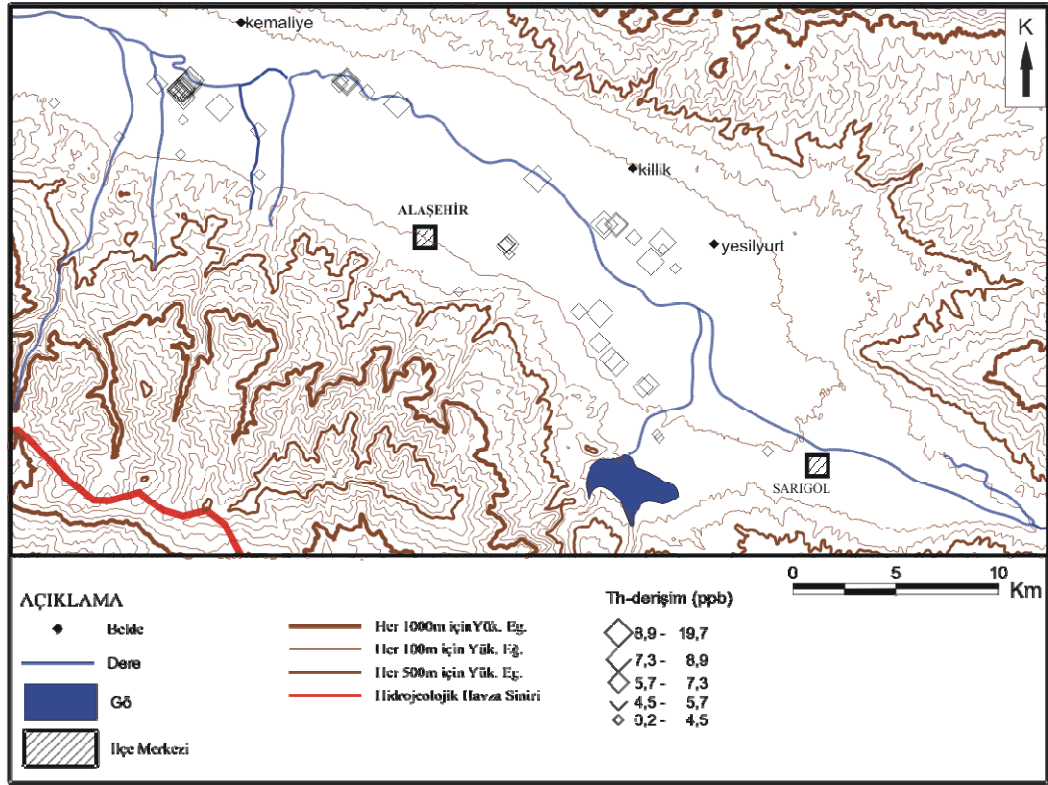
Şekil 9.15 İnceleme alanındaki toprakların Bakır (Cu) derişim aralıklarını gösteren harita.



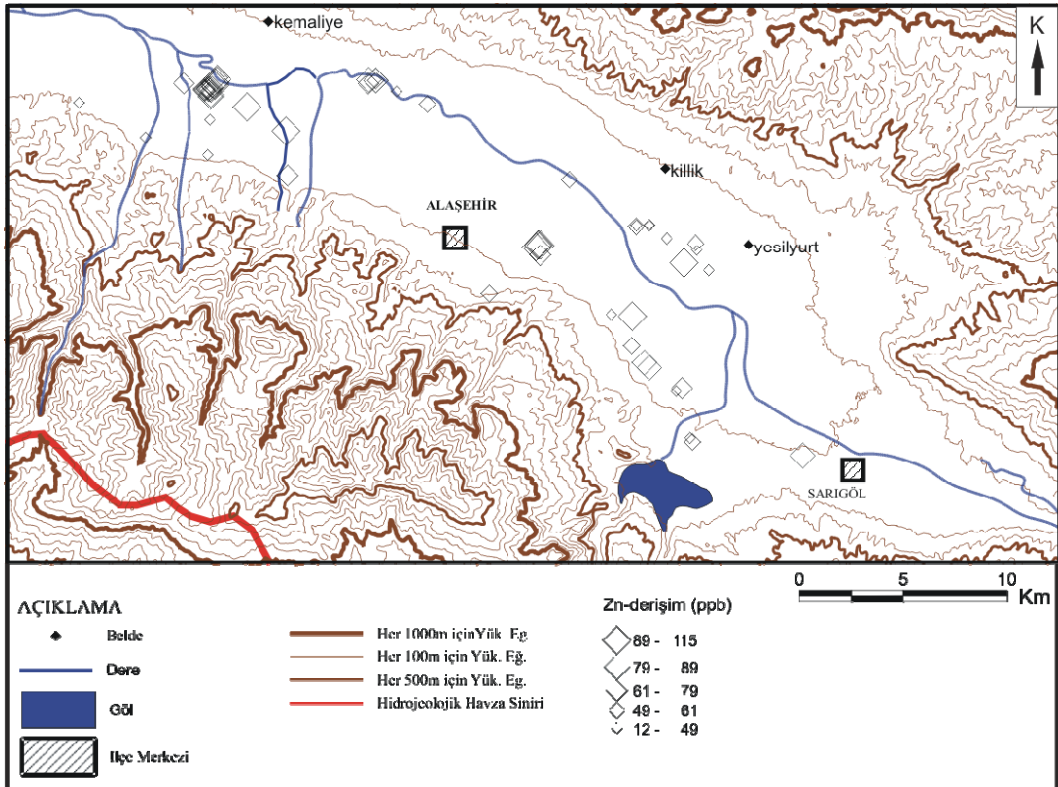
Şekil 9.16 İnceleme alanındaki toprakların Nikel (Ni) derişim aralıklarını gösteren harita.



Şekil 9.17 İnceleme alanındaki toprakların Kurşun (Pb) derişim aralıklarını gösteren harita.



Şekil 9.18 İnceleme alanındaki toprakların Toryum (Th) derişim aralıklarını gösteren harita.



Şekil 9.19 İnceleme alanındaki toprakların Çinko (Zn) derişim aralıklarını gösteren harita.

Tüm bu element derişim aralığı haritaları bütünselleştirilerek yorumlanacak olursa; grabenin orta kesiminde alüvyon ovanın gidiş yönünde kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu ana faylara yakın olan kesimlerde genel bir derişim artışından söz edilebilir. Bu ana fay hatları boyunca civa yatakları gibi eski hidrotermal maden yataklarının olması ve yine bu hat boyunca jeotermal sistemlerin uzanması bu zenginleşmenin ana nedenlerinden birisidir. Basınçlı jeotermal sistemlere bağlı olarak faylar ya da derin sondajlar ile sığ soğuk su akiferine karışan jeotermal suyun kirlilik sunan elementlerin, tarımsal sulama ya da doğal çıkışlar ile toprağı zenginleştirmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, doğal ve yapay süreçlerin ortak etkisi sonucu olabilir. Doğal süreçler jeolojik (ayırışma, hidrotermal alterasyon vb.) ve hidrojeolojik (su-kayaç etkileşimi, yıkanma ve taşınma) etkilerden olabilir. Yapay süreçler ise daha önce değinilen her türlü insan kaynaklı (tarımsal, endüstriyel vb.) oluşumlardır. Tortu örneklerindeki Arsenik, Bor ve Antimon kirliliğine koşut olarak, derelerde bazı noktalarda tortu ile birlikte alınan su örneklerinin de aynı elementlerce zengin olması sonuçları destekler niteliktedir. Ayrıca kirlilik parametreleri yüksek olan toprakların civarındaki yeraltı sularının B, As, Li, Sb bakımından zengin olması da bunu gösterir. Toprak jeokimyası haritalarında gözlenilen yüksek derişimli bölgeler, çoğunlukla bu su kimyası EC haritasında da görölmektedir (Şekil 7.26).

## BÖLÜM ON SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Alaşehir Grabeni'nde görülen kaya birimleri alttan üste doğru sırasıyla en altta temel kaya olarak Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Menderes Masifi Metamorfitleri, bunun üzerinde uyumsuz olarak Erken-Orta Miyosen'de Birinci sedimenter birim ve bu birimle geçişli olarak da İkinci sedimenter birim çökelmiştir. Pliyosen yaşlı Üçüncü sedimenter birim alttaki birimler üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. En üstteki Kuvaterner yaşlı dördüncü sedimenter birim ise uyumsuz olarak alttaki birimleri örtmüştür.

Alaşehir ilçesindeki yıllık toplam potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 809,9mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 362,2mm olarak elde edilmiştir. Mart sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr'ye eşit olur. Mart sonuna kadar zemin rezervi doludur. Nisan'dan Mayıs sonuna kadar bu yedekten kullanılmakta, Haziran başlarında zemin rezervi tükenmektedir. Buradan, Eylül sonuna kadar zemin rezervi olmadığından tarımsal su açığı gözlenmektedir. Aralık sonuna kadar ise zemin rezervi dolmuş olmaktadır. Bu verilere göre, Haziran başından Eylül sonuna kadar ki dönem "Kurak Dönem", Ekim başından Mayıs sonuna kadar ki dönem "Yağışlı Dönem" olarak adlandırılmıştır. Thorntwaite indisleri C2B4s2d olarak belirlenmiştir. Buradan iklim tipi, "yarı nemli, dördüncü dereceden mezotermal, yazın çok kuvvetli su noksanı olan, karasal şartlarda iklim tipi" olarak tanımlanır.

Alüvyonda açılan kuyularda DSİ ve İller Bankası tarafından yapılan pompaj deneylerinin değerlendirilmesiyle K, T, S parametreleri THEIS Yaklaşım Yöntemiyle hesaplanmıştır. Alaşehir ovasında alüvyon akifer için permeabilite (K) değerleri 0,0000106 m/dak ( $1,76 \times 10^{-7}$  m/sn) ile 0,0044 m/dak ( $7,33 \times 10^{-5}$  m/sn) arasında değişmektedir. Bu değerler düşük orta dereceli geçirgenliğe ve ince orta kaba kum arasında değişen tane bileşenine sahip akifer ortamını yansıtmaktadır. Bu akiferlerin Transmisibilite (T) değerleri 0,000085 m<sup>2</sup>/dak ( $1,41 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/sn) ile 0,53 m<sup>2</sup>/dak ( $8,83 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/sn) arasında, depolama katsayısı (S) değerleri ise 0,0000009

(%) ile 0,00108 (%) arasında değiştiği belirlenmiştir. Alüvyon akiferdeki yeraltı suyu akım hızları 0,00001 ile 3,01 m/dak ( $1,67 \times 10^{-7}$  ile 0,050 m/sn ) arasında hesaplanmıştır. Yeraltı suyu akım hızları en düşük 0,00001 m/dk, en yüksek 0,416 m/dk olarak belirlenmiştir.

Bu tez kapsamında yeraltı suyu kuyusunda boya seyrelme deneyi ile akifer için dispersiyon katsayısı ve yeraltı suyu hızı (skaler) hesaplaması yapılmıştır.

$$y = \frac{M/A}{\sqrt{4\pi Dt}} \cdot \exp\left(-\frac{v^2 t}{4D}\right) \quad (\text{Bedient ve diğ., 1994})$$

denkleminin en küçük kareler yöntemi kullanılarak non-lineerden lineer denkleme dönüştürülerek, grafik çözümler D (dispersiyon katsayısı) ve v (yeraltı suyu hızı) parametrelerinin yalnız bırakılarak formülize edilmesi Prof. Dr. Yüksel Kemal Birsoy tarafından yapılmıştır. Bu tez kapsamında yapılan seyrelme deneyindeki özgün veriler çıkarılan formüllerde D ve v hesaplanmasında kullanılmış ve R korelasyon katsayısı 0,96 olarak bulunmuştur.

Alaşehir Ilıcası'nın debisi, boya enjeksiyon deneyi ile,  $Q=3,4$  L/sn olarak belirlenmiştir.

Alaşehir sıcak ve mineralli suları çoğunlukla Na-HCO<sub>3</sub> tiplidir. Alaşehir Ilıcası'nda Mg ve Acıdere Ilıcası'nda da Ca majör katyon durumundadır. Diğer sıcak ve mineralli sularda da bazı katyon ve anyon çeşitilmesi olmakla birlikte anyonlar aısından HCO<sub>3</sub> iyonu baskın, kısmen de SO<sub>4</sub> iyonu HCO<sub>3</sub>'e eşlik etmektedir. Su tipi; soğuk sularda genellikle Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> iken, ısı artması ile sudaki Ca ve Mg, kil minerallerindeki Na ile yer değiştirerek Na-HCO<sub>3</sub> fasiyesine geçmektedir.

İnceleme alanındaki suların büyük bir çoğunluğu Piper Diyagramında; 1, 3, 5 ve 9 nolu alanlara karşılık gelmektedir. Çoğunlukla iyonların hiçbirini %50'yi geçmeyen karışık sular ve karbonat sertliği %50'den fazla olan,  $(SO_4+Cl) < (HCO_3+CO_3)$  sınıfında ve  $(Ca+Mg) > (Na+K)$  olan sulardır.

68, 66, 63 ve 55 nolu sıcak sular dışında tüm sıcak ve mineralli sularda egemen anyon bikarbonattır. Egemen katyon da büyük çoğunlukla sodyum olmakla birlikte

bazı sıcak su noktalarında Mg ve Ca egemen hale gelmektedir. Alandaki 3 derin jeotermal sondaja ait sular, 4 (AK-1), 5 (KG-1) ve 38 (AK-2) nolu sular, doğada ender rastlanan suların bölgesine (8 nolu bölgeye) karşılık gelmektedir. Alaşehir İlıcası, Acıdere İlıcası vb. yüzeysel sıcak su kaynakları ise soğuk suların kümelendiği alanla, bu derin jeotermal suların kümelendiği alan arasında yer alırlar. Buradan da jeotermal sistemlerdeki baskın hidrojeokimyasal süreçlerin su kayaç etkileşimi ve yüzeye erişinceye kadar soğuk sularla değişik oranlardaki karışımı süreci olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Su kayaç etkileşimi önemli bir etkendir. Bu süreç iyon değişim sürecini de beraberinde getirmektedir. Son süreç ise soğuk yeraltı sularıyla karışım sürecidir.

EC, klorür ve bikarbonat konturlarının aynı lokasyonlarda yoğunlaşması ve bu lokasyonların segment fayların sıçrama yaparak, dikey yönde gözeneklilik ve permeabilitenin artmış olduğu lokasyonlarla çakışması ve de jeotermal kaynakların kotlarının 300-400 m civarında (alüvyondaki yeraltısuyu seviyesinden daha yüksek) olması, bu lokasyonlardaki izohidrohips yükselmelerinin, basınçlı jeotermal akiferden gelen termal su katkısına bağlı olduğunu düşündürmektedir.

Cl ve B oranları; 15,5 ppm'den büyük sular için yüksek korelasyon katsayısı vermektedir. HCO<sub>3</sub> ve B arasındaki yüksek korelasyon katsayısı, borların termal sularda karbonat çözünürlüğü ile birlikteliğini göstermektedir. Termal sulardaki yüksek bor içeriği, su kayaç etkileşiminin yanında, magma intrüzyonuyla gazlaşan borun da katkısıyla ilişkilidir. Jeotermal suların bor içeriği 120 ppm'e kadar ve EC değerleri 5500 micromho/cm'ye kadar ulaşmaktadır. Bu nedenle jeotermal akışkanın kullanımdan sonra mutlaka re-enjeksiyonu gerekmektedir.

Li-B arasında yüksek korelasyon vardır, EC-Cl arasında da düzgün bir korelasyon bulunmaktadır.

Silis-Entalpi diagramında maksimum buhar kaybı için hesaplanan ortalama hazne kaya sıcaklığı ise 150°C'dir. Sıcak su noktalarından toplanan örneklerde silis karışım



modeline göre; soğuk su karışım oranları, %75-%97, hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları 100°C-250°C arasındadır.

Jeotermometre bağıntıları ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıklarını kuyu dibi sıcaklıkları ile kıyasladığımızda; Kalsedon (4), Kuvars (5), Kuvars buhar kaybı (6), Na/K (7), Na/K (8), Na/K (9), Na/K (10), Na-K-Ca (12), Na/Li (15), Na/Li (16), Na/Li (17), diğer jeotermometrelere göre ölçülen kuyu dibi sıcaklıklarına daha yakın sonuçlar vermektedir.

Sıcak sular için, Doygunluk İndeksleri'nin sıcaklıkla değişim grafikleri incelendiğinde, yaklaşık hazne kaya sıcaklıklarının 140°C-180°C arasında değiştiği görülebilir. Aynı zamanda, bu grafiklere bakıldığında Kuvars, Kalsedon, Amorf Silis 75°C-125°C arasında değişen sıcaklıklarda kabuklaşmaya başlamaktadır. Dolayısıyla bu jeotermal suyun işletilmesinde ortaya çıkabilecek kabuklaşma problemi için inhibitör yöntemi uygulanması önerilir.

İnceleme alanının içerisindeki Menderes Masifi'ne ait karbonatlı kayalar (mermer ve dolomitli mermer) karstik ve çok çatlaklı olmalarından dolayı geçirimsizliği yüksek olup, sıcak ve soğuk su kaynakları için akifer oluştururlar. Bazı yerlerde Menderes Metamorfitlelerinin gnays ve kuvars-mikaşistleri de jeotermal sistemlerin akiferi (hazne kaya) olma özelliği gösterirler. Menderes Metamorfitlelerine ait şist ve fillitlerin geçirimsizlikleri oldukça düşüktür. Neojen yaşlı, Göbekli ve Acıdere Formasyonuna ait, örtülü akarsu ortamında oluşmuş tortul kayaların kil ve çamurtaşı düzeyleri hidrojeolojik açıdan geçirimsiz veya az geçirimsiz olmaları nedeniyle jeotermal sistemlerin örtü kayacını oluşturmaktadırlar. Ayrıca bölgede graben tektoniğine bağlı olarak yükselen jeotermal gradyan sistemin başlıca ısı kaynağını oluşturmaktadır.

Alaşehir'in güneyindeki yüksek kısımlarda bulunan mağmatik, metamorfik kayaların üzerine yağın yağışlar bu kayaların çatlaklarından süzülerek derinlere iner ve yüksek jeotermal gradyan etkisiyle ısınmakta ve ana graben fayı (detachment fay) üzerindeki sıyrılmaya zonundan (kataklastik-milonitik zon) itibaren, K-G yönlü

fayların yükselme zonlarından yüzeye çıkmaktadır. Jeotermal sistemin hazne kayasını Menderes Metamorfikleri'nin kırıklı çatlaklı mermer, şist ve gnays birimleri oluşturmaktadır.

Bölgede geniş bir yayılım gösteren alüvyon, soğuk sular için en önemli akifer birimidir. Alüvyon içerisinde farklı düzeylerde yer alan, akiklüt özelliği gösteren geçirimsiz kil, silt bantları, alüvyonu farklı seviyelerde yer alan yatay akifer gruplarına dönüştürmüştür. Alüvyondaki akifer gruplarından bazıları serbest akifer özelliğinde olup, büyük bir kısımda basınçlı akifer özelliği göstermektedir. Bunların dışında Neojen'e ait yüksek kotlarda yer alan kayaçlarda, bazı yerlerde kil bantları sayesinde tünük akifer özelliği göstermekte olup, kil düzeyinin azaldığı yerlerde bazı çakıltaşı katmanları da akifer özelliğindedir. Fakat, alüvyonun gözenekliliği ve permeabilitesi yüksek, beslenme açısından da daha alt kotlarda yer aldığından en verimli soğuk su kuyuları alüvyonda açılmıştır.

Alanda bilinçsiz açılan sondajlarda kuyuların borulanması, akifer düzeylerinin kontrolü yapılmaksızın, bir kapalı boru, bir filtre boru olarak teçhiz edilmektedir. Bu durum da hem kuyu verimlerini etkilemekte hem de derindeki jeotermal akiferden mineralli suların, üst seviyelerdeki soğuk su akiferlerine karışarak soğuk su akiferlerindeki suyun kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı sondajların kaptajları ve filtrelenmesi mutlaka hidrojeoloji konusunda deneyimli mühendisler tarafından kontrol edilmelidir.

Bölüm 7'de irdelendiği üzere jeotermal sular, sıcaklık düşmesi sırasında kabuklaşma eğilimindedir. Bu nedenle gerekli kimyasal testlerin yapılarak inhibitör kullanımı yapılması jeotermal kuyuların ve teçizatın korunması açısından önemlidir.

Hesaplanan hazne kaya sıcaklığı 150°C'den fazla olduğu için Avustralya Bilim Konseyi'nin düzelttiği Lindal diyagramına göre elektrik enerjisi, yiyecek kurutma, şeker rafinesi, soğutma sistemleri, konut ısıtıcılığı ve seracılık kullanımında uygun olacaktır (Lindal, 1973).

HCO<sub>3</sub> ve B arasındaki yüksek korelasyon katsayısı, borların termal sularda karbonat çözünürlüğü ile birlikteliğini gösterir. Termal sulardaki yüksek bor içeriği, su kayaç etkileşiminin yanında, magma intrüzyonuyla gazlaşan bor'unda katkısıyla ilişkilidir. Menderes Masifi Metamorfitlelerinde Serisit, İllit, Turmalin minerallerinin bolluğu, yüksek bor derişiminin ana sebebi olarak düşünölebilir. Ayrıca yeraltı ve yüzey sularındaki bor içeriği, tarımsal amaçlı sulamada oldukça zararlı etkiye sahiptir. Bu nedenle jeotermal amaçlı kullanılacak akışkanın re-enjeksiyonu gerekli görölmektedir. Bilindiği üzere 11 Aralık 2007 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan 13 Haziran 2007 tarihli kanun ve 26720 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu uygulama yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Dolayısıyla, jeotermal akışkanın işletilmesi durumunda üretilecek akışkan yararlanıldıktan sonra alındığı derinliklere ve jeotermal sistemin beslenme yönünden geri verilmelidir. Böylece jeotermal sistemin daha uzun ömürlü ve verimli olması sağlanarak sürdürölebilir işletilebilirlik devam eder. Ayrıca, tuz içeren jeotermal akışkanın çevreye zarar vermesinin önlenmesi amacıyla da re-enjeksiyon zorunludur.

Li-B arasında yüksek korelasyon vardır. EC-Cl arasında da düzgün bir korelasyon bulunmaktadır.

İzotop verileri yöre sularının meteorik kökenli olduğunu gösterir. Tritiyum değerleri çoğunlukla 0-5 TU (trityum birimi) arasında olup, yaklaşık 40 yıl önceki yağış sularının egemen olduğu suların özelliklerini yansıtmaktadır. Hiç bir izotop değeri magmatik kökeni yansıtmamaktadır. En fazla <sup>18</sup>O zenginleşmesi AK-2 ( 213°C akışkan sıcaklığına sahiptir) ve KG-1 kuyusunda (183°C akışkan sıcaklığına sahiptir) bulunmaktadır. Alaşehir Ilıcası sularında zenginleşme görölmektedir.

38 (AK-2), 2 (Sazdere Ilıcası), 4 (AK-1), 3 (Alaşehir Ilıcası), 109 (Tariş karşıtı sıcak sondaj-57°C) sıcak ve mineralli sular ile 56 (Dadağlı sondajı) 76 ve 95 nolu soğuk sondaj sularının yeraltındaki kalış ve dolaşım sürelerinin uzun oldukları tahmin edilmektedir. Bu suların arasında beslenme alanı en derin olan AK-2 aynı zamanda en sıcak akışkana sahiptir. 109 nolu Tariş karşıtı sondaj ise en sığ ve en yüzeysel beslenmeleri yansıtmaktadır. Sarıkız Pınarı ve diğer mineral suların dolaşım

süreleri nispeten uzun ancak güncel yağış sularının karışımının etkisinde oldukları düşünülmektedir. Diğer tüm soğuk sular ise hem sığ beslenmeli hem de yeraltında kalış ve dolaşım süresi yönünden genç suları yansıtmaktadır.

İnceleme alanındaki yüksek Cl ve düşük trityum içeriğine sahip soğuk su kaynakları sıcak sulardan etkilenmektedir. 3 numaralı Alaşehir Ilıcası, 87 numaralı Sarıkız Pınarı gibi birçok su örneğinin farklı zamanlardaki örneklemeleri yaklaşık birbirine yakın Cl düzeylerine sahipken farklı trityum değerleri göstermektedir. Bu durum farklı zamanlarda farklı oranlarda güncel yağış sularından etkilendiklerini göstermektedir.

Grabenin orta kesiminde alüvyon ovanın gidiş yönünde kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu ana faylara yakın olan topraklarda ve sularda genel bir derişim artışından söz edilebilir. Bu ana fay hatları boyunca civa yatakları gibi eski hidrotermal maden yataklarının olması ve jeotermal sistemlerin yine bu hat boyunca uzanması bu zenginleşmenin ana nedenlerinden birisidir. Basınçlı jeotermal sistemlere bağlı olarak faylar ya da derin sondajlar ile sığ soğuk su akiferine sızan jeotermal suyun kirlilik sunan elementlerin, tarımsal sulama ya da doğal çıkışlar ile toprağı zenginleştirmesinden kaynaklanmaktadır. 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. Tortu örneklerindeki arsenik, bor ve antimon kirliliğine koşut olarak, derelerde bazı noktalarda tortu ile birlikte alınan su örneklerinin de aynı elementlerce zengin olması sonuçları destekler niteliktedir. Ayrıca kirlilik parametreleri yüksek olan toprakların civarındaki yeraltı sularının B, As, Li ve Sb bakımından zengin olması da bunu gösterir. Toprak jeokimyası haritalarında gözlenen yüksek derişimli bölgeler, çoğunlukla bu su kimyası EC haritasında da görülmektedir.

Özellikle Arsenik, Bor, Sodyum, Sülfat ve Antimon gibi elementler bakımından toprak kirliliğinin fazla olduğu lokasyonlarda, yeraltı suyundaki bazı verilerde (EC gibi) artış gözlemlenmiştir. Dolayısıyla toprak kirlenmesinin, basınçlı jeotermal

akiferdeki suların toprağın bu iyonlar bakımından zenginleştirmesiyle olduğu söylenebilir. Topraktaki Fosfat kirliliği sebebi ise daha çok tarımda suni gübre kullanımındır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre başlıca öneriler;

Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu'na göre, jeotermal kaynakların koruma alanları belirlenerek jeotermal sistemin bozulmasını, kirlenmesini ve sürdürülebilir özelliğinin kaybolmasını engelleyecek tedbirler ilgili jeotermal uzmanlarınca belirlenerek alınmalıdır. Bu kapsamda; Alaşehir jeotermal sistemi genel olarak incelenmiş olup mevcut kuyular ve bunlardan üretilen veriler kullanılmıştır. Jeotermal sistemde termal kuyu açarken mutlaka her kuyu için ayrıntılı jeofizik çalışmalar (rezistivite-sismik), SP-Gamma Ray ve termal gradyant logları alınmalıdır. Jeofizik çalışmalarla birlikte ayrıntılı jeolojik çalışmalar da yapılmalı, jeotermal sondaj yapılacak bölgede açılacak kuyu yerini kesen jeolojik kesitler çizilmeli ve ayrıca ayrıntılı tektonik çalışmalar da yapılmalıdır.

Jeotermal kuyularda üretim testleri, basınç testleri ayrıca üretilecek akışkandan buhar ve gaz fazında ayrı ayrı örnekler alınarak su kimyası ve izotop kimyası için spesifik analizler yapılmalı ve ayrıntılı değerlendirilmelidir. Özellikle sulardaki  $^{14}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{34}\text{S}$ ,  $^{10}\text{B}$  izotopları ile gazlardaki  $^3\text{He}$  izotoplarının araştırılması Alaşehir sıcak ve soğuk su sistemlerinin daha detaylı incelenmesine olanak tanıyacaktır.

## KAYNAKÇA

- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A. ve Tekin, Z. (2005). *Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü.
- Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2007). *Geochemistry, groundwater and pollution* (3rd ed.). Great Britain: A. A. Balkema Publishers, Leiden, The Netherlands a member of Taylor & Francis Group plc.
- Appelo, C. A. J., & Postma, D. (1993). *Geochemistry, groundwater pollution* p. 536. Rotterdam: Balkema.
- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E., & Svavarsson, H. (1983). The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica, Acta*, 47, 567-577.
- Arnórsson, S. (2000). Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use: sampling methods, data handling, interpretation. *International Atomic Energy Agency*, Vienna, STI/PUB/1086,351.
- Arpat, E., & Bingöl, E. (1969). The rift system of western Turkey; Thoughts on its developments. *Bulletin of Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 73, 1-9.
- Bedient, P. B., Rifai, H. S., & Newell. C. J. (1994). *Ground Water Contamination*. Prentice-Hall International (UK) Limited, London: A. Simon & Schuster Company Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- Bjarnason, J. O. (1994). *The Speciation Program WATCH, version 2.1*. Orkustofnun, Reykjavik, Iceland (7pp).

- Bozkurt, E. (2000). Timing of extension on the Büyük Menderes graben, western Turkey, and its tectonic implications. In: Bozkurt, E., Winchester, J. A. and Piper, J.D.A. (eds), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. Geological Society, London, Special Publications, 173, 385-403.*
- Bozkurt, E. (2001a). Neotectonics of Turkey- a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Bozkurt, E. (2001b). Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, western Anolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 728-44.
- Bozkurt, E., & Sözbilir, H. (2004). Tektonik evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey. *Geological Magazine*, 141(1), 63-79.
- Bozkurt, E., & Sözbilir, H. (2006). Evolution of the Large-scale Active Manisa Fault, Southwest Turkey: Implications on Fault Development and Regional Tectonics. *Geodinamica Acta*, 19/6, 427-453.
- Buat-Menard, P., & Chesselet, R. ( 1979). Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth and Planet Sci Lett*, 42, 398-411.
- Calmbach, L. (1995). *Hydrowin-95 Computer Programme, Version 3.0*. Institut de Minéralogie BFSH2, 1015 Lausanne.
- Calmbach, L. (1997). *AquaChem Computer Code-Version 3.7.42, waterloo hydrogeologic*. Ontario, Canada, N2L 3L3.
- Canik, B. (1998). *Hidrojeoloji*. Ankara.

- Chon, H. T., Cho, C. H., Kim, K. W., & Moon, H. S. (1996). The occurrence and dispersion of 453 potentially toxic elements in areas covered with black shales and slates in Korea. *Applied Geochemistry*, 11, 69-76.
- Cohen, H. A., Dart, C. J., Akyüz, H. S., & Barka, A. A. (1995). Syn- rift sedimentation and structural development of Gediz and Büyük Menderes Graben, western Turkey. *Journal of Geological Society*, London. 152, 629-38.
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-B.
- Çakır, Z. (1999). Along-Strike Discontinuity of Active Normal Faults and Its Influence on Quaternary Travertine Deposition; Examples From Western Turkey. *Tr. J. Of Earth Sciences*, 9, 67-80.
- Çiftçi, N. B., & Bozkurt. E. (2009). Structural evolution of the Gediz Graben, SW Turkey: temporal and spatial variation of the graben basin. *Basin Research*. 10. 1111/j. 1365-2117.
- Dora, O. Ö., Kun, N., & Candan, O. (1990). Metamorphic history and geotectonic evolution of the Menderes Massif . *International Earth Sciences Congress On Aegean Regions*, İzmir. 2, 102-115.
- DSİ. (2005). *Gediz Havzası, Alaşehir Bölümü çevresi yeraltı suyu seviye ölçümleri, yerüstü suyu ölçümleri* (basılmamış ölçüm kayıtları).
- Ediger, V., Batı, Z., & Yazman, M. (1996). Palynology of possible hydrocarbon source rocks of the Alaşehir-Turgutlu area in the Gediz Graben (western Anatolia). *Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 8, 94-112.
- Emre, T. (1992a). Gediz Grabeni'nin (Salihli-Alaşehir arası) tektoniği: 7. *Mühendislik Haftası*, Isparta, Tebliğ özetleri, 33.



- Emre, T. (1992b). Gediz Grabeni'nin (Salihli Alaşehir arası) jeolojisi: 45. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Bildiri özleri, 60.
- Emre, T. (1995). Gediz Grabeni'nin Jeolojisi ve Tektoniği, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 171-185.
- Emre, T., & Sözbilir, H. (1995). Field evidence for metamorphic core complex, detachment faulting and accommodation faults in the Gediz and Büyük Menderes grabens (western Turkey). *International Earth Sciences Colloquim on the Aegean Region Proceedings* 1, 73-94.
- Emre, T. (1996). Gediz Grabeni'nin Tektonik Evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 39, 2.
- Evirgen, M. M. (1983). Ödemiş–Bayındır-Turgutlu-Salihli arasında kalan bölgenin (Menderes Masifi) metamorfizması hakkında ön sonuçlar. *IV. Ege Bölgesi Jeoloji Sempozyumu*, 169,176.
- Fetter, C.W. (1994). Applied Hydrogeology. *Third Edition University of Wisconsin-Oshkosh*. Mc Millian College Publishing Company, New York, 691pp.
- Filiz, Ş., Tarcan, G. ve Irmak, U. (1994). Gediz Havzası yeraltı sularında ki bor kirlenmesi (In Turkish). *TJK Bülteni*, 9, 483-491.
- Filiz, Ş., & Tarcan, G. (Eds). (1997). High boron content in the aquifer systems of the Gediz Basin. In: Pişkin Ö, Ergün M, Savaşcın MY, Tarcan G. *Proc International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region*, İzmir-Güllük-Turkey pp: II, 681-692.
- Ford, D.C., & Williams, P.W. (1989). *Karst geomorphology and hydrology*. Unwin Hyman Ltd., London, 601pp.

- Fouillac, C., & Michard, G. (1981). Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. *Geothermics*, v. 10, 55-70.
- Fournier, R. O. (1977a). A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. In : *Proceedings of the Symp. on Geoth. Energy, Cento Scientific Programme*, Ankara, 133-143.
- Fournier, R. O. (1977b). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. In: *Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy, Centro Scientific Programme*, Ankara, 199-210.
- Fournier, R. O. (1979a). A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Res. Council Trans.*, 3, 221-224.
- Fournier, R. O. (1979b). Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hot-spring systems. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 5, 1-16.
- Fournier, R.O., & Potter, R.W. (1979). Magnesium Correction to the Na-K-Ca Chemical Geothermometer. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, 1543-1550.
- Fournier, R. O., & Truesdell, A. H. (1973). An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1255-1275.
- Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater* Prentice Hall, Inc. Englewood Cliff, New Jersey 07632, 589p.
- Gaspar, E. (1987). *Diffusion in Natural Poros Media: Contaminant Transport: Sorbtion/Desorbtion and Dissolution inetics*. Boston, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.

- Gemici, Ü., & Tarcan, G. (2002). Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey and examples on their environmental impacts. *Environmental Geology*, 43, 87-98.
- Gemici, Ü., Tarcan, G., Somay, A. M., & Akar, T. (2009). Factors controlling the element distribution in farming soils and water around the abandoned Halıköy mercury mine (Beydağ, Turkey). *Applied Geochemistry*, 24, 1908-1917.
- Giggenbach, W. F., Gonantini, R., Jangi, B. L., & Truesdell, A. H. (1983). Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana. *Geothermics*, 12, 199-222.
- Giggenbach, W. F. (1988). Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochim. et Cosmochim Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W. F. (1991). *Chemical techniques in geothermal exploration*. In: D'Amore, F., coordinator), Application of geochemistry in geothermal reservoir development. UNITAR/UNDP publications, Rome, 119-143.
- Gökgöz, A. (1998). *Geochemistry of the Kizildere-Tekkehamam-Buldan-Pamukkale geothermal fields*, Turkey. UNU G.T.P., Orkustofnun, Reykjavik, Iceland. Reports 1998, 115-156.
- Helgeson, H. C., Kirkham, D. H., & Flower, G. C. (1981). Theoretical prediction of the behaviour of aqueous electrolytes at high pressures and temperatures: Calculation of activity coefficients, osmotic coefficients, and apparent molal and standard and relative partial molal properties to 600°C and 5 kb. *American Journal of Science*, 281, 1249-1516.

- Hetzl, R., Passchier, C. W., Ring, U., & Dora, O. Ö. (1995a). Bivergent extension in orogenic belts: The Menderes Massif (southwestern Turkey). *Geology*, 23, 455-58.
- Hetzl, R., Ring, U., Akal, C., & Troesch, M. (1995b). Miocene NNE- directed extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. *Journal of the Geological Society*, London, 152, 639-54.
- Hunt, M. T. (2001). Five lectures on environmental effects of geothermal utilization. *United Nations University Geothermal Training Programme 2000- Report* pp: 1-109.
- I.A.E.A. (Eds.) (1981). *Stable isotope hydrology, Deuterium ve oxygen- 18 in water cycle*. In: Gat, J.R., Gonfiantini, R., International Atomic Energy Agency Technical Report, No.210, Vienna, 339 pp.
- IAH. (1979). *Map of mineral and thermal water of Europe*. Scale 1:500.000. International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.
- İztan, H., & Yazman, M. (1990). Geology and hydrocarbon potential of the Alaşehir (Manisa) area, western Turkey. *Proceeding of International Earth Sciences Congres on Aegean regions*, London, 152, 639-54.
- Karahan, Ç., Bakraç, S., ve Dünya, H. (2003). Alaşehir-Kavaklıdere-Göbekli Jeotermal Enerji Araştırma Sondajı'nın (KG-1) Değerlendirmesi. *Sondaj Sempozyumu '03*.
- Kayabalı, K. (2003). *Yeraltı Suyu*. Ankara: Gazi Kitapevi.
- Kharaka, Y. K., Lico, M. S., & Law, L. M. (1982). Chemical geothermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California Basins. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 66, 558.

- Kharaka, Y. K., & Mariner, R. H. (1989). Chemical Geothermometers and their Application to formation waters from sedimentary basins. In: N.D. Näser & T.H. McCulloh (Eds.), *Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories*, Springer Verlag, 99-117.
- Kim, K. K., Kim, K. W., Kim, J.Y., Kim, I. S., Cheong, Y.W., & Min, J. S. (2001). Characteristics of tailings from the closed metal mines as potential contamination sources in South Korea. *Environmental Geology*, 41, 358-364.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., & Bozkurt, E. (1999). Evidence From The Gediz Graben For Episodic Two-Stage Extension In Western Turkey. *Journal of the Geological Society of London*, 156, 605-616.
- Lindal, B. (1973). Industrial and other applications of geothermal energy, In *Geothermal Energy: Review of Research and Development*, Paris, UNESCO, LC No. 72-97138, pp 135-148.
- Loska, K., Wiechula, D., & Korus, I. (2004). *Metal contamination of farming soils affected by industry*. *Environ. Int.* 30, 159–165.
- Margarita, R., Evin, J., Flandrin, J., & Paloc, H. (1970). *Contribution des mesures isotopiques a l'etude de la Fontaine de Vaucluse*: In "Isotopes in Hydrology, 1967, Proceed. Symp., I.A.E.A. Vienna, 333-348.
- Müller, P. (1979). Erfahrungen bei der mineraltrennung für radiometrische Altersbestimmungen. *Erzmetall*, 32/2, 232-263.
- Nishida, H., Miyai, M., Tada, F., & Suzuki, S. (1982). Computation of the index of pollution caused by heavy metals in river sediment. *Environment Pollution (series B)*. 4, 241-248.

- Parkhurst, D. L., & Appelo, C. A. J. (1999). *User's guide to PHREEQC (version 2)-A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations*: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, 312.
- Purvis, M., & Robertson, A. (2005). Sedimentation of the Neogene–Recent Alaşehir (Gediz) continental graben system used to test alternative tectonic models for western (Aegean) Turkey. *Sedimentary Geology*, 173, 373-408.
- Perkins, E. H., Gunter, W. D., & Solmineq, G. W. (1999). *User's Guide*. Alberta Research Council Inc., Edmonton, Alberta, Canada.
- Reed, M., & Spycher, N. (1984). Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 1479-1492.
- Resmi Gazete. (2001). *Kaplıcalar Yönetmeliği*. Tarih: 25.7.2001, Sayı: 24472.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, Agric. Handbook 60, U. S. Dept. Agric. Washington, D. C., 160.
- Seyitoğlu, G., & Scott, B. (1996). The age of the Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications. *Geological Magazine*, 139, 15-26.
- Seyitoğlu, G., Anderson, D., Nowell, G., & Scott, B.C. (1997). The evolution from Miocene potassic to Quaternary sodic magmatism in Western Turkey; Implication for enrichment processes in the lithospheric mantle. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 76, 127-147.

- Seyitoğlu, G., emen, İ., & Tekeli, O. (2000). Extensional folding in the Alaşehir (Gediz) Graben, western Turkey. *Journal of the Geological Society*, London, 157, 1097-1100.
- Seyitoğlu, G., Tekeli, O., emen, İ., Ően, Ő., & IŐık, V. (2002). The role of the flexural rotation/rolling hinge model in the tectonic evolution of the Alaşehir graben, western Turkey. *Geological Magazine*, 139, 15-26.
- Shacklette, H. T., & Boerngen, J. G. (1984). *Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States*. USGS Professional paper, 1270.
- Sözbilir, H. (2001). Extensional Tectonics and the Geometry of Related Macroscopic Structures: Field Evidence from the Gediz Detachment, Western Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 10, 51-67.
- Soğuoğlu, A. (1994). *Kuvâ-yı Millîye Döneminde Kuzeybatı Anadolu (1919-1921)*, Ankara.
- Sponza, D., & Karaoğlu, N. (2002). Environmental geochemistry and pollution studies of Aliağa 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. (1991a). *Doğal Suların Jeokimyası*. Beyler-İzmir: Reform Matbaası, Pp:548.
- Şahinci, A. (1991b). *Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri*. Beyler-İzmir: Reform Matbaası, No.37/4, Pp:247.

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

Tarcan, G. (Eds.). (2003). *Jeotermal Su Kimyası*. Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar 11-21 Haziran 2002 Yaz Okulu Ders Kitabı Savaşçın, M.Y., Güleç, N., Şimşek, Ş., Parlaktuna, M., Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, No:306, Pp:198-247.

Tarcan, G., & Gemici, Ü. (2004). İzmir jeotermal alanlarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi ve kabuklaşma özelliklerinin değerlendirilmesi. *DEÜ Bilimsel Araştırmalar Projesi*, No: 02. KB. FEN.072, Mart-2004 İzmir, 72, 136.

Tarcan, G., Gemici, Ü., & Aksoy, N. (2004). İzmir İli sıcak ve mineralli kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi. *TÜBİTAK project*, YDABAG-102Y039, 1-126, 105 EK s.

Tarcan, G. (2005). Mineral saturation and scaling tendencies of waters discharged from wells (>150°C) in geothermal areas of Turkey. *Journal of volcanology and geothermal research*, 142, 263-283.

Tarcan, G., Gemici, Ü., & Aksoy, N. (2005). Hydrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey. *Environmental Geology*, 47, 523-534.

Taylor, S. R., & Mclennan, S. M. (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33, 241-265.

TPAO yayınlanmamış raporlar.




- Truesdell, A. H. (1976). *Summary of section III geochemical techniques in exploration. Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*. San Francisco, 1975, Vol. 1, Washington D. C., U. S. Government Printing Office.
- TS-266. (1997). *Sular-İçme ve kullanma suları*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, ICS 13. 060, 25s.
- TS-266. (2005). *Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular* (Water intended for human consumption). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10s.
- Turkecion, K. K., & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 72, 175-192.
- WHO. (1996). *Health criteria and other supporting information second ed. Guidelines for drinking water quality*, vol. 2, World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Usepa. (1994). *Drinking Water Regulations and Health Advisories*, 202-260-7571, Washington, DC, U.S. Environmental Protection Agency.
- Xu, M., & Eckstein, Y. (1995). Use of weighted least-squares method in evaluation of the relationship between dispersivity and field scale. *Ground Water*, 33, no.3/6, 905-08.
- Yılmaz, H. (1986). Yeşilyurt (Alaşehir) sahasındaki uranyum belirtilerinin kökeni ve bunların depolanma sonrası alterasyonlarla tahribi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, Turkey, c. 29, 43-52.
- Yılmaz, Y., Genç, S. C., Gürer, O. F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., et al. (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.


Yüksel, B., & Kirami, Ö. (1999). *Evapo-2 Bilgisayar yazılımı*.



Ek: 2 Meteoroloji yağış verileri.

 ÇEVRE ve ORMAN BAKANLIĞI DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ												
Aylık Ortalama Yağış (mm)												
İSTASYON ADI: ALAŞEHİR / 17797												
YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1967	74,6	29	25,6	42,7	10,9	17,9	4,1	0	5	11,8	28,2	110,9
1968	215,3	67,4	114,4	15,7	2,1	27,4		16,1	15,5	26,3	57,5	104,4
1969	83,6	72,1	39,8	42,4	75,3	5,6	24,2		0,2	10,5	24,1	160
1970	59	116,8	36,7	15,8	4,2	14,5	30,5		2	49,6	39,4	48,6
1971	67,9	76,9	98,3	20	13,6	14,3	15	14,9	3,5	34,7	69,4	63,8
1972	23,9	53	20,9	25,5	24,6	67,4	4,2	18,9	7,8	96,4	21,8	0,1
1973	27,6	98,3	22,7	24,6	31,9	34,7	2,1		12,5	33	27,5	62,4
1974	17,2	183,6	55,9	27,5	37,9	5,2		19,2	35,7	46,2	33,8	44,9
1975	39	39,7	64	36	55,6	49		11	5,7	20,5		
1976										102,6	19,5	105,8
1977	33,6	33,9	33,9	66,7	4,3	10	0		8,2	51,4	42,1	70,4
1978	139,2	85,1	96,9	75,8	40,9	21,8			40,5	124,7	37,2	57,2
1979	198,8	43,5	44,7	17,1	56,4	10,5	0,7	3,3		43,3	116,5	75,7
1980	129,6									30,2	48,6	143,4
1981	232	73,6	60,8	13,1	30							
1982		33,1		33,4	34,3	13,7	5,8		7,3	57	10,8	49,8
1983	69,8	65,9	41,4	31,6	25,5	32,4	45	0	7,7	18,3	128,7	51,3
1984	61,8	85,2	71	60	0		33,3	8,6			70,5	17,8
1985	105,3	63,3	58,5	5,2	42,5	3,7			0,8	13,9	60,3	21,2
1986	87,9	75,3	14	27,6	28,5	30		1,3	17,2	24,8	5,5	99,8
1988	11	72	89,5	34,7	20,3	6,8		10,2	2,4	42,2	83	54,8
1989	2,2	12	29,2		37,3	11,5	4,2		0	57,3	147	73
1990	2	40,7	11	30,6	7,7	14,6	1,3	29	15,3	17	18,9	124
1991	29,4	34,2	11,7	43,4	58,8		1,3	15,2		34,5	26,5	113,9
1992		5,2	61,5	26,1	5,9	25,1	7,3	5,2		32,7	48,5	54,7
1994	26,4	36,6	92,8	32,4	32,6	29	18	3,8	24,5	42,3	91,4	44
1995	71,6	13,5	86,9	60	31,8	5,2	4,9	8	3,5	19,8	80,1	44,1
1996	15,3	112	35,9	57,3	17,1	5,3	10,6		37,9	21,2	40,6	109,1
1997	43,1	15,4	46,3	127,5	17,2		4,4	43,8	3,7	70	26,1	91,3
1998	82,9	51,1	83,6	41,8	127	5,2	4,6		38,9	40,6	50,3	92,5
1999	66,5	127	47,8	10,6	18,3	15,6	53,2		2	17,4	29,8	34,6
2000	45,1	103,1	92,1	115	14,4	3,5	1,3	7,5		14,8	7,5	34,2
2001	8,1	49,2	24,9	56,2	49,4		11,8	0,3	1,4	2,4	76,2	93,2
2002	28,5	26,8	57,1	65,5	10,2		15		56,2	39,1	44,1	
2003	47	163,8	40,7	82,5	54	20,7		1	3,1	30,5	40,9	81,9
2004	129,5	38,9	27,7	39,9	22,7	7,3		1,2		4,3		

Ek: 2 devam; Meteoroloji sıcaklık verileri.

												
T.C.												
ÇEVRE ve ORMAN BAKANLIĞI												
DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ												
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)												
İSTASYON ADI: ALAŞEHİR / 17797												
YIL/AY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1967	5,9	5,1	9,6	15,1	19,9	24,3	28	28,1	22,9	17,7	11,2	8,7
1968	5,2	8,6	9,4	17,5	24	25	28,2	26	22,6	16	12,6	8,5
1969	5,2	9,5	10,2	12,4	22,2	26,1	25,6	27,2	24,1	16,4	13,3	10,2
1970	8,4	10	11,8	17,6	19,8	25,8	28,2	27,2	22,5	15,3	12	7,1
1971	10,1	7,3	10,9	14,4	21,7	25,6	26,7	27,1	22,5	14,9	11,9	6,2
1972	4,9	6,9	10,7	17,8	21,5	25,7	27,7	26,9	22,8	15,2	11,2	4,6
1973	5,4	9,6	10	14,8	22,1	24,4	28,5	25,9	23,9	17,5	10,1	8,8
1974	2,7	8,4	11,1	13,9	20,2	25,9	27,7	25,8	22,6	19,9	11,3	6
1975	5,3	5,6	12,6	16,6	20	24,8	27,9	26,6	23,5	17,5		
1976									22,4	17,1	11,4	7,7
1977	6,5	10,8	10	14,6	21,5	25,5	27,8	27,9	21,5	13,3	14,1	6,6
1978	6,6	10	11,2	14,4	20,5	25,3	27,4	25,4	21	17,2	9,5	8,7
1979	7,6	9,4	12,2	15	19,8	23,8	26,8	26	24,2	16,4	12,9	7,4
1980	6,3						27,9			17	13,1	7,4
1981	6,6	8,4	11,8	16,1	19,5							
1982		6,1		12,5	18	23,7	24,1	26,4	24,4	16,9	9,4	8,1
1983	3,4	6,1	10,6	17,3	21,7	24,6	28	26	22,6	15,7	10,9	9
1984	7,9	9	9,6	12,4	21,3	24,4	27,7	24,3	23,8	18,3	12,5	7,6
1985	9,4	4	10,6	16,1	21,7	24,7	27,5	27,8	22,8	15,7	14,7	8,9
1986	9,6	9,6	10,8	18,1	19,4	25,8	28,5	28,6	24,1	17,1	10,7	7,4
1988	8	7,9	9,5	15,1	20,5	25,6	30,6	27,8	22,9	16,2	9,5	8,3
1989	4,2	7,8	12,4	19,3	18,8	23,6	26,8	28	22,5	15,5	10,5	7,3
1990	4,2	7	13,3	15,8	19,6	24,3	28,3	26,3	21,4	18,6	15,5	9,7
1991	6,6	8,1	12,6	14,3	17,5	25,4	27,2	26,4	23,1	18	13,2	4,3
1992	4,2	4,5	9,5	15,2	18,9	24,2	26	28,4	21,8	21,1	11,7	4,8
1994	9,4	8	10,9	17	20,8	24,5	27,5	27,9	26,1	19,9	10,4	6,9
1995	8,4	10,3	10,9	14,2	20,7	27,2	28	27,1	23,5	16,4	9,3	9,7
1996	5,9	9	8,3	13,1	22,3	25,2	27,6	27	21	16	13,9	11,1
1997	8,6	7	8	10,8	21,7	25,7	28,3	24,9	20,8	17,2	13,8	9,2
1998	7,2	9,6	8,5	17,3	19,2	25,1	28,9	28,6	22,9	19,2	13,8	8,2
1999	8,5	8,3	11,7	16,5	21,8	25,3	28,4	28,4	23,9	19,1	12,8	11,1
2000	3,4	6,6	9,8	16,8	20,4	26,2	29,5	27,3	24	17,9	15,8	8,5
2001	9,2	9,3	16,7	16,5	20,1	26,8	28,9	28,3	24,7	19,1	12,1	8
2002	5,4	11,8	13,6	15,1	21,7	27,1	28,9	28,2	23	18,3	12,9	6,9
2003	9,9	4	8,2	12,8	22,5	26,6	28,8	29,2	23	19,5	12,5	7,7
2004	5,7	7,8	11,6	15,6	20	25,3	28,2	26,2	23,1	19,2		

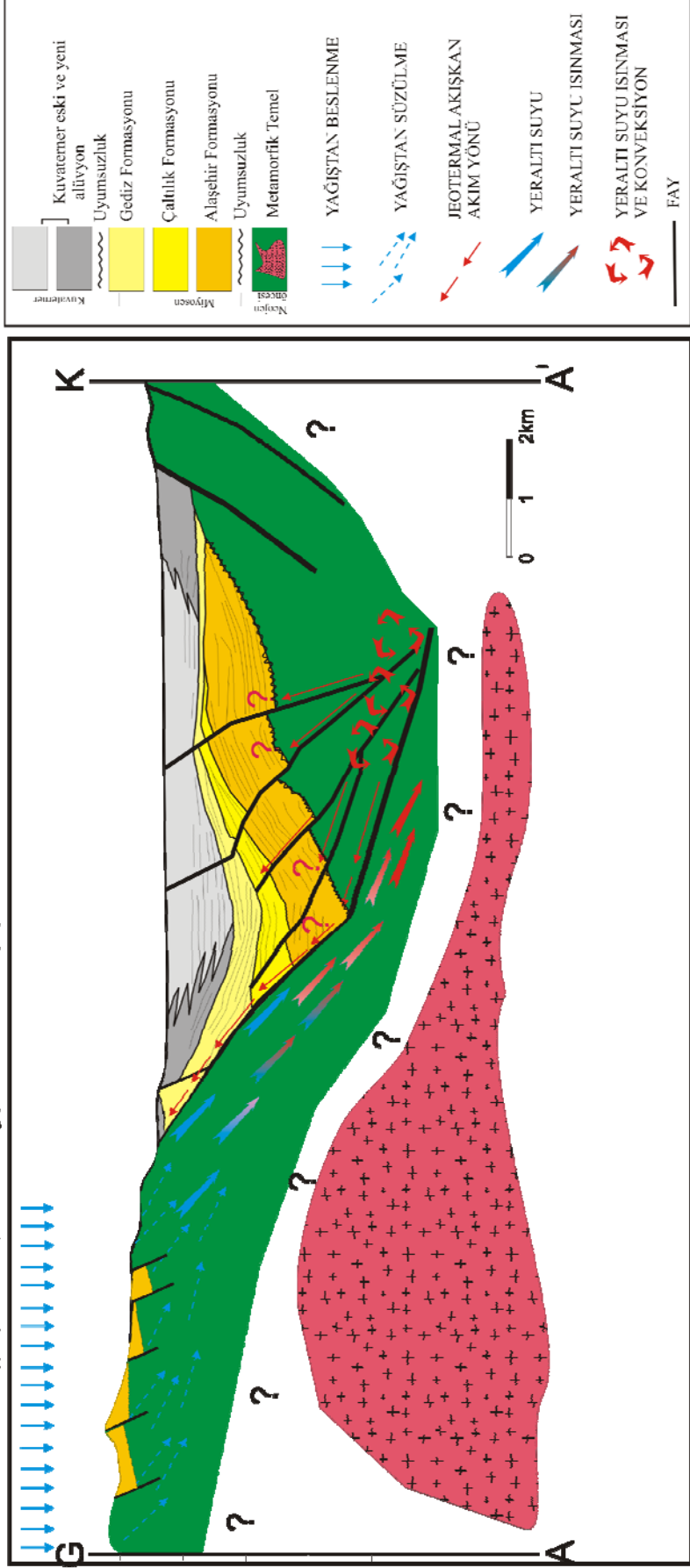
Ek: 3 Akım gözlem istasyonu verileri.

5-53	Zeytinçayı	Osmaniye-Alaşehir							yağış alanı:	31.7km <sup>2</sup>			
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Yıllık toplam(*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yıl)
2003	0,083	0,169	0,389	2,22	2,8	2,09	3,56	0,616	0,123	0,006	0,002	0	12,058
2004	0,008	0,08	0,274	10,1	3,1	1,03	0,424	0,227	0,021	0	0	0	15,26
2005	0	0	0,034	0,042	0,393	2,63	1,05	0,291	0,052	0	0	0	4,49
2006	0	0,481	0,371	1,25	7,08	3,41	1,29	0,375	0,081	0,127	0	0	14,47
2007	0,003	0,043	0,08	0,28	0,399	0,385	0,314	0,051	0	0	0	0	1,56
5-48	Gediz havzası değirmen doğanlar								yağış alanı:	41.8km <sup>2</sup>			
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
2001	0,08	0,09	0,14	0,24	0,57	0,84	1,02	0,99	0,11	0,00	0,00	0,06	4,13
2002	0	0,073	2,57	3,18	2,07	7,43	9,4	2,12	1,27	0,163	0	0,123	28,4
2003	0,715	2,64	1,03	3,64	5,89	1,34	4,99	1,9	0,327	0,123	0	0	22,6
2004	0,146	0,57	1,25	3,15	3,2	2,83	1,71	1,01	0,114	0,006	0	0	13,99
2005	0	0,157	0,442	1,22	3,05	5,8	2,84	0,884	0,284	0,056	0	0	14,83
2006	0	2,98	1,31	3,59	10,1	3,59	0,796	0,641	0,092	0	0	0	23,1
2007	0,163	0,787	0,163	0,535	0,643	0,919	0,537	0,119	0,004	0	0	0	3,87
5-52	Salihli Yenipazar								yağış alanı:	15.5km <sup>2</sup>			
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
2001	0,017	0,19	0,261	0,281	0,397	0,666	1,18	0,774	0,054	0	0	0	3,82
2002	0	0,128	3,52	1,44	0,834	2,01	2,12	0,842	0,22	0,001	0	0,061	11,18
2003	0,363	0,337	0,645	1,18	1,85	0,495	2	1,33	0,078	0,004	0	0	8,28
2004	0,015	0,192	0,594	1,98	1,8	1,81	1,12	0,714	0,066	0,002	0	0	8,29
2005	0	0,06	0,053	0,285	1,1	2,11	1,4	0,625	0,12	0,008	0	0	5,71
2006	0	0,654	1,28	2,38	4,07	3,85	1,94	0,642	0,249	0	0	0	15,07
2007	0,024	0,072	0,218	0,083	0,411	0,375	0,361	0,006	0	0	0	0	1,55

Ek: 3'e devam;

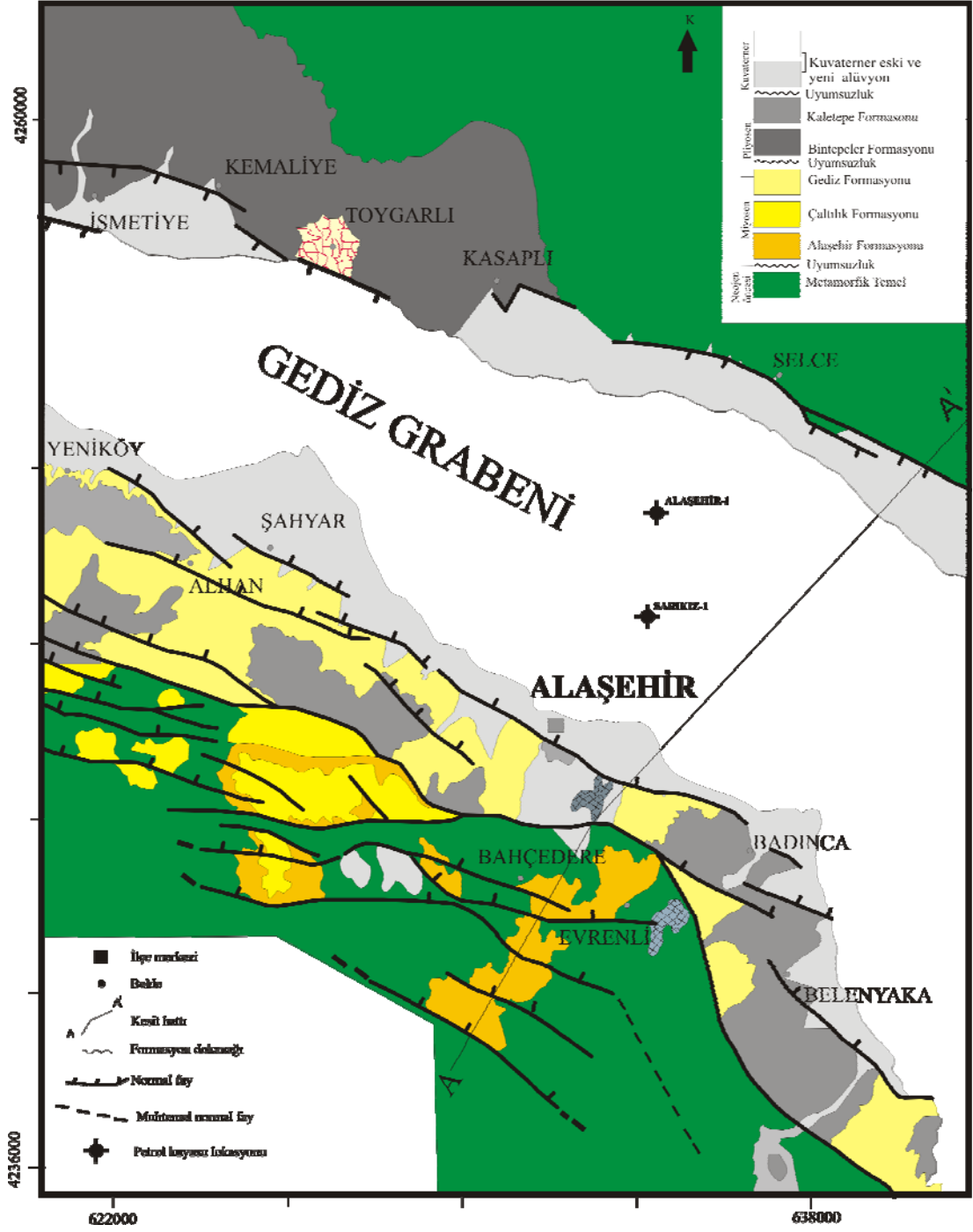
5-56	Kavaklıdere-Dereköy							yağış alanı:		98,65km <sup>2</sup>			
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Yıllık toplam (*10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /yıl)
2003	1,87	1,39	2,55	7,53	6,5	8,75	17,5	4,72	2,43	0,541	0,396	0,363	54,54
2004	0,576	1,05	2,28	8,15	6,51	5,01	2,28	2,13	1,08	0,374	0,315	0,257	30,01
2005	0,316	0,499	0,977	1,62	4,46	8,01	3,19	2,53	1,53	0,753	0,428	0,292	24,6
2006	0,376	3,95	8,66	7,25	13,2	12,6	4,73	1,78	1,13	1,45	0,249	0,254	55,63
2007	0,621	4,75	0,685	3,55	2,82	1,64	1,49	0,524	0,259	0,134	0,134	0,142	16,75
2008	0,321	1,72	2,64	1,84	0,93	3,46	6,77	1,91	3,1	0,273	0,208	0,187	23,36
5-31	Salihli-Ankara yolu 3 km den solda Alaşehir Çayı Taytan köprüsünün							yağış alanı:		2513km <sup>2</sup>			
	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	
1981						133	50,7	24,6	15,6	7,94	4,76	3,97	240,57
1982	5,06	21,4	142	44,1	21,4	21,1	24,4	20	7,55	2,15	2,05	2,95	314,16
1983	6,16	3,14	7,81	16,7	24,7	32	31,8	5,72	6,83	5,73	7,9	6,65	155,14
1984	3,87	13,2	21,8	34,6	100	71,5	47,8	16,6	5,61	5,72	8,38	5,74	334,82
1985	2,87	4,33	4,67	37,8	15,7	12,1	11,9	5,67	4,73	3,16	3,43	4,01	110,37
1986	2,78	4,8	5,15	28,8	34	16	6,28	3,48	3,38	2,08	2,26	3,07	112,08
1987	2,09	2,29	10,4	67,2	18,5	15,1	17,6	9,91	3,97	3,2	2,61	2,92	155,79
1988	2,238	4,044	10,32	7,923	12,98	33,96	13,57	3,783	1,88	2,309	1,965	1,414	96,386
1989	1,97	7,96	29,9	5,74	2,37	3,27	0,915	0,851	0,132	0,632	0,156	0,049	53,945
1990	0,698	16,4	12,2	4,33	5,03	4,75	5,05	1,1	0,415	0,59	0,593	0,501	51,657
1991	0,669	1,47	30,1	3,99	4,8	2,28	4,07	3,72	1,02	0,278	1,87	0,059	54,326
1992	0,038	0,166	5,75	1,42	0,816	6,45	13,6	0,523	1,07	1,11	0,035	0,026	31,004
1993	0,877	2,48	2,45	1,31	7,96	17,9	11,2	5,32	0,312	0,087	0,109	0,123	50,128
1994	0,169	0,704	6,47	2,17	1,83	4,43	3,81	1,24	0,328	0,233	0,089	0,375	21,848
1996	0,409	1,12	7,31	2,32	50,5	12,3	15,6	2,46	0,663	0,403	0,525	0,661	94,271
1997	0,343	1,59	19,2	21,2	1,26	2,61	45,1	3,04	0,34	0,497	1,09	0,663	96,933
2000	0,993	1,02	1,48	1,55	8,05	11,4	12,3	4,9	1,57	1,73	2,23	2,13	49,353

Ek: 4 Jeotermal model (Çiftçi&Bozkurt, 2009'dan değiştirilerek hazırlanmıştır).

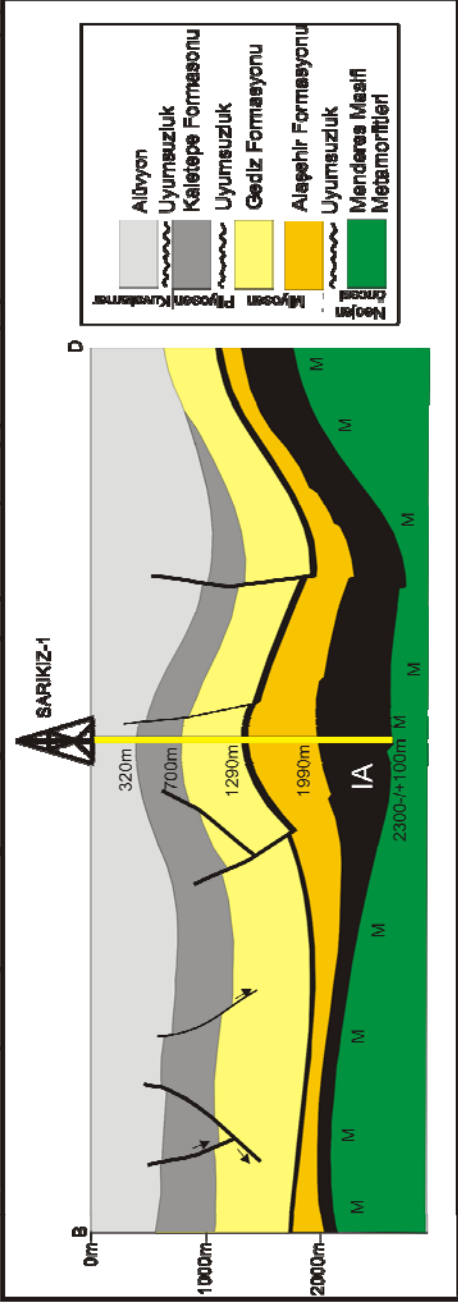




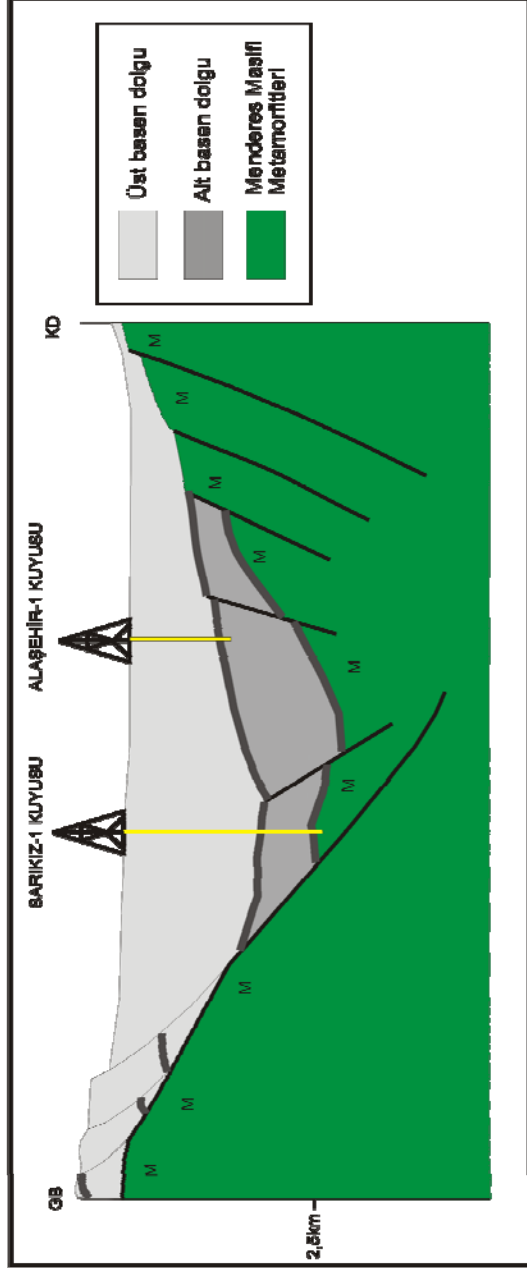
Ek: 4 devam; Gediz Grabeni ve Alaşehir çevresinin jeoloji haritası (Çiftçi & Bozkurt, 2009'dan alınmıştır).



Ek: 4 devam: Sarıkız-1 ve Alaşehir-1 kuyularının kestiği birimleri gösteren enine jeolojik kesitler (TPAO yayınlanmamış raporlardan derlenerek düzenlenmiştir).

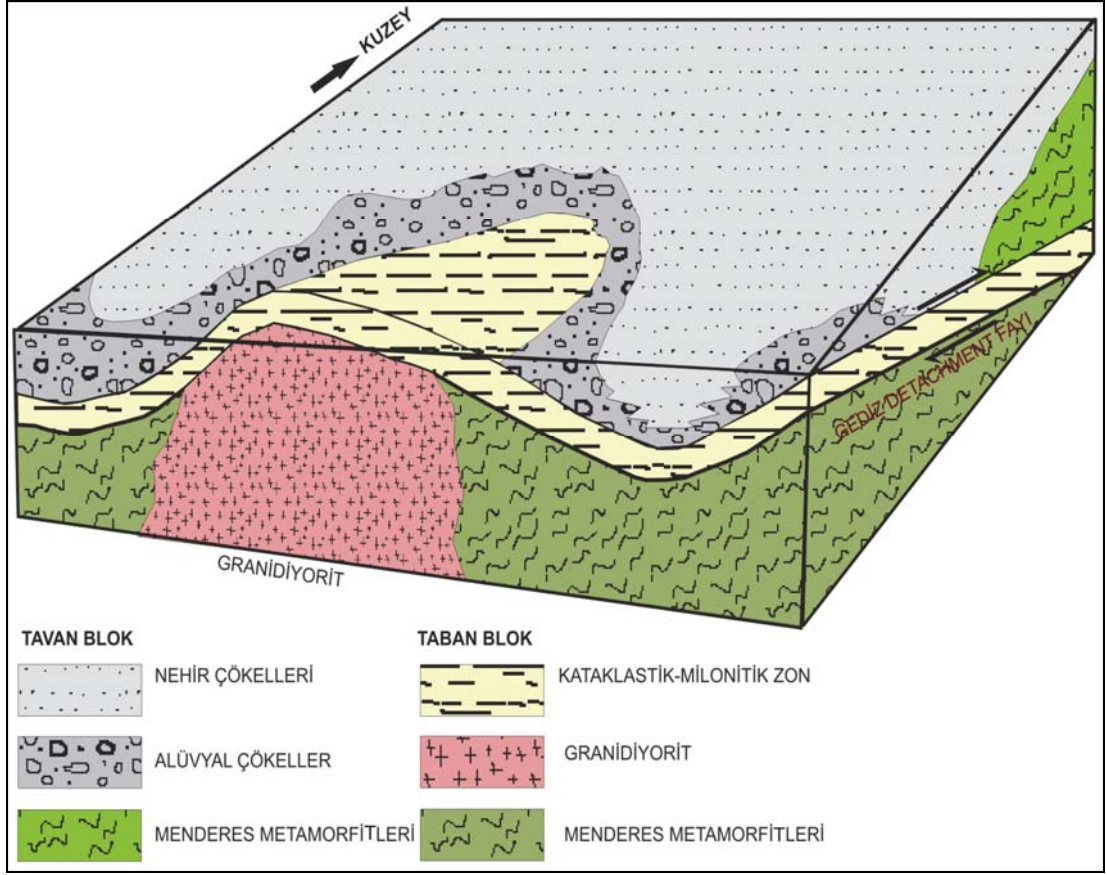


Sarıkız kesitinin şematik şekli

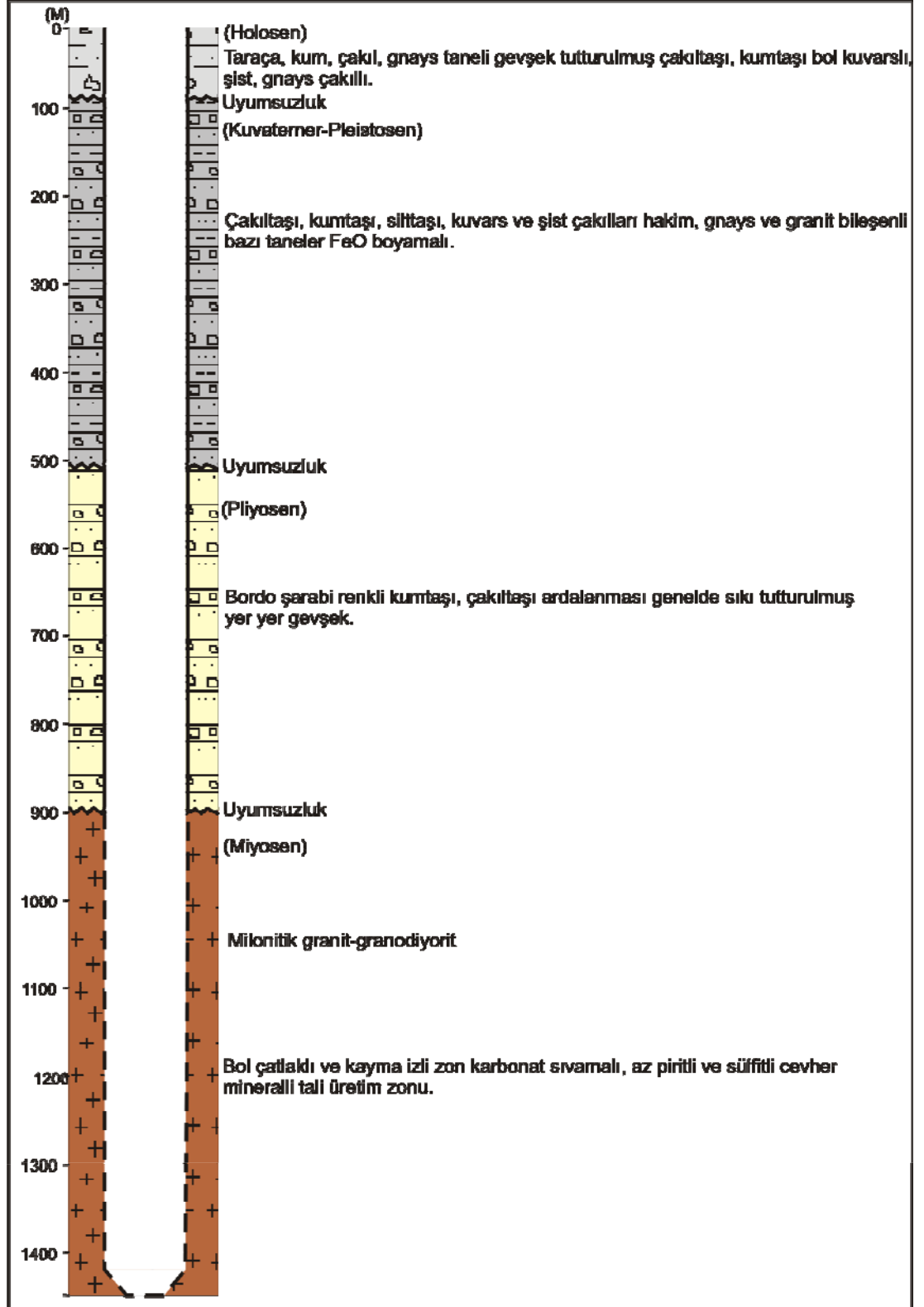


Alaşehir basenini gösteren şematik kesit

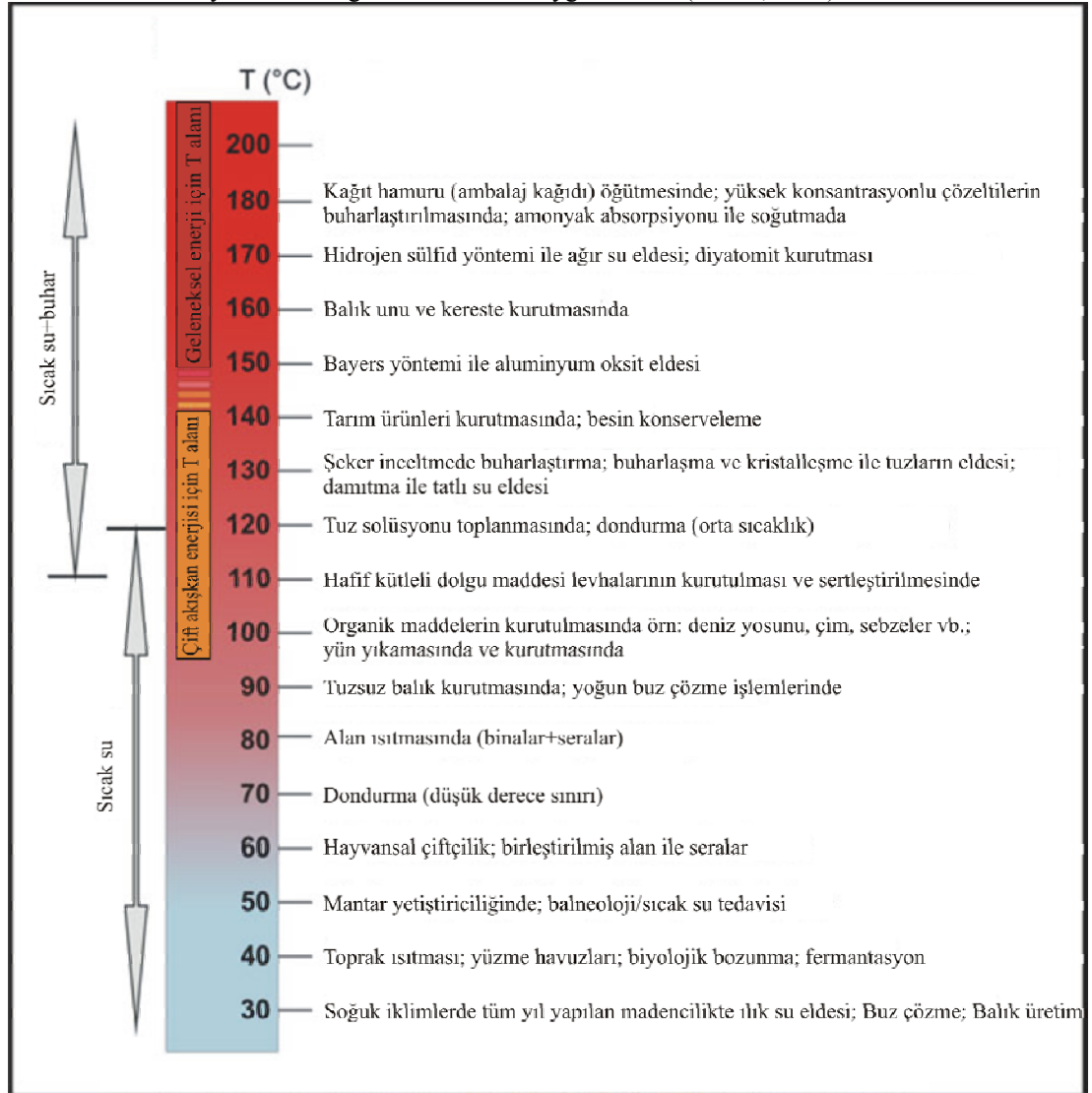
Ek: 4 devam; Gediz havzasına ait blok diyagram (Sözbilir, 2001).



Ek: 5 Alaşehir-Kavaldere-Göbekli KG-1 kuyusu litoloji ve kuyu donanımı (Karahan ve diğ., 2004'den alınmıştır).



Ek: 6 Jeotermal Kaynakların Doğrudan Kullanım Uygulamaları (Lindal, 1973).



Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Ek: 7 Watch 2004 hesaplamaları

2 horzumsazdere

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg.C	6.58/ 31.5	Gas (volume %)		Reference
temperature	deg. C : 0.0	(Arbitrary)		
C02	1848.00	C02	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure	bar abs. : 1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy	kJ/kg : NaN	(Calculated)		
B	110.5000	H2	0.00	Discharge
	kg/s : 0.0			
Si02	181.70	O2	0.00	Steam fraction
at collection	: 0.0000			
Na	715.00	CH4	0.00	
K	66.90	N2	0.00	Measured
temperature	deg. C : 31.5			
Mg	65.300			
Ca	116.60	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	169.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				
S04	25.00	Total steam (mg/kg)		C02
0.00				
Al	0.0570	C02	0.00	H2S
0.00				
Fe	0.0000	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00				

Ionic strength = 0.04282

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.04306210 Anions (mol. eq.) = 0.03269486  
Difference (%) = 27.37

Liquid phase components (mg/kg)		Vapor phase (mg/kg)			
Gas pressures (bar-abs.)					
B	110.5000	C02	1848.00	C02	0.00
C02	0.180E+00				
Si02	181.70	H2S	0.00	H2S	0.00
H2S	0.000E+00				
Na	715.00	NH3	0.00	NH3	0.00
NH3	0.000E+00				
K	66.90	H2	0.00	H2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	65.300	O2	0.00	O2	0.00
O2	0.000E+00				
Ca	116.60	CH4	0.00	CH4	0.00
CH4	0.000E+00				
F	0.000	N2	0.00	N2	0.00
N2	0.000E+00				
Cl	169.00				
H20	0.611E-02				
S04	25.00				
Total	0.186E+00				
Al	0.0570				

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Fe 0.0000  
TDS 0.00 Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.04351  
1000/T (Kelvin) = 3.66  
Ionic balance : Cations (mol.eq.) = 0.04341427 Anions (mol.eq.) = 0.03304706  
Difference (%) = 27.12

Oxidation potential (volts) : Eh H2S= 99.999 Eh CH4= 99.999 Eh H2= 99.999 Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)  
Quartz 174.0 (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
Chalcedony 151.4 (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
Na/K 194.4 (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

2

H+	0.857	K+	0.815	
FeSO4+	0.832			
OH-	0.819	Ca++	0.501	
FeCl ++	0.484			
H3Si O4-	0.824	Mg++	0.532	
FeCl 2+	0.832			
H2Si O4--	0.490	CaHCO3+	0.839	
FeCl 4-	0.824			
H2BO3-	0.810	MgHCO3+	0.824	FeCl +
	0.824			
HCO3-	0.824	CaOH+	0.839	Al +++
	0.257			
CO3--	0.475	MgOH+	0.842	
Al OH++	0.490			
HS-	0.819	NH4+	0.810	
Al (OH)2+	0.834			
S--	0.484	Fe++	0.501	
Al (OH)4-	0.828			
HSO4-	0.828	Fe+++	0.257	
Al SO4+	0.828			
S04--	0.465	FeOH+	0.832	
Al (SO4)2-	0.828			
NaSO4-	0.834	Fe(OH)3-	0.832	Al F++
	0.490			
KS04-	0.834	Fe(OH)4--	0.484	Al F2+
	0.834			
F-	0.819	Fe(OH)++	0.484	Al F4-
	0.828			
Cl -	0.815	Fe(OH)2+	0.834	
Al F5--	0.475			
Na+	0.824	Fe(OH)4-	0.834	
Al F6---	0.188			

Chemical species in water - ppm and log mole

Water pH is 6.782

H+	0.00	-6.715	Mg++	56.56	-2.633
Fe(OH)3	0.00	0.000			
OH-	0.00	-8.058	NaCl	0.14	-5.629
Fe(OH)4-	0.00	0.000			
H4Si O4	290.55	-2.520	KCl	0.01	-6.950
	0.00	0.000			FeCl +
H3Si O4-	0.07	-6.130	NaSO4-	0.48	-5.390
	0.00	0.000			FeCl 2
H2Si O4--	0.00	-11.372	KS04-	0.11	-6.074
FeCl ++	0.00	0.000			
NaH3Si O4	0.03	-6.617	CaSO4	1.69	-4.907
FeCl 2+	0.00	0.000			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

H3B03	630.58	-1.991	MgSO4	1.45	-4.919	FeCl3
0.00	0.000					
H2B03-	1.42	-4.632	CaCO3	0.35	-5.457	
FeCl4-	0.00	0.000				
H2CO3	848.51	-1.864	MgCO3	0.25	-5.532	FeSO4
0.00	0.000					
HC03-	1695.00	-1.556	CaHC03+	17.79	-3.755	
FeSO4+	0.00	0.000				
C03--	0.40	-5.171	MgHC03+	29.39	-3.463	Al+++
0.00	-7.245					
H2S	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-9.817	
Al OH++	0.01	-6.552				
HS-	0.00	0.000	MgOH+	0.00	-8.962	
Al (OH)2+	0.06	-6.016				
S--	0.00	0.000	NH4OH	0.00	0.000	
Al (OH)3	0.06	-6.150				
H2SO4	0.00	-19.256	NH4+	0.00	0.000	
Al (OH)4-	0.01	-6.992				
HSO4-	0.00	-8.955	Fe++	0.00	0.000	
Al SO4+	0.00	-8.838				
S04--	22.18	-3.637	Fe+++	0.00	0.000	
Al (SO4)2-	0.00	-10.955				
HF	0.00	0.000	FeOH+	0.00	0.000	Al F++
0.00	0.000					
F-	0.00	0.000	Fe(OH)2	0.00	0.000	Al F2+
0.00	0.000					
Cl -	168.91	-2.322	Fe(OH)3-	0.00	0.000	Al F3
0.00	0.000					
Na+	714.85	-1.507	Fe(OH)4--	0.00	0.000	Al F4-
0.00	0.000					
K+	66.86	-2.767	Fe(OH)++	0.00	0.000	
Al F5--	0.00	0.000				
Ca++	108.91	-2.566	Fe(OH)2+	0.00	0.000	
Al F6---	0.00	0.000				

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q
Adularia	-23.276	-17.489	Albite, low	-22.008	-16.225
Analcime	-17.390	-13.705			
Anhydrite	-4.511	-6.835	Calcite	-8.378	-8.361
Chalcedony	-3.921	-2.520			
Mg-Chlorite	-88.387	-101.399	Fluorite	-11.323	99.999
Goethite	-8.225	99.999			
Laumontite	-34.804	-27.094	Microcline	-25.573	-17.489
Magnetite	-38.146	99.999			
Ca-Montmor.	-121.262	-59.613	K-Montmor.	-61.002	-31.229
Mg-Montmor.	-121.654	-59.654			
Na-Montmor.	-60.441	-29.965	Muscovite	-30.074	-15.350
Prehnite	-43.653	-43.729			
Pyrrhotite	-152.446	99.999	Pyrite	-231.987	99.999
Quartz	-4.225	-2.520			
Wairakite	-29.576	-27.094	Wollastonite	15.039	8.178
Zoisite	-41.763	-42.659			
Epidote	-54.230	99.999	Marcasite	-200.020	99.999
24.243	21.890				Talc
Chrysotile	35.231	26.929	Sil. amorph.	-2.935	-2.520



Ek-7 Watch Çıktıları.txt

pH/deg. C	6.80/ 30.5	Gas (volume %)		Reference
temperature	deg. C : 0.0	(Arbitrary)		
CO2	1065.00	CO2	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure	bar abs. : 1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy	kJ/kg : NaN	(Calculated)		
B	18.7000	H2	0.00	Discharge
	kg/s : 0.0			
Si O2	57.40	O2	0.00	Steam fraction
at collection	: 0.0000			
Na	231.50	CH4	0.00	
K	15.90	N2	0.00	Measured
temperature	deg. C : 30.5			
Mg	192.300			
Ca	2.80	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	60.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				
S O4	276.00	Total steam (mg/kg)		CO2
0.00				
Al	0.0020	CO2	0.00	H2S
0.00				
Fe	0.0000	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00				

Ionic strength = 0.03231

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.02400840    Anions (mol. eq.) = 0.02371092  
 Difference (%) = 1.25

Liquid phase components (mg/kg)  
 Gas pressures (bar-abs.)

Vapor phase (mg/kg)

B	18.7000	CO2	1065.00	CO2	0.00
CO2	0.726E-01				
Si O2	57.40	H2S	0.00	H2S	0.00
H2S	0.000E+00				
Na	231.50	NH3	0.00	NH3	0.00
NH3	0.000E+00				
K	15.90	H2	0.00	H2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	192.300	O2	0.00	O2	0.00
O2	0.000E+00				
Ca	2.80	CH4	0.00	CH4	0.00
CH4	0.000E+00				
F	0.000	N2	0.00	N2	0.00
N2	0.000E+00				
Cl	60.00				
H2O	0.611E-02				
S O4	276.00				
Total	0.788E-01				
Al	0.0020				
Fe	0.0000				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.03402

1000/T (Kelvin) = 3.66

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.02486770    Anions (mol. eq.) = 0.02457023  
 Difference (%) = 1.20

Oxidation potential (volts) :    Eh H2S= 99.999    Eh CH4= 99.999    Eh H2= 99.999  
 Eh NH3= 99.999

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Chemical geothermometers (degrees C)  
 Quartz 108.7 (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony 78.9 (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
 Na/K 162.8 (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47,  
 pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

3

H+		0.868	K+	0.832	
FeSO4+	0.846				
OH-		0.835	Ca++	0.531	
FeCl ++	0.516				
H3Si O4-		0.839	Mg++	0.559	
FeCl 2+	0.846				
H2Si O4--		0.522	CaHCO3+	0.852	
FeCl 4-	0.839				
H2BO3-		0.828	MgHCO3+	0.839	FeCl +
	0.839				
HCO3-		0.839	CaOH+	0.852	Al +++
	0.285				
CO3--		0.508	MgOH+	0.855	
Al OH++	0.522				
HS-		0.835	NH4+	0.828	
Al (OH)2+	0.848				
S--		0.516	Fe++	0.531	
Al (OH)4-	0.842				
HSO4-		0.842	Fe+++	0.285	
Al SO4+	0.842				
SO4--		0.500	FeOH+	0.846	
Al (SO4)2-	0.842				
NaSO4-		0.848	Fe(OH)3-	0.846	Al F++
	0.522				
KS04-		0.848	Fe(OH)4--	0.516	Al F2+
	0.848				
F-		0.835	Fe(OH)++	0.516	Al F4-
	0.842				
Cl -		0.832	Fe(OH)2+	0.848	
Al F5--	0.508				
Na+		0.839	Fe(OH)4-	0.848	
Al F6---	0.219				

Chemical species in water - ppm and log mole

Water pH is 6.995					
H+	0.00	-6.933	Mg++	165.24	-2.168
Fe(OH)3	0.00	0.000			
OH-	0.00	-7.853	NaCl	0.02	-6.552
Fe(OH)4-	0.00	0.000			
H4Si O4	91.78	-3.020	KCl	0.00	-8.008
	0.00	0.000			FeCl +
H3Si O4-	0.04	-6.426	NaSO4-	1.78	-4.826
	0.00	0.000			FeCl 2
H2Si O4--	0.00	-11.474	KS04-	0.31	-5.644
FeCl ++	0.00	0.000			
NaH3Si O4	0.00	-7.387	CaSO4	0.47	-5.459
FeCl 2+	0.00	0.000			
H3BO3	106.57	-2.764	MgSO4	50.41	-3.378
	0.00	0.000			FeCl 3
H2BO3-	0.38	-5.200	CaCO3	0.01	-7.031
FeCl 4-	0.00	0.000			
H2CO3	342.53	-2.258	MgCO3	0.82	-5.013
	0.00	0.000			FeSO4
HCO3-	1096.72	-1.745	CaHCO3+	0.29	-5.548
FeSO4+	0.00	0.000			
CO3--	0.41	-5.169	MgHCO3+	58.41	-3.165
	0.00	-9.253			Al +++

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

H2S	0.00	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-11.216	
Al OH++	0.00	-8.331	0.000	MgOH+	0.00	-8.268	
HS-	0.00	0.00	0.000	NH4OH	0.00	0.000	
Al (OH)2+	0.00	-7.561	0.000	NH4+	0.00	0.000	
S--	0.00	-7.475	0.000	Fe++	0.00	0.000	
Al (OH)3	0.00	-18.628	0.000	Fe+++	0.00	0.000	
H2SO4	0.00	-8.112	0.000	FeOH+	0.00	0.000	Al F++
Al (OH)4-	0.00	-8.121	0.000	Fe(OH)2	0.00	0.000	Al F2+
HSO4-	0.00	-9.756	0.000	Fe(OH)3-	0.00	0.000	Al F3
Al SO4+	0.00	233.78	-2.614	Fe(OH)4--	0.00	0.000	Al F4-
SO4--	0.00	-10.818	0.000	Fe(OH)++	0.00	0.000	
Al (SO4)2-	0.00	0.00	0.000	Fe(OH)2+	0.00	0.000	
HF	0.00	0.00	0.000				
F-	0.00	0.00	0.000				
Cl -	0.00	59.99	-2.772				
Na+	0.00	0.000	0.000				
K+	0.00	231.15	-1.998				
Al F5--	0.00	0.000	0.000				
Ca++	0.00	15.81	-3.393				
Al F6---	0.00	0.000	0.000				
		0.00	0.000				

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q
Adularia	-23.276	-20.720	Albite, low	-22.008	-19.321
Analcime	-17.390	-16.301	Calcite	-8.378	-9.935
Anhydrite	-4.511	-7.387	Fluorite	-11.323	99.999
Chalcedony	-3.921	-3.020	Microcline	-25.573	-20.720
Mg-Chlorite	-88.387	-100.984	K-Montmor.	-61.002	-46.414
Goethite	-8.225	99.999	Muscovite	-30.074	-21.231
Laumontite	-34.804	-32.926	Pyrite	-231.987	99.999
Magnetite	-38.146	99.999	Wollastonite	15.039	6.497
Ca-Montmor.	-121.262	-90.354	Marcasite	-200.020	99.999
Mg-Montmor.	-121.654	-88.302	SiI. amorph.	-2.935	-3.020
Na-Montmor.	-60.441	-45.015			
Prehnite	-43.653	-50.240			
Pyrrhotite	-152.446	99.999			
Quartz	-4.225	-3.020			
Wairakitite	-29.576	-32.926			
Zoisite	-41.763	-50.496			
Epidote	-54.230	99.999			
	24.243	22.627			
Chrysotile	35.231	28.668			

4

ak1

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg. C	8.14/ 21.0	Gas (volume %)		Reference
temperature	deg. C : 63.0	(Arbitrary)		
CO2	2112.00	CO2	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure	bar abs. : 1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy	kJ/kg : 264.	(Calculated)		
B	15.0000	H2	0.00	Discharge
	kg/s : 0.0			
SiO2	89.70	O2	0.00	Steam fraction

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

at collection : 0.0000  
 Na 1289.70 CH4 0.00  
 K 17.60 N2 0.00 Measured  
 temperature deg. C : 21.0  
 Mg 1.800  
 Ca 5.00 Liters gas per kg  
 F 0.000 condensate/deg. C 0.00/ 0.0 Condensate  
 (mg/kg)  
 Cl 342.00 pH/deg. C  
 0.00/ 0.0  
 SO4 280.00 Total steam (mg/kg) CO2  
 0.00  
 Al 0.5360 CO2 0.00 H2S  
 0.00  
 Fe 10.3000 H2S 0.00 NH3  
 0.00  
 TDS 0.00 NH3 0.00 Na  
 0.00

Ionic strength = 0.06375

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.05707957 Anions (mol. eq.) =  
 0.06322610 Difference (%) = -10.22

Liquid phase components (mg/kg)		Vapor phase (mg/kg)			
Gas pressures (bar-abs.)					
B	15.0000	CO2	2112.00	CO2	0.00
CO2	0.568E-01				
SiO2	89.70	H2S	0.00	H2S	0.00
H2S	0.000E+00				
Na	1289.70	NH3	0.00	NH3	0.00
NH3	0.000E+00				
K	17.60	H2	0.00	H2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	1.800	O2	0.00	O2	0.00
O2	0.000E+00				
Ca	5.00	CH4	0.00	CH4	0.00
CH4	0.000E+00				
F	0.000	N2	0.00	N2	0.00
N2	0.000E+00				
Cl	342.00				
H2O	0.229E+00				
SO4	280.00				
Total	0.285E+00				
Al	0.5360				
Fe	10.3000				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.06356

1000/T (Kelvin) = 2.97

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.05692311 Anions (mol. eq.) =  
 0.06306947 Difference (%) = -10.24

Oxidation potential (volts) : Eh H2S= 99.999 Eh CH4= 99.999 Eh H2=  
 99.999 Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)

Quartz 127.4 (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony 99.5 (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
 Na/K 53.9 (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47,  
 pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

4

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

H+	0.831	K+	0.773	
FeSO4+	0.796	Ca++	0.430	
OH-	0.779	Mg++	0.468	
FeCl ++	0.409	CaHCO3+	0.806	
H3Si O4-	0.785	MgHCO3+	0.785	FeCl +
FeCl 2+	0.796	CaOH+	0.806	Al +++
H2Si O4--	0.418	MgOH+	0.811	
FeCl 4-	0.785	NH4+	0.766	
H2B03-	0.766	Fe++	0.430	
HC03-	0.785	Fe+++	0.198	
CO3--	0.398	FeOH+	0.796	
Al OH++	0.418	Fe(OH) 3-	0.796	Al F++
HS-	0.779	Fe(OH) 4--	0.409	Al F2+
Al (OH) 2+	0.800	Fe(OH) ++	0.409	Al F4-
S--	0.409	Fe(OH) 2+	0.800	
Al (OH) 4-	0.791	Fe(OH) 4-	0.800	
HSO4-	0.791			
Al SO4+	0.791			
SO4--	0.387			
Al (SO4) 2-	0.791			
NaSO4-	0.800			
KS04-	0.418			
F-	0.800			
Cl -	0.779			
Al F5--	0.398			
Na+	0.785			
Al F6---	0.127			

Chemical species in water - ppm and log mole

Water pH is 7.939							
H+	0.00	-7.858	Mg++	1.03	-4.375		
Fe(OH)3	0.00	0.000	NaCl	1.57	-4.570		
OH-	0.21	-4.908	KCl	0.01	-6.891	FeCl +	
Fe(OH) 4-	0.00	0.000	NaSO4-	18.73	-3.803	FeCl 2	
H4Si O4	133.25	-2.858	KS04-	0.73	-5.266		
H3Si O4-	0.11	-5.933	CaSO4	0.66	-5.311		
H2Si O4--	7.02	-4.132	MgSO4	1.25	-4.983	FeCl 3	
FeCl ++	0.00	0.000	CaCO3	2.11	-4.675		
NaH3Si O4	0.00	3.85	-4.487	MgCO3	0.60	-5.147	FeSO4
FeCl 2+	0.00	0.000	CaHCO3+	3.78	-4.428		
H3B03	0.00	77.83	-2.900	MgHCO3+	1.22	-4.846	Al +++
H2B03-	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-8.110		
FeCl 4-	0.00	7.83	-3.890	MgOH+	0.00	-7.223	
H2C03	2.20	54.18	-3.059	NH4OH	0.00	0.000	
HC03-	0.00	2835.18	-1.333	NH4+	0.00	0.000	
FeSO4+	0.00	0.000	Fe++	9.40	-3.774		
CO3--	0.00	34.37	-3.242				
H2S	0.00	-15.671					
Al OH++	0.00	0.00	0.000				
HS-	0.00	-12.008					
Al (OH) 2+	0.00	0.00	0.000				
S--	0.00	-8.792					
Al (OH) 3	0.04	0.00	0.000				
H2SO4	1.83	-6.247					
Al (OH) 4-	0.00	0.00	-18.755				
HSO4-	0.00	-4.714					
Al SO4+	0.00	0.00	-8.333				
		-15.994					

Ek-7 Watch Çıktıları.txt							
S04--	261.51	-2.565	Fe+++	0.00	0.000		
Al (SO4)2-	0.00	-16.991					
HF	0.00	0.000	FeOH+	0.03	-6.405	Al F++	
F-	0.00	0.000	Fe(OH)2	0.01	-7.007	Al F2+	
Cl-	0.00	341.00	Fe(OH)3-	0.00	-12.397	Al F3	
Na+	0.00	1284.72	Fe(OH)4--	0.00	-17.201	Al F4-	
K+	0.00	17.38	Fe(OH)++	0.00	0.000		
Al F5--	0.00	0.000					
Ca++	0.00	2.46	Fe(OH)2+	0.00	0.000		
Al F6---	0.00	0.000					

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q	
Adularia	-18.929	-16.855	Albite, low	-18.044	-14.749	
Analcime	-14.373	-11.891				
Anhydrite	-5.118	-7.555	Calcite	-8.877	-8.220	
Chalcedony	-3.165	-2.858				
Mg-Chlorite	-81.960	-81.864	Fluorite	-10.656	99.999	
Goethite	-5.988	99.999				
Laumontite	-29.287	-25.644	Microcline	-20.596	-16.855	
Magnetite	-32.529	99.999				
Ca-Montmor.	-96.576	-74.685	K-Montmor.	-47.597	-38.518	
Mg-Montmor.	-97.515	-74.811				
Na-Montmor.	-47.464	-36.411	Muscovite	-23.832	-16.454	
Prehnite	-38.454	-37.397				
Pyrrhotite	-118.384	99.999	Pyrite	-175.068	99.999	
Quartz	-3.483	-2.858				
Wairakite	-25.950	-25.644	Wollastonite	12.089	8.441	
Zoisite	-37.233	-37.197				
Epidote	-46.626	99.999	Marcasite	-149.082	99.999	Talc
	18.254	22.087				
Chrysotile	27.071	27.803	Sil. amorph.	-2.433	-2.858	

7

koseali belediye

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg.C	7.30/ 24.4	Gas (volume %)		Reference
temperature	deg. C : 0.0	(Arbitrary)		
CO2	238.00	CO2	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure	bar abs. : 1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy	kJ/kg : NaN	(Calculated)		
B	1.0170	H2	0.00	Discharge
	kg/s : 0.0			
SiO2	31.20	O2	0.00	Steam fraction
at collection	: 0.0000			
Na	79.80	CH4	0.00	
K	6.20	N2	0.00	Measured
temperature	deg. C : 24.4			
Mg	19.100			
Ca	42.40	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	33.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

		Total steam (mg/kg)		
S04	51.00			C02
0.00				
Al	0.0320	C02	0.00	H2S
0.00				
Fe	0.0650	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00				

Ionic strength = 0.00912

Ionic balance : Cations (mol . eq.) = 0.00713824      Anions (mol . eq.) = 0.00669699  
 Difference (%) = 6.38

Liquid phase components (mg/kg)      Vapor phase (mg/kg)  
 Gas pressures (bar-abs.)

B	1.0170	C02	238.00	C02	0.00
C02	0.700E-02				
Si O2	31.20	H2S	0.00	H2S	0.00
H2S	0.000E+00				
Na	79.80	NH3	0.00	NH3	0.00
NH3	0.000E+00				
K	6.20	H2	0.00	H2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	19.100	O2	0.00	O2	0.00
O2	0.000E+00				
Ca	42.40	CH4	0.00	CH4	0.00
CH4	0.000E+00				
F	0.000	N2	0.00	N2	0.00
N2	0.000E+00				
Cl	33.00				
H2O	0.611E-02				
S04	51.00				
Total	0.131E-01				
Al	0.0320				
Fe	0.0650				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.00924

1000/T (Kelvin) = 3.66  
 Ionic balance : Cations (mol . eq.) = 0.00719997      Anions (mol . eq.) = 0.00675872  
 Difference (%) = 6.32

Oxidation potential (volts) :      Eh H2S= 99.999      Eh CH4= 99.999      Eh H2= 99.999  
 Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)

Quartz      81.5      (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony      49.7      (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
 Na/K      175.9      (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

7

H+	0.916	K+	0.902
FeSO4+	0.907		
OH-	0.904	Ca++	0.686
FeCl ++	0.680		
H3Si O4-	0.905	Mg++	0.699
FeCl 2+	0.907		
H2Si O4--	0.682	CaHCO3+	0.910
FeCl 4-	0.905		
H2B03-	0.901	MgHCO3+	0.905
			FeCl +

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

HC03-	0.905	0.905	CaOH+	0.910	Al+++
C03--	0.457	0.676	MgOH+	0.911	
Al OH++	0.682	0.904	NH4+	0.901	
HS-	0.908	0.680	Fe++	0.686	
Al (OH)2+	0.906	0.906	Fe+++	0.457	
S--	0.906	0.672	FeOH+	0.907	
Al (OH)4-	0.906	0.908	Fe(OH)3-	0.907	Al F++
HS04-	0.682	0.908	Fe(OH)4--	0.680	Al F2+
Al S04+	0.908	0.904	Fe(OH)++	0.680	Al F4-
S04--	0.906	0.902	Fe(OH)2+	0.908	
Al (S04)2-	0.676	0.905	Fe(OH)4-	0.908	
NaS04-	0.415				

Chemical species in water - ppm and log mole

Water pH is 7.473

H+	0.00	-7.435	Mg++	18.08	-3.129
Fe(OH)3	0.00	0.000	NaCl	0.00	-7.205
OH-	0.00	-7.409	KCl	0.00	-8.604
Fe(OH)4-	0.00	0.000	NaS04-	0.17	-5.849
H4Si 04	49.85	-3.285	KS04-	0.03	-6.610
0.00	-10.041		CaS04	2.68	-4.705
H3Si 04-	0.05	-6.245	MgS04	1.88	-4.806
0.00	-34.090		CaC03	0.17	-5.773
H2Si 04--	0.00	-10.898	MgC03	0.10	-5.936
FeCl ++	0.00	0.000	CaHC03+	1.61	-4.797
NaH3Si 04	0.00	-7.603	MgHC03+	2.15	-4.599
FeCl 2+	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-9.449
H3B03	5.76	-4.031	MgOH+	0.00	-8.681
0.00	0.000		NH4OH	0.00	0.000
H2B03-	0.06	-6.026	NH4+	0.00	0.000
FeCl 4-	0.00	0.000	Fe++	0.06	-5.949
H2C03	32.99	-3.274	Fe+++	0.00	0.000
0.01	-7.415		FeOH+	0.00	-11.249
HC03-	294.58	-2.316	Fe(OH)2	0.00	-13.853
FeS04+	0.00	0.000	Fe(OH)3-	0.00	-21.586
C03--	0.27	-5.353	Fe(OH)4--	0.00	-29.645
0.00	-9.625				
H2S	0.00	0.000			
Al OH++	0.00	-8.136			
HS-	0.00	0.000			
Al (OH)2+	0.01	-6.801			
S--	0.00	0.000			
Al (OH)3	0.05	-6.207			
H2S04	0.00	-20.148			
Al (OH)4-	0.04	-6.398			
HS04-	0.00	-9.195			
Al S04+	0.00	-10.519			
S04--	47.44	-3.306			
Al (S04)2-	0.00	-12.145			
HF	0.00	0.000			
0.00	0.000				
F-	0.00	0.000			
0.00	0.000				
Cl -	33.00	-3.031			
0.00	0.000				
Na+	79.77	-2.460			
0.00	0.000				



Ek-7 Watch Çıktıları.txt

K+	6.19	-3.800	Fe(OH)++	0.00	0.000
Al F5--	0.00	0.000			
Ca++	40.90	-2.991	Fe(OH)2+	0.00	0.000
Al F6---	0.00	0.000			

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q
Adularia	-23.276	-20.141	Albite, low	-22.008	-18.799
Analcime	-17.390	-15.514			
Anhydrite	-4.511	-6.633	Calcite	-8.378	-8.677
Chalcedony	-3.921	-3.285			
Mg-Chlorite	-88.387	-98.779	Fluorite	-11.323	99.999
Goethite	-8.225	99.999			
Laumontite	-34.804	-29.177	Microcline	-25.573	-20.141
Magnetite	-38.146	99.999			
Ca-Montmor.	-121.262	-76.164	K-Montmor.	-61.002	-40.350
Mg-Montmor.	-121.654	-76.293			
Na-Montmor.	-60.441	-39.008	Muscovite	-30.074	-18.117
Prehnite	-43.653	-43.952			
Pyrrhotite	-152.446	99.999	Pyrite	-231.987	99.999
Quartz	-4.225	-3.285			
Wairakitite	-29.576	-29.177	Wollastonite	15.039	8.506
Zoisite	-41.763	-42.939			
Epidote	-54.230	99.999	Marcasite	-200.020	99.999
24.243	21.846				Talc
Chrysotile	35.231	28.416	Sil. amorph.	-2.935	-3.285

21

kumocagi kuyu

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg.C	6.50/ 28.0	Gas (volume %)		Reference
temperature	deg. C : 0.0	(Arbitrary)		
C02	715.00	C02	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure	bar abs. : 1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy	kJ/kg : NaN	(Calculated)		
B	3.4000	H2	0.00	Discharge
	kg/s : 0.0			
Si02	58.80	O2	0.00	Steam fraction
at collection	: 0.0000			
Na	201.30	CH4	0.00	
K	6.80	N2	0.00	Measured
temperature	deg. C : 28.0			
Mg	48.800			
Ca	97.70	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	28.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				
S04	42.00	Total steam (mg/kg)		C02
0.00				
Al	0.0130	C02	0.00	H2S
0.00				
Fe	0.1450	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00				

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Ionic strength = 0.01871

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.01737806      Anions (mol. eq.) =  
 0.01114877      Difference (%) = 43.67

Liquid phase components (mg/kg)  
 Gas pressures (bar-abs.)

Vapor phase (mg/kg)

B	3.4000	CO2	715.00	CO2	0.00
CO2	0.831E-01				
SiO2	58.80	H2S	0.00	H2S	0.00
H2S	0.000E+00				
Na	201.30	NH3	0.00	NH3	0.00
NH3	0.000E+00				
K	6.80	H2	0.00	H2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	48.800	O2	0.00	O2	0.00
O2	0.000E+00				
Ca	97.70	CH4	0.00	CH4	0.00
CH4	0.000E+00				
F	0.000	N2	0.00	N2	0.00
N2	0.000E+00				
Cl	28.00				
H2O	0.611E-02				
SO4	42.00				
Total	0.892E-01				
Al	0.0130				
Fe	0.1450				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.01903

1000/T (Kelvin) = 3.66

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.01754010      Anions (mol. eq.) =  
 0.01131081      Difference (%) = 43.18

Oxidation potential (volts) :      Eh H2S= 99.999      Eh CH4= 99.999      Eh H2=  
 99.999      Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)

Quartz      109.8      (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony      80.2      (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
 Na/K      104.3      (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47,  
 pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

21

H+	0.891	K+	0.867	
FeSO4+	0.876			
OH-	0.869	Ca++	0.603	
FeCl++	0.592			
H3SiO4-	0.872	Mg++	0.623	
FeCl2+	0.876			
H2SiO4--	0.596	CaHCO3+	0.880	
FeCl4-	0.872			
H2BO3-	0.865	MgHCO3+	0.872	FeCl+
	0.872			
HCO3-	0.872	CaOH+	0.880	Al+++
	0.358			
CO3--	0.586	MgOH+	0.882	
AlOH++	0.596			
HS-	0.869	NH4+	0.865	
Al(OH)2+	0.878			
S--	0.592	Fe++	0.603	
Al(OH)4-	0.874			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

HSO4-	0.874	0.874	Fe+++	0.358	
Al SO4+	0.874	0.874	FeOH+	0.876	
Al (SO4)2-	0.874	0.874	Fe(OH)3-	0.876	Al F++
NaSO4-	0.596	0.878	Fe(OH)4--	0.592	Al F2+
KS04-	0.878	0.869	Fe(OH)++	0.592	Al F4-
F-	0.874	0.867	Fe(OH)2+	0.878	
Cl -	0.586	0.872	Fe(OH)4-	0.878	
Al F5--	0.301				
Na+					
Al F6---					

Chemical species in water - ppm and log mole

Water pH is 6.687

H+	0.00	-6.637	Mg++	45.44	-2.728
Fe(OH)3	0.00	0.000	NaCl	0.01	-6.908
OH-	0.00	-8.178	KCl	0.00	-8.670
Fe(OH)4-	0.00	0.000	NaSO4-	0.28	-5.621
H4SiO4	94.04	-3.010	KS04-	0.02	-6.745
	0.00	-9.815	CaSO4	3.64	-4.573
H3SiO4-	0.00	0.02	MgSO4	2.83	-4.628
	0.00	-33.970	CaCO3	0.11	-5.965
H2SiO4--	0.00	0.00	MgCO3	0.07	-6.083
FeCl ++	0.00	0.000	CaHCO3+	6.54	-4.189
NaH3SiO4	0.00	-7.727	MgHCO3+	9.71	-3.944
FeCl 2+	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-9.916
H3BO3	0.00	19.41	MgOH+	0.00	-9.103
	0.00	0.000	NH4OH	0.00	0.000
H2BO3-	0.00	0.03	NH4+	0.00	0.000
FeCl 4-	0.00	0.000	Fe++	0.14	-5.594
H2CO3	0.01	391.93	Fe+++	0.00	0.000
	0.01	-7.289	FeOH+	0.00	-11.721
HC03-	0.00	594.69	Fe(OH)2	0.00	-15.127
FeSO4+	0.00	0.000	Fe(OH)3-	0.00	-23.630
CO3--	0.00	0.10	Fe(OH)4--	0.00	-32.431
	0.00	-7.795	Fe(OH)++	0.00	0.000
H2S	0.00	0.00	Fe(OH)2+	0.00	0.000
Al OH++	0.00	-7.139			
HS-	0.00	0.00			
Al (OH)2+	0.01	-6.634			
S--	0.00	0.00			
Al (OH)3	0.01	-6.841			
H2SO4	0.00	0.00			
Al (OH)4-	0.00	-7.802			
HSO4-	0.00	0.00			
Al SO4+	0.00	-8.952			
SO4--	0.00	36.92			
Al (SO4)2-	0.00	-10.751			
HF	0.00	0.00			
	0.00	0.000			
F-	0.00	0.00			
	0.00	0.000			
Cl -	0.00	28.00			
	0.00	0.000			
Na+	0.00	201.24			
	0.00	0.000			
K+	0.00	6.79			
Al F5--	0.00	0.000			
Ca++	0.00	93.99			
Al F6---	0.00	0.000			

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

log K	log Q	log K	log Q
-------	-------	-------	-------

		Ek-7 Watch Çıktıları.txt					
Adularia	-23.276	-20.711	Albite, low	-22.008	-19.007		
Analcime	-17.390	-15.997					
Anhydrite	-4.511	-6.501	Calcite	-8.378	-8.870		
Chalcedony	-3.921	-3.010					
Mg-Chlorite	-88.387	-105.329	Fluorite	-11.323	99.999		
Goethite	-8.225	99.999					
Laumontite	-34.804	-30.609	Microcline	-25.573	-20.711		
Magnetite	-38.146	99.999					
Ca-Montmor.	-121.262	-80.241	K-Montmor.	-61.002	-42.518		
Mg-Montmor.	-121.654	-80.326					
Na-Montmor.	-60.441	-40.813	Muscovite	-30.074	-19.955		
Prehnite	-43.653	-46.927					
Pyrrhotite	-152.446	99.999	Pyrite	-231.987	99.999		
Quartz	-4.225	-3.010					
Wairakitite	-29.576	-30.609	Wollastonite	15.039	7.515		
Zoisite	-41.763	-46.548					
Epidote	-54.230	99.999	Marcasite	-200.020	99.999		Talc
	24.243	19.283					
Chrysotile	35.231	25.302	SiI. amorph.	-2.935	-3.010		

22

kavaklı derekoseali

Water sample (mg/kg)		Steam sample			
pH/deg. C	6.00/ 31.0	Gas (volume %)		Reference	
temperature	deg. C : 0.0	(Arbitrary)			
CO2	726.00	CO2	0.00		
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling	
pressure	bar abs. : 1.0				
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge	
enthalpy	kJ/kg : NaN	(Calculated)			
B	2.1760	H2	0.00	Discharge	
	kg/s : 0.0				
SiO2	47.80	O2	0.00	Steam fraction	
at collection	: 0.0000				
Na	236.40	CH4	0.00		
K	8.30	N2	0.00	Measured	
temperature	deg. C : 31.0				
Mg	47.000				
Ca	130.40	Liters gas per kg			
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate	
(mg/kg)					
Cl	38.00			pH/deg. C	
0.00/ 0.0					
SO4	51.00	Total steam (mg/kg)		CO2	
0.00					
Al	0.0080	CO2	0.00	H2S	
0.00					
Fe	0.0710	H2S	0.00	NH3	
0.00					
TDS	0.00	NH3	0.00	Na	
0.00					

Ionic strength = 0.01918

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.02045054      Anions (mol. eq.) = 0.00731695  
 Difference (%) = 94.60

Liquid phase components (mg/kg)  
 Gas pressures (bar-abs.)

Vapor phase (mg/kg)

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

B	2.1760	C02	726.00	C02	0.00
C02	0.143E+00	H2S	0.00	H2S	0.00
Si O2	47.80	NH3	0.00	NH3	0.00
H2S	0.000E+00	H2	0.00	H2	0.00
Na	236.40	O2	0.00	O2	0.00
NH3	0.000E+00	CH4	0.00	CH4	0.00
K	8.30	N2	0.00	N2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	47.000				
O2	0.000E+00				
Ca	130.40				
CH4	0.000E+00				
F	0.000				
N2	0.000E+00				
Cl	38.00				
H2O	0.611E-02				
S04	51.00				
Total	0.149E+00				
Al	0.0080				
Fe	0.0710				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.01951

1000/T (Kelvin) = 3.66

Ionic balance : Cations (mol . eq .) = 0.02061637 Anions (mol . eq .) = 0.00748279 Difference (%) = 93.48

Oxidation potential (volts) : Eh H2S= 99.999 Eh CH4= 99.999 Eh H2= 99.999 Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)

Quartz 100.1 (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)

Chalcedony 69.6 (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)

Na/K 107.0 (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

22

H+	0.890	K+	0.866
FeS04+	0.875	Ca++	0.600
OH-	0.868	Mg++	0.621
FeCl ++	0.589	CaHCO3+	0.879
H3Si O4-	0.870	MgHCO3+	0.870
FeCl 2+	0.875		
H2Si O4--	0.593		
FeCl 4-	0.870		
H2B03-	0.863		
	0.870		
HC03-	0.870		
	0.354		
C03--	0.583		
Al OH++	0.593		
HS-	0.868		
Al (OH)2+	0.877		
S--	0.589		
Al (OH)4-	0.873		
HS04-	0.873		
Al S04+	0.873		
S04--	0.577		
Al (S04)2-	0.873		
NaS04-	0.877		
	0.593		
KS04-	0.877		
	0.877		
F-	0.868		
	0.873		

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Cl -	0.866	Fe(OH)2+	0.877
Al F5--	0.583		
Na+	0.870	Fe(OH)4-	0.877
Al F6---	0.298		

Chemical species in water - ppm and log mole  
Water pH is 6.201

H+	0.00	-6.150	Mg++	44.80	-2.734
Fe(OH)3	0.00	0.000			
OH-	0.00	-8.664	NaCl	0.01	-6.707
Fe(OH)4-	0.00	0.000			
H4SiO4	76.46	-3.099	KCl	0.00	-8.452
0.00	-9.997				FeCl +
H3SiO4-	0.00	-7.315	NaSO4-	0.40	-5.478
0.00	-34.020				FeCl 2
H2SiO4--	0.00	-13.197	KS04-	0.04	-6.585
FeCl ++	0.00	0.000			
NaH3SiO4	0.00	-8.235	CaSO4	5.78	-4.372
FeCl 2+	0.00	0.000			
H3BO3	12.44	-3.696	MgSO4	3.29	-4.563
0.00	0.000				FeCl 3
H2BO3-	0.01	-6.945	CaCO3	0.03	-6.574
FeCl 4-	0.00	0.000			
H2CO3	675.63	-1.963	MgCO3	0.01	-6.827
0.00	-7.530				FeSO4
HCO3-	335.10	-2.260	CaHCO3+	4.95	-4.311
FeSO4+	0.00	0.000			
CO3--	0.02	-6.522	MgHCO3+	5.37	-4.201
0.00	-7.172				Al +++
H2S	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-10.274
Al OH++	0.00	-7.004			
HS-	0.00	0.000	MgOH+	0.00	-9.597
Al (OH)2+	0.01	-6.987			
S--	0.00	0.000	NH4OH	0.00	0.000
Al (OH)3	0.00	-7.681			
H2SO4	0.00	-17.703	NH4+	0.00	0.000
Al (OH)4-	0.00	-9.128			
HSO4-	0.00	-8.006	Fe++	0.07	-5.906
Al SO4+	0.00	-8.259			
SO4--	43.95	-3.340	Fe+++	0.00	0.000
Al (SO4)2-	0.00	-9.985			
HF	0.00	0.000	FeOH+	0.00	-12.521
0.00	0.000				Al F++
F-	0.00	0.000	Fe(OH)2	0.00	-16.414
0.00	0.000				Al F2+
Cl -	37.99	-2.970	Fe(OH)3-	0.00	-25.402
0.00	0.000				Al F3
Na+	236.32	-1.988	Fe(OH)4--	0.00	-34.687
0.00	0.000				Al F4-
K+	8.29	-3.674	Fe(OH)++	0.00	0.000
Al F5--	0.00	0.000			
Ca++	126.73	-2.500	Fe(OH)2+	0.00	0.000
Al F6---	0.00	0.000			

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q
Adularia	-23.276	-22.221	Albite, low	-22.008	-20.533
Analcime	-17.390	-17.434	Calcite	-8.378	-9.478
Anhydrite	-4.511	-6.300	Fluorite	-11.323	99.999
Chalcedony	-3.921	-3.099	Microcline	-25.573	-22.221
Mg-Chlorite	-88.387	-112.181	K-Montmor.	-61.002	-49.787
Goethite	-8.225	99.999			
Laumontite	-34.804	-33.493			
Magnetite	-38.146	99.999			
Ca-Montmor.	-121.262	-94.823			
Mg-Montmor.	-121.654	-95.043			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt					
Na-Montmor.	-60.441	-48.099	Muscovite	-30.074	-23.145
Prehnite	-43.653	-50.566			
Pyrrhotite	-152.446	99.999	Pyrite	-231.987	99.999
Quartz	-4.225	-3.099			
Wairakite	-29.576	-33.493	Wollastonite	15.039	6.580
Zoisite	-41.763	-51.028			
Epidote	-54.230	99.999	Marcasite	-200.020	99.999
24.243	15.982				Talc
Chrysotile	35.231	22.181	Sil. amorph.	-2.935	-3.099

37

yesi lyurtılı ksukuyu

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg. C	6.60/ 25.3	Gas (volume %)		Reference
temperature	deg. C : 0.0	(Arbitrary)		
CO2	871.00	CO2	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure	bar abs. : 1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy	kJ/kg : NaN	(Calculated)		
B	0.5090	H2	0.00	Discharge
kg/s :	0.0			
SiO2	47.40	O2	0.00	Steam fraction
at collection	: 0.0000			
Na	210.40	CH4	0.00	
K	14.40	N2	0.00	Measured
temperature	deg. C : 25.3			
Mg	73.500			
Ca	17.40	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	91.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				
SO4	111.00	Total steam (mg/kg)		CO2
0.00				
Al	0.0070	CO2	0.00	H2S
0.00				
Fe	0.0000	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00				

Ionic strength = 0.02050

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.01579012 Anions (mol. eq.) = 0.01725212  
Difference (%) = -8.85

Liquid phase components (mg/kg)		Vapor phase (mg/kg)	
Gas pressures (bar-abs.)			
B	0.5090	CO2	871.00
CO2	0.892E-01	CO2	0.00
SiO2	47.40	H2S	0.00
H2S	0.000E+00	H2S	0.00
Na	210.40	NH3	0.00
NH3	0.000E+00	NH3	0.00
K	14.40	H2	0.00
H2	0.000E+00	H2	0.00
Mg	73.500	O2	0.00
O2	0.000E+00	O2	0.00
Ca	17.40	CH4	0.00
		CH4	0.00

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

CH4	0.000E+00				
F	0.000	N2	0.00	N2	0.00
N2	0.000E+00				
Cl	91.00				
H2O	0.611E-02				
SO4	111.00				
Total	0.953E-01				
Al	0.0070				
Fe	0.0000				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.02090  
 1000/T (Kelvin) = 3.66  
 Ionic balance : Cations (mol.eq.) = 0.01599174 Anions (mol.eq.) = 0.01745375  
 Difference (%) = -8.74

Oxidation potential (volts) : Eh H2S= 99.999 Eh CH4= 99.999 Eh H2= 99.999 Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)  
 Quartz 99.8 (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony 69.2 (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
 Na/K 163.0 (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

37

H+	0.887	K+	0.862	
FeSO4+	0.871	Ca++	0.592	
OH-	0.864	Mg++	0.613	
FeCl ++	0.580	CaHCO3+	0.876	
H3SiO4-	0.867	MgHCO3+	0.867	FeCl +
FeCl 2+	0.871	CaOH+	0.876	Al +++
H2SiO4--	0.585	MgOH+	0.878	
FeCl 4-	0.867	NH4+	0.859	
H2BO3-	0.867	Fe++	0.592	
HC03-	0.346	Fe+++	0.346	
C03--	0.574	FeOH+	0.871	
Al OH++	0.585	Fe(OH)3-	0.871	Al F++
HS-	0.864	Fe(OH)4--	0.580	Al F2+
Al (OH)2+	0.873	Fe(OH)++	0.580	Al F4-
S--	0.580	Fe(OH)2+	0.873	
Al (OH)4-	0.869	Fe(OH)4-	0.873	
HSO4-	0.869			
Al SO4+	0.869			
SO4--	0.568			
Al (SO4)2-	0.869			
NaSO4-	0.873			
KS04-	0.585			
F-	0.873			
Cl -	0.869			
Al F5--	0.574			
Na+	0.867			
Al F6---	0.287			

Chemical species in water - ppm and log mole

Water pH is 6.772					
H+	0.00	-6.720	Mg++	66.09	-2.566
Fe(OH)3	0.00	0.000	NaCl	0.02	-6.383
OH-	0.00	-8.091			
Fe(OH)4-	0.00	0.000			



Ek-7 Watch Çıktıları.txt

H4SiO4	75.80	-3.103	KCl	0.00	-7.838	FeCl+
0.00	0.000					
H3SiO4-	0.02	-6.746	NaSO4-	0.79	-5.177	FeCl2
0.00	0.000					
H2SiO4--	0.00	-12.052	KS04-	0.14	-5.995	
0.00	0.000					
FeCl++	0.00	0.000	CaSO4	1.65	-4.916	
NaH3SiO4	0.00	-7.720				
0.00	0.000		MgSO4	10.79	-4.048	FeCl3
H3BO3	2.91	-4.328				
0.00	0.000		CaCO3	0.03	-6.533	
H2BO3-	0.01	-7.004				
0.00	0.000		MgCO3	0.16	-5.727	FeSO4
H2CO3	420.35	-2.169				
0.00	0.000		CaHCO3+	1.46	-4.840	
HC03-	779.94	-1.893				
0.00	0.000		MgHCO3+	18.22	-3.671	Al+++
C03--	0.16	-5.579				
0.00	-8.240		CaOH+	0.00	-10.597	
H2S	0.00	0.000				
0.00	-7.506		MgOH+	0.00	-8.860	
AlOH++	0.00	0.000				
HS-	0.00	0.000	NH4OH	0.00	0.000	
0.01	-6.922					
Al(OH)2+	0.01	-7.047	NH4+	0.00	0.000	
0.01	-7.047					
Al(OH)3	0.01	-18.494	Fe++	0.00	0.000	
0.01	-18.494					
H2SO4	0.00	-7.920	Fe+++	0.00	0.000	
0.00	-7.920					
Al(OH)4-	0.00	-8.224	FeOH+	0.00	0.000	AlF++
0.00	-8.224					
HS04-	0.00	-8.984	Fe(OH)2	0.00	0.000	AlF2+
0.00	-8.984					
AlSO4+	0.00	-2.980	Fe(OH)3-	0.00	0.000	AlF3
0.00	-2.980					
S04--	100.49	-2.980	Fe(OH)4--	0.00	0.000	AlF4-
0.00	-10.358					
Al(S04)2-	0.00	0.000	Fe(OH)++	0.00	0.000	
0.00	0.000					
HF	0.00	0.000	Fe(OH)2+	0.00	0.000	
0.00	0.000					
F-	0.00	0.000				
0.00	0.000					
Cl-	90.98	-2.591				
0.00	0.000					
Na+	210.24	-2.039				
0.00	0.000					
K+	14.36	-3.435				
0.00	0.000					
AlF5--	0.00	0.000				
0.00	0.000					
Ca++	16.32	-3.390				
0.00	0.000					
AlF6---	0.00	0.000				

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q
Adularia	-23.276	-20.790	Albite, low	-22.008	-19.391
Analcime	-17.390	-16.288	Calcite	-8.378	-9.438
Anhydrite	-4.511	-6.844	Fluorite	-11.323	99.999
Chalcedony	-3.921	-3.103	Microcline	-25.573	-20.790
Mg-Chlorite	-88.387	-104.394	K-Montmor.	-61.002	-44.578
Goethite	-8.225	99.999	Muscovite	-30.074	-20.445
Laumontite	-34.804	-31.993	Pyrite	-231.987	99.999
Magnetite	-38.146	99.999	Wollastonite	15.039	6.823
Ca-Montmor.	-121.262	-85.776	Marcasite	-200.020	99.999
Mg-Montmor.	-121.654	-84.936			
Na-Montmor.	-60.441	-43.180	SiI. amorph.	-2.935	-3.103
Prehnite	-43.653	-48.816			
Pyrrhotite	-152.446	99.999			
Quartz	-4.225	-3.103			
Wairakite	-29.576	-31.993			
Zoisite	-41.763	-48.643			
Epidote	-54.230	99.999			
24.243	19.885				
Chrysotile	35.231	26.091			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

38

kavaklıdere AK-2

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg. C	7.90/ 45.5	Gas (volume %)		Reference
temperature deg. C :	213.0	(Arbitrary)		
C02	1482.00	C02	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure bar abs. :	1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy kJ/kg :	911.	(Calculated)		
B	124.1400	H2	0.00	Discharge
kg/s :	0.0			
Si02	491.90	O2	0.00	Steam fraction
at collection :	0.0000			
Na	926.00	CH4	0.00	
K	103.50	N2	0.00	Measured
temperature deg. C :	45.5			
Mg	1.400			
Ca	10.80	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	224.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				
S04	48.00	Total steam (mg/kg)		C02
0.00				
Al	0.4280	C02	0.00	H2S
0.00				
Fe	1.0730	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00				

Ionic strength = 0.04341

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.04337582 Anions (mol. eq.) = 0.04144086  
 Difference (%) = 4.56

Liquid phase components (mg/kg)  
 Gas pressures (bar-abs.)

Vapor phase (mg/kg)

B	124.1400	C02	1482.00	C02	0.00
C02	0.407E+00				
Si02	491.90	H2S	0.00	H2S	0.00
H2S	0.000E+00				
Na	926.00	NH3	0.00	NH3	0.00
NH3	0.000E+00				
K	103.50	H2	0.00	H2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	1.400	O2	0.00	O2	0.00
O2	0.000E+00				
Ca	10.80	CH4	0.00	CH4	0.00
CH4	0.000E+00				
F	0.000	N2	0.00	N2	0.00
N2	0.000E+00				
Cl	224.00				
H20	0.202E+02				
S04	48.00				
Total	0.207E+02				
Al	0.4280				
Fe	1.0730				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Ionic strength = 0.04210  
 1000/T (Kelvin) = 2.06  
 Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.04253828      Anions (mol. eq.) =  
 0.04060007      Difference (%) = 4.66

Oxidation potential (volts) :      Eh H2S= 99.999      Eh CH4= 99.999      Eh H2=  
 99.999      Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)  
 Quartz      233.1      (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony      218.9      (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
 Na/K      212.8      (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47,  
 pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

38

H+	0.785	K+	0.719	
FeSO4+	0.745			
OH-	0.726	Ca++	0.331	
FeCl ++	0.312			
H3Si O4-	0.732	Mg++	0.368	
FeCl 2+	0.745			
H2Si O4--	0.320	CaHCO3+	0.756	
FeCl 4-	0.732			
H2B03-	0.711	MgHCO3+	0.732	FeCl +
	0.732			
HCO3-	0.732	CaOH+	0.756	Al +++
	0.117			
CO3--	0.302	MgOH+	0.762	
Al OH++	0.320			
HS-	0.726	NH4+	0.711	
Al (OH)2+	0.750			
S--	0.312	Fe++	0.331	
Al (OH)4-	0.739			
HSO4-	0.739	Fe+++	0.117	
Al SO4+	0.739			
S04--	0.292	FeOH+	0.745	
Al (SO4)2-	0.739			
NaSO4-	0.750	Fe(OH)3-	0.745	Al F++
	0.320			
KS04-	0.750	Fe(OH)4--	0.312	Al F2+
	0.750			
F-	0.726	Fe(OH)++	0.312	Al F4-
	0.739			
Cl -	0.719	Fe(OH)2+	0.750	
Al F5--	0.302			
Na+	0.732	Fe(OH)4-	0.750	
Al F6---	0.068			

Chemical species in water - ppm and log mole

Water pH is 8.023				
H+	0.00	-7.918	Mg++	0.39      -4.794
Fe(OH)3	0.00	0.000		
OH-	16.09	-3.024	NaCl	6.28      -3.968
Fe(OH)4-	0.00	0.000		
H4Si O4	625.94	-2.186	KCl	0.33      -5.356      FeCl +
	0.00	-7.408		
H3Si O4-	119.12	-2.902	NaSO4-	9.70      -4.089      FeCl 2
	0.00	-13.268		
H2Si O4--	0.19	-5.703	KS04-	4.20      -4.508
FeCl ++	0.00	0.000		
NaH3Si O4	49.54	-3.377	CaSO4	0.27      -5.711
FeCl 2+	0.00	0.000		
H3B03	618.96	-2.000	MgSO4	0.66      -5.259      FeCl 3
	0.00	0.000		
H2B03-	89.61	-2.832	CaCO3	9.05      -4.044

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

FeCl 4-	0.00	0.000					
H2CO3		228.88	-2.433	MgCO3	0.62	-5.133	FeSO4
0.00	-8.014						
HC03-		1806.27	-1.529	CaHC03+	16.05	-3.799	
FeSO4+	0.00	0.000					
C03--		6.86	-3.942	MgHC03+	1.05	-4.911	Al+++
0.00	-25.341						
H2S		0.00	0.000	CaOH+	0.06	-6.009	
Al OH++	0.00	-18.490					
HS-		0.00	0.000	MgOH+	0.68	-4.786	
Al (OH)2+	0.00	-12.688					
S--		0.00	0.000	NH4OH	0.00	0.000	
Al (OH)3	0.00	-7.883					
H2SO4		0.00	-16.249	NH4+	0.00	0.000	
Al (OH)4-	1.51	-4.800					
HS04-		0.01	-7.161	Fe++	0.02	-6.536	
Al SO4+	0.00	-25.375					
S04--		36.47	-3.421	Fe+++	0.00	0.000	
Al (SO4)2-	0.00	-26.674					
HF		0.00	0.000	FeOH+	0.07	-6.039	Al F++
0.00	0.000						
F-		0.00	0.000	Fe(OH)2	1.61	-4.746	Al F2+
0.00	0.000						
Cl -		220.03	-2.207	Fe(OH)3-	0.00	-8.679	Al F3
0.00	0.000						
Na+		912.01	-1.402	Fe(OH)4--	0.00	-10.114	Al F4-
0.00	0.000						
K+		102.11	-2.583	Fe(OH)++	0.00	0.000	
Al F5--	0.00	0.000					
Ca++		0.70	-4.760	Fe(OH)2+	0.00	0.000	
Al F6---	0.00	0.000					

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q
Adularia	-14.634	-14.217	Albite, low	-14.148	-13.027
Analcime	-11.583	-10.841	Calcite	-11.840	-9.702
Anhydrite	-7.436	-9.196	Fluorite	-10.774	99.999
Chalcedony	-2.155	-2.186	Microcline	-15.422	-14.217
Mg-Chlorite	-82.378	-67.872	K-Montmor.	-34.398	-42.316
Goethite	0.304	99.999	Muscovite	-17.966	-17.753
Laumontite	-24.528	-23.848	Pyrite	-67.541	99.999
Magnetite	-20.389	99.999	Wollastonite	8.138	8.621
Ca-Montmor.	-72.979	-84.418	Marcasite	-49.496	99.999
Mg-Montmor.	-74.449	-84.407	SiI. amorph.	-1.762	-2.186
Na-Montmor.	-34.646	-41.126			
Prehnite	-36.330	-33.228			
Pyrrhotite	-41.481	99.999			
Quartz	-2.287	-2.186			
Wairakite	-24.014	-23.848			
Zoisite	-36.551	-34.996			
Epidote	-37.037	99.999			
10.044	23.708				
Chrysotile	16.647	28.081			

54

akgul I erbpkuyu

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg. C	7.50/ 11.5	Gas (volume %)		Reference
temperature	deg. C : 0.0	(Arbitrary)		
	896.00	CO2	0.00	
	0.00	H2S	0.00	Sampl ing
pressure	bar abs. : 1.0			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

NH3	0.00	NH3	0.00	Di scharge
enthalpy	kJ/kg :	NaN (Calculated)		
B	0.6140	H2	0.00	Di scharge
kg/s :	0.0			
Si O2	49.20	O2	0.00	Steam fraction
at collection :	0.0000			
Na	203.50	CH4	0.00	
K	14.10	N2	0.00	Measured
temperature	deg. C :			
Mg	75.700			
Ca	183.10	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	93.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				
SO4	120.00	Total steam (mg/kg)		CO2
0.00				
Al	0.0110	CO2	0.00	H2S
0.00				
Fe	0.0180	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00				

Ionic strength = 0.03113

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.02345163 Anions (mol. eq.) = 0.02301713  
 Difference (%) = 1.87

Liquid phase components (mg/kg)  
 Gas pressures (bar-abs.)

Vapor phase (mg/kg)

B	0.6140	CO2	896.00	CO2	0.00
CO2	0.186E-01				
Si O2	49.20	H2S	0.00	H2S	0.00
H2S	0.000E+00				
Na	203.50	NH3	0.00	NH3	0.00
NH3	0.000E+00				
K	14.10	H2	0.00	H2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	75.700	O2	0.00	O2	0.00
O2	0.000E+00				
Ca	183.10	CH4	0.00	CH4	0.00
CH4	0.000E+00				
F	0.000	N2	0.00	N2	0.00
N2	0.000E+00				
Cl	93.00				
H2O	0.611E-02				
SO4	120.00				
Total	0.247E-01				
Al	0.0110				
Fe	0.0180				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.03148

1000/T (Kelvin) = 3.66  
 Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.02363825 Anions (mol. eq.) = 0.02320375  
 Difference (%) = 1.86

Oxidation potential (volts) : Eh H2S= 99.999 Eh CH4= 99.999 Eh H2= 99.999 Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)

Quartz 101.4 (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony 71.0 (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)

Activity coefficients in water

54

H+	0.871	K+	0.837	
FeSO4+	0.850	Ca++	0.541	
OH-	0.840	Mg++	0.568	
FeCl ++	0.526	CaHCO3+	0.856	
H3Si O4-	0.844	MgHCO3+	0.844	FeCl +
FeCl 2+	0.850	CaOH+	0.856	Al +++
H2Si O4--	0.532	MgOH+	0.859	
FeCl 4-	0.844	NH4+	0.833	
H2B03-	0.833	Fe++	0.541	
HC03-	0.844	Fe+++	0.294	
C03--	0.519	FeOH+	0.850	
Al OH++	0.532	Fe(OH)3-	0.850	Al F++
HS-	0.840	Fe(OH)4--	0.526	Al F2+
Al (OH)2+	0.852	Fe(OH)++	0.526	Al F4-
S--	0.526	Fe(OH)2+	0.852	
Al (OH)4-	0.847	Fe(OH)4-	0.852	
HSO4-	0.847			
Al SO4+	0.847			
S04--	0.511			
Al (SO4)2-	0.847			
NaSO4-	0.852			
KS04-	0.532			
F-	0.852			
Cl -	0.840			
Al F5--	0.847			
Na+	0.837			
Al F6---	0.519			
	0.844			
	0.229			

Chemical species in water - ppm and log mole

Water pH is 7.600

H+	0.00	-7.540	Mg++	66.49	-2.563
Fe(OH)3	0.00	0.000	NaCl	0.02	-6.412
OH-	0.00	-7.250	KCl	0.00	-7.863
Fe(OH)4-	0.00	0.000	NaSO4-	0.70	-5.232
H4Si O4	78.56	-3.088	KS04-	0.12	-6.046
H3Si O4-	0.00	-10.258	CaSO4	14.34	-3.977
H2Si O4--	0.00	0.12	MgSO4	9.17	-4.118
FeCl ++	0.00	-5.891	CaCO3	2.63	-4.580
NaH3Si O4	0.00	0.000	MgCO3	1.39	-4.784
FeCl 2+	0.00	0.000	CaHCO3+	19.94	-3.705
H3B03	0.00	3.46	MgHCO3+	24.42	-3.543
H2B03-	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-8.780
FeCl 4-	0.00	0.05	MgOH+	0.00	-8.053
H2C03	0.00	0.000	NH4OH	0.00	0.000
HC03-	0.00	87.49			
FeSO4+	0.00	-7.867			
C03--	0.00	1122.45			
H2S	0.00	-4.560			
Al OH++	0.00	-10.327			
HS-	0.00	0.00			
Al (OH)2+	0.00	-8.794			
S--	0.00	0.00			
	0.00	-7.412			
	0.00	0.000			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Al (OH)3	0.01	-6.719				
H2SO4	0.00	-20.189	NH4+	0.00	0.000	
Al (OH)4-	0.02	-6.753				
HSO4-	0.00	-9.080	Fe++	0.02	-6.511	
Al SO4+	0.00	-11.169				
SO4--	101.91	-2.974	Fe+++	0.00	0.000	
Al (SO4)2-	0.00	-12.583				
HF	0.00	0.000	FeOH+	0.00	-11.758	Al F++
F-	0.00	0.000	Fe(OH)2	0.00	-14.265	Al F2+
Cl-	0.00	0.000	Fe(OH)3-	0.00	-21.842	Al F3
Na+	0.00	0.000	Fe(OH)4--	0.00	-29.691	Al F4-
K+	0.00	0.000	Fe(OH)++	0.00	0.000	
Al F5--	0.00	0.000	Fe(OH)2+	0.00	0.000	
Ca++	169.92	-2.373				
Al F6---	0.00	0.000				

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q	
Adularia	-23.276	-19.610	Albite, low	-22.008	-18.215	
Analcime	-17.390	-15.128	Calcite	-8.378	-7.485	
Anhydrite	-4.511	-5.905	Fluorite	-11.323	99.999	
Chalcedony	-3.921	-3.088				
Mg-Chlorite	-88.387	-95.566	Microcline	-25.573	-19.610	
Goethite	-8.225	99.999	K-Montmor.	-61.002	-41.309	
Laumontite	-34.804	-28.641	Muscovite	-30.074	-18.609	
Magnetite	-38.146	99.999	Pyrite	-231.987	99.999	
Ca-Montmor.	-121.262	-78.214				
Mg-Montmor.	-121.654	-78.383	Wollastonite	15.039	9.473	
Na-Montmor.	-60.441	-39.914				
Prehnite	-43.653	-42.845	Marcasite	-200.020	99.999	Talc
Pyrrhotite	-152.446	99.999				
Quartz	-4.225	-3.088	SiI. amorph.	-2.935	-3.088	
Wairakite	-29.576	-28.641				
Zoisite	-41.763	-42.344				
Epidote	-54.230	99.999				
Chrysotile	35.231	30.998				

55

sarı gol ayaklı sondaj

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg. C	7.30/ 24.9	Gas (volume %)		Reference
temperature	deg. C : 0.0	(Arbitrary)		
	C02	C02	0.00	
	H2S	H2S	0.00	Sampl ing
pressure	bar abs. : 1.0			
	NH3	NH3	0.00	Di scharge
enthalpy	kJ/kg : NaN	(Cal cul ated)		
B	0.0380	H2	0.00	Di scharge
	kg/s : 0.0			
	Si02	02	0.00	Steam fracti on
at collection	: 0.0000			
	Na	CH4	0.00	
	K	N2	0.00	Measured
temperature	deg. C : 24.9			
	Mg			
	Ca			

Li ters gas per kg  
Sayfa 26

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

(mg/kg)	F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
	Cl	88.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0	S04	258.00	Total steam (mg/kg)		C02
0.00	Al	0.0280	C02	0.00	H2S
0.00	Fe	0.0830	H2S	0.00	NH3
0.00	TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00					

Ionic strength = 0.01975

Ionic balance : Cations (mol . eq. ) = 0.01358217      Anions (mol . eq. ) = 0.01182138  
 Difference (%) = 13.86

Liquid phase components (mg/kg)  
 Gas pressures (bar-abs.)

Vapor phase (mg/kg)

B	0.0380	C02	251.00	C02	0.00
C02	0.690E-02	H2S	0.00	H2S	0.00
Si O2	29.60	NH3	0.00	NH3	0.00
H2S	0.000E+00	H2	0.00	H2	0.00
Na	76.10	O2	0.00	O2	0.00
NH3	0.000E+00	CH4	0.00	CH4	0.00
K	14.50	N2	0.00	N2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	58.900				
O2	0.000E+00				
Ca	125.80				
CH4	0.000E+00				
F	0.000				
N2	0.000E+00				
Cl	88.00				
H2O	0.611E-02				
S04	258.00				
Total	0.130E-01				
Al	0.0280				
Fe	0.0830				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.02050

1000/T (Kelvin) = 3.66

Ionic balance : Cations (mol . eq. ) = 0.01396538      Anions (mol . eq. ) = 0.01220460  
 Difference (%) = 13.46

Oxidation potential (volts) :      Eh H2S= 99.999      Eh CH4= 99.999      Eh H2= 99.999  
 Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)

Quartz      79.3      (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony      47.4      (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
 Na/K      272.0      (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

55

H+	0.888	K+	0.863
FeS04+	0.872	Ca++	0.594
OH-	0.865	Mg++	0.615
FeCl ++	0.582		
H3Si O4-	0.868		



Ek-7 Watch Çıktıları.txt

FeCl <sub>2</sub> +	0.872				
H <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> --	0.587		CaHCO <sub>3</sub> +	0.877	
FeCl <sub>4</sub> -	0.868				
H <sub>2</sub> B <sub>3</sub> O <sub>3</sub> -	0.860		MgHCO <sub>3</sub> +	0.868	FeCl <sub>2</sub> +
	0.868				
HCO <sub>3</sub> -	0.868		CaOH+	0.877	Al <sup>+++</sup>
	0.348				
CO <sub>3</sub> --	0.576		MgOH+	0.879	
AlOH <sub>2</sub> +	0.587				
HS-	0.865		NH <sub>4</sub> +	0.860	
Al(OH) <sub>2</sub> +	0.874				
S--	0.582		Fe <sup>++</sup>	0.594	
Al(OH) <sub>4</sub> -	0.870				
HSO <sub>4</sub> -	0.870		Fe <sup>+++</sup>	0.348	
AlSO <sub>4</sub> +	0.870				
SO <sub>4</sub> --	0.570		FeOH+	0.872	
Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> -	0.870				
NaSO <sub>4</sub> -	0.874		Fe(OH) <sub>3</sub> -	0.872	AlF <sup>++</sup>
	0.587				
KS <sub>4</sub> -	0.874		Fe(OH) <sub>4</sub> --	0.582	AlF <sub>2</sub> +
	0.874				
F-	0.865		Fe(OH) <sup>++</sup>	0.582	AlF <sub>4</sub> -
	0.870				
Cl-	0.863		Fe(OH) <sub>2</sub> +	0.874	
AlF <sub>5</sub> --	0.576				
Na+	0.868		Fe(OH) <sub>4</sub> -	0.874	
AlF <sub>6</sub> ---	0.290				

Chemical species in water - ppm and log mole  
Water pH is 7.481

H+	0.00	-7.429	Mg <sup>++</sup>	53.24	-2.660
Fe(OH) <sub>3</sub>	0.00	0.000			
OH-	0.00	-7.382	NaCl	0.01	-6.838
Fe(OH) <sub>4</sub> -	0.00	0.000			
H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	47.29	-3.308	KCl	0.00	-7.850
	0.00	-9.607			
H <sub>3</sub> SiO <sub>4</sub> -	0.05	-6.242	NaSO <sub>4</sub> -	0.64	-5.270
	0.00	-33.268			
H <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> --	0.00	-10.840	KS <sub>4</sub> -	0.31	-5.645
FeCl <sup>++</sup>	0.00	0.000			
NaH <sub>3</sub> SiO <sub>4</sub>	0.00	-7.657	CaSO <sub>4</sub>	26.33	-3.714
FeCl <sub>2</sub> +	0.00	0.000			
H <sub>3</sub> B <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	0.22	-5.459	MgSO <sub>4</sub>	19.45	-3.792
	0.00	0.000			
H <sub>2</sub> B <sub>3</sub> O <sub>3</sub> -	0.00	-7.426	CaCO <sub>3</sub>	0.42	-5.372
FeCl <sub>4</sub> -	0.00	0.000			
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	32.53	-3.280	MgCO <sub>3</sub>	0.26	-5.513
	0.02	-6.804			
HCO <sub>3</sub> -	308.58	-2.296	CaHCO <sub>3</sub> +	4.13	-4.388
FeSO <sub>4</sub> +	0.00	0.000			
CO <sub>3</sub> --	0.32	-5.273	MgHCO <sub>3</sub> +	5.83	-4.166
	0.00	-9.599			
H <sub>2</sub> S	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-9.034
AlOH <sub>2</sub> +	0.00	-8.155			
HS-	0.00	0.000	MgOH+	0.00	-8.244
Al(OH) <sub>2</sub> +	0.01	-6.861			
S--	0.00	0.000	NH <sub>4</sub> OH	0.00	0.000
Al(OH) <sub>3</sub>	0.04	-6.276			
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.00	-19.564	NH <sub>4</sub> +	0.00	0.000
Al(OH) <sub>4</sub> -	0.03	-6.441			
HSO <sub>4</sub> -	0.00	-8.585	Fe <sup>++</sup>	0.07	-5.877
AlSO <sub>4</sub> +	0.00	-9.993			
SO <sub>4</sub> --	223.15	-2.634	Fe <sup>+++</sup>	0.00	0.000
Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> -	0.00	-11.018			
HF	0.00	0.000	FeOH+	0.00	-11.214
	0.00	0.000			
F-	0.00	0.000	Fe(OH) <sub>2</sub>	0.00	-13.828
	0.00	0.000			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Cl -	87.99	-2.605	Fe(OH)3-	0.00	-21.535	Al F3
Na+	75.97	-2.481	Fe(OH)4--	0.00	-29.536	Al F4-
K+	14.41	-3.433	Fe(OH)++	0.00	0.000	
Al F5--	0.00	0.000				
Ca++	116.24	-2.538	Fe(OH)2+	0.00	0.000	
Al F6---	0.00	0.000				

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q	
Adularia	-23.276	-19.923	Albite, low	-22.008	-18.968	
Analcime	-17.390	-15.659				
Anhydrite	-4.511	-5.642	Calcite	-8.378	-8.277	
Chalcedony	-3.921	-3.308				
Mg-Chlorite	-88.387	-96.837	Fluorite	-11.323	99.999	
Goethite	-8.225	99.999				
Laumontite	-34.804	-28.998	Microcline	-25.573	-19.923	
Magnetite	-38.146	99.999				
Ca-Montmor.	-121.262	-77.217	K-Montmor.	-61.002	-40.724	
Mg-Montmor.	-121.654	-77.324				
Na-Montmor.	-60.441	-39.769	Muscovite	-30.074	-18.035	
Prehnite	-43.653	-43.343				
Pyrrhotite	-152.446	99.999	Pyrite	-231.987	99.999	
Quartz	-4.225	-3.308				
Wairakite	-29.576	-28.998	Wollastonite	15.039	8.890	
Zoisite	-41.763	-42.400				
Epidote	-54.230	99.999	Marcasite	-200.020	99.999	Talc
	24.243	23.043				
Chrysotile	35.231	29.659	Sil. amorph.	-2.935	-3.308	

60

hayratcesmesi

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg. C	7.30/ 33.3	Gas (volume %)		Reference
temperature	deg. C : 0.0	(Arbitrary)		
CO2	287.00	CO2	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure	bar abs. : 1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy	kJ/kg : NaN	(Calculated)		
B	0.0790	H2	0.00	Discharge
	kg/s : 0.0			
SiO2	33.40	O2	0.00	Steam fraction
at collection	: 0.0000			
Na	78.50	CH4	0.00	
K	14.20	N2	0.00	Measured
temperature	deg. C : 33.3			
Mg	37.700			
Ca	120.00	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	73.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				
SO4	87.00	Total steam (mg/kg)		CO2
0.00				
Al	0.0250	CO2	0.00	H2S
0.00				
Fe	0.0280	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

0.00

Ionic strength = 0.01565

Ionic balance : Cations (mol . eq.) = 0.01227406 Anions (mol . eq.) =  
 0.00925534 Difference (%) = 28.04

Liquid phase components (mg/kg)  
 Gas pressures (bar-abs.)

Vapor phase (mg/kg)

B	0.0790	CO2	287.00	CO2	0.00
CO2	0.735E-02	H2S	0.00	H2S	0.00
SiO2	33.40	NH3	0.00	NH3	0.00
H2S	0.000E+00	H2	0.00	H2	0.00
Na	78.50	O2	0.00	O2	0.00
NH3	0.000E+00	CH4	0.00	CH4	0.00
K	14.20	N2	0.00	N2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	37.700				
O2	0.000E+00				
Ca	120.00				
CH4	0.000E+00				
F	0.000				
N2	0.000E+00				
Cl	73.00				
H2O	0.611E-02				
SO4	87.00				
Total	0.135E-01				
Al	0.0250				
Fe	0.0280				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.01613

1000/T (Kelvin) = 3.66

Ionic balance : Cations (mol . eq.) = 0.01252044 Anions (mol . eq.) =  
 0.00950171 Difference (%) = 27.42

Oxidation potential (volts) : Eh H2S= 99.999 Eh CH4= 99.999 Eh H2=  
 99.999 Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)

Quartz 84.4 (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony 52.7 (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
 Na/K 266.8 (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47,  
 pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

60

H+	0.897	K+	0.876
FeSO4+	0.884	Ca++	0.623
OH-	0.878	Mg++	0.641
FeCl ++	0.613	CaHCO3+	0.887
H3SiO4-	0.880	MgHCO3+	0.880
FeCl 2+	0.884	CaOH+	0.887
H2SiO4--	0.617	MgOH+	0.889
FeCl 4-	0.880	NH4+	0.874
H2BO3-	0.874		
	0.880		
HCO3-	0.880		
	0.380		
CO3--	0.608		
AlOH++	0.617		
HS-	0.878		
Al(OH)2+	0.885		

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

S--	0.613	Fe++	0.623	
Al(OH)4-	0.882			
HSO4-	0.882	Fe+++	0.380	
AlSO4+	0.882			
S04--	0.602	FeOH+	0.884	
Al(SO4)2-	0.882			
NaSO4-	0.885	Fe(OH)3-	0.884	AlF++
	0.617			
KS04-	0.885	Fe(OH)4--	0.613	AlF2+
	0.885			
F-	0.878	Fe(OH)++	0.613	AlF4-
	0.882			
Cl-	0.876	Fe(OH)2+	0.885	
AlF5--	0.608			
Na+	0.880	Fe(OH)4-	0.885	
AlF6---	0.327			

Chemical species in water - ppm and log mole  
Water pH is 7.523

H+	0.00	-7.476	Mg++	35.33	-2.838
Fe(OH)3	0.00	0.000			
OH-	0.00	-7.347	NaCl	0.01	-6.893
Fe(OH)4-	0.00	0.000			
H4SiO4	53.36	-3.256	KCl	0.00	-7.925
	-10.109				
H3SiO4-	0.07	-6.154	NaSO4-	0.24	-5.700
	-33.839				
H2SiO4--	0.00	-10.726	KS04-	0.11	-6.095
FeCl++	0.00	0.000			
NaH3SiO4	0.00	-7.543	CaSO4	9.81	-4.142
FeCl2+	0.00	0.000			
H3BO3	0.45	-5.141	MgSO4	4.84	-4.396
	0.000				
H2BO3-	0.01	-7.074	CaCO3	0.57	-5.246
FeCl4-	0.00	0.000			
H2CO3	34.63	-3.253	MgCO3	0.23	-5.562
	-7.670				
HC03-	356.63	-2.233	CaHC03+	4.96	-4.309
FeSO4+	0.00	0.000			
C03--	0.39	-5.186	MgHC03+	4.66	-4.263
	-9.818				
H2S	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-8.982
AlOH++	0.00	-8.315			
HS-	0.00	0.000	MgOH+	0.00	-8.367
Al(OH)2+	0.01	-6.964			
S--	0.00	0.000	NH4OH	0.00	0.000
Al(OH)3	0.04	-6.331			
H2SO4	0.00	-20.091	NH4+	0.00	0.000
Al(OH)4-	0.03	-6.460			
HSO4-	0.00	-9.077	Fe++	0.03	-6.319
AlSO4+	0.00	-10.624			
S04--	75.94	-3.102	Fe+++	0.00	0.000
Al(SO4)2-	0.00	-12.094			
HF	0.00	0.000	FeOH+	0.00	-11.600
	0.000				
F-	0.00	0.000	Fe(OH)2	0.00	-14.166
	0.000				
Cl-	73.00	-2.686	Fe(OH)3-	0.00	-21.837
	0.000				
Na+	78.45	-2.467	Fe(OH)4--	0.00	-29.813
	0.000				
K+	14.17	-3.441	Fe(OH)++	0.00	0.000
AlF5--	0.00	0.000			
Ca++	114.92	-2.543	Fe(OH)2+	0.00	0.000
AlF6---	0.00	0.000			

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

	log K	log K	log Q		log K	log Q	
Adularia	-17.390	-23.276	-19.780	Albite, low	-22.008	-18.804	
Anhydrite	-3.921	-4.511	-6.070	Calcite	-8.378	-8.150	
Chalcedony	-8.225	-3.256	-3.256	Fluorite	-11.323	99.999	
Goethite	-8.225	-88.387	-97.174	Microcline	-25.573	-19.780	
Laumontite	-38.146	-34.804	-28.800	Muscovite	-61.002	-40.496	
Magnetite	-121.654	-121.262	-76.743	Pyrite	-30.074	-18.004	
Ca-Montmor.	-121.654	-60.441	-39.520	Muscovite	-30.074	-18.004	
Mg-Montmor.	-43.653	-43.099	-43.099	Pyrite	-231.987	99.999	
Prehnite	-4.225	-152.446	99.999	Pyrite	-231.987	99.999	
Pyrrhotite	-4.225	-3.256	-3.256	Wollastonite	15.039	9.042	
Quartz	-41.763	-29.576	-28.800	Wollastonite	15.039	9.042	
Zoisite	-41.763	-42.211	-42.211	Marcasite	-200.020	99.999	Talc
Epidote	24.243	-54.230	99.999	Marcasite	-200.020	99.999	Talc
Chrysotile	24.243	23.023	23.023	SiI. amorph.	-2.935	-3.256	
Chrysotile	35.231	35.231	29.534	SiI. amorph.	-2.935	-3.256	

65

sendurakkasapkuyu

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg. C	6.70/ 28.5	Gas (volume %)		Reference
temperature deg. C :	0.0	(Arbitrary)		
CO2	901.00	CO2	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure bar abs. :	1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy kJ/kg :	NaN	(Calculated)		
B	2.9080	H2	0.00	Discharge
kg/s :	0.0			
SiO2	54.90	O2	0.00	Steam fraction
at collection :	0.0000			
Na	294.50	CH4	0.00	
K	11.70	N2	0.00	Measured
temperature deg. C :	28.5			
Mg	51.500			
Ca	104.20	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	41.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				
SO4	84.00	Total steam (mg/kg)		CO2
0.00				
Al	0.0170	CO2	0.00	H2S
0.00				
Fe	0.0440	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00				

Ionic strength = 0.02424

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.02182563 Anions (mol. eq.) = 0.01688934 Difference (%) = 25.50

Liquid phase components (mg/kg)  
Gas pressures (bar-abs.)

Vapor phase (mg/kg)

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

B	2.9080	CO2	901.00	CO2	0.00
CO2	0.760E-01	H2S	0.00	H2S	0.00
SiO2	54.90	NH3	0.00	NH3	0.00
H2S	0.000E+00	H2	0.00	H2	0.00
Na	294.50	O2	0.00	O2	0.00
NH3	0.000E+00	CH4	0.00	CH4	0.00
K	11.70	N2	0.00	N2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	51.500				
O2	0.000E+00				
Ca	104.20				
CH4	0.000E+00				
F	0.000				
N2	0.000E+00				
Cl	41.00				
H2O	0.611E-02				
SO4	84.00				
Total	0.821E-01				
Al	0.0170				
Fe	0.0440				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.02476

1000/T (Kelvin) = 3.66

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.02208621      Anions (mol. eq.) = 0.01714992  
Difference (%) = 25.16

Oxidation potential (volts) :      Eh H2S= 99.999      Eh CH4= 99.999      Eh H2= 99.999  
Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)

Quartz      106.6      (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
Chalcedony      76.6      (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
Na/K      115.9      (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

65

H+	0.881	K+	0.852	
FeSO4+	0.863	Ca++	0.571	
OH-	0.855	Mg++	0.594	
FeCl++	0.558	CaHCO3+	0.868	
H3SiO4-	0.858	MgHCO3+	0.858	FeCl+
FeCl2+	0.863	CaOH+	0.868	Al+++
H2SiO4--	0.563	MgOH+	0.870	
FeCl4-	0.858	NH4+	0.849	
H2BO3-	0.849	Fe++	0.571	
HCO3-	0.858	Fe+++	0.324	
CO3--	0.324	FeOH+	0.863	
AlOH++	0.563	Fe(OH)3-	0.863	AlF++
HS-	0.855	Fe(OH)4--	0.558	AlF2+
Al(OH)2+	0.865	Fe(OH)++	0.558	AlF4-
S--	0.558			
Al(OH)4-	0.860			
HSO4-	0.860			
AlSO4+	0.860			
SO4--	0.544			
Al(SO4)2-	0.860			
NaSO4-	0.865			
KS04-	0.563			
F-	0.865			
	0.855			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

		0.860					
Cl -		0.852		Fe(OH)2+		0.865	
Al F5--		0.551					
Na+		0.858		Fe(OH)4-		0.865	
Al F6---		0.263					
Chemical species in water - ppm and log mole							
Water pH is 6.889							
H+	0.00	-6.834	Mg++	46.41	-2.719		
Fe(OH)3	0.00	0.000	NaCl	0.01	-6.592		
OH-	0.00	-7.968					
Fe(OH)4-	0.00	0.000	KCl	0.00	-8.284	FeCl +	
H4SiO4	87.79	-3.039					
0.00	-10.199						
H3SiO4-	0.03	-6.560	NaSO4-	0.79	-5.180	FeCl 2	
0.00	-34.202						
H2SiO4--	0.00	-11.737	KS04-	0.08	-6.234		
FeCl ++	0.00	0.000	CaSO4	6.81	-4.301		
NaH3SiO4	0.00	-7.397					
FeCl 2+	0.00	0.000	MgSO4	5.21	-4.363	FeCl 3	
H3BO3	16.59	-3.571					
0.00	0.000						
H2BO3-	0.05	-6.125	CaCO3	0.25	-5.604		
FeCl 4-	0.00	0.000	MgCO3	0.16	-5.729	FeSO4	
H2CO3	358.29	-2.238					
0.00	-7.561						
HC03-	880.48	-1.841	CaHCO3+	9.57	-4.024		
FeSO4+	0.00	0.000					
C03--	0.24	-5.396	MgHCO3+	14.00	-3.785	Al +++	
0.00	-8.106						
H2S	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-9.711		
Al OH++	0.00	-7.267	MgOH+	0.00	-8.906		
HS-	0.00	0.000					
Al (OH)2+	0.02	-6.578	NH4OH	0.00	0.000		
S--	0.00	0.000					
Al (OH)3	0.02	-6.589	NH4+	0.00	0.000		
H2SO4	0.00	-18.877					
Al (OH)4-	0.00	-7.341	Fe++	0.04	-6.119		
HSO4-	0.00	-8.485					
Al SO4+	0.00	-9.024	Fe+++	0.00	0.000		
S04--	74.34	-3.111					
Al (SO4)2-	0.00	-10.547	FeOH+	0.00	-12.061	Al F++	
HF	0.00	0.000					
0.00	0.000						
F-	0.00	0.000	Fe(OH)2	0.00	-15.271	Al F2+	
0.00	0.000						
Cl -	40.99	-2.937	Fe(OH)3-	0.00	-23.565	Al F3	
0.00	0.000						
Na+	294.34	-1.893	Fe(OH)4--	0.00	-32.144	Al F4-	
0.00	0.000						
K+	11.68	-3.525	Fe(OH)++	0.00	0.000		
Al F5--	0.00	0.000					
Ca++	98.30	-2.610	Fe(OH)2+	0.00	0.000		
Al F6---	0.00	0.000					

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q
Adularia	-23.276	-20.119	Albite, low	-22.008	-18.484
Analcime	-17.390	-15.445	Calcite	-8.378	-8.508
Anhydrite	-4.511	-6.229	Fluorite	-11.323	99.999
Chalcedony	-3.921	-3.039	Microcline	-25.573	-20.119
Mg-Chlorite	-88.387	-102.949	K-Montmor.	-61.002	-40.653
Goethite	-8.225	99.999			
Laumontite	-34.804	-29.824			
Magnetite	-38.146	99.999			
Ca-Montmor.	-121.262	-76.971			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Mg-Montmor.	-121.654	-77.062			
Na-Montmor.	-60.441	-39.018	Muscovite	-30.074	-18.859
Prehnite	-43.653	-45.712			
Pyrrhotite	-152.446	99.999	Pyrite	-231.987	99.999
Quartz	-4.225	-3.039			
Wairakitite	-29.576	-29.824	Wollastonite	15.039	7.885
Zoisite	-41.763	-45.082			
Epidote	-54.230	99.999	Marcasite	-200.020	99.999
	24.243	20.343			Talc
Chrysotile	35.231	26.422	Sil. amorph.	-2.935	-3.039

87

sarı kı z pı n a r ı k a y n a ğ ı

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg. C	6.40/ 21.5	Gas (volume %)		Reference
temperature deg. C :	0.0	(Arbitrary)		
CO2	458.00	CO2	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure bar abs. :	1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy kJ/kg :	NaN	(Calculated)		
B	3.4290	H2	0.00	Discharge
kg/s :	0.0			
SiO2	34.30	O2	0.00	Steam fraction
at collection :	0.0000			
Na	63.60	CH4	0.00	
K	7.40	N2	0.00	Measured
temperature deg. C :	21.5			
Mg	82.600			
Ca	56.30	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	21.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				
SO4	117.00	Total steam (mg/kg)		CO2
0.00				
Al	0.0010	CO2	0.00	H2S
0.00				
Fe	0.0000	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00				

Ionic strength = 0.01527

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.01189620 Anions (mol. eq.) = 0.00793457 Difference (%) = 39.95

Liquid phase components (mg/kg)  
Gas pressures (bar-abs.)

Vapor phase (mg/kg)

B	3.4290	CO2	458.00	CO2	0.00
CO2	0.636E-01				
SiO2	34.30	H2S	0.00	H2S	0.00
H2S	0.000E+00				
Na	63.60	NH3	0.00	NH3	0.00
NH3	0.000E+00				
K	7.40	H2	0.00	H2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	82.600	O2	0.00	O2	0.00
O2	0.000E+00				



Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Ca	56.30	CH4	0.00	CH4	0.00
CH4	0.000E+00				
F	0.000	N2	0.00	N2	0.00
N2	0.000E+00				
Cl	21.00				
H2O	0.611E-02				
S04	117.00				
Total	0.698E-01				
Al	0.0010				
Fe	0.0000				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ionic strength = 0.01568

1000/T (Kelvin) = 3.66

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.01209755    Anions (mol. eq.) = 0.00813591  
 Difference (%) = 39.16

Oxidation potential (volts) :    Eh H2S= 99.999    Eh CH4= 99.999    Eh H2= 99.999    Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)

Quartz    85.5    (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony    54.0    (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
 Na/K    218.3    (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

87

H+	0.898	K+	0.877	
FeSO4+	0.885	Ca++	0.626	
OH-	0.879	Mg++	0.644	
FeCl ++	0.616	CaHCO3+	0.889	
H3SiO4-	0.881	MgHCO3+	0.881	FeCl +
FeCl 2+	0.885	CaOH+	0.889	Al +++
H2SiO4--	0.620	MgOH+	0.890	
FeCl 4-	0.881	NH4+	0.875	
H2BO3-	0.875	Fe++	0.626	
HC03-	0.881	Fe+++	0.384	
C03--	0.611	FeOH+	0.885	
Al OH++	0.620	Fe(OH)3-	0.885	Al F++
HS-	0.879	Fe(OH)4--	0.616	Al F2+
Al (OH)2+	0.887	Fe(OH)++	0.616	Al F4-
S--	0.616	Fe(OH)2+	0.887	
Al (OH)4-	0.883	Fe(OH)4-	0.887	
HS04-	0.883			
Al SO4+	0.883			
S04--	0.606			
Al (S04)2-	0.883			
NaS04-	0.887			
KS04-	0.620			
F-	0.887			
Cl -	0.877			
Al F5--	0.611			
Na+	0.881			
Al F6---	0.331			

Chemical species in water - ppm and log mole

Water pH is 6.554

H+	0.00	-6.507	Mg++	77.02	-2.499
Fe(OH)3	0.00	0.000			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

OH-	0.00	0.00	-8.316	NaCl	0.00	-7.524	
Fe(OH)4-	0.00	0.000					
H4SiO4	0.00	54.86	-3.244	KCl	0.00	-8.748	FeCl +
H3SiO4-	0.00	0.000					
H2SiO4--	0.00	0.01	-7.111	NaSO4-	0.26	-5.665	FeCl 2
FeCl ++	0.00	0.00	-12.653	KS04-	0.08	-6.252	
NaH3SiO4	0.00	0.00	-8.590	CaSO4	6.16	-4.344	
FeCl 2+	0.00	0.000					
H3BO3	0.00	19.59	-3.499	MgSO4	14.19	-3.929	FeCl 3
H2BO3-	0.00	0.02	-6.401	CaCO3	0.03	-6.574	
FeCl 4-	0.00	0.000					
H2CO3	0.00	300.09	-2.315	MgCO3	0.05	-6.221	FeSO4
HCO3-	0.00	331.64	-2.265	CaHCO3+	2.16	-4.669	
FeSO4+	0.00	0.000					
CO3--	0.00	0.04	-6.188	MgHCO3+	9.49	-3.954	Al +++
H2S	0.00	-8.665					
Al OH++	0.00	0.00	0.000	CaOH+	0.00	-10.280	
HS-	0.00	-8.129					
Al (OH)2+	0.00	0.00	0.000	MgOH+	0.00	-8.996	
S--	0.00	-7.744					
Al (OH)3	0.00	0.00	0.000	NH4OH	0.00	0.000	
H2SO4	0.00	-8.080					
Al (OH)4-	0.00	0.00	-18.027	NH4+	0.00	0.000	
HSO4-	0.00	-9.178					
Al SO4+	0.00	0.00	-7.982	Fe++	0.00	0.000	
SO4--	0.00	-9.340					
Al (SO4)2-	0.00	101.06	-2.978	Fe+++	0.00	0.000	
HF	0.00	-10.683					
F-	0.00	0.00	0.000	FeOH+	0.00	0.000	Al F++
Cl -	0.00	0.00	0.000	Fe(OH)2	0.00	0.000	Al F2+
Na+	0.00	21.00	-3.227	Fe(OH)3-	0.00	0.000	Al F3
K+	0.00	0.00					
Al F5--	0.00	63.55	-2.558	Fe(OH)4--	0.00	0.000	Al F4-
Ca++	0.00	0.000					
Al F6---	0.00	7.38	-3.724	Fe(OH)++	0.00	0.000	
		0.00	0.000				
		53.62	-2.874	Fe(OH)2+	0.00	0.000	
		0.00	0.000				

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q
Adularia	-23.276	-22.744	Albite, low	-22.008	-21.576
Analcime	-17.390	-18.333	Calcite	-8.378	-9.479
Anhydrite	-4.511	-6.272	Fluorite	-11.323	99.999
Chalcedony	-3.921	-3.244	Microcline	-25.573	-22.744
Mg-Chlorite	-88.387	-108.619	K-Montmor.	-61.002	-53.855
Goethite	-8.225	99.999	Muscovite	-30.074	-24.465
Laumontite	-34.804	-34.516	Pyrite	-231.987	99.999
Magnetite	-38.146	99.999	Wollastonite	15.039	6.788
Ca-Montmor.	-121.262	-103.225	Marcasite	-200.020	99.999
Mg-Montmor.	-121.654	-102.838	SiI. amorph.	-2.935	-3.244
Na-Montmor.	-60.441	-52.687			
Prehnite	-43.653	-51.092			
Pyrrhotite	-152.446	99.999			
Quartz	-4.225	-3.244			
Wairakitite	-29.576	-34.516			
Zoisite	-41.763	-51.953			
Epidote	-54.230	99.999			
	24.243	18.280			
Chrysotile	35.231	24.768			

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

91

acı derekaynaksuyu

Water sample (mg/kg)		Steam sample		
pH/deg. C	5.80/ 13.5	Gas (volume %)		Reference
temperature deg. C :	0.0	(Arbitrary)		
CO2	396.00	CO2	0.00	
H2S	0.00	H2S	0.00	Sampling
pressure bar abs. :	1.0			
NH3	0.00	NH3	0.00	Discharge
enthalpy kJ/kg :	NaN	(Calculated)		
B	0.1200	H2	0.00	Discharge
kg/s :	0.0			
SiO2	14.40	O2	0.00	Steam fraction
at collection :	0.0000			
Na	188.50	CH4	0.00	
K	13.60	N2	0.00	Measured
temperature deg. C :	13.5			
Mg	73.500			
Ca	57.50	Liters gas per kg		
F	0.000	condensate/deg. C	0.00/ 0.0	Condensate
(mg/kg)				
Cl	32.00			pH/deg. C
0.00/ 0.0				
SO4	324.00	Total steam (mg/kg)		CO2
0.00				
Al	0.0330	CO2	0.00	H2S
0.00				
Fe	0.1040	H2S	0.00	NH3
0.00				
TDS	0.00	NH3	0.00	Na
0.00				

Ionic strength = 0.01924

Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.01643014 Anions (mol. eq.) = 0.00847050  
 Difference (%) = 63.93

Liquid phase components (mg/kg)  
 Gas pressures (bar-abs.)

Vapor phase (mg/kg)

B	0.1200	CO2	396.00	CO2	0.00
CO2	0.939E-01				
SiO2	14.40	H2S	0.00	H2S	0.00
H2S	0.000E+00				
Na	188.50	NH3	0.00	NH3	0.00
NH3	0.000E+00				
K	13.60	H2	0.00	H2	0.00
H2	0.000E+00				
Mg	73.500	O2	0.00	O2	0.00
O2	0.000E+00				
Ca	57.50	CH4	0.00	CH4	0.00
CH4	0.000E+00				
F	0.000	N2	0.00	N2	0.00
N2	0.000E+00				
Cl	32.00				
H2O	0.611E-02				
SO4	324.00				
Total	0.100E+00				
Al	0.0330				
Fe	0.1040				
TDS	0.00				

Aquifer steam fraction = 0.0000

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

Ionic strength = 0.01970  
 1000/T (Kelvin) = 3.66  
 Ionic balance : Cations (mol. eq.) = 0.01665916 Anions (mol. eq.) =  
 0.00869952 Difference (%) = 62.78

Oxidation potential (volts) : Eh H2S= 99.999 Eh CH4= 99.999 Eh H2=  
 99.999 Eh NH3= 99.999

Chemical geothermometers (degrees C)  
 Quartz 51.1 (Fournier & Potter, GRC Bulletin, pp. 3-12, Nov. 1982)  
 Chalcedony 19.1 (Fournier, Geothermics, vol. 5, pp. 41-50, 1977)  
 Na/K 167.8 (Arnorsson et al., Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47,  
 pp. 567-577, 1983)

Activity coefficients in water

91

H+	0.889	K+	0.865	
FeSO4+	0.874			
OH-	0.868	Ca++	0.599	
FeCl ++	0.588			
H3SiO4-	0.870	Mg++	0.619	
FeCl 2+	0.874			
H2SiO4--	0.592	CaHCO3+	0.879	
FeCl 4-	0.870			
H2BO3-	0.863	MgHCO3+	0.870	FeCl +
	0.870			
HCO3-	0.870	CaOH+	0.879	Al +++
	0.353			
CO3--	0.582	MgOH+	0.880	
Al OH++	0.592			
HS-	0.868	NH4+	0.863	
Al (OH)2+	0.876			
S--	0.588	Fe++	0.599	
Al (OH)4-	0.872			
HSO4-	0.872	Fe+++	0.353	
Al SO4+	0.872			
SO4--	0.576	FeOH+	0.874	
Al (SO4)2-	0.872			
NaSO4-	0.876	Fe(OH)3-	0.874	Al F++
	0.592			
KS04-	0.876	Fe(OH)4--	0.588	Al F2+
	0.876			
F-	0.868	Fe(OH)++	0.588	Al F4-
	0.872			
Cl -	0.865	Fe(OH)2+	0.876	
Al F5--	0.582			
Na+	0.870	Fe(OH)4-	0.876	
Al F6---	0.296			

Chemical species in water - ppm and log mole

Water pH is 5.906

H+	0.00	-5.855	Mg++	66.37	-2.564
Fe(OH)3	0.00	0.000			
OH-	0.00	-8.958	NaCl	0.01	-6.882
Fe(OH)4-	0.00	0.000			
H4SiO4	23.03	-3.620	KCl	0.00	-8.316
	0.00	-9.958			FeCl +
H3SiO4-	0.00	-8.131	NaSO4-	2.05	-4.765
	0.00	-34.057			FeCl 2
H2SiO4--	0.00	-14.307	KS04-	0.37	-5.561
FeCl ++	0.00	0.000			
NaH3SiO4	0.00	-9.150	CaSO4	15.55	-3.942
FeCl 2+	0.00	0.000			
H3BO3	0.69	-4.955	MgSO4	31.58	-3.581
	0.00	0.000			FeCl 3

Ek-7 Watch Çıktıları.txt

H2B03-	0.00	0.00	-8.498	CaCO3	0.00	-7.729	
FeCl 4-	0.00	0.000					
H2CO3	0.04	442.57	-2.147	MgCO3	0.00	-7.431	FeS04
		-6.605					
HC03-		111.38	-2.739	CaHC03+	0.68	-5.171	
FeS04+	0.00	0.000					
C03--	0.01	0.00	-7.294	MgHC03+	2.64	-4.509	Al +++
		-6.355					
H2S		0.00	0.000	CaOH+	0.00	-10.951	
Al OH++	0.01	-6.483					
HS-		0.00	0.000	MgOH+	0.00	-9.721	
Al (OH)2+	0.01	-6.762					
S--		0.00	0.000	NH4OH	0.00	0.000	
Al (OH)3	0.00	-7.751					
H2S04		0.00	-16.301	NH4+	0.00	0.000	
Al (OH)4-	0.00	-9.492					
HS04-		0.01	-6.899	Fe++	0.09	-5.792	
Al S04+	0.03	-6.632					
S04--		285.85	-2.526	Fe+++	0.00	0.000	
Al (S04)2-	0.01	-7.545					
HF		0.00	0.000	FeOH+	0.00	-12.702	Al F++
	0.00	0.000					
F-		0.00	0.000	Fe(OH)2	0.00	-16.890	Al F2+
	0.00	0.000					
Cl -		32.00	-3.045	Fe(OH)3-	0.00	-26.174	Al F3
	0.00	0.000					
Na+		188.10	-2.087	Fe(OH)4--	0.00	-35.753	Al F4-
	0.00	0.000					
K+		13.49	-3.462	Fe(OH)++	0.00	0.000	
Al F5--	0.00	0.000					
Ca++		52.65	-2.882	Fe(OH)2+	0.00	0.000	
Al F6---	0.00	0.000					

Logarithms of mineral solubility product constants (K) and ion activity products (Q) in water

	log K	log Q		log K	log Q
Adularia	-23.276	-23.938	Albite, low	-22.008	-22.560
Analcime	-17.390	-18.940			
Anhydrite	-4.511	-5.871	Calcite	-8.378	-10.634
Chalcedony	-3.921	-3.620			
Mg-Chlorite	-88.387	-115.983	Fluorite	-11.323	99.999
Goethite	-8.225	99.999			
Laumontite	-34.804	-36.689	Microcline	-25.573	-23.938
Magnetite	-38.146	99.999			
Ca-Montmor.	-121.262	-108.233	K-Montmor.	-61.002	-56.089
Mg-Montmor.	-121.654	-107.900			
Na-Montmor.	-60.441	-54.712	Muscovite	-30.074	-25.000
Prehnite	-43.653	-54.213			
Pyrrhotite	-152.446	99.999	Pyrite	-231.987	99.999
Quartz	-4.225	-3.620			
Wairakite	-29.576	-36.689	Wollastonite	15.039	5.087
Zoisite	-41.763	-54.744			
Epidote	-54.230	99.999	Marcasite	-200.020	99.999
	24.243	12.638			
Chrysotile	35.231	19.879	Sil. amorph.	-2.935	-3.620

Ek: 8 Phreeqc çıktıları.

soln	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	6,61E+00	6,58E+00	6,13E+00	8,14E+00	6,38E+00	7,89E+00	7,34E+00	6,79E+00
pe	3,80E+00	2,80E+00	0,00E+00	4,00E+00	4,00E-01	-1,0E+00	4,00E-01	1,30E+00
temp	7,80E+00	3,06E+01	2,81E+01	2,10E+01	1,56E+01	1,30E+01	2,44E+01	2,83E+01
Alk	1,86E-03	4,22E-02	2,74E-02	4,82E-02	7,30E-02	2,75E-03	5,40E-03	7,20E-03
Ionic strength	3,24E-03	4,90E-02	3,84E-02	5,72E-02	7,72E-02	7,61E-03	8,76E-03	1,03E-02
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	1,14E-04	-2,02E-03	1,52E-03	-5,74E-04	2,51E-03	2,41E-03	6,59E-04	9,04E-04
pct_err	2,54E+00	-2,27E+00	2,58E+00	-5,09E-01	1,64E+00	2,49E+01	4,80E+00	5,48E+00
molar c								
Al	1,15E-06	2,12E-06	1,26E-06	2,00E-05	5,19E-06	1,11E-07	1,19E-06	1,04E-06
As	1,05E-07	6,70E-08	1,14E-07	3,49E-06	6,72E-08	2,67E-08	6,01E-08	5,34E-08
B	1,20E-06	1,03E-02	2,48E-03	1,39E-03	1,00E-02	1,57E-06	9,41E-05	5,65E-05
C(4)	3,16E-03	6,06E-02	6,22E-02	4,78E-02	1,33E-01	2,81E-03	5,87E-03	9,42E-03
Ca	5,00E-04	2,92E-03	3,37E-03	1,26E-04	2,99E-04	1,49E-03	1,06E-03	1,55E-03
Cl	1,69E-04	4,79E-03	2,04E-03	9,69E-03	4,94E-03	4,23E-04	9,31E-04	5,08E-04
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	1,04E-06	1,80E-06	2,02E-05	1,87E-04	1,24E-03	1,79E-07	1,16E-06	1,79E-07
K	8,75E-05	1,72E-03	3,89E-04	4,53E-04	1,52E-03	2,04E-04	1,58E-04	1,08E-04
Li	5,33E-07	9,18E-04	1,98E-04	9,30E-05	5,37E-04	5,48E-07	1,10E-05	9,78E-06
Mg	4,31E-04	2,70E-03	6,60E-03	7,38E-05	9,08E-05	1,13E-03	7,88E-04	4,63E-04
Mn	5,04E-08	5,17E-06	1,16E-05	8,01E-07	2,20E-05	9,10E-10	1,03E-07	1,30E-06
Na	0,00037	0,03122	0,01167	0,05636	0,07525	0,00077	0,00347	0,00473
P	0,00000	0,00001	0,00000	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
S(6)	0,00009	0,00010	0,00066	0,00010	0,00010	0,00032	0,00018	0,00014
Si	0,00015	0,00142	0,00047	0,00070	0,00158	0,00001	0,00024	0,00035
Sr	0,00000	0,00002	0,00001	0,00001	0,00002	0,00000	0,00001	0,00000
si_Albite	-2,1	1,7	-0,6	2,7	3,1	-6,2	-1,3	-1,0
si_Anorthite	-3,5	-0,8	-2,8	-0,4	-1,4	-6,8	-2,6	-2,5
si_Aragonite	-1,8	0,2	-0,3	0,3	-1,0	0,1	-0,1	-0,4
si_Boehmite	1,8	1,5	1,4	1,3	2,2	-0,4	0,8	1,1
si_Calcite	-1,7	0,4	-0,2	0,4	-0,9	0,2	0,0	-0,2
si_Chalcedony	-0,1	0,6	0,2	0,4	0,9	-1,3	-0,1	0,1
si_CO2(g)	-1,6	-0,2	0,0	-1,8	0,1	-2,8	-1,8	-1,1
si_Cristobalite	0,0	0,7	0,2	0,5	0,9	-1,2	0,0	0,1
si_Dolomite	-3,6	0,9	0,1	0,7	-2,3	0,3	0,0	-0,8
si_Fe(OH)3(a)	-0,9	-1,8	-4,8	4,1	-2,5	-2,6	-1,8	-3,3
si_Gibbsite	2,5	1,9	1,8	1,8	2,8	0,3	1,3	1,5
si_Goethite	4,4	4,3	1,2	9,8	3,0	2,9	4,1	2,7
si_Gypsum	-3,0	-2,8	-1,9	-4,2	-3,9	-2,1	-2,6	-2,6
si_Illite	3,5	5,8	3,3	5,8	7,8	-4,0	2,0	2,3
si_Kaolinite	6,6	6,7	5,7	6,2	9,0	-0,3	4,1	4,8
si_Kmica	10,5	12,3	9,7	12,4	15,2	2,0	8,1	8,5
si_Montmor-Ca	5,0	6,5	4,6	5,9	9,1	-4,0	2,7	3,6
si_Quartz	0,4	1,1	0,6	0,9	1,3	-0,8	0,4	0,5
si_Strontianite	-3,4	-1,0	-1,8	-0,1	-1,3	-1,7	-1,5	-2,0
si_Manganite	-9,2	-8,9	-12,5	-4,4	-11,4	-12,1	-10,3	-9,9
si_Rhodoch.	-3,1	-0,1	-0,3	0,0	0,2	-3,5	-1,5	-0,8

Ek: 8'e devam;

soln	9	10	11	12	13	14	15	16
pH	6,86E+00	6,81E+00	6,86E+00	7,19E+00	6,92E+00	6,93E+00	6,67E+00	7,05E+00
pe	1,80E+00	-1,00E-01	-1,00E-01	6,00E-01	2,70E+00	7,00E-01	1,90E+00	3,10E+00
temp	2,64E+01	1,97E+01	1,72E+01	2,12E+01	2,18E+01	2,33E+01	1,79E+01	1,59E+01
Alk	1,15E-02	6,67E-03	2,00E-02	7,40E-03	7,20E-03	7,80E-03	1,08E-03	1,40E-03
Ionic strength	1,73E-02	1,19E-02	2,24E-02	1,36E-02	1,14E-02	1,18E-02	2,69E-03	2,99E-03
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	2,20E-03	1,90E-03	-7,09E-03	2,21E-03	6,76E-04	7,27E-04	8,29E-04	7,24E-04
pct_err	8,41E+00	1,14E+01	-2,06E+01	1,13E+01	4,06E+00	4,24E+00	2,14E+01	1,79E+01
molar c								
Al	5,94E-07	5,56E-07	2,23E-07	1,37E-06	5,56E-07	1,34E-06	1,04E-06	1,25E-05
As	8,02E-09	9,35E-09	6,68E-09	3,74E-08	5,88E-08	1,24E-07	1,33E-08	1,11E-07
B	2,07E-04	1,80E-04	9,39E-05	1,15E-04	7,31E-05	5,75E-05	7,86E-05	3,55E-05
C(4)	1,45E-02	8,84E-03	2,58E-02	8,35E-03	8,97E-03	9,62E-03	1,62E-03	1,64E-03
Ca	2,02E-03	1,78E-03	2,58E-03	1,58E-03	1,76E-03	2,05E-03	4,09E-04	5,61E-04
Cl	5,36E-04	5,08E-04	6,78E-04	1,16E-03	5,36E-04	4,23E-04	2,54E-04	1,41E-04
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	1,79E-07	1,45E-06	1,79E-07	4,84E-07	7,88E-07	1,42E-06	3,44E-06	8,35E-06
K	2,01E-04	1,76E-04	2,31E-04	2,42E-04	1,06E-04	1,23E-04	5,48E-05	3,89E-05
Li	1,65E-05	1,34E-05	4,34E-06	8,65E-06	3,65E-06	2,39E-06	2,22E-06	1,38E-06
Mg	2,46E-03	1,77E-03	3,01E-03	2,26E-03	1,35E-03	1,33E-03	2,54E-04	3,27E-04
Mn	3,32E-06	3,10E-08	5,29E-09	2,00E-07	1,97E-07	1,23E-07	5,08E-08	1,92E-07
Na	0,00546	0,00228	0,00308	0,00328	0,00261	0,00231	0,00098	0,00058
P	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
S(6)	0,00021	0,00025	0,00044	0,00023	0,00026	0,00013	0,00010	0,00009
Si	0,00029	0,00017	0,00023	0,00020	0,00024	0,00026	0,00025	0,00019
Sr	0,00001	0,00000	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
si_Albite	-1,3	-2,0	-1,8	-1,3	-1,6	-1,3	-1,5	-0,8
si_Anorthite	-3,0	-3,4	-3,8	-2,5	-3,1	-2,2	-3,1	-0,8
si_Aragonite	-0,1	-0,5	0,1	-0,1	-0,3	-0,2	-1,9	-1,3
si_Boehmite	0,8	1,1	0,7	1,1	0,9	1,2	1,5	2,4
si_Calcite	0,1	-0,3	0,2	0,1	-0,1	0,0	-1,8	-1,2
si_Chalcedony	0,0	-0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1
si_CO2(g)	-1,0	-1,3	-0,9	-1,6	-1,3	-1,3	-1,9	-2,2
si_Cristobalite	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
si_Dolomite	0,4	-0,6	0,6	0,4	-0,3	-0,1	-3,7	-2,6
si_Fe(OH)3(a)	-2,7	-3,9	-5,0	-2,5	-1,0	-2,7	-1,8	0,9
si_Gibbsite	1,3	1,6	1,3	1,6	1,4	1,7	2,1	3,0
si_Goethite	3,2	1,8	0,7	3,2	4,8	3,1	3,9	6,4
si_Gypsum	-2,4	-2,3	-2,0	-2,4	-2,3	-2,5	-3,0	-2,9
si_Illite	2,0	2,0	1,8	2,7	2,0	2,8	3,0	5,1
si_Kaolinite	4,3	4,6	4,3	4,7	4,5	5,1	5,9	7,6
si_Kmica	8,0	8,3	7,9	9,0	8,1	9,1	9,6	12,2
si_Montmor-Ca	2,9	3,0	2,8	3,3	3,1	3,9	4,6	6,5
si_Quartz	0,4	0,3	0,5	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4
si_Strontianite	-1,6	-2,2	-1,6	-1,4	-2,0	-1,8	-3,6	-3,0
si_Manganite	-8,9	-12,9	-13,7	-10,3	-9,0	-11,2	-10,9	-8,0
si_Rhodoch.	-0,3	-2,6	-3,1	-1,4	-1,6	-1,8	-3,1	-2,0

Ek: 8'e devam;

soln	17	18	19	20	21	22	23	24
pH	5,94E+00	7,28E+00	7,17E+00	8,22E+00	6,54E+00	6,31E+00	6,87E+00	7,50E+00
pe	1,00E-01	1,60E+00	2,50E+00	-1,30E+00	2,00E-01	4,00E-01	-3,00E-01	-8,00E-01
temp	2,85E+01	3,03E+01	2,52E+01	1,23E+01	2,80E+01	3,10E+01	2,39E+01	2,39E+01
Alk	1,89E-02	5,60E-03	4,16E-03	7,76E-03	1,63E-02	1,65E-02	1,38E-02	1,20E-03
Ionic strength	2,38E-02	1,05E-02	1,23E-02	1,17E-02	2,11E-02	2,35E-02	2,74E-02	2,36E-03
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	-7,00E-05	8,51E-04	2,77E-03	1,49E-03	5,73E-04	2,99E-03	6,09E-03	1,31E-04
pct_err	-1,88E-01	5,68E+00	1,72E+01	8,32E+00	1,68E+00	7,98E+00	1,74E+01	4,20E+00
molar c								
Al	2,14E-05	1,15E-06	1,11E-06	1,63E-06	4,83E-07	2,97E-07	6,68E-07	5,19E-07
As	6,68E-09	5,13E-07	1,87E-08	5,61E-08	2,27E-08	1,47E-08	1,20E-07	2,38E-07
B	6,83E-04	6,48E-06	3,42E-06	2,87E-05	3,20E-04	2,02E-04	4,63E-07	4,63E-07
C(4)	5,74E-02	6,11E-03	4,69E-03	7,72E-03	2,48E-02	3,07E-02	1,71E-02	1,27E-03
Ca	4,64E-03	1,73E-03	1,22E-03	1,63E-03	2,44E-03	3,26E-03	2,00E-03	4,14E-04
Cl	5,65E-04	1,16E-03	1,41E-03	4,52E-04	7,91E-04	1,07E-03	3,11E-04	5,64E-05
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	6,11E-05	3,23E-06	1,79E-07	6,79E-06	2,60E-06	1,27E-06	1,26E-06	1,33E-06
K	2,92E-04	1,22E-04	2,75E-04	2,66E-04	1,74E-04	2,12E-04	9,49E-05	2,21E-05
Li	5,10E-05	9,37E-07	3,33E-06	5,73E-06	1,37E-05	8,95E-06	3,88E-06	3,75E-07
Mg	1,11E-03	1,27E-03	2,70E-03	1,16E-03	2,01E-03	1,94E-03	8,47E-03	2,84E-04
Mn	9,78E-06	5,50E-06	1,06E-08	2,44E-06	2,21E-05	4,79E-06	1,12E-07	1,84E-08
Na	0,00732	0,00205	0,00186	0,00420	0,00877	0,01030	0,00103	0,00023
P	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
S(6)	0,00003	0,00030	0,00082	0,00019	0,00015	0,00018	0,00097	0,00014
Si	0,00065	0,00026	0,00019	0,00016	0,00046	0,00037	0,00022	0,00014
Sr	0,00002	0,00002	0,00000	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00000
si_Albite	0,5	-1,8	-2,0	-0,8	-0,8	-1,5	-2,3	-3,5
si_Anorthite	-0,4	-2,6	-2,9	-2,2	-3,0	-3,8	-3,2	-4,1
si_Aragonite	-0,4	0,1	-0,4	0,8	-0,2	-0,2	-0,1	-0,9
si_Boehmite	2,5	0,6	0,9	0,5	0,9	0,7	1,0	0,3
si_Calcite	-0,3	0,2	-0,3	1,0	0,0	-0,1	0,0	-0,8
si_Chalcedony	0,3	-0,1	-0,2	-0,1	0,2	0,1	-0,1	-0,3
si_CO2(g)	0,1	-1,7	-1,8	-2,7	-0,6	-0,3	-1,0	-2,6
si_Cristobalite	0,4	-0,1	-0,1	0,0	0,2	0,1	-0,1	-0,3
si_Dolomite	-1,0	0,5	0,0	1,8	0,0	-0,2	0,8	-1,7
si_Fe(OH)3(a)	-4,7	-0,2	-1,0	-0,5	-4,1	-4,9	-4,1	-2,3
si_Gibbsite	3,0	1,0	1,4	1,1	1,4	1,1	1,4	0,8
si_Goethite	1,3	5,9	4,9	4,9	1,9	1,2	1,8	3,6
si_Gypsum	-3,0	-2,2	-2,0	-2,4	-2,5	-2,3	-1,9	-2,9
si_Illite	5,9	1,4	1,9	2,5	2,3	1,2	1,8	-0,3
si_Kaolinite	8,2	3,6	4,0	3,8	4,8	4,0	4,4	2,7
si_Kmica	13,2	7,2	8,1	8,5	8,3	7,2	7,8	5,3
si_Montmor-Ca	7,7	2,1	2,4	2,4	3,6	2,6	2,8	0,7
si_Quartz	0,7	0,3	0,3	0,4	0,6	0,5	0,3	0,1
si_Strontianite	-1,9	-1,1	-2,1	-0,6	-1,7	-2,0	-1,6	-2,7
si_Manganite	-13,0	-7,5	-9,6	-8,3	-10,7	-11,9	-12,5	-11,5
si_Rhodoch.	-0,6	0,2	-2,8	0,3	0,3	-0,5	-1,8	-2,6



Ek: 8'e devam;

soln	25	26	27	28	29	31	32	33
pH	8,20E+00	7,17E+00	7,33E+00	6,98E+00	8,14E+00	6,34E+00	6,69E+00	7,57E+00
pe	-1,40E+00	-4,00E-01	-6,00E-01	-2,00E-01	-1,40E+00	1,00E-01	1,00E-01	-8,00E-01
temp	1,80E+01	2,39E+01	1,47E+01	1,47E+01	1,10E+01	1,64E+01	1,51E+01	1,13E+01
Alk	6,83E-03	1,01E-02	9,69E-03	8,32E-03	5,45E-03	1,08E-02	1,86E-02	1,62E-03
Ionic strength	1,42E-02	1,98E-02	2,28E-02	1,94E-02	1,21E-02	2,58E-02	4,43E-02	8,66E-03
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	3,78E-03	2,66E-03	5,32E-03	4,39E-03	3,10E-03	1,38E-02	2,54E-02	6,05E-03
pct_err	2,11E+01	9,81E+00	1,84E+01	1,73E+01	2,05E+01	3,39E+01	3,76E+01	6,00E+01
molar c								
Al	2,56E-06	3,71E-08	4,82E-07	3,97E-06	4,30E-06	2,23E-07	1,00E-06	3,71E-08
As	5,21E-08	1,20E-08	1,47E-08	1,47E-08	6,68E-09	2,27E-08	6,69E-08	6,68E-09
B	3,98E-06	6,39E-06	3,98E-06	1,36E-05	5,28E-06	4,67E-03	6,47E-03	4,63E-07
C(4)	6,72E-03	1,13E-02	1,06E-02	1,02E-02	5,42E-03	2,13E-02	2,63E-02	1,72E-03
Ca	2,02E-03	6,62E-04	4,08E-03	3,88E-03	2,42E-03	2,90E-04	5,22E-03	2,35E-03
Cl	2,54E-04	2,32E-03	1,24E-03	1,95E-03	3,10E-04	2,26E-03	3,25E-03	1,69E-04
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	6,58E-06	1,79E-07	1,79E-07	2,94E-06	4,82E-05	1,79E-07	1,79E-06	3,58E-07
K	6,01E-05	7,41E-05	2,11E-04	3,71E-04	2,62E-04	1,08E-03	1,46E-03	5,62E-05
Li	9,37E-07	1,38E-06	3,33E-06	4,93E-06	1,25E-06	3,58E-04	5,85E-04	2,65E-06
Mg	3,41E-03	5,94E-03	4,32E-03	3,00E-03	2,03E-03	5,27E-03	6,12E-03	1,20E-03
Mn	3,70E-07	9,11E-10	1,91E-08	9,00E-08	3,99E-07	4,37E-09	4,34E-06	1,17E-08
Na	0,00056	0,00223	0,00120	0,00135	0,00033	0,01529	0,02308	0,00101
P	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000
S(6)	0,00032	0,00023	0,00099	0,00042	0,00037	0,00050	0,00028	0,00018
Si	0,00019	0,00012	0,00021	0,00028	0,00010	0,00077	0,00088	0,00029
Sr	0,00001	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00002	0,00001
si_Albite	-1,7	-3,9	-1,7	-0,4	-2,1	0,1	1,5	-2,2
si_Anorthite	-1,8	-6,6	-2,8	-0,8	-1,6	-4,5	-1,2	-4,7
si_Aragonite	0,9	-0,4	0,4	0,0	0,8	-1,7	0,1	-0,3
si_Boehmite	0,5	-0,6	0,7	2,0	1,0	0,8	1,5	-0,5
si_Calcite	1,1	-0,2	0,6	0,2	0,9	-1,5	0,2	-0,1
si_Chalcedony	-0,1	-0,4	0,0	0,1	-0,3	0,5	0,6	0,2
si_CO2(g)	-2,7	-1,4	-1,7	-1,4	-2,7	-0,6	-0,8	-2,7
si_Cristobalite	-0,1	-0,3	0,1	0,2	-0,2	0,6	0,7	0,2
si_Dolomite	2,4	0,6	1,1	0,2	1,7	-1,7	0,5	-0,6
si_Fe(OH)3(a)	-0,6	-4,0	-4,0	-3,4	0,0	-6,2	-4,3	-3,0
si_Gibbsite	1,1	-0,1	1,3	2,6	1,7	1,4	2,1	0,2
si_Goethite	5,1	1,8	1,5	2,1	5,4	-0,6	1,2	2,4
si_Gypsum	-2,2	-2,9	-1,5	-1,8	-2,0	-2,9	-2,1	-2,2
si_Illite	2,1	-2,3	2,4	5,4	3,0	3,9	6,2	0,2
si_Kaolinite	3,6	0,8	4,4	7,1	4,5	5,6	7,1	2,5
si_Kmica	7,7	2,7	8,5	12,4	9,5	10,0	12,8	5,2
si_Montmor-Ca	2,3	-1,6	3,1	6,3	3,0	4,7	6,9	1,1
si_Quartz	0,3	0,1	0,5	0,6	0,2	1,0	1,1	0,7
si_Strontianite	-0,7	-1,9	-1,5	-2,0	-1,1	-2,8	-1,3	-1,7
si_Manganite	-9,3	-13,8	-12,2	-12,1	-9,3	-15,0	-11,1	-11,6
si_Rhodoch.	-0,5	-3,6	-2,3	-2,0	-0,6	-3,8	-0,4	-2,8

Ek: 8'e devam;

soln	34	35	36	37	38	39	40	41
pH	7,73E+00	7,65E+00	7,24E+00	6,61E+00	7,99E+00	7,01E+00	7,68E+00	7,29E+00
pe	-9,00E-01	-9,00E-01	-4,00E-01	2,30E+00	-1,10E+00	-2,00E-01	2,10E+00	-3,00E-01
temp	1,43E+01	1,47E+01	1,47E+01	2,53E+01	4,55E+01	1,73E+01	2,75E+01	1,69E+01
Alk	6,84E-03	6,24E-03	1,13E-02	1,98E-02	3,38E-02	2,25E-02	3,72E-03	7,56E-03
Ionic strength	1,28E-02	9,06E-03	1,60E-02	2,25E-02	4,25E-02	4,47E-02	8,21E-03	1,40E-02
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	3,95E-03	9,43E-04	1,11E-03	-6,68E-03	4,49E-03	2,15E-02	1,29E-03	2,20E-03
pct_err	2,12E+01	6,63E+00	4,22E+00	-1,74E+01	5,38E+00	2,96E+01	1,18E+01	1,12E+01
molar c								
Al	1,22E-06	8,16E-07	3,71E-08	2,60E-07	1,59E-05	6,28E-06	1,67E-06	2,00E-06
As	9,35E-08	3,34E-08	2,46E-07	8,82E-08	1,06E-05	6,69E-08	1,28E-07	8,82E-08
B	1,85E-04	1,58E-04	3,02E-04	4,72E-05	1,15E-02	8,19E-03	4,44E-06	3,12E-05
C(4)	7,07E-03	6,53E-03	1,28E-02	2,90E-02	3,24E-02	2,66E-02	3,83E-03	8,37E-03
Ca	1,74E-03	1,02E-03	9,54E-04	4,36E-04	2,70E-04	4,08E-03	1,42E-03	3,50E-03
Cl	4,80E-04	3,39E-04	8,75E-04	2,57E-03	6,34E-03	4,07E-03	7,05E-04	1,13E-03
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	1,29E-05	1,79E-07	1,79E-07	1,79E-07	1,93E-05	6,30E-05	5,19E-07	1,18E-06
K	3,29E-04	2,04E-04	9,03E-04	3,68E-04	2,66E-03	1,70E-03	2,25E-04	4,16E-04
Li	2,39E-05	1,95E-05	3,51E-05	1,11E-05	1,12E-03	6,67E-04	1,63E-06	6,27E-06
Mg	1,81E-03	9,37E-04	1,80E-03	3,03E-03	5,78E-05	5,13E-03	1,19E-03	8,09E-04
Mn	2,63E-06	1,68E-08	5,25E-08	1,02E-08	4,11E-07	6,20E-06	1,13E-07	8,74E-08
Na	0,00411	0,00358	0,00758	0,00917	0,04043	0,02752	0,00092	0,00220
P	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00000	0,00001
S(6)	0,00017	0,00010	0,00038	0,00039	0,00017	0,00022	0,00033	0,00019
Si	0,00023	0,00020	0,00029	0,00037	0,00384	0,00133	0,00005	0,00037
Sr	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00002	0,00000	0,00001
si_Albite	-0,6	-1,0	-1,6	-1,2	3,1	2,9	-4,1	-0,2
si_Anorthite	-2,2	-2,8	-5,3	-4,4	0,5	0,8	-3,7	-1,1
si_Aragonite	0,4	0,1	-0,2	-0,8	0,6	0,4	0,2	0,3
si_Boehmite	0,8	0,7	-0,3	0,7	0,6	2,0	0,5	1,3
si_Calcite	0,5	0,2	0,0	-0,7	0,8	0,5	0,3	0,5
si_Chalcedony	0,0	0,0	0,1	0,1	0,9	0,8	-0,8	0,2
si_CO2(g)	-2,2	-2,1	-1,5	-0,6	-1,6	-1,0	-2,3	-1,7
si_Cristobalite	0,1	0,0	0,2	0,2	0,9	0,8	-0,8	0,3
si_Dolomite	1,0	0,4	0,2	-0,4	1,2	1,2	0,8	0,3
si_Fe(OH)3(a)	-1,2	-3,2	-4,1	-3,1	-0,3	-2,1	0,6	-2,9
si_Gibbsite	1,4	1,3	0,3	1,2	0,8	2,6	0,9	1,9
si_Goethite	4,3	2,3	1,5	2,8	6,3	3,5	6,5	2,7
si_Gypsum	-2,5	-2,8	-2,4	-2,8	-3,6	-2,3	-2,2	-2,1
si_Illite	3,1	2,4	0,8	1,9	5,6	8,2	-0,8	4,5
si_Kaolinite	4,6	4,2	2,6	4,2	5,0	8,4	1,9	5,9
si_Kmica	9,3	8,5	6,4	7,9	11,6	15,1	5,4	11,1
si_Montmor-Ca	3,4	2,9	1,1	2,8	5,4	8,7	-0,7	5,2
si_Quartz	0,5	0,4	0,6	0,5	1,3	1,2	-0,4	0,7
si_Strontianite	-0,8	-1,2	-1,2	-1,7	-0,2	-0,9	-1,6	-1,2
si_Manganite	-9,1	-11,5	-11,8	-11,8	-10,1	-10,4	-7,5	-11,3
si_Rhodoch.	0,1	-2,2	-1,9	-2,9	-0,2	0,1	-1,3	-1,7

Ek: 8'e devam;

soln	42	43	44	45	46	47	48	49
pH	7,94E+00	7,94E+00	7,17E+00	7,91E+00	6,55E+00	6,68E+00	6,66E+00	6,42E+00
pe	-1,20E+00	0,00E+00	-4,00E-01	-1,10E+00	2,00E-01	2,40E+00	0,00E+00	4,00E-01
temp	2,44E+01	2,44E+01	2,44E+01	1,60E+01	3,12E+01	2,10E+01	2,55E+01	2,80E+01
Alk	1,28E-03	9,89E-03	6,88E-03	4,02E-02	1,15E-02	1,20E-02	1,10E-02	1,60E-02
Ionic strength	3,43E-03	2,01E-02	1,11E-02	5,39E-02	2,13E-02	2,04E-02	1,80E-02	2,04E-02
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	1,47E-03	6,74E-03	2,40E-03	1,36E-02	8,37E-03	2,31E-03	2,35E-03	4,36E-07
pct_err	3,19E+01	2,46E+01	1,38E+01	1,28E+01	2,56E+01	8,09E+00	9,21E+00	1,33E-03
molar c								
Al	1,22E-05	3,82E-06	2,71E-06	4,53E-05	3,34E-06	2,52E-06	6,68E-07	1,22E-06
As	5,47E-08	1,87E-08	5,74E-08	5,07E-06	4,81E-08	9,35E-09	6,68E-09	5,56E-07
B	2,87E-05	5,43E-05	5,91E-05	1,10E-03	4,63E-04	2,10E-04	1,66E-04	3,21E-04
C(4)	1,24E-03	9,84E-03	7,77E-03	4,04E-02	1,72E-02	1,70E-02	1,55E-02	2,71E-02
Ca	6,43E-04	4,49E-03	1,81E-03	1,63E-04	2,84E-03	3,86E-03	2,93E-03	3,33E-03
Cl	2,26E-04	1,04E-03	5,36E-04	7,85E-03	8,75E-04	1,04E-03	6,78E-04	6,50E-04
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	6,11E-06	7,53E-07	5,48E-06	8,60E-04	5,45E-06	2,19E-06	2,10E-06	1,45E-05
K	9,84E-05	2,65E-04	1,23E-04	4,00E-04	2,05E-04	2,44E-04	2,84E-04	1,69E-04
Li	2,77E-06	4,33E-06	9,75E-06	6,91E-05	1,42E-05	1,68E-05	2,26E-05	2,37E-05
Mg	4,23E-04	2,35E-03	6,63E-04	1,04E-04	2,40E-03	2,53E-03	2,61E-03	1,04E-03
Mn	3,93E-07	1,05E-07	1,69E-06	3,96E-06	2,95E-05	7,33E-08	1,00E-08	2,40E-06
Na	0,00084	0,00392	0,00499	0,05902	0,01027	0,00306	0,00312	0,00801
P	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
S(6)	0,00007	0,00011	0,00015	0,00010	0,00016	0,00039	0,00024	0,00016
Si	0,00013	0,00030	0,00040	0,00054	0,00055	0,00032	0,00026	0,00058
Sr	0,00000	0,00001	0,00001	0,00000	0,00001	0,00001	0,00001	0,00000
si_Albite	-1,7	-0,5	-0,1	3,1	0,1	-0,6	-1,7	-0,2
si_Anorthite	-1,3	-0,9	-1,3	0,4	-1,1	-1,4	-2,9	-2,0
si_Aragonite	-0,3	1,2	0,0	0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2
si_Boehmite	1,2	0,7	1,3	2,1	1,7	1,8	1,1	1,4
si_Calcite	-0,2	1,4	0,1	0,2	-0,1	0,1	0,0	0,0
si_Chalcedony	-0,3	0,0	0,2	0,4	0,2	0,1	0,0	0,3
si_CO2(g)	-3,1	-2,2	-1,6	-1,7	-0,7	-0,9	-0,9	-0,4
si_Cristobalite	-0,3	0,1	0,2	0,5	0,2	0,2	0,0	0,3
si_Dolomite	-0,4	2,6	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	-0,4
si_Fe(OH)3(a)	-0,7	-0,8	-2,4	0,5	-3,6	-1,7	-4,1	-3,5
si_Gibbsite	1,7	1,2	1,8	2,7	2,1	2,3	1,5	1,8
si_Goethite	5,2	5,1	3,4	6,1	2,5	4,0	1,9	2,4
si_Gypsum	-3,0	-2,4	-2,5	-4,0	-2,4	-1,9	-2,2	-2,3
si_Illite	2,5	3,0	3,7	7,2	4,2	4,4	2,2	3,5
si_Kaolinite	4,4	4,1	5,6	7,8	6,2	6,5	4,7	5,9
si_Kmica	9,0	8,8	10,0	14,5	10,7	11,1	8,5	9,9
si_Montmor-Ca	2,9	3,1	4,7	7,5	5,5	5,5	3,3	5,0
si_Quartz	0,1	0,5	0,6	0,9	0,6	0,6	0,4	0,7
si_Strontianite	-2,0	-0,7	-1,6	-0,5	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1
si_Manganite	-9,4	-9,2	-10,4	-9,2	-10,5	-10,5	-13,8	-11,8
si_Rhodoch.	-0,9	-1,1	-0,4	0,6	0,4	-2,2	-3,0	-0,8

Ek: 8'e devam;

soln	50	51	52	53	54	55	56	57
pH	7,16E+00	7,14E+00	6,94E+00	8,03E+00	6,61E+00	7,38E+00	7,25E+00	7,40E+00
pe	-4,00E-01	-3,00E-01	-2,00E-01	-1,10E+00	3,00E+00	6,00E-01	-1,00E-01	1,00E+00
temp	2,13E+01	2,05E+01	2,06E+01	1,56E+01	2,46E+01	2,49E+01	2,12E+01	2,21E+01
Alk	7,76E-03	7,01E-03	6,25E-03	2,44E-05	1,12E-02	5,70E-03	8,27E-03	6,22E-03
Ionic strength	1,42E-02	1,37E-02	1,13E-02	7,15E-03	2,57E-02	1,74E-02	1,45E-02	1,03E-02
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	2,35E-03	2,97E-03	1,57E-03	6,60E-03	6,63E-03	4,86E-03	1,58E-03	6,89E-04
pct_err	1,20E+01	1,58E+01	1,03E+01	7,98E+01	1,98E+01	2,09E+01	7,68E+00	4,59E+00
molar c								
Al	3,71E-07	3,34E-07	3,34E-07	3,15E-06	1,38E-05	1,04E-06	1,00E-05	1,78E-06
As	6,68E-09	8,01E-09	1,74E-08	2,94E-08	1,26E-07	3,87E-08	8,15E-08	7,61E-08
B	1,63E-04	1,67E-04	2,20E-05	1,30E-04	2,00E-05	3,52E-06	2,22E-06	2,41E-06
C(4)	8,82E-03	8,03E-03	7,74E-03	0,00E+00	1,62E-02	6,11E-03	9,13E-03	6,70E-03
Ca	2,21E-03	2,17E-03	1,64E-03	1,38E-03	4,75E-03	3,14E-03	2,59E-03	1,65E-03
Cl	7,62E-04	7,62E-04	3,67E-04	5,08E-04	2,06E-03	2,48E-03	1,19E-03	7,62E-04
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	1,86E-06	2,49E-06	6,45E-07	3,01E-06	6,02E-06	1,49E-06	1,62E-05	1,70E-06
K	2,15E-04	2,16E-04	1,70E-04	1,79E-04	1,94E-04	3,71E-04	2,70E-04	2,49E-04
Li	1,36E-05	1,39E-05	1,77E-06	1,17E-05	4,33E-06	3,76E-06	3,46E-06	3,07E-06
Mg	2,19E-03	2,18E-03	2,05E-03	1,51E-03	4,57E-03	2,42E-03	1,79E-03	1,17E-03
Mn	1,26E-08	9,11E-09	1,09E-07	4,34E-07	5,85E-07	4,67E-07	3,98E-06	1,61E-07
Na	0,00240	0,00231	0,00118	0,00153	0,00232	0,00331	0,00236	0,00220
P	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
S(6)	0,00028	0,00026	0,00027	0,00020	0,00067	0,00090	0,00023	0,00021
Si	0,00022	0,00022	0,00021	0,00017	0,00023	0,00023	0,00026	0,00022
Sr	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000
si_Albite	-1,9	-1,9	-2,3	-1,1	-0,6	-1,5	-0,2	-1,3
si_Anorthite	-3,4	-3,5	-3,7	-1,7	-0,3	-2,4	-0,3	-2,1
si_Aragonite	0,0	0,0	-0,4	-1000,0	-0,1	0,3	0,2	0,1
si_Boehmite	0,5	0,5	0,7	0,8	2,4	0,7	1,9	1,0
si_Calcite	0,2	0,1	-0,2	-1000,0	0,1	0,4	0,4	0,3
si_Chalcedony	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	-0,1
si_CO2(g)	-1,5	-1,6	-1,4	-1000,0	-0,8	-1,9	-1,6	-1,9
si_Cristobalite	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
si_Dolomite	0,5	0,3	-0,3	-1000,0	0,3	0,9	0,7	0,5
si_Fe(OH)3(a)	-3,0	-2,9	-3,9	-0,8	-0,8	-1,4	-1,6	-0,9
si_Gibbsite	1,1	1,1	1,3	1,5	2,9	1,1	2,4	1,5
si_Goethite	2,7	2,8	1,8	4,7	5,1	4,5	4,2	4,9
si_Gypsum	-2,2	-2,2	-2,3	-2,4	-1,7	-1,6	-2,2	-2,4
si_Illite	1,5	1,5	1,5	3,0	5,1	2,0	5,0	2,7
si_Kaolinite	3,7	3,7	4,1	4,4	7,4	3,8	6,6	4,5
si_Kmica	7,4	7,4	7,6	9,1	12,3	8,0	11,9	9,0
si_Montmor-Ca	2,2	2,2	2,5	3,1	6,3	2,4	5,7	3,2
si_Quartz	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4
si_Strontianite	-1,8	-1,9	-2,1	-1000,0	-1,7	-1,3	-1,6	-1,7
si_Manganite	-12,6	-12,7	-12,0	-8,9	-9,2	-9,4	-9,5	-9,3
si_Rhodoch.	-2,6	-2,8	-1,9	-1000,0	-1,3	-0,9	0,0	-1,3

Ek: 8'e devam;

soln	58	59	60	61	62	63	64	65
pH	7,24E+00	7,76E+00	7,30E+00	6,39E+00	6,71E+00	6,88E+00	6,76E+00	6,76E+00
pe	1,60E+00	-1,70E+00	2,00E+00	3,10E+00	-7,00E-01	1,60E+00	8,00E-01	1,60E+00
temp	2,10E+01	2,28E+01	3,33E+01	2,91E+01	2,36E+01	2,16E+01	2,35E+01	2,85E+01
Alk	7,83E-03	5,50E-03	6,52E-03	1,21E-02	1,89E-02	1,19E-02	1,17E-02	2,05E-02
Ionic strength	1,44E-02	7,81E-03	1,50E-02	2,16E-02	3,20E-02	3,98E-02	2,76E-02	2,59E-02
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	9,55E-04	6,88E-04	3,72E-03	3,99E-03	5,79E-03	1,62E-02	7,42E-03	4,26E-04
pct_err	4,67E+00	5,57E+00	1,75E+01	1,23E+01	1,28E+01	2,99E+01	1,88E+01	9,84E-01
molar c								
Al	3,41E-06	9,64E-07	9,27E-07	8,54E-07	4,83E-07	6,31E-07	5,31E-06	6,31E-07
As	3,47E-08	2,03E-07	1,43E-07	4,14E-08	1,13E-06	1,16E-07	6,82E-08	4,01E-08
B	2,22E-06	1,94E-05	7,31E-06	8,07E-05	1,61E-04	8,62E-06	1,12E-04	2,70E-04
C(4)	8,70E-03	5,65E-03	7,05E-03	2,09E-02	2,55E-02	1,48E-02	1,55E-02	2,69E-02
Ca	2,45E-03	9,65E-04	3,00E-03	3,77E-03	5,02E-03	7,15E-03	4,79E-03	2,61E-03
Cl	1,61E-03	2,54E-04	2,06E-03	2,17E-03	1,24E-03	3,11E-03	3,36E-03	1,16E-03
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	5,77E-06	1,16E-06	5,02E-07	7,89E-07	1,00E-06	1,79E-06	4,66E-06	7,89E-07
K	1,32E-04	7,27E-05	3,64E-04	1,89E-04	3,31E-04	2,92E-05	3,07E-04	2,99E-04
Li	2,28E-06	1,12E-06	9,00E-06	1,62E-05	5,51E-05	2,66E-05	1,88E-05	3,00E-05
Mg	1,76E-03	6,47E-04	1,55E-03	1,86E-03	5,31E-03	5,12E-03	3,21E-03	2,12E-03
Mn	1,81E-07	4,19E-06	5,93E-07	1,67E-05	4,63E-05	1,90E-05	5,67E-06	1,97E-05
Na	0,00259	0,00336	0,00342	0,00742	0,00580	0,01387	0,00831	0,01283
P	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000
S(6)	0,00039	0,00011	0,00030	0,00032	0,00054	0,00364	0,00108	0,00029
Si	0,00024	0,00018	0,00026	0,00043	0,00035	0,00031	0,00032	0,00043
Sr	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001	0,00002	0,00002	0,00001	0,00001
si_Albite	-0,8	-1,7	-1,9	-0,9	-1,1	-0,6	0,1	-0,6
si_Anorthite	-1,3	-3,1	-2,6	-2,5	-2,7	-2,4	-0,7	-2,7
si_Aragonite	0,2	0,2	0,4	-0,2	0,2	0,3	0,1	0,1
si_Boehmite	1,4	0,3	0,4	1,2	0,9	1,0	1,9	0,9
si_Calcite	0,3	0,4	0,5	-0,1	0,4	0,4	0,2	0,3
si_Chalcedony	0,0	-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
si_CO2(g)	-1,6	-2,3	-1,7	-0,5	-0,7	-1,1	-1,0	-0,7
si_Cristobalite	0,0	-0,1	-0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
si_Dolomite	0,6	0,7	1,0	-0,3	0,9	0,8	0,4	0,7
si_Fe(OH)3(a)	-0,3	-2,7	-0,5	-2,1	-5,1	-2,0	-2,7	-2,7
si_Gibbsite	2,0	0,8	0,8	1,6	1,4	1,5	2,4	1,3
si_Goethite	5,4	3,1	5,6	3,9	0,7	3,7	3,1	3,4
si_Gypsum	-2,0	-2,8	-2,1	-2,0	-1,8	-0,9	-1,4	-2,2
si_Illite	3,6	0,8	1,0	2,7	2,6	2,2	4,8	2,4
si_Kaolinite	5,6	3,0	3,0	5,2	4,8	4,9	6,7	4,6
si_Kmica	10,1	6,5	6,8	8,9	8,7	8,0	11,7	8,5
si_Montmor-Ca	4,5	1,4	1,4	4,1	3,6	3,7	5,9	3,4
si_Quartz	0,4	0,3	0,3	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6
si_Strontianite	-1,6	-1,3	-1,2	-2,0	-1,1	-1,4	-1,5	-1,2
si_Manganite	-9,2	-9,6	-8,1	-8,3	-10,8	-8,4	-10,0	-8,8
si_Rhodoch.	-1,4	0,4	-0,7	0,0	0,8	0,3	-0,2	0,5

Ek: 8'e devam;

soln	66	67	68	69	70	71	72	73
pH	7,02E+00	7,01E+00	7,23E+00	7,57E+00	7,67E+00	7,74E+00	7,56E+00	7,52E+00
pe	8,00E-01	1,10E+00	-2,20E+00	-9,00E-01	-5,00E-01	-2,00E+00	2,20E+00	2,00E+00
temp	1,97E+01	2,07E+01	1,97E+01	2,25E+01	2,20E+01	1,93E+01	2,07E+01	2,14E+01
Alk	1,30E-02	1,24E-02	1,70E-02	6,46E-03	4,44E-03	5,38E-03	6,33E-03	6,22E-03
Ionic strength	5,73E-02	2,61E-02	1,11E-01	1,19E-02	9,01E-03	1,52E-02	1,14E-02	1,21E-02
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	2,96E-02	5,72E-03	5,93E-02	1,48E-03	1,14E-03	3,59E-03	7,50E-04	1,40E-03
pct_err	3,65E+01	1,54E+01	3,94E+01	8,41E+00	9,53E+00	1,83E+01	4,76E+00	8,23E+00
molar c								
Al	1,67E-06	1,37E-06	5,22E-07	2,23E-06	1,08E-06	1,26E-06	1,41E-06	8,16E-07
As	1,45E-07	6,95E-08	1,02E-07	1,14E-06	4,77E-07	9,88E-07	7,35E-08	3,61E-08
B	2,12E-04	7,71E-05	7,90E-06	2,03E-05	2,41E-06	4,54E-06	5,92E-06	1,12E-05
C(4)	1,51E-02	1,47E-02	1,85E-02	6,75E-03	4,59E-03	5,51E-03	6,64E-03	6,56E-03
Ca	8,33E-03	4,14E-03	9,87E-03	1,65E-03	1,85E-03	3,15E-03	2,06E-03	1,90E-03
Cl	6,22E-03	2,23E-03	1,43E-02	1,02E-03	4,80E-04	1,41E-03	8,75E-04	1,02E-03
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	1,80E-06	1,79E-07	1,80E-06	1,56E-06	1,34E-06	4,19E-06	2,51E-07	5,20E-07
K	4,36E-05	2,54E-04	3,59E-04	1,14E-04	1,37E-04	1,67E-04	1,36E-04	1,59E-04
Li	1,12E-05	1,99E-05	6,81E-06	1,38E-06	3,75E-07	2,74E-07	1,57E-06	2,08E-06
Mg	7,56E-03	3,41E-03	2,58E-02	1,29E-03	1,04E-03	1,95E-03	1,38E-03	1,52E-03
Mn	1,44E-05	1,34E-05	3,26E-05	1,28E-05	5,02E-06	2,00E-05	9,92E-07	1,48E-07
Na	0,02857	0,00726	0,04852	0,00390	0,00094	0,00197	0,00155	0,00263
P	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000
S(6)	0,00586	0,00119	0,01484	0,00049	0,00040	0,00101	0,00032	0,00050
Si	0,00029	0,00035	0,00025	0,00022	0,00020	0,00021	0,00024	0,00027
Sr	0,00002	0,00001	0,00003	0,00001	0,00000	0,00001	0,00000	0,00001
si_Albite	0,2	-0,3	-0,3	-1,0	-2,0	-1,4	-1,3	-1,3
si_Anorthite	-1,5	-1,7	-2,7	-1,9	-2,6	-2,1	-2,1	-2,6
si_Aragonite	0,4	0,3	0,7	0,3	0,3	0,6	0,3	0,3
si_Boehmite	1,3	1,3	0,6	0,9	0,5	0,6	0,8	0,5
si_Calcite	0,6	0,4	0,8	0,4	0,4	0,7	0,5	0,4
si_Chalcedony	0,1	0,1	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0
si_CO2(g)	-1,2	-1,2	-1,4	-2,0	-2,3	-2,3	-2,0	-2,0
si_Cristobalite	0,1	0,2	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1
si_Dolomite	1,2	0,8	2,2	0,8	0,7	1,3	0,9	0,8
si_Fe(OH)3(a)	-2,5	-3,1	-5,0	-2,4	-1,7	-2,6	-0,1	-0,1
si_Gibbsite	1,9	1,8	1,2	1,4	1,0	1,1	1,3	1,1
si_Goethite	3,2	2,6	0,7	3,4	4,1	3,1	5,6	5,6
si_Gypsum	-0,7	-1,4	-0,5	-2,0	-2,0	-1,5	-2,1	-2,0
si_Illite	3,3	3,7	2,3	2,4	1,5	2,1	2,4	2,0
si_Kaolinite	5,6	5,6	4,1	4,3	3,5	3,8	4,3	3,9
si_Kmica	9,4	10,1	8,1	8,5	7,4	8,0	8,4	7,9
si_Montmor-Ca	4,6	4,6	2,8	3,1	2,0	2,5	3,0	2,6
si_Quartz	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5
si_Strontianite	-1,2	-1,3	-0,8	-1,1	-1,4	-1,1	-1,4	-1,2
si_Manganite	-8,9	-8,6	-11,1	-8,9	-8,5	-9,3	-6,9	-8,0
si_Rhodoch.	0,3	0,4	0,8	0,7	0,3	0,9	-0,4	-1,3

Ek: 8'e devam;

soln	74	75	76	77	78	79	80	82
pH	7,78E+00	7,68E+00	7,50E+00	7,54E+00	7,54E+00	7,69E+00	7,54E+00	7,20E+00
pe	2,40E+00	2,00E-01	2,70E+00	-2,20E+00	1,30E+00	2,10E+00	0,00E+00	2,20E+00
temp	2,12E+01	1,87E+01	1,82E+01	2,06E+01	1,84E+01	1,76E+01	2,16E+01	2,57E+01
Alk	4,92E-03	5,06E-03	6,28E-03	8,93E-03	5,08E-03	5,26E-03	9,95E-03	1,15E-02
Ionic strength	8,79E-03	9,42E-03	1,22E-02	2,89E-02	1,27E-02	1,08E-02	1,65E-02	1,82E-02
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	4,90E-04	9,42E-04	1,47E-03	8,55E-03	2,59E-03	1,57E-03	1,50E-03	1,49E-03
pct_err	4,11E+00	7,44E+00	8,77E+00	2,38E+01	1,61E+01	1,09E+01	6,57E+00	5,64E+00
molar c								
Al	1,19E-06	4,82E-07	2,11E-06	8,16E-07	1,30E-06	6,30E-07	5,56E-07	8,16E-07
As	6,41E-08	1,71E-07	6,41E-08	7,75E-08	5,08E-08	5,21E-08	4,18E-07	6,81E-08
B	2,50E-06	3,24E-06	3,70E-06	2,87E-06	2,22E-06	1,57E-06	2,07E-04	9,96E-05
C(4)	5,03E-03	5,24E-03	6,67E-03	9,31E-03	5,35E-03	5,45E-03	1,04E-02	1,28E-02
Ca	1,92E-03	2,06E-03	2,17E-03	6,90E-03	2,84E-03	2,23E-03	2,38E-03	2,73E-03
Cl	5,93E-04	5,93E-04	9,60E-04	2,15E-03	8,18E-04	7,62E-04	7,34E-04	1,24E-03
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	1,20E-06	5,73E-07	1,72E-06	6,45E-07	2,60E-06	1,15E-06	5,38E-07	1,79E-07
K	1,15E-04	1,13E-04	2,22E-04	3,69E-04	2,09E-04	2,38E-04	2,06E-04	1,49E-04
Li	8,07E-07	3,89E-07	1,46E-06	4,62E-07	7,21E-07	1,05E-06	2,45E-05	7,99E-06
Mg	8,58E-04	1,00E-03	1,57E-03	3,81E-03	1,56E-03	1,27E-03	2,92E-03	2,64E-03
Mn	1,01E-07	4,76E-07	1,29E-07	2,17E-05	1,04E-06	1,46E-07	9,31E-07	6,14E-08
Na	0,00075	0,00081	0,00178	0,00284	0,00085	0,00110	0,00187	0,00363
P	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001
S(6)	0,00023	0,00023	0,00039	0,00253	0,00070	0,00039	0,00027	0,00016
Si	0,00019	0,00026	0,00020	0,00036	0,00021	0,00021	0,00028	0,00024
Sr	0,00001	0,00001	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001
si_Albite	-2,0	-1,8	-1,2	-0,8	-1,7	-1,8	-1,6	-1,5
si_Anorthite	-2,5	-2,9	-1,9	-1,9	-2,1	-2,8	-2,8	-2,7
si_Aragonite	0,5	0,4	0,3	0,8	0,3	0,4	0,5	0,4
si_Boehmite	0,5	0,3	1,1	0,5	0,8	0,4	0,3	0,7
si_Calcite	0,6	0,5	0,4	1,0	0,5	0,5	0,7	0,5
si_Chalcedony	-0,1	0,0	-0,1	0,2	-0,1	0,0	0,0	-0,1
si_CO2(g)	-2,4	-2,3	-2,0	-1,9	-2,1	-2,3	-1,8	-1,4
si_Cristobalite	-0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0
si_Dolomite	0,9	0,7	0,7	1,8	0,7	0,9	1,6	1,2
si_Fe(OH)3(a)	1,3	-1,4	1,0	-4,3	-0,1	0,8	-2,1	-1,3
si_Gibbsite	1,0	0,8	1,7	1,1	1,4	1,0	0,9	1,2
si_Goethite	7,1	4,2	6,6	1,4	5,6	6,4	3,7	4,6
si_Gypsum	-2,2	-2,2	-2,0	-1,0	-1,7	-2,0	-2,2	-2,4
si_Illite	1,5	1,6	3,1	2,8	2,6	1,9	1,8	1,7
si_Kaolinite	3,4	3,4	4,9	4,2	4,4	3,6	3,5	3,9
si_Kmica	7,3	7,2	9,4	8,6	8,7	7,7	7,4	7,6
si_Montmor-Ca	2,0	2,2	3,6	3,2	3,1	2,2	2,2	2,4
si_Quartz	0,3	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4
si_Strontianite	-0,9	-1,0	-1,6	-1,0	-1,7	-1,5	-1,2	-1,4
si_Manganite	-7,0	-8,8	-7,5	-10,1	-7,8	-7,4	-9,3	-9,3
si_Rhodoch.	-1,3	-0,7	-1,4	0,9	-0,5	-1,2	-0,4	-1,7

Ek: 8'e devam;

soln	83	84	85	86	87	89	90	91
pH	7,26E+00	7,00E+00	6,86E+00	7,26E+00	6,39E+00	7,84E+00	7,98E+00	5,80E+00
pe	8,00E-01	4,00E+00	1,30E+00	1,10E+00	4,00E+00	-3,70E+00	3,80E+00	4,00E+00
temp	2,17E+01	2,50E+01	1,99E+01	2,04E+01	1,46E+01	1,19E+01	1,69E+01	1,38E+01
Alk	9,11E-03	1,35E-02	5,34E-03	5,42E-03	1,00E-02	6,00E-03	3,24E-03	9,01E-03
Ionic strength	2,13E-02	2,67E-02	1,16E-02	1,08E-02	1,83E-02	9,87E-03	5,64E-03	1,90E-02
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	3,30E-03	2,41E-03	1,81E-03	1,43E-03	2,67E-03	6,37E-04	7,34E-04	5,35E-03
pct_err	1,11E+01	6,13E+00	1,14E+01	9,75E+00	1,06E+01	4,81E+00	9,47E+00	1,90E+01
molar c								
Al	1,04E-06	3,71E-08	1,08E-06	2,52E-06	5,19E-07	7,79E-07	5,93E-07	1,22E-06
As	4,81E-08	4,09E-07	7,08E-08	1,19E-07	4,01E-08	4,14E-08	8,14E-08	6,81E-08
B	8,08E-05	1,29E-04	3,05E-06	3,98E-06	3,15E-04	5,55E-07	4,90E-06	1,11E-05
C(4)	1,00E-02	1,59E-02	6,88E-03	6,01E-03	1,92E-02	6,16E-03	3,28E-03	4,16E-02
Ca	3,16E-03	3,72E-03	1,89E-03	2,09E-03	2,69E-03	1,51E-03	1,26E-03	1,44E-03
Cl	3,11E-03	4,41E-03	1,16E-03	7,34E-04	7,62E-04	3,39E-04	1,69E-04	9,04E-04
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	9,32E-07	1,79E-07	8,24E-07	2,69E-06	2,35E-06	1,79E-07	3,76E-07	1,86E-06
K	1,28E-04	1,26E-03	1,38E-04	1,48E-04	1,85E-04	1,45E-04	5,67E-05	3,48E-04
Li	3,90E-06	1,24E-05	1,15E-06	5,62E-07	3,96E-05	1,73E-06	6,78E-07	1,07E-05
Mg	3,17E-03	3,59E-03	1,69E-03	1,27E-03	3,11E-03	1,83E-03	4,72E-04	3,03E-03
Mn	5,39E-07	1,13E-08	7,72E-08	1,04E-06	4,02E-06	3,07E-07	5,21E-07	2,49E-07
Na	0,00471	0,00619	0,00186	0,00147	0,00273	0,00034	0,00082	0,00821
P	0,00000	0,00008	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
S(6)	0,00100	0,00083	0,00043	0,00039	0,00055	0,00009	0,00010	0,00113
Si	0,00027	0,00035	0,00023	0,00021	0,00024	0,00014	0,00018	0,00011
Sr	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001
si_Albite	-0,9	-2,2	-1,5	-1,3	-1,6	-2,3	-2,1	-3,1
si_Anorthite	-2,2	-5,0	-2,5	-1,7	-3,7	-2,9	-3,1	-6,6
si_Aragonite	0,3	0,3	-0,5	0,0	-0,7	0,3	0,3	-1,6
si_Boehmite	0,9	-0,5	1,3	1,3	1,2	0,6	0,1	0,9
si_Calcite	0,5	0,5	-0,3	0,1	-0,5	0,5	0,4	-1,4
si_Chalcedony	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	-0,3
si_CO2(g)	-1,6	-1,1	-1,4	-1,8	-0,7	-2,4	-2,7	-0,2
si_Cristobalite	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,2
si_Dolomite	1,0	1,0	-0,6	0,1	-1,0	1,0	0,4	-2,6
si_Fe(OH)3(a)	-1,9	-0,2	-2,6	-1,1	-1,1	-5,5	1,7	-2,9
si_Gibbsite	1,4	0,0	1,9	1,9	1,9	1,2	0,7	1,5
si_Goethite	3,9	5,6	3,1	4,7	4,4	-0,1	7,2	2,5
si_Gypsum	-1,6	-1,7	-2,0	-2,0	-1,9	-2,7	-2,7	-1,8
si_Illite	2,5	0,0	2,9	3,2	2,7	2,0	0,8	0,3
si_Kaolinite	4,5	1,9	5,3	5,3	5,5	3,9	2,9	4,2
si_Kmica	8,5	5,4	9,3	9,7	9,2	8,0	6,4	6,9
si_Montmor-Ca	3,3	0,4	4,0	4,0	4,1	2,4	1,4	1,9
si_Quartz	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,3	0,3	0,2
si_Strontianite	-1,2	-1,6	-2,1	-1,7	-2,5	-1,4	-1,4	-2,9
si_Manganite	-9,5	-8,8	-10,9	-8,8	-8,0	-12,5	-4,3	-11,0
si_Rhodoch.	-0,9	-2,6	-2,2	-0,7	-0,8	-0,8	-0,5	-2,7



Ek: 8'e devam;

soln	92	93	94	95	96	97	98	99
pH	8,12E+00	7,00E+00	7,33E+00	7,19E+00	7,90E+00	8,05E+00	7,74E+00	7,00E+00
pe	4,40E+00	4,00E+00	4,30E+00	3,40E+00	3,70E+00	4,30E+00	-1,10E+00	4,00E+00
temp	2,32E+01	2,50E+01	2,25E+01	2,52E+01	1,66E+01	1,84E+01	1,81E+01	2,50E+01
Alk	4,42E-03	4,90E-03	4,64E-03	1,06E-02	4,30E-03	4,72E-03	5,21E-03	6,81E-03
Ionic strength	9,60E-03	7,94E-03	1,07E-02	2,63E-02	1,16E-02	1,04E-02	2,96E-02	2,57E-02
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	2,79E-03	3,32E-04	4,53E-03	1,09E-02	3,74E-03	1,87E-03	1,41E-02	1,43E-02
pct_err	1,95E+01	2,98E+00	2,98E+01	2,90E+01	2,47E+01	1,35E+01	3,97E+01	4,18E+01
molar c								
Al	8,16E-07	1,71E-06	6,30E-07	6,31E-07	5,56E-07	8,53E-07	6,68E-07	5,94E-07
As	7,08E-08	5,88E-08	4,41E-08	3,21E-08	3,74E-08	3,47E-08	1,24E-07	2,81E-08
B	7,18E-05	3,56E-05	1,09E-04	5,64E-05	5,46E-06	4,07E-06	3,70E-06	2,52E-04
C(4)	4,39E-03	5,87E-03	5,06E-03	1,18E-02	4,36E-03	4,72E-03	5,29E-03	8,01E-03
Ca	1,32E-03	1,55E-03	2,06E-03	4,69E-03	2,46E-03	2,15E-03	7,00E-03	1,91E-03
Cl	1,07E-03	3,39E-04	6,49E-04	2,71E-03	1,04E-03	9,60E-04	2,29E-03	1,95E-03
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	1,79E-07	1,20E-06	2,02E-06	1,69E-06	1,79E-07	9,67E-07	1,12E-05	8,25E-07
K	1,71E-04	1,16E-04	1,53E-04	3,70E-04	2,03E-04	1,86E-04	4,22E-04	3,53E-04
Li	1,37E-05	5,23E-06	5,80E-06	1,08E-05	2,85E-06	2,35E-06	1,04E-06	2,75E-05
Mg	1,04E-03	8,07E-04	1,05E-03	3,20E-03	1,52E-03	1,24E-03	4,33E-03	6,65E-03
Mn	8,89E-08	9,71E-07	9,27E-08	2,55E-06	2,73E-07	1,52E-07	2,82E-05	3,69E-06
Na	0,00388	0,00107	0,00368	0,00885	0,00162	0,00121	0,00408	0,00793
P	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
S(6)	0,00026	0,00017	0,00012	0,00043	0,00035	0,00032	0,00282	0,00124
Si	0,00025	0,00016	0,00025	0,00039	0,00018	0,00017	0,00031	0,00022
Sr	0,00001	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00001	0,00001
si_Albite	-1,3	-2,3	-1,4	-0,6	-1,9	-2,0	-0,8	-1,5
si_Anorthite	-2,8	-2,6	-2,8	-2,3	-3,0	-2,8	-2,1	-3,3
si_Aragonite	0,6	-0,3	0,0	0,5	0,5	0,7	0,8	-0,3
si_Boehmite	-0,1	1,2	0,6	0,6	0,2	0,2	0,3	0,8
si_Calcite	0,7	-0,2	0,2	0,7	0,7	0,8	0,9	-0,1
si_Chalcedony	0,0	-0,3	0,0	0,1	-0,1	-0,1	0,1	-0,1
si_CO2(g)	-2,7	-1,5	-1,9	-1,4	-2,6	-2,7	-2,4	-1,4
si_Cristobalite	0,0	-0,2	0,0	0,2	-0,1	-0,1	0,2	-0,1
si_Dolomite	1,5	-0,6	0,1	1,3	1,2	1,5	1,7	0,4
si_Fe(OH)3(a)	1,0	0,8	1,8	0,8	1,3	2,0	-1,3	0,5
si_Gibbsite	0,4	1,7	1,1	1,1	0,8	0,7	0,9	1,2
si_Goethite	6,8	6,7	7,6	6,7	6,9	7,6	4,3	6,4
si_Gypsum	-2,3	-2,4	-2,5	-1,8	-2,0	-2,1	-0,9	-1,8
si_Illite	0,9	1,9	1,7	2,4	1,3	1,2	2,6	1,8
si_Kaolinite	2,4	4,6	3,8	4,1	3,0	2,8	3,8	3,9
si_Kmica	6,3	8,4	7,6	8,3	7,0	6,9	8,3	7,8
si_Montmor-Ca	1,0	2,9	2,4	3,0	1,5	1,3	2,7	2,4
si_Quartz	0,4	0,2	0,4	0,6	0,4	0,3	0,6	0,3
si_Strontianite	-0,8	-2,2	-1,7	-1,1	-1,2	-1,1	-1,2	-1,5
si_Manganite	-4,2	-6,7	-6,4	-6,5	-5,0	-4,2	-8,3	-6,2
si_Rhodoch.	-1,1	-0,9	-1,7	-0,2	-0,9	-1,0	1,0	-0,3

Ek: 8'e devam;

soln	100	102	103	105	106	107	108
pH	7,00E+00	8,06E+00	7,03E+00	8,44E+00	8,01E+00	8,31E+00	8,74E+00
pe	4,00E+00	-9,00E-01	-1,00E-01	-1,30E+00	-9,00E-01	-1,20E+00	-1,40E+00
temp	2,50E+01	1,90E+01	2,20E+01	2,00E+01	1,92E+01	2,30E+01	1,90E+01
Alk	5,23E-03	5,00E-03	1,73E-02	5,61E-03	4,54E-03	5,16E-03	3,69E-03
Ionic strength	1,56E-02	9,60E-03	2,63E-02	2,78E-02	8,87E-03	8,86E-03	7,29E-03
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	8,03E-03	6,99E-04	-3,37E-03	1,30E-02	1,02E-03	5,05E-04	9,32E-04
pct_err	3,89E+01	5,24E+00	-8,26E+00	3,19E+01	8,35E+00	4,06E+00	9,77E+00
molar c							
Al	3,71E-07	1,48E-07	3,71E-08	3,71E-08	3,71E-08	3,71E-08	4,82E-07
As	6,68E-09	4,54E-08	2,27E-08	1,20E-08	2,80E-08	1,36E-07	3,74E-08
B	1,34E-04	5,55E-06	8,27E-05	6,37E-05	2,78E-06	2,50E-06	1,85E-06
C(4)	6,21E-03	5,02E-03	2,03E-02	5,40E-03	4,58E-03	5,07E-03	3,46E-03
Ca	2,66E-03	1,30E-03	2,08E-03	7,10E-04	8,32E-04	9,90E-04	1,50E-03
Cl	7,34E-04	8,18E-04	3,76E-03	3,70E-03	5,64E-04	5,93E-04	4,51E-04
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	1,65E-06	1,79E-07	1,79E-07	2,33E-07	1,79E-07	1,79E-07	2,33E-07
K	2,83E-04	1,30E-04	2,94E-04	2,90E-04	2,35E-04	1,62E-04	1,88E-04
Li	6,39E-06	1,04E-06	1,18E-05	1,18E-05	1,51E-06	1,70E-06	6,34E-07
Mg	2,60E-03	1,47E-03	3,89E-03	5,18E-03	1,82E-03	1,59E-03	9,18E-04
Mn	1,46E-08	2,19E-09	2,37E-09	1,64E-09	9,11E-10	2,37E-09	1,30E-07
Na	0,00396	0,00166	0,00763	0,01689	0,00133	0,00150	0,00063
P	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
S(6)	0,00040	0,00042	0,00113	0,00331	0,00037	0,00028	0,00029
Si	0,00024	0,00022	0,00031	0,00006	0,00020	0,00027	0,00010
Sr	0,00001	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
si_Albite	-1,8	-2,3	-2,1	-3,8	-3,1	-2,9	-3,3
si_Anorthite	-3,4	-4,3	-5,3	-7,2	-5,7	-5,5	-3,9
si_Aragonite	-0,2	0,5	0,1	0,5	0,2	0,7	1,1
si_Boehmite	0,6	-0,6	-0,4	-1,7	-1,2	-1,6	-0,8
si_Calcite	0,0	0,7	0,3	0,7	0,4	0,9	1,2
si_Chalcedony	-0,1	0,0	0,1	-0,7	-0,1	0,0	-0,4
si_CO2(g)	-1,5	-2,6	-1,1	-3,0	-2,6	-2,9	-3,5
si_Cristobalite	0,0	0,0	0,1	-0,6	0,0	0,0	-0,4
si_Dolomite	0,1	1,4	0,9	2,2	1,2	2,0	2,3
si_Fe(OH)3(a)	0,9	-1,9	-4,3	-1,2	-2,0	-1,5	-0,4
si_Gibbsite	1,0	-0,1	0,1	-1,1	-0,6	-1,1	-0,2
si_Goethite	6,8	3,7	1,5	4,5	3,6	4,4	5,3
si_Gypsum	-2,0	-2,2	-1,8	-1,8	-2,4	-2,4	-2,2
si_Illite	1,3	-0,3	-0,2	-4,2	-1,6	-2,2	-1,2
si_Kaolinite	3,6	1,5	2,1	-1,9	0,2	-0,6	0,4
si_Kmica	7,3	4,7	5,0	0,4	3,1	2,0	3,9
si_Montmor-Ca	2,1	-0,2	0,5	-4,8	-1,7	-2,4	-1,7
si_Quartz	0,4	0,4	0,5	-0,2	0,4	0,4	0,0
si_Strontianite	-1,9	-1,1	-1,2	-1,2	-1,3	-0,8	-0,8
si_Manganite	-8,5	-11,3	-13,6	-10,9	-11,8	-10,9	-8,2
si_Rhodoch.	-2,7	-2,8	-3,3	-2,8	-3,2	-2,6	-0,8

Ek: 8'e devam;

soln	109	110	113	115	116	117
pH	7,93E+00	7,23E+00	8,17E+00	7,80E+00	7,90E+00	7,31E+00
pe	-8,00E-01	-2,00E-01	-1,20E+00	-9,00E-01	-9,00E-01	-3,00E-01
temp	5,70E+01	2,50E+01	2,50E+01	1,90E+01	1,90E+01	1,90E+01
Alk	4,33E-02	1,76E-02	1,35E-02	1,05E-03	3,69E-05	8,51E-03
Ionic strength	5,05E-02	2,51E-02	1,76E-02	2,00E-03	2,19E-04	1,14E-02
mass_H2O	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00
charge	9,61E-03	-4,06E-03	9,05E-05	1,97E-04	-2,38E-05	1,89E-04
pct_err	1,00E+01	-1,14E+01	3,33E-01	7,53E+00	-8,48E+00	1,08E+00
molar c						
Al	1,35E-05	3,71E-08	5,19E-07	3,71E-08	1,11E-06	3,71E-08
As	1,26E-05	6,68E-09	5,71E-07	6,67E-09	6,67E-09	1,60E-08
B	7,97E-04	8,71E-06	1,92E-04	1,02E-06	4,63E-07	1,20E-06
C(4)	4,22E-02	1,94E-02	1,33E-02	1,07E-03	3,21E-05	9,38E-03
Ca	1,49E-03	3,50E-04	1,63E-03	6,29E-04	4,12E-05	1,83E-03
Cl	1,95E-03	6,78E-04	5,93E-04	8,46E-05	5,64E-05	1,98E-04
Cu	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Fe	1,40E-05	1,79E-07	7,35E-07	3,22E-07	4,30E-07	8,78E-07
K	8,66E-04	2,95E-04	2,30E-04	1,21E-05	4,25E-06	1,13E-03
Li	1,59E-04	3,44E-06	2,20E-05	4,32E-08	4,32E-08	4,18E-07
Mg	1,23E-03	7,04E-03	2,72E-03	1,58E-05	4,85E-06	1,04E-03
Mn	2,20E-06	2,57E-08	5,17E-07	4,19E-09	4,15E-08	9,11E-10
Na	0,04918	0,00252	0,00556	0,00010	0,00003	0,00215
P	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
S(6)	0,00042	0,00171	0,00019	0,00005	0,00003	0,00006
Si	0,00113	0,00025	0,00029	0,00000	0,00000	0,00046
Sr	0,00001	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000
si_Albite	0,9	-3,0	-1,3	-9,1	-8,9	-1,8
si_Anorthite	-0,3	-6,3	-3,1	-9,0	-7,7	-4,7
si_Aragonite	1,5	-0,4	1,1	-0,6	-3,1	0,1
si_Boehmite	0,2	-0,7	-0,4	-1,0	0,4	-0,5
si_Calcite	1,6	-0,2	1,3	-0,4	-3,0	0,3
si_Chalcedony	0,3	0,0	0,0	-1,7	-2,0	0,3
si_CO2(g)	-1,4	-1,2	-2,3	-3,0	-4,6	-1,7
si_Cristobalite	0,2	0,0	0,0	-1,7	-1,9	0,3
si_Dolomite	3,5	0,9	2,9	-2,4	-6,8	0,4
si_Fe(OH)3(a)	-0,2	-3,8	-1,4	-2,2	-1,7	-2,9
si_Gibbsite	0,3	-0,2	0,0	-0,4	1,0	0,0
si_Goethite	6,7	2,1	4,5	3,5	4,0	2,8
si_Gypsum	-2,6	-2,4	-2,6	-3,1	-4,4	-2,8
si_Illite	2,4	-1,1	0,6	-8,3	-6,3	0,8
si_Kaolinite	2,8	1,2	1,8	-2,6	-0,3	2,4
si_Kmica	7,8	3,9	5,6	-2,7	0,4	6,2
si_Montmor-Ca	2,1	-0,8	0,4	-7,3	-5,1	1,1
si_Quartz	0,6	0,4	0,4	-1,3	-1,5	0,7
si_Strontianite	0,2	-2,7	-0,2	-2,4	-5,1	-1,6
si_Manganite	-9,3	-12,1	-9,3	-11,4	-10,0	-13,2
si_Rhodoch.	0,5	-2,0	-0,2	-3,0	-3,3	-3,6