

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SEFERİHİSAR VE BALÇOVA JEOTERMAL  
ALANLARINDA VE ÇEVRE AKİFERLERİNDE  
AKIŞKAN AKIMININ MODELLENMESİ**

**Ali Toygar Akar**

**Mayıs, 2012**

**İZMİR**

**SEFERİHİSAR VE BALÇOVA JEOTERMAL  
ALANLARINDA VE ÇEVRE AKİFERLERİNDE  
AKIŞKAN AKIMININ MODELLENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Doktora Tezi**

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

**Ali Toygar Akar**

**Mayıs, 2012**

**İZMİR**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ALİ TOYGAR AKAR, tarafından PROF. DR. ÜNSAL GEMİCİ yönetiminde hazırlanan “SEFERİHİSAR VE BALÇOVA JEOTERMAL ALANLARINDA VE ÇEVRE AKİFERLERİNDE AKIŞKAN AKIMININ MODELLENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.



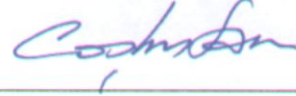
Prof. Dr. Ünsal GEMİCİ

Yönetici



Prof. Dr. Gültekin TARCAN

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Prof. Dr. Coşkun SARI

Tez İzleme Komitesi Üyesi



Doç. Dr. Alper ELÇİ

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Bu doktora çalıŐmasını 107Y345 no'lu "Kıyı Bölgelerindeki jeotermal akışkan sistemlerin termohalin modellenmesi: Seferihisar-Baova Alanı (İzmir) rneği" konulu proje ile destekleyen Tübitak'a ve ayrıca 4450/1 no'lu projesiyle doktora tezine katkıda bulunan Alman Bilim Vakfına (DFG) teşekkür ederim.

Tezi yöneten Prof. Dr. nsal Gemic'i'ye ve jüri yelerim Prof. Dr. Gültekin Tarcan'a, Prof. Dr. Coşkun Sarı'ya, Prof. Dr. Mehmet elik'e ve Doç. Dr. Alper Elçi'ye çok teşekkür ederim. Hidrojeolojik çalışmalarda değerli katkılarını esirgemeyen rahmetli Prof.Dr. Asaf Pekdeğer'e, sayısal modelleme konusunda bana yardımcı olan Dr. Fabien Magri'ye, kimyasal yorumlamalarındaki yardımlarından dolayı Dr. Melis Somay'a teŐekkürlerimi borç bilirim.

Ali Toygar AKAR

# SEFERİHİSAR VE BALÇOVA JEOTERMAL ALANLARINDA VE ÇEVRE AKİFERLERİNDE AKIŞKAN AKIMININ MODELLENMESİ

## ÖZ

Seferihisar ve Balçova jeotermal sistemleri, Türkiye'nin batısında, faylar boyunca Doğanbey, Tuzla, Cumalı, Karakoç ve Balçova'da çıkan çeşitli sıcak su kaynaklarından oluşan kıyı jeotermal sistemleridir. Bölgesel ölçekte Balçova ve Seferihisar jeotermal alanlarının oluşumları, beslenmeleri, boşalmaları, kökenleri ve birbiri ile ilişkilerinin olup olmadığı araştırılmıştır. Farklı su kütlelerini ayırt etmek ve kökenlerini araştırmak için hidrokimyasal ve izotop çalışmaları yapılmıştır. Jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalardan elde edilen veriler yeraltı suyu akımı, kütle ve ısı taşınımını birlikte çözebilen FeFlow yazılımı ile değerlendirilmiştir. Akım, sıcaklık ve kütle taşınımı (termohalin) sayısal modelleri, çalışma alanındaki akışkan göçünün fiziksel işlevlerindeki birçok farklı kesiti görmemize izin vermektedir. Sayısal model sonuçları hidrotermal ve hidrokimyasal anomalilerin, deniz suyunun girişim yaptığı ana faylar boyunca oluşan termal konveksiyon ve topoğrafya denetimli akımın sonucu ortaya çıktığını göstermektedir. Bu kaynakların tuzluluğu büyük bir çeşitlilik gösterir. Doğanbey'de deniz suyu baskın uç bileşenken, Balçova'da kaynak suları çok güçlü termal bir iz bırakır ve düşük tuzluluğa sahiptir. Termohalin sayısal modellenmesi, hem sıcaklık hem de tuzluluk anomalilerini kontrol eden ana faktörün termal konveksiyon olduğunu göstermektedir. Hazne kaya boyunca oluşan ve temel kayayla sınırlanan bölgedeki konveksiyon akımları, jeotermal suların hareketlerini belirlemekte ve bazı tektonik ortamlarda deniz suyu girişimine neden olmaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Jeotermal sistem, feflow, sayısal modelleme, deniz suyu girişimi, hidrojeokimya, Seferihisar, Balçova

# SEFERİHİSAR VE BALÇOVA JEOTERMAL ALANLARINDA VE ÇEVRE AKİFERLERİNDE AKIŞKAN AKIMININ MODELLENMESİ

## ABSTRACT

Seferihisar-Balçova coastal geothermal system which is located in the Western Turkey is composed of several hot springs such as Doğanbey, Tuzla, Cumalı, Karakoç and Balçova, discharging along the fault zones. The occurrence, recharging, discharging, the origins and the relationships between each of the Seferihisar and Balçova geothermal areas were investigated in a regional scale. Hydrochemical and isotopic investigations have been done for the purpose of distinguishing different water masses and investigating their origin. Obtained data from geological, hydrogeological and hydrogeochemical studies had been assessed by FeFlow that can couple fluid flow, mass and heat transfer. Numerical models of coupled fluid flow heat and salt transport (i.e. thermohaline flow) allowed gaining more insights into the physical processes of fluid migration in the study area. Salinity of these springs shows considerable variations. Seawater is the dominant end member in Doğanbey whereas spring waters in Balçova displays great thermal tracers and have low salinity values. Thermohaline numerical modeling showed that thermal convection is the main factor controlling either the temperature or the salinity anomalies. Convective flows which form in the aquifer along the basement rock determine the movements of the thermal fluids and causes the seawater intrusion in some tectonic areas.

**Keywords:** Geothermal system, feflow, numerical modeling, seawater intrusion, hydrogeochemistry, Seferihisar, Balçova

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

TEZ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 Çalışma Alanının Yeri.....	2
<b>BÖLÜM İKİ - JEOLojİ.....</b>	<b>4</b>
2.1 Stratigrafi.....	4
2.1.1 Paleozoyik-Mesozoyik.....	4
2.1.2 Üst Kretase-Paleosen.....	5
2.1.3 Neojen.....	8
2.1.4 Kuvaterner.....	9
2.2 Yapısal Jeoloji.....	10
<b>BÖLÜM ÜÇ - HİDROJEOLojİ.....</b>	<b>13</b>
3.2 Örnek Noktaları.....	13
3.2.1 Soğuk Su Noktaları.....	13
3.2.2 Sıcak Sular.....	16
3.3 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	22
3.4 Jeotermal Sistem Ögeleri.....	29
3.4.1 Temel Kaya.....	29
3.4.2 Hazne Kaya.....	30
3.4.3 Örtü Kaya.....	31
3.4.4 Isı Kaynağı.....	31
3.4.5 Beslenme.....	32
3.5 Çalışma Alanının Hidrojeolojik Kavramsal Modeli.....	32

3.6 Hidrojeokimya.....	36
3.6.1 Yöntemler.....	38
3.6.2 Yağışlı dönem örneklemeleri.....	42
3.6.3 Kurak Dönem Örneklemeleri.....	59
3.6.4 Hidrojeokimyasal Kavramsal model ve Değerlendirmeler.....	76
3.7 Jeotermometre Uygulamaları.....	80
3.7.1. Kimyasal Jeotermometreler.....	81
3.7.2. Çözünürlüğe Dayalı Jeotermometreler.....	82
3.7.3. İyon Değişimine Dayalı Jeotermometreler.....	86
3.7.4 Jeotermometrelerin Uygulanabilirliği.....	93
3.8 İzotop Jeokimyası.....	98
3.8.1 $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{2}\text{H}$ ilişkisi.....	98
3.8.2 $\delta^{18}\text{O}$ ve yükseklik ilişkisi.....	104
3.8.3 $\delta^{18}\text{O}$ ve Cl ilişkisi.....	111

## **BÖLÜM DÖRT - SEFERİHİSAR-BALÇOVA JEOTERMAL ALANLARINDA YERALTI SUYU AKIMI, ISI VE KÜTLE TAŞINIM MODELİ..... 118**

4.1. Temel Tanım ve Kavramlar.....	119
4.1.1 Hidrolik Yük (Akışkan Potansiyeli).....	119
4.1.2 Darcy Yasası.....	121
4.1.3 Yeraltı Suyu Akımının Diferansiyel Eşitliği.....	127
4.2. Çözünmüş Maddelerin Taşınması.....	131
4.2.1. Temel Tanım ve Kavramlar.....	131
4.3 Erimiş Madde Akımının Diferansiyel Eşitliği.....	136
4.4 Isı Taşınım Eşitlikleri.....	138
4.5 FeFlow Modelinde Kullanılan Eşitlikler.....	140
4.6 Sayısal Çözüm Teknikleri.....	144
4.6.1 Sonlu Farklar Yöntemi.....	145
4.6.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	147
4.7 Akım Modeli.....	149
4.7.1 Ağ Yapısı ve Birim Özellikleri.....	149
4.7.2 Sınır Koşulları.....	153
4.7.3 Akım Parametreleri.....	155
4.7.4 Akım Modelinin Değerlendirilmesi.....	159
4.8 Akım ve Isı Taşınım Modelinin Birlikte Çalıştırılması.....	160



4.8.1 Sınır Koşulları .....	160
4.8.2 Termal Parametreler .....	160
4.8.4 Akım ve Isı Taşınım Modelinin Değerlendirilmesi .....	162
4.9 Akım, Isı ve Madde Taşınım Modellerinin Birlikte Çalıştırılması .....	163
4.9.1 Sınır Koşulları .....	164
4.9.2 Akım, Isı ve Madde Taşınım Modelinin Değerlendirilmesi .....	165
<b>BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR .....</b>	<b>167</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>170</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>185</b>
<b>EK-1.....</b>	<b>185</b>
<b>EK-2.....</b>	<b>186</b>
<b>EK-3. TABLOLAR .....</b>	<b>190</b>
<b>EK-4. ŞEKİLLER LİSTESİ.....</b>	<b>192</b>

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın ana hedefi, Seferihisar-Balçova yerleşim yerleri ve arasında kalan alandaki jeotermal alanların, jeolojik oluşumu açısından bir bütün olarak ele alınıp, ısı iletimi ve akışkan taşınımının etkileri göz önüne alınarak kökenlerinin ortaya çıkartılmasıdır. Böylece, Seferihisar-Balçova jeotermal sistemlerin hidrodinamik olarak bağlantılı olup olmadığının ortaya konulması amaçlanmaktadır. Bunun yanı sıra, jeotermal kaynakların kullanımına bağlı olarak gelişen tatlı su kirliliği ve deniz suyu girişimi gibi çevresel sorunların da ortaya konulması ve çözülmesi amaçlanmaktadır.

Bu iki jeotermal sistemin birbirine çok yakın fakat jeotermal sistem özellikleri açısından çok da farklı olması nedeniyle Seferihisar-Balçova Alanı sayısal modelinin yapılması ve incelenmesi için en uygun alandır. Batı Anadolu'daki jeotermal çalışmalar, şimdiye kadar belli bölgelerde ve küçük ölçeklerde yapılmıştır ve akım, kütle ve ısı eşitliklerinin birlikte çözüldüğü herhangi bir sayısal model çalışmasıyla birlikte desteklenmemiştir. Bu çalışma sonucunda,

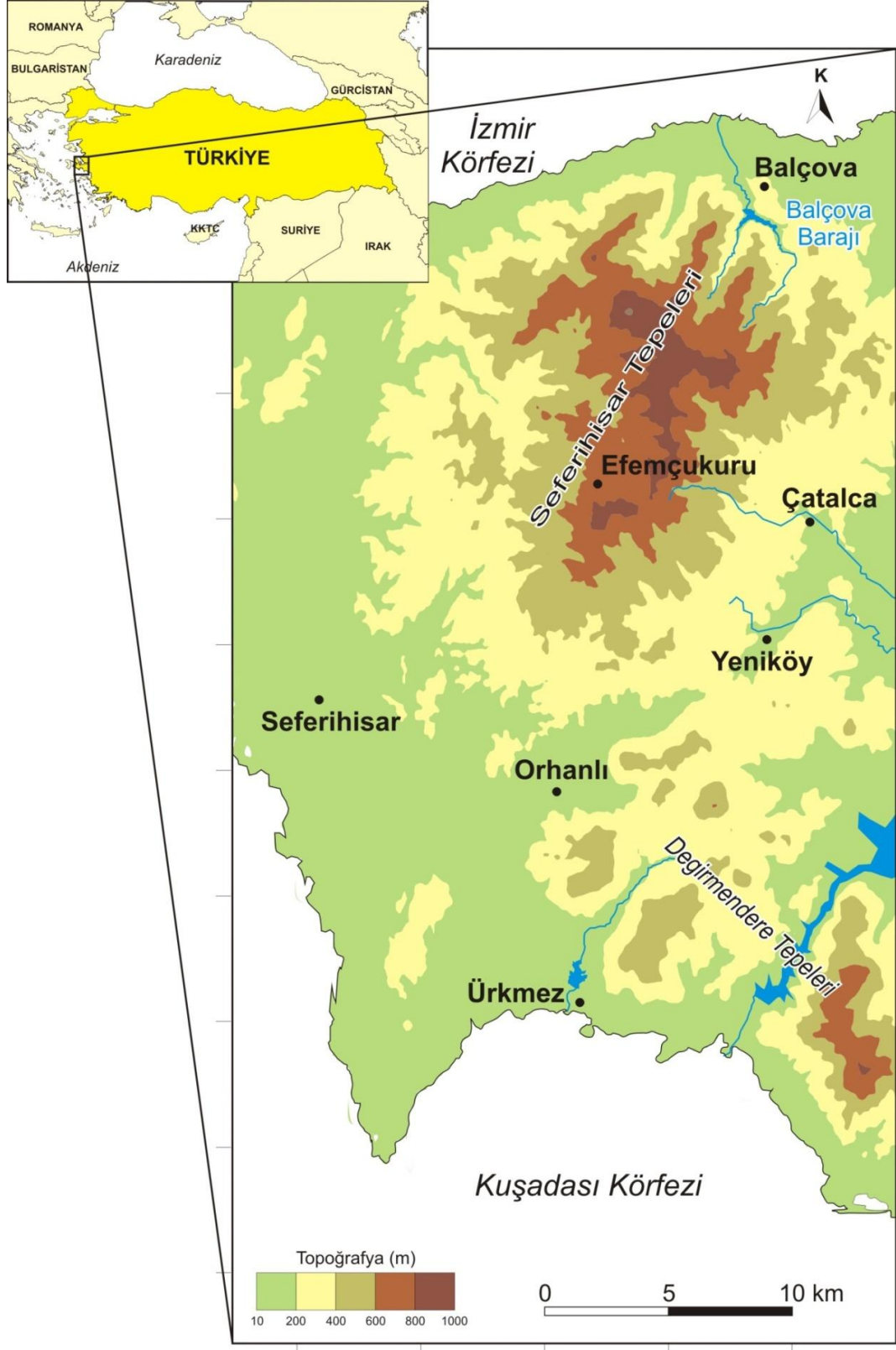
- Jeotermal sistem öğelerini, akım ve sıcaklık dağılımını kontrol eden jeolojik ve tektonik yapıların belirlenmesi,
- Jeotermal gradyanın, yoğunluk kontrolündeki akışkan akımına nasıl etki edeceğinin ortaya çıkartılması (termohalin ısı yayılımı),
- Termohalin konveksiyon akımının, jeotermal alanın yayılımını ve akışkan içeriğini nasıl etkilediği,
- Bölgedeki büyük ölçekli konveksiyon akımları ve gradyan değişimleri ortaya konularak iki jeotermal sistem arasındaki ilişkinin ortaya konulması,
- Deniz suyu katkısının, sistemin akışkan özelliklerini ve havza sıcaklıklarını nasıl etkilediğinin ortaya konulması

- Ayrıca, jeotermal alanlarının bulunduğu sahil kesimindeki alüvyonel akiferlerde, jeotermal akışkandan kaynaklanan, kirleticilerin dağılımının ve taşınımının ortaya konulması hedeflenmiştir.

Yapılmış olan bu çalışmayla jeotermal sistemin mevcut durumu da belirlenmiştir. Bu durum, jeotermal alanın kullanımına bağlı olarak ilerideki dönemlerdeki davranışlarını tahmin etmek açısından önemlidir. Batı Anadolu'da çok sayıda jeotermal alanın bulunması ve bir kısmının deniz suyu girişiyle etkileşim içinde olması nedeniyle bu çalışmada elde edilmiş çıktılar diğer alanlardaki sistemlerin ve bu sistemlerde oluşabilecek sorunların ortaya konulmasında ve çözümünde de bir kaynak olacaktır.

## **1.2 Çalışma Alanının Yeri**

Seferihisar-Balçova jeotermal sistemi, Türkiye'nin batısında, Ege bölgesinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Çalışma alanı İzmir'den başlayıp, kuzeyde Balçova, orta kesimde Efemçukuru, Çatalca, Orhanlı, Yeniköy gibi yerleşim yerleri ve İzmir'in güney batısında Ürkmez'e kadar olan alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı toplam 11 adet olan, 1:25.000 ölçekli, L17b2-b3-b4, L17c1-c2-c3-c4 ve L18a1-a4-d1-d4 paftaları içerisinde kalmaktadır.



Şekil 1.1 Çalışma alanındaki jeotermal sahaları gösteren harita.

## BÖLÜM İKİ

### JEOLOJİ

#### 2.1 Stratigrafi

Balçova, Cumalı, Tuzla, Doğanbey ve Karakoç jeotermal alanları; Üst Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Menderes metamorfikleri, Üst Kretase-Paleosen yaşlı İzmir-Ankara zonu kayaçları, Neojen yaşlı tortul kayaçlar ve volkanitler ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarının içinde bulunduğu bir alan içerisinde yer almaktadır (Şekil 2.1). Çalışma alanında daha önce birçok araştırmacı çalışmıştır (Genç ve diğer., (2001), Aksoy (2001), Drahor ve Berge (2006), Uzel ve Sözbilir (2008)). Araştırmacılara göre bölgede hidrojeolojik olarak, birçok kaya grubu ve formasyon yer almaktadır. Çalışma alanının genelleştirilmiş kolon kesiti Şekil 2.2’de verilmiştir. Kolon kesitteki birimler:

- Paleozoyik-Mesozoyik Menderes metamorfikleri,
- Kretase Filiş (Bornova Karmaşığı) (>2000m),
- Miyosen Yeniköy formasyonu (800-1500m),
- Pliyosen Cumaovası volkanikleri (300-500m),
- Kuvaterner yamaç molozu ve alüvyondan oluşmaktadır.

#### 2.1.1 Paleozoyik-Mesozoyik

Metamorfikler çalışma alanında yalnızca güneydoğuda gözlenmektedir (Şekil 1.1). Jeotermal sistemin temelini oluşturan bu birim Menderes Masifi olarak da tanımlanan metamorfik birimden oluşmaktadır (Genç ve diğer., 2001). İzmir-Ankara zonu boyunca çok geniş yayılım sunan metamorfik temel Balçova-Seferihisar jeotermal alanının temelini oluşturmaktadır. Çalışma alanında metamorfik birim rekristalize kireçtaşları, fillitler ve Mesozoyik yaşlı sleytlerden oluşmaktadır. Eşder ve Şimşek (1975)’e göre metamorfiklerin alt seviyeleri kuvars şist, klorit şist, albit şist, biotit şist ve muskovit şistlerden oluşmaktadır. Şistlerin üzerine kalınlığı bölgeye göre değişen mermerler gelmektedir. Şistler ve mermerler yatay ve düşey olarak geçişlidir.

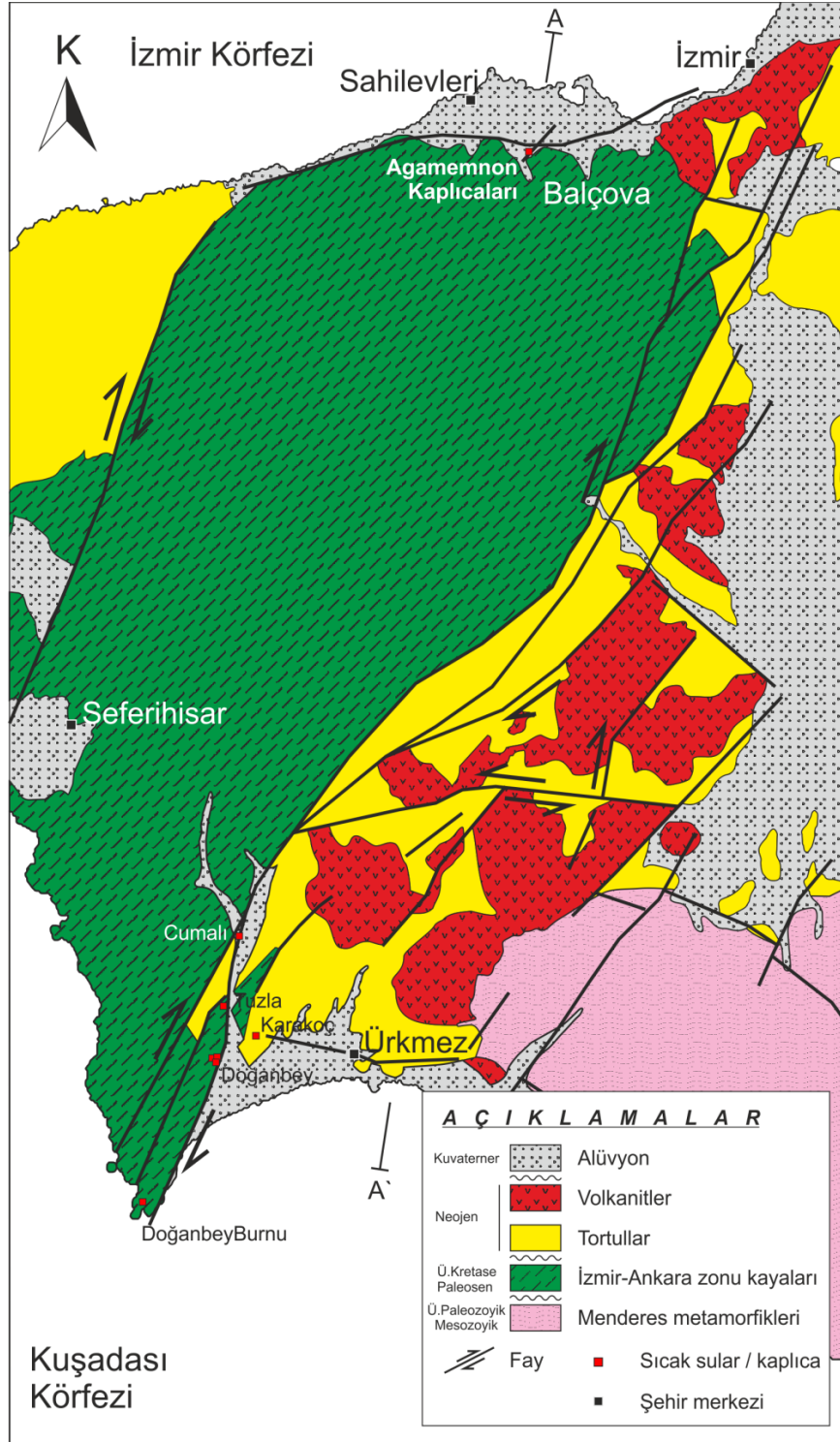
Çalışma alanının Dora ve diğer. (1997)'ye göre şistler ve mermerlerden oluşan Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfikleri temel kayayı oluşturmaktadır. Menderes metamorfikleri, geçirimsiz birim olarak kabul edilen kristalin şist ve mermerden oluşturmaktadır. Metamorfik temelin detaylı tanımlaması Akartuna (1962), Eşder ve Şimşek (1975) ve Kaya (1981)'de bulunmaktadır. Metamorfikler, Drahor ve diğer. (1999) tarafından da gravite yöntemi ile çalışılmıştır. Metamorfiklere Seferihisar horstunda yaklaşık 2,5 km derinlikte girildiği tahmin edilmektedir. Buna karşılık, Doğanbey bölgesinde, sismik hatlar metamorfik kayaların yükseldiğini ve 500 metreden daha az derinlikte oluştuğunu açıkça göstermektedir (Ocakoglu ve diğer., 2004).

### **2.1.2 Üst Kretase-Paleosen**

Birim, Balçova tepelerinden Seferihisar sahillerine kadar yayılım gösterirler (Şekil 1.1). İzmir-Ankara zonu kayaçları başta kumtaşı-şeyl aralanması olmak üzere çeşitli kireçtaşları, mafik ve ultramafik kayaçlar, masif kumtaşları, serpantin, spilit, diyabaz ve kireçtaşlarından oluşmaktadır (Brinkmann, 1966, 1972, 1976 ve Erdoğan, 1990). Genç ve diğer. (2001) ve Öngür (2001)'in çalışmalarına göre filiş, kumtaşı, silttaşı ve şeyller baskın olmak üzere fillitler, sleytler, rekristalize kireçtaşları ve metamorfizmaya uğramış çeşitli bloklar, spilit-diyabaz, radyolarit ve serpantin gibi ofiyolitler ile riyolit ve granodiyorit gibi magmatik birimlerden oluşmaktadır. Filişin içerisindeki 20 km boya erişen kireçtaşı kütleleri Kampaniyen-Daniyen'de filişin oluşumu sırasında, havza içine taşınarak filişin içerisindeki kireçtaşı blokları olarak yerini almıştır (Erdoğan, 1990). İzmir-Ankara Zonu'nun Bornova ile Seferihisar arasındaki bölümü kapsayan ve Üst Kretase-Paleosen yaşlı olan Bornova Karmaşığı, Menderes Masifi kayalarının üzerinde doğrudan doğruya faylar boyunca yer almaktadır (Başar ve Konuk, 1981; Eşder, 1990; Erdoğan, 1990).

Erdoğan (1985)'in çalışmalarında filiş biriminin tabanına rastlanamamıştır. Balçova'da yapılmış jeotermal sondajlarda en derin olan 1100 metrelik kuyuda bile filişin altındaki metamorfik temele ulaşamamıştır. Balçova ve Seferihisar'da MTA tarafından açılan sondajlarda, filiş biriminin güneye doğru kalınlığının azaldığı ve

300 metreye kadar düştüğü bilinmektedir. Seferihisar-Balçova arasındaki horst bölgesinde Şalk ve diğer. (1999)'un yaptığı jeofizik çalışmalara göre birimin kalınlığının 1500 metre civarında olduğu tahmin edilmiştir.



Şekil 2.1 Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Genç ve diğer., 2001'den ve Uzel ve Sözbilir, 2008'den değiştirilerek alınmıştır).

zaman	devir	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVA.	HOLOSEN	<b>Alüvyon ve Yamaç molozu</b> (yüksek geçirimli) Uyumsuzluk -----
	TERSİYER	GEÇ MİYOSEN-PLİYOSEN	<b>Cumaovası volk.</b> - örtü kaya (yarı geçirimli) Riyolitik tuf, piroklastikler ve dom yapıları -----
ERKEN-ORTA MİYOSEN			<b>Yeniköy Form.</b> <b>Ürkmez Form.</b> Yüksek geçirimli faylar ve çatlaklar Çakıltası Kumtaşı Silttaşı araldanması Uyumsuzluk -----
	MESOZOYİK	KRETASE	<b>Yamanlar volk.</b> Andezitik lav, tuf <b>Çatalca Form.</b> Uyumsuzluk -----
<b>Bornova Karmaşığı</b> (yarı geçirimli) hazne kaya Kumtaşı ve şeyl araldanması Silttaşı Metakumtaşı (düşük geçirimli) Kireçtaşı blokları (yüksek geçirimli) Yüksek geçirimli faylar ve çatlaklar Uyumsuzluk -----			
PALEOZOYİK			<b>Menderes Masifine ait metamorfik kayalar</b> - temel (geçirimsiz) Kristalin Şiş Mermer

Şekil 2.2 Çalışma alanının geliştirilmiş kolon kesiti (Serpen, 2004, Uzel ve Sözbilir, 2008 ve Aksoy ve diğer., 2009'dan değiştirilerek).



Bornova karmaşığı, Erdoğan ve Güngör (1992)'e göre deforme olmuş ve yer yer metamorfizma geçirmiş kireçtaşları, metakumtaşları, serpantinler ve splitik lavlardan oluşmaktadır. Eşder ve Şimşek (1975) ve Aksoy ve diğer. (2008b) çalışmalarında birimin yarı-geçirimli olduğunu ve esas jeotermal hazne kayayı oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bornova karmaşığının geçirimsizliği, genelde ikincil olup, faylar, kırıklar, meta kumtaşlarının ardalanması ve volkanik intrüzyondan kaynaklanmaktadır. Çalışma alanı içinde, hazne kaya kalınlığı birçok yerde açılmış kuyu loglarına göre; Ürkmez'de birkaç yüz metre iken, Balçova'da 2 km'den fazladır (Eşder ve Şimşek, 1977; Öngür, 2001).

### **2.1.3 Neojen**

Çatalca formasyonu, kıltaşı ve kumtaşı arakatmanlı şeyllerden oluşmaktadır (Şekil 2.1 ve 2.2). Formasyon, kırmızı çamurtaşı arakatmanları içeren mikaca zengin, ince taneli, sarı kumtaşlarından oluşmaktadır. Yukarıya doğru kademeli olarak gri kumtaşlarına ve sarı renkli şeyllere geçiş göstermektedir (Genç ve diğer., 2001).

Çatalca formasyonu üzerinde Yamanlar volkanikleri yer almaktadır. Birim çalışma alanının kuzeydoğusunda bir alanda yüzlek vermektedir. Bu alanda Çatalca formasyonunun üst kesimlerindeki ince taneli kırıntılı yapı Yamanlar volkaniklerinin lavları ve tüfleriyle geçişlidir. Birim andezitik, dasitik, riyolitik ve bazaltik bileşime sahip lav, piroklastik kayaçlar, dayklar ve dom yapılarından oluşmaktadır (Uzel ve Sözbilir, 2008). Borsi ve diğer. (1972)'ye göre birimin 14-19 milyon yaşında olduğu belirtilmiştir.

Ürkmez formasyonu, Çatalca formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer alır. Genç ve diğer. (2001)'e göre Ürkmez formasyonu, en altta kırmızı renkli kötü boylanmış çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Çakıltaşları formasyonun üst kesimlerine doğru kademeli olarak gri renkli kireçtaşı mercikleri içeren kumtaşları ve ince taneli çakıltaşlarına geçiş gösterir. Yılmaz (1997)'nin araştırmasına göre lavlar için radyometrik yaş tayini birimin yaşını 15-21 milyon yıl göstermektedir.

Yeniköy formasyonu, Ürkmez formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmiştir. Genç ve diğer. (2001)'e göre Orta-Geç Miyosen yaşlı birim esas olarak açık renkli marn, şeyl ve killikireçtaşı, yer yer ara katmanlı ince taneli kumtaşı ve kiltaşlarından oluşmaktadır. Bu arakatmanlar üst kesimlere doğru Pliyosen yaşlı piroklastik kayalara doğru geçiş göstermektedir. Birimin alt seviyeleri baskın olarak göl sel sediment, ince taneli kumtaşı ve şeyl aralanmalarından oluşmaktadır. Ayrıca ince linyit seviyeleri de gözlenmektedir.

Cumaovası volkanikleri çalışma alanının güneydoğusunda gözlenmektedir. Orta-Geç Miyosen yaşlı volkanikler Yeniköy formasyonu üzerinde yer alır ve yaklaşık 15-17.7 milyon yıl yaşındadır (Borsi ve diğer., 1972). Volkanikler, sedimenter tuf, aglomera, perlit, riyolit ve riyodasitten oluşmaktadır. Ayrıntılı bir tanımlama Eşder ve Şimşek (1975)'te yapılmıştır.

#### **2.1.4 Kuvaterner**

Kuvaterner tortullar, kıyılar ve nehir sistemleri boyunca bulunmaktadır. Çokça killi kum, silt ve çakıl içeren çimentosuz alüvyal tortullardır. Bu tortullar, 50-150m kalınlığında geçirgen sığ akiferleri oluşturmaktadır. Bunlar, yağışlarla ve çevredeki yükseltilerdeki yüzey akışıyla beslenmektedirler (Serpen, 2004).

Pekleşmemiş granüler tortullardan oluşan Kuvaterner alüvyon tüm birimleri örtmektedir ve Balçova kaplıcalarının olduğu yerde kalınlıkları güneyden kuzeye doğru artarak devam etmektedir (Yılmaz, 1989).

Sayısal modelleme çalışmalarının gereği bölgenin jeolojisi basitleştirilerek sayısal modelde kullanılabilir hale indirgenmiştir. Çalışma alanının genel jeolojisi Genç ve diğer. (2001)'de ve Uzel ve Sözbilir (2007)'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu çalışmalarda Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Cumaovası volkanikleri piroklastikler, riyolit ve riyodasitler ve perlitlerden oluşmaktadır. Erken-Orta Miyosen yaşlı tortullar ise Çatalca formasyonu, Ürkmez formasyonu ve Yeniköy formasyonundan oluşmaktadır. Bu birimler benzer kökenleri ve özellikleri açısından tek bir birim

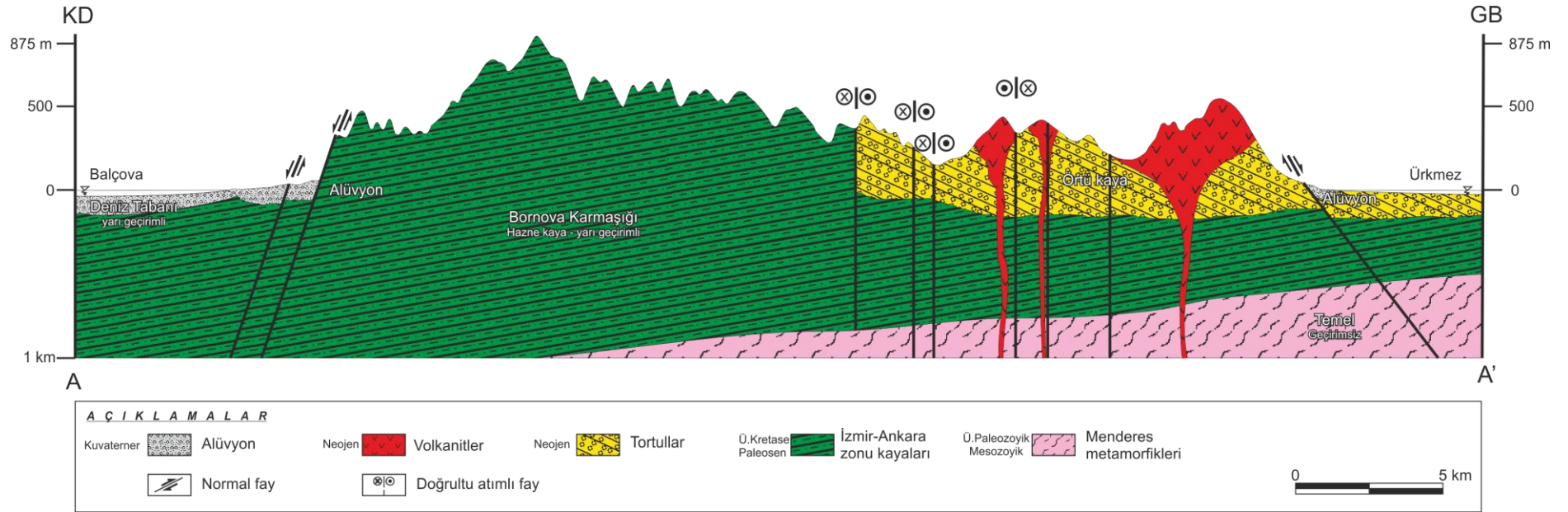
olarak ele alınmıştır. Cumaovası volkaniklerini oluşturan tüm birimler sayısal modelde Şekil 2.1’de verildiği gibi volkanitler ve Çatalca formasyonu, Ürkmez formasyonu ve Yeniköy formasyonu ise sedimenter birimler olarak tek bir birim olarak değerlendirilmiştir.

## 2.2 Yapısal Jeoloji

Batı Anadolu, Ege Denizi ve çevresindeki bölgeleri kapsayan Ege genişleme alanının doğu kısmında yer almaktadır (Şekil 1.1). Bölge, kompleks graben-horst sistemidir. D-B uzantılı graben, drenaj ağını kontrol eder (Genç ve diğer., 2001) ve bu tektonik örneği izleyen birçok önemli jeotermal alana ev sahipliği yapmaktadır. Vengosh ve diğer. (2002)’ye göre, doğu ve batı Anadolu’da, 50-100°C’nin üzerindeki tüm sıcak su kaynakları genç volkanik aktivite ve blok-faylanma ile ilişkilidir. Güçlü termal aktivite, 600’den fazla 100°C’nin üstündeki sıcak su kaynakları ve hidrotermal alterasyonlu geniş yayımlı asidik volkanik aktivite ile ortaya çıkmaktadır (Çağlar, 1961). Bölgenin termal kaynakları, Agamemnon sıcak su kaynakları olarak bilinmektedir (Serpen, 2004). Değişken yeraltı suyu boşalımı, kaynakların daha soğuk olduğu (20-30°C) Değirmendere’nin kuzeyinden olup, lokasyonları değişkendir.

Güçlü graben tektoniğinin bir sonucu olarak tüm bölge, temelden Kuvaterner alüvyona kadar tüm stratigrafik kolonu kesen, düşey doğrultu atımlı ve aktif normal faylar tarafından etkilenmektedir ve Şekil 2.3’de görüldüğü gibi tüm kaya birimleri arasındaki hidrolojik temas yüzeylerini kolaylaştırmaktadır. Bölgedeki ana faylar; İzmir (Agamemnon), Cumalı, Tuzla ve Doğanbey faylarıdır (Şekil 2.1). Bu doğrultu atımlı ve normal faylar, sıcaklıkları 30-78°C arasında değişen sıcak suların çıkmasına sebep olacak şekilde kırılmışlardır. Şekil 2.3, Genç ve diğer. (2001) ve Uzel ve Sözbilir, (2008) yayınlarındaki jeolojik haritalar kullanılarak Şekil 2.1’de belirtilen A-A’ hattı boyunca kesit alınmıştır ve bu kesit üzerine kavramsal modeli tamamlamak için hidrojeolojik özellikler eklenerek değişiklikler yapılmıştır.

Filiş sekansındaki kırık sistemleri bir hidrotermal sistem oluşturmuştur. Serpen (2004)'ün kavramsal hidrojeolojik modeline göre, sıcak sular Bornova Karmaşığı'ndaki ana kırık ve fay zonları boyunca 2 km kadar yükselerek yüzeye çıkmaktadır. Derin dolaşimli sular, jeotermal gradyan ile ısınmaktadırlar. Sıcak ve daha az yoğun derin sular, ana fay hatları ve çatlaklar boyunca yüzeye kadar yükselmekte ve Kuvaterner sediment ve alüvyon boyunca boşalım göstermektedir. Tarcan (2003)'e göre, termal su değişik oranlarda soğuk sular ile karışım yapmaktadır.



Şekil 2.3 Çalışma alanının yorumlanmış jeolojik kesiti (Genç ve diğer., 2001 ve Uzel ve Sözbilir, 2008'den değiştirilerek).

## **BÖLÜM ÜÇ**

### **HİDROJEOLOJİ**

Bölgede çeşitli araştırmacılar tarafından (Aksoy ve diğer. (2008), Satman ve diğer. (2001), Eşder ve Şimşek (1975), Vengosh ve diğer. (2002) hidrojeokimyasal olarak değerlendirmelerin yapılmasının yanı sıra, bu çalışma kapsamında da bölgede arazi çalışmaları yapılmıştır.

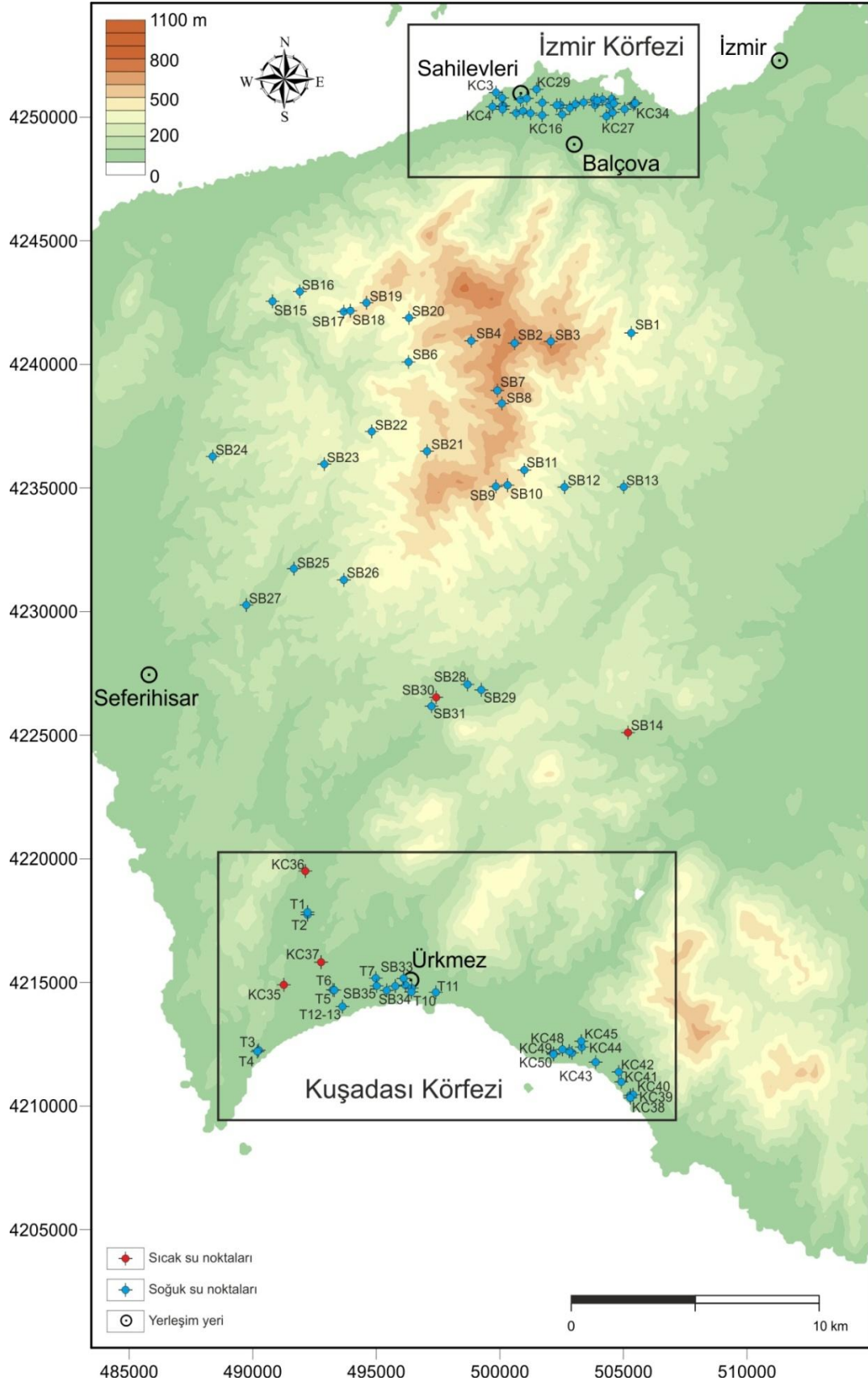
Arazi çalışmaları kapsamında öncelikle hidrolik yükleri belirlemek amacıyla tüm örnek noktalarında su seviyesi tespit çalışmaları yapılmıştır. Su örneği alınan noktalar, keson kuyular, dalgıç pompalı kuyular, akarsular ve bazı kaptaj noktalarıdır. Yeraltı su tablasını oluşturmak için ölçüm alınabilecek her türlü noktadan ölçüm alınmıştır. Özellikle Balçova ve Seferihisar alüvyonuna ait çok sayıda hidrolik yük verisi toplanmıştır.

### **3.2 Örnek Noktaları**

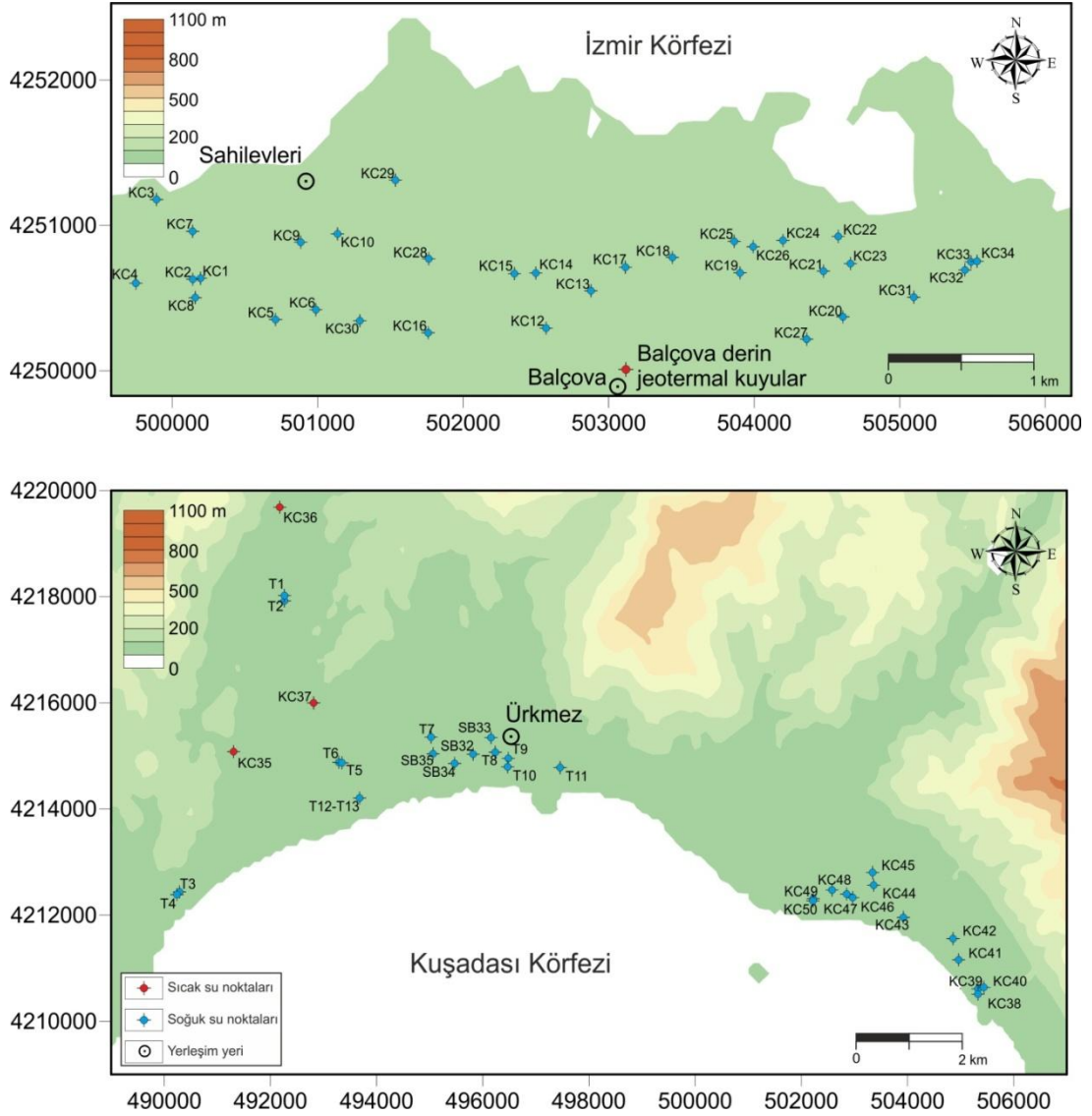
Çalışma alanında soğuk yeraltı suları ve sıcak sulardan; suların sınıflandırılması, kökenlerinin, fasiyes tiplerinin ve iyonlar arası ilişkilerinin, doygunluk indisi değerlerinin belirlenmesi, toplam sertlik, toplam çözülmüş madde miktarları ve Na<sup>+</sup> adsorpsiyon oranının hesaplanması ve deniz suyu katkısının belirlenmesi için örnekler toplanmıştır. Örnekler soğuk su kaynaklarından, keson kuyulardan, yüzey sularından ve sıcak su kaynaklarından alınmıştır. Örnekleme yapılan noktaları gösteren yerbulduru haritası Şekil 3.1'de ve ayrıntılı halleri ise Şekil 3.2'de verilmiştir. Balçova'dan, beslenme alanından ve Seferihisar'dan alınan su örneklerinin lokasyonları ve örnekleme tarihleri sırasıyla Tablo 3.1, 3.2 ve 3.3'de verilmiştir.

#### **3.2.1 Soğuk Su Noktaları**

Soğuk sular Balçova alüvyonel akiferden, Seferihisar alüvyonel akiferden ve Balçova-Seferihisar arasındaki horst bölgesinden alınmıştır.



Şekil 3.1 Soğuk ve sıcak su örnek noktalarının arazideki dağılımı.



Şekil 3.2 Alüvyon akiferdeki örnek noktaların detayı (üstte Balçova ve altta Seferihisar jeotermal alanları).

Balçova alüvyonel akiferde çok sayıda sera, bahçe ve yerleşim yeri ve neredeyse hepsinin de özel en az bir kuyusu mevcuttur. Bir kısmı çok eski adi kuyular olup çapları 1 metre ile 3-4 metre arasında değişmektedir. Diğer bir kısım kuyu ise semt sakinlerinin bahçelerini sulama amaçlı veya kullanma amaçlı açtıkları ruhsatlı ve ruhsatsız dalgıç pompalı kuyulardır. Bu bölgede alınan örneklerin çoğu seralar ve bahçelerdeki keson kuyulardan olup diğer azınlıktaki örnekler ise dalgıç pompalı kuyulardan alınmıştır (Şekil 3.3). Alüvyonel akiferdeki bir kısım örneğin sıcaklığı 20°C'nin üzerinde olup en sıcak olanı 26,3°C'dir. İlk izlenim olarak bu suların karışım suları olabileceği düşünülmüştür.



Balçova-Seferihisar arasındaki beslenme alanında ise çoğunlukla soğuk sular örneklenmiştir. Örneklerin büyük çoğunluğu yol kenarlarında yapılmış olan çeşmelerden ve çeşitli kaynaklardan alınmıştır. Yağışlı dönem içerisinde örnekleme çok rahat yapılmış fakat kurak dönemde çoğu örnek noktasında örnekleme yapabilecek kadar bile su bulunamamıştır.

Seferihisar'dan alınan soğuk sular ise yine alüvyonel akiferdeki seralardan ve narenciye bahçelerindeki keson kuyulardan alınmıştır. Alüvyonel akiferde semt sakinlerine ait ruhsatlı ve ruhsatsız dalgıç pompalı kuyular da çok sayıda mevcuttur. Örnekleme safhasında özel mülkler içinde çok sayıda kuyu tespit edilmiş fakat büyük olasılıkla kuyuların ruhsatsız olması nedeniyle örneklenmesine izin verilmemiştir. Gerek kuyuların ruhsatsız olmasından gerekse de halkın son birkaç yıldır uygulanan su politikası sonucunda şebeke suyunu kullanması için teşvik edilmesinden dolayı seralarda ve yerleşim yerlerinde neredeyse tüm yeraltı su kuyuları kapatılmış ve kullanılmamaya başlanmıştır.

Geçtiğimiz yıllarda Seferihisar alüvyonel akiferin çok yoğun olarak kullanılmasından ötürü sahil boyunca deniz suyu girişimi artmış ve alüvyonel akiferdeki tatlı sular tuzlanmaya başlamıştı. Halkın son birkaç yıldır uygulanan su politikası sonucunda şebeke suyunu kullanması için teşvik edilmesinden dolayı deniz suyu girişiminin önüne geçilmiş, akiferlerin yağışlı dönemlerde beslenmesi sağlanmış ve tuzlanmanın daha da ilerlemesinin önüne geçilmiştir. Aynı noktalarda yapılan dönemsel tuzluluk ölçümlerinde bu olay rahatlıkla gözlenebilmektedir.

### **3.2.2 Sıcak Sular**

Çalışma alanındaki sıcak su örnekleri Seferihisar'daki kaplıcalardan, kaynaklardan ve bir kuyudan alınmıştır. Doğanbey (Şekil 3.4), Karakoç (Şekil 3.5) ve Cumalı (Şekil 3.6) kaplıcaları ve kaynaklarından sıcak su örnekleri alınmıştır. Sıcaklığı diğer örneklerle göre düşük olan 2 adet su örneğinden birisi eski Deli Ömer (SB-14) kaynağından (Şekil 3.7) bir diğeri ise Orhanlı (SB-30) bölgesinde çok da eski olmayan 135 metre derinliğindeki bir kuyudan alınmıştır. Deliömer ve Orhanlı'dan alınan suların sıcaklıkları sırasıyla 21,8 ve 34,4°C'dir.

Tablo 3.1. Balçova'dan Alınan Su Örnekleri.

BALÇOVA	KC-1	35S	500194 / 4250637	Balçova	23.04.2008
	KC-2	35S	500141 / 4250630	Kuyu	
	KC-3	35S	499892 / 4251179	Kuyu	
	KC-4	35S	499750 / 4250603	Talles park	
	KC-5	35S	500710 / 4250353	Kuyu	15.05.2008
	KC-6	35S	500987 / 4250421	Kuyu	
	KC-7	35S	500140 / 4250960	Askeriye B kapısı	
	KC-8	35S	500158 / 4250504	Kuyu	
	KC-9	35S	500883 / 4250885	Kuyu	
	KC-10	35S	501136 / 4250942	Kuyu	
	<b>KC-11</b>			<b>deniz suyu</b>	
	KC-12	35S	502570 / 4250294	Karanfil serası kuyu	16.05.2008
	KC-13	35S	502878 / 4250551	Kuyu	
	KC-14	35S	502499 / 4250673	Kuyu	
	KC-15	35S	502352 / 4250669	Kuyu	
	KC-16	35S	501759 / 4250262	Narlıdere Mezarlığı	
	KC-17	35S	503115 / 4250713	Kuyu	
	KC-18	35S	503438 / 4250780	Özdilek kuyu	
	KC-19	35S	503903 / 4250674	Kuyu	
	KC-20	35S	504610 / 4250372	Kuyu	
	KC-21	35S	504476 / 4250686	Kuyu	
	KC-22	35S	504578 / 4250925	Kuyu	20.05.2008
	KC-23	35S	504662 / 4250738	Kuyu	
	KC-24	35S	504198 / 4250897	Kuyu	
	KC-25	35S	503863 / 4250891	Bahçelerarası Muhtarlığı kuyu	
	KC-26	35S	503993 / 4250854	Kuyu	
	KC-27	35S	504361 / 4250218	Kuyu	
	KC-28	35S	501763 / 4250771	Kuyu	
	KC-29	35S	501534 / 4251312	Kuyu	
	KC-30	35S	501289 / 4250345	Kuyu	
	KC-31	35S	505097 / 4250507	Kuyu	
	KC-32	35S	505449 / 4250694	Kuyu	
	KC-33	35S	505491 / 4250750	Kuyu	
	KC-34	35S	505532 / 4250754	Kuyu	

Tablo 3.2 Beslenme Alanından Alınan Su Örnekleri.

BESLENME ALANI	SB-1	35S	505365 / 4241452	Tırazlı Köyü, radardan gelen su	04.04.2009	2SB-1	01.09.2009
	SB-2	35S	500647 / 4241039	Tırazlı Köyü çeşmesi		2SB-2	
	SB-3	35S	502110 / 4241113	Radar yol üstü kaynak		2SB-3	
	SB-4	35S	498892 / 4241136	Mehmet Demir çeşmesi		2SB-4	
	SB-5			Kavacık Köyü çeşmesi		2SB-5	
	SB-6	35S	496353 / 4240279	Kavacık Köyü kuyu suyu		2SB-6	
	SB-7	35S	499948 / 4239125	Efemçukuru yol üstü çeşmesi		2SB-7	
	SB-8	35S	500127 / 4238600	Orman işleri havuzu		2SB-8	
	SB-9	35S	499888 / 4235241	Efemçukuru-catalca yol üstü çeşmesi		2SB-9	
	SB-10	35S	500359 / 4235294	Efemçukuru-catalca yol üstü çeşmesi		2SB-10	
	SB-11	35S	501040 / 4235907	Yol üstü çeşmesi		2SB-11	
	SB-12	35S	502664 / 4235219	Yol üstü çeşmesi		2SB-12	
	SB-13	35S	505062 / 4235226	Çatalca gölet suyu		2SB-13	
	SB-14	35S	505234 / 4225286	Delioömer-İlıkpınar kaynağının çıkış yeri		2SB-14	
	SB-15	35S	490848 / 4242733	Karakaya Köyü -sera kuyusu	2SB-15		
	SB-16	35S	491951 / 4243130	Yol üstü adi kuyu	2SB-16		
	SB-17	35S	493733 / 4242317	Süleyman Çetin Hayratı	2SB-17		
	SB-18	35S	494000 / 4242350	Tarihi Sarnıç çeşmesi-Payamlı Köyü	2SB-18		
	SB-19	35S	494650 / 4242675	Akpınar kaynakları-köy çeşmesi	2SB-19		
	SB-20	35S	496371 / 4242063	Dere suyu	2SB-20		
	SB-21	35S	497102 / 4236669	Yol üstü çeşmesi	2SB-21		
	SB-22	35S	494865 / 4237468	Haci Mahmut Yalçınöz Hayratı	2SB-22		
	SB-23	35S	492945 / 4236148	Gödençe Köyü -adi kuyu	2SB-23		
	SB-24	35S	488430 / 4236455	Yol üstü -mağara şeklindeki kaptaj	2SB-24		
	SB-25	35S	491714 / 4231918	Seferihisar-Beyler Köyü arası kaynak	2SB-25		
	SB-26	35S	493736 / 4231462	Beyler koyu sondajı-vadi içinde	2SB-26		
	SB-27	35S	489790 / 4230448	Baraj suyu	2SB-27		
	2SB-36	35S	498730 / 4236523	Kaynak	2SB-36		
	2SB-37	35S	493941 / 4242175	Kaptaj Kaynak	2SB-37		
	2SB-38	35S	498864 / 4227140	Mustafa Kemal Kupçuk çeşmesi	2SB-38		
	2SB-39	35S	493140 / 4226759	Mustafa Arpanlar çeşmesi	2SB-39		
	2SB-40	35S	492647 / 4229183	Yol kenarı çeşmesi	2SB-40		

Tablo 3.3 Seferihisar'dan Alınan Su Örnekleri.

SEFERİHİSAR	SB-28	35S	498740 / 4227234	Akan dere suyu	20.05.2009	2SB-28	01.09.2009
	SB-29	35S	497469 / 4226713	sondaj ılıksu-spilitlerden geliyor		2SB-29	
	SB-30	35S	499297 / 4227014	Kuyucak Köyü muhtarlığı		2SB-30	
	SB-31	35S	497283 / 4226354	Mahmut Yaşar hayratı		2SB-31	
	SB-32	35S	495817 / 4215032	Ürkmez mandalina bahçesi-keson kuyu		2SB-32	
	SB-33	35S	496154 / 4215345	Özdere mandalina bahçesi-keson kuyu		2SB-33	
	SB-34	35S	495470 / 4214858	Özdere mandalina bahçesi-keson kuyu		2SB-34	
	SB-35	35S	495063 / 4215040	Kuyu	2SB-35		
	2SB-41	35S	491305 / 4215081	Doğanbey-kaplıca kaynak		2SB-41	07.09.2009
	2SB-42	35S	491305 / 4215081	Doğanbey kaplıca		2SB-42	
	2SB-43	35S	492176 / 4219686	Cumalı kaplıca		2SB-43	
	2SB-44	35S	492813 / 4215999	Karakoç kaplıca		2SB-44	
	2SB-45			Keson kuyu		2SB-45	
	2SB-46	35S	493996 / 4216025	kuyu		2SB-46	
	KC-35	35S	491305 / 4215081	Doğanbey İlçaları	23.04.2008	08.12.2007	
	KC-36	35S	492176 / 4219686	Cumalı İlçası			
	KC-37	35S	492813 / 4215999	Karakoç Kaplıcaları			
	KC-38	35S	505327 / 4210512	Kuyu			
	KC-39	35S	505327 / 4210612	Kuyu			
	KC-40	35S	505437 / 4210640	Kuyu			
	KC-41	35S	504963 / 4211159	Kuyu			
	KC-42	35S	504858 / 4211558	Kuyu			
	KC-43	35S	503923 / 4211957	Kuyu			
	KC-44	35S	503363 / 4212565	Kuyu			
	KC-45	35S	503342 / 4212803	Kuyu			
	KC-46	35S	502967 / 4212332	Kuyu			
	KC-47	35S	502855 / 4212399	Kuyu			
	KC-48	35S	502578 / 4212474	Kuyu			
	KC-49	35S	502224 / 4212310	Kuyu			
	KC-50	35S	502218 / 4212271	Kuyu			
	T-1	35S	492265 / 4218023	Karakoç Kaplıcası kuyuları I	17.01.2006		
	T-2	35S	492265 / 4217923	Karakoç Kaplıcası kuyuları II			
	T-3	35S	490287 / 4212439	Şansa Camping Kuyusu			
T-4	35S	490238 / 4212389	Şansa Camping Kuyusu				
T-5	35S	493348 / 4214870	Tire-Akevleri kuyusu				
T-6	35S	493290 / 4214880	Güzelkaya sitesi kuyusu				
T-7	35S	495026 / 4215355	Ürkmez mandalina bahçesi sondaj				
T-8	35S	496234 / 4215070	Ürkmez içi oto yıkama sondaj				
T-9	35S	496481 / 4214954	Ürkmez içi				
T-10	35S	496468 / 4214795	Ürkmez içi				
T-11	35S	497457 / 4214781	Erdem Tur Tatil sitesi kuyusu				
T12-13	35S	493679 / 4214206	DEÜ kampı-sondaj				



Şekil 3.3 Balçova’da bir serada yapılan örnekleme ve su seviyesi ölçümü.

MTA ve İzmir Jeotermal A.Ş. işbirliğiyle Seferihisar’da yeni açılan ve Balçova’da çok sayıda halen kullanılmakta olan eski jeotermal kuyular da bulunmaktadır. Fakat bu alanlar İzmir Jeotermal A.Ş.’nin ruhsatlı çalışma alanları olup, bu tez kapsamında örnekleme yapılan 2 yıl boyunca, örnekleme de dahil hiçbir akademik çalışmanın yapılmasına ilgili şirket tarafından destek verilmemiştir.



Şekil 3.4 Doğanbey sıcak su kaynağının çıkış noktası.



Şekil 3.5 Karakoç kaplıcalarında ufak bir termal havuz.



Şekil 3.6 Seferihisar'da 2009'da açılmış bir sıcak su kuyusu.

Örneklemeler kurak ve yağışlı dönem olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Yapılan tüm örneklemeler sonucunda laboratuvardan gelen başlıca iyonların elde edilen analiz sonuçları ve hidrojeokimyasal yorumlamalarda kullanılacak toplam sertlik, toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) ve suların hidrokimyasal fasiyes tipleri hidrojeokimya bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 3.7 Deliömer sıcak su sahasındaki eski bir termal banyo.

İletkenlik (EC) değeri  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve iyonların analiz sonuçları  $\text{mg}/\text{L}$  cinsinden verilmiştir. Çoğu hidrojeokimyasal değerlendirme yönteminde, iyonların litredeki eşdeğer ağırlık değerleri ( $\text{mek}/\text{L}$ ) kullanıldığından, katyonların ve anyonların ayrı ayrı litredeki eşdeğer ağırlıkları ve yüzdeleri ayrıca hesaplanmıştır. Yorumlamalarda kullanılan Piper, Schoeller gibi grafiklerde bu değerler kullanılmıştır.

Çalışma alanındaki örnekleme büyük bir çoğunluğu soğuk suların yapılmıştır. Balçova'da ve Sefirihisar'da açılmış olan jeotermal kuyulardan örnek alınmasına izin verilmediğinden sıcak su örneği olarak sadece Doğanbey, Cumalı ve Karakoç kaplıcalarından örnek alınabilmektedir. Balçova'da açılmış eski jeotermal kuyulara ait veriler ise Aksoy ve diğer. (2008)'den alınmıştır.

### 3.3 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Çalışma alanındaki jeolojik birimlere bakacak olursak beş esas birim yer almaktadır. Bunlar: Menderes Masifi metamorfikleri, İzmir-Ankara zonuna ait Bornova Karmaşığı, Neojene ait tortullar ve volkanitler ve en üstte alüvyondur. Menderes Masifi metamorfikleri çalışma alanında çok fazla yüzlek vermemekte, yalnızca çalışma alanının güneydoğusunda gözlenmekte ve tüm jeotermal sistemin temel kayasını oluşturmaktadır. Metamorfik birim rekristalize kireçtaşları, fillitler ve

Mesozoyik yaşı sleytlerden oluşmaktadır. Temel, geçirdiği yoğun metamorfizma nedeniyle neredeyse tamamen geçirimsiz bir yapı sunar. Eşder ve Şimşek (1975), 2-100 metre arasında değişen kalınlığa sahip metamorfiklerin içindeki mermerlerin yoğun çatlak ve kırıklar nedeniyle çok yüksek geçirimsizliğe sahip olduğunu belirtmiştir. En fazla 100 metre kalınlığa sahip mermerlerin yüksek derecede geçirimsiz olması, kalınlığı hakkında yeterli veri bulunmayan metamorfiklerin içinde çok fazla önemli değildir. Jeotermal sistemde bu temel birim geçirimsiz olarak kabul edilmiştir.

İzmir-Ankara zonuna ait Bornova Karmaşığı çok çeşitli kaya türlerinden oluşmuştur. Dolayısıyla Bornova Karmaşığı'nın hidrojeolojik özelliği birçok değişkene bağlıdır. Filiş kumtaşı, silttaşı ve şeyller baskın olmak üzere fillitler, sleytler, rekristalize kireçtaşları ve metamorfizmaya uğramış çeşitli bloklar, spilit-diyabaz, radyolarit ve serpantinit gibi ofiyolitik melanj malzemeleri ile riyolit ve granodiyorit gibi magmatik birimlerden oluşmaktadır. Filişin içindeki kireçtaşı blokları 20 km boya erişebilmektedir (Erdoğan, 1990).

Filiş birimini oluşturan metakumtaşları kumtaşı, silt ve şeyl aralanmaları şeklinde yer alır. Satman ve diğer. (2002), karot örneklerinden alınan ince kesitlerde bu birimin yüksek derece sıkışma etkisi altında kaldığını ve gözenekliliğin neredeyse olmadığını tespit etmişlerdir. Ayrıca birimin kılcal çatlaklar içerdiğini de gözlemlemişlerdir.

Filiş birimi içindeki diğer bir birim kireçtaşlarıdır. Cumalı fayna paralel bir şekilde konumlanmıştır. Yılmaz (1989)'a göre bu birim yoğun tektonik etki altında kalmış ve çok sayıda kırık ve çatlak içermektedir. Eşder (1990) araştırmalarında doğrultu atımlı fay zonunun derin jeotermal kuyular tarafından kesildiğini belirtmiştir. Fay zonlarına yakın kısımlarda Bornova Karmaşığı kayaları çok fazla çatlaklı ve aşırı derecede hidrotermal altere olmuştur.

Ayrıca Yılmaz (1982), Payamlı köyü kuzeybatısındaki granodiyoritlerin çok çatlaklı olduklarını da tespit etmiştir. Payamlı köyü granodiyoritlerinin güney-



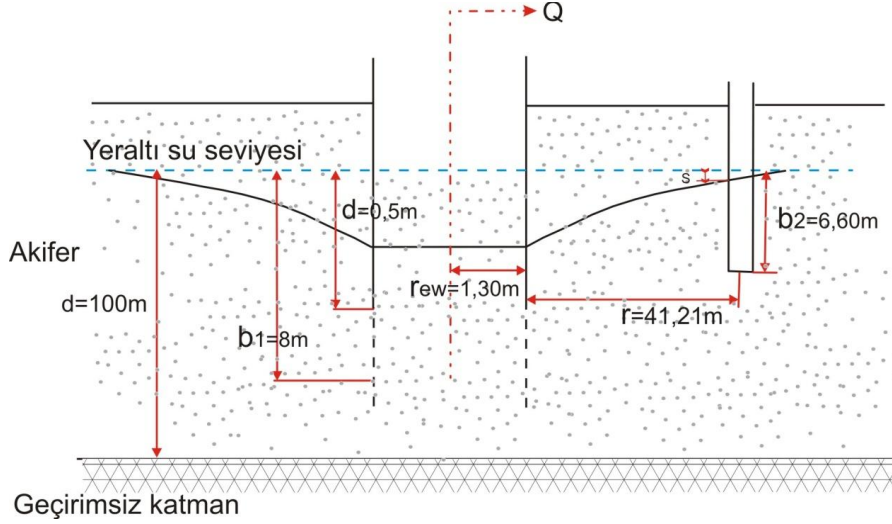
güneydoğu kesiminde serpantinitle yer almaktadır. Breşik yapıları ve bozunma nedeniyle geçirimsizdirler. Payamlı köyü güney-güneydoğusunda serpantinitle aynı bölgede diyabazlar yer almaktadır. Yazara göre diyabazların çatlak suyu içirme olasılıkları yüksektir. Gümüldür ve Efemçukuru çevresinde bulunan riyolitler ise yoğun alterasyona uğramaları nedeniyle geçirimsiz oldukları kabul edilmektedir.

Ürkmez formasyonu ve Yeniköy formasyonu adı verilen formasyonlar Miyosen yaşlı tortulları oluştururlar. Ürkmez formasyonu kırmızı renkli çakıltaşları, konglomera, kumtaşları ve çamurtaşlarından oluşmuştur. Yeniköy formasyonu, Ürkmez formasyonunun üzerinde yer alır. Açık renkli marnlar, şeyller, killi kireçtaşları ve yer yer ince taneli kumtaşları ve kilaşlarından oluşmaktadır (Uzel ve Sözbilir, 2008). Miyosen tortullar içindeki kumtaşları geçirimlidir. Ayrıca tektonik etkiler sonucunda da ikincil gözeneklilikleri gelişmiştir. Bu birim genel olarak hem ilksel hem de ikincil gözenekleri gelişmiş durumdadır ve su içermeleri mümkündür.

Çalışma alanında Balçova ve Seferihisar'da sahil kesimi boyunca alüvyon yer alır. Alüvyonun yapısı gereği çok çeşitli birimlerden çeşitli boylarda parçalar içerir. Balçova tarafında Agamemnon fayından sahil kesimine gidildikçe birimin kalınlığı artar. Seferihisar'da alüvyonun kalınlığı nispeten daha incedir. Her iki sahil kesiminde alüvyonel akiferlerde bol miktarda yeraltı suyu mevcuttur. Balçova'da alüvyonun bazı kesimlerinde soğuk sulara termal suların karıştığı düşünülmektedir. Aynı şekilde Seferihisar alüvyonel akiferinde de deniz suyu girişimi söz konusudur.

Alüvyon akiferin hidrolik iletkenlik katsayısının belirlenmesi amacıyla çalışma alanında pompaj deneyi yapılabilecek uygun kuyular araştırılmıştır. Balçova ve Seferihisar alüvyonunda semt sakinlerine ait olan kuyular araştırılmış Balçova'da pompaj deneyi yapılabilecek uygun bir yer belirlenmiştir. Hidrolik iletkenlik katsayısını belirlemek amacıyla yapılmış pompaj deneyinde bir pompaj kuyusu ve bir gözlem kuyusu kullanılarak pompaj deneyi gerçekleştirilmiştir. Kuyular arası mesafe 41,21 m'dir. Pompaj kuyusunun çapı 2,6 m olduğu için çoğunlukla pompaj deneyinin yorumlanmasında kullanılan yöntemler varsayımlarından ötürü kullanılamamıştır. Balçova alüvyonel akiferindeki gibi geniş çaplı açılmış pompaj

kuyularında kullanılmak üzere geliştirilmiş Boulton-Streltsova eğri çakıştırma yöntemi kullanılmıştır. Arazide elde edilen verilerin bu yöntemle uygulaması aşağıda anlatılmıştır. Pompaj deneyinde kullanılan pompaj ve gözlem kuyu kesiti Şekil 3.8’de verildiği gibidir.



Şekil 3.8 Arazide elde edilen verilerin gösterimi.

Kuyular arası mesafe ve kuyu yarıçapı kullanılarak  $r/r_{ew}$  oranı elde edilir.

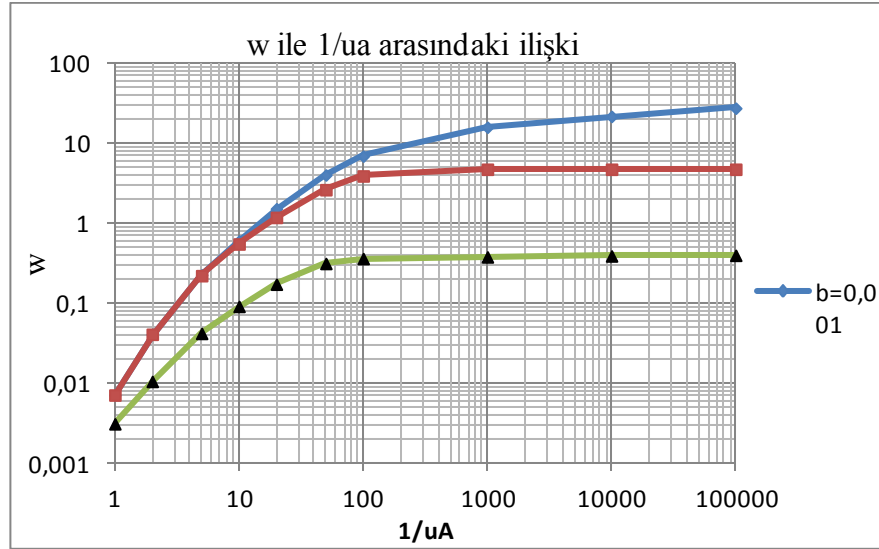
$$\frac{r \text{ (kuyular arası uzaklık)}}{r_{ew} \text{ (kuyu yarıçapı)}} = \frac{41,21 \text{ m}}{1,30 \text{ m}} = 31,7$$

Ek 1’de bu değere en yakın değer  $r/r_{ew} = 20$  olduğu için bu değere karşılık gelen  $1/u_A - w$  grafiği çizilir ve düşüm eğrisinin ilk kısmı ile en uygun çakışan eğri kabul edilir. Eğri çakıştırılması sonucunda elde edilen değer Tablo 3.4’e göre 0,1 çıkmaktadır (Şekil 3.2).

Tablo 3.4  $r/r_{ew} = 20$  ve  $\beta^{0.5} = 0,1$ ’e karşılık gelen  $1/u_A - w$  grafiği tablosu (Kruseman ve Ridder, 1970).

$1/u_A$	$w$
1,0	0,0071
2,0	0,0408
5,0	0,2205
10,0	0,5486
20,0	1,1791

$1/u_A$	$w$
50,0	2,6179
100,0	3,8867
1000,0	4,7150
10000,0	4,7152
100000,0	4,7152



Şekil 3.9 Tablo 3.1'e göre oluşturulmuş  $1/u_A$ - w grafiği.

Pompaj kuyusu derinliğinin akifer kalınlığına oranı ve gözlem kuyusu derinliğinin akifer kalınlığına oranı ise aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$\frac{b_1(\text{pompaj kuyusu derinliği})}{b(\text{akifer kalınlığı})} = \frac{8 \text{ m}}{100 \text{ m}} = 0,08$$

$$\frac{b_2(\text{gözlem kuyusu derinliği})}{b(\text{akifer kalınlığı})} = \frac{6,6 \text{ m}}{100 \text{ m}} = 0,066$$

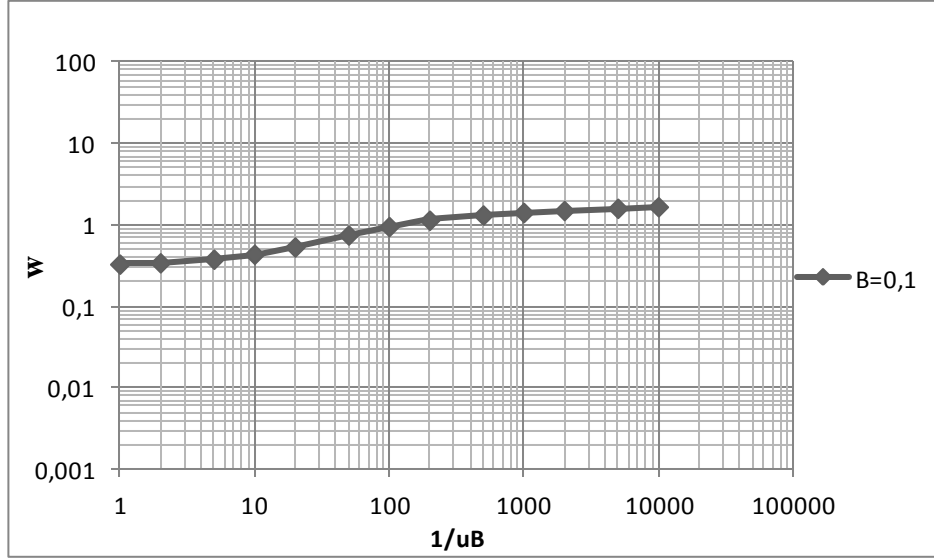
EK 2'de bu değerlere en yakın değer  $b_1/b = 0,1$  ve  $b_2/b = 0,1$  olduğu için bu değere karşılık gelen  $1/u_B$ - w grafiği çizilir ve uygun en geç zamanla çakışan eğri kabul edilir. Tablo 3.5'e göre bu değer 0,1 çıkmaktadır. Yine aynı boyuttaki log-log grafiğine aktarılır (Şekil 3.10).

Tablo 3.5  $b_1/b=0,1$   $b_2/b=0,1$  ve  $\beta^{0,5}=0,1$ 'e karşılık gelen  $1/u_B$ - w grafiği tablosu (Kruseman ve Ridder, 1970).

$1/u_B$	w
0,001	0,3196
0,002	0,3196
0,005	0,3196
0,01	0,3197
0,02	0,3198
0,05	0,3202
0,1	0,3209
0,2	0,3222

$1/u_B$	w
0,5	0,326
1	0,3325
2	0,3452
5	0,382
10	0,4392
20	0,5398
50	0,7569
100	0,9612

$1/u_B$	w
200	1,1498
500	1,3326
1000	1,4309
2000	1,5129
5000	1,6114
10000	1,6829

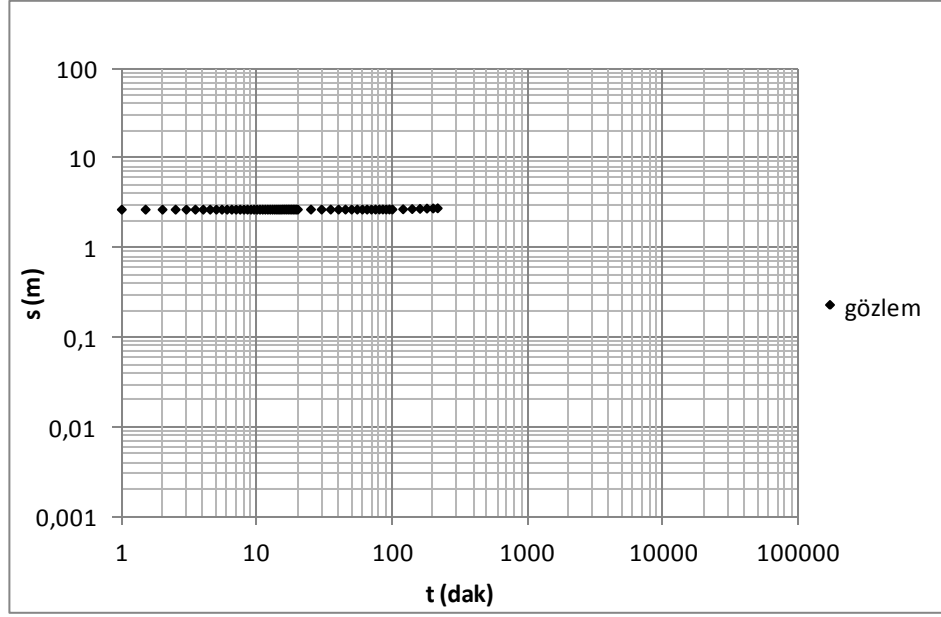


Şekil 3.10 Tablo 3.2'ye göre oluşturulmuş 1/uB- w grafiği.

Pompaj kuyusuna 41,21 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda alınan ölçümler (Tablo 3.6) kullanılarak düşüm ( $\Delta$ )-zaman (t) grafiği çizilir (Şekil 3.11).

Tablo 3.6 Arazide gözlem kuyusunda ölçülen düşüm-zaman değerleri.

t (dak)	$\Delta$ (m)	t (dak)	$\Delta$ (m)	t (dak)	$\Delta$ (m)
0	2,7	10,5	2,7	30	2,705
0,5	2,7	11	2,7	35	2,705
1	2,7	11,5	2,7	40	2,705
1,5	2,7	12	2,7	45	2,705
2	2,7	12,5	2,7	50	2,705
2,5	2,7	13	2,7	55	2,705
3	2,7	13,5	2,7	60	2,705
3,5	2,7	14	2,7	65	2,705
4	2,7	14,5	2,7	70	2,705
4,5	2,7	15	2,7	75	2,705
5	2,7	15,5	2,705	80	2,71
5,5	2,7	16	2,705	85	2,71
6	2,7	16,5	2,705	90	2,71
6,5	2,7	17	2,705	95	2,71
7	2,7	17,5	2,705	100	2,71
7,5	2,7	18	2,705	120	2,725
8	2,7	18,5	2,705	140	2,74
8,5	2,7	19	2,705	160	2,755
9	2,7	19,5	2,705	180	2,775
9,5	2,7	20	2,705	200	2,785
10	2,7	25	2,705	216	2,795



Şekil 3.11 Tablo 3.3'e göre oluşturulmuş düşüm ( $\Delta$ )-zaman ( $t$ ) grafiği.

Klasik eğri çakıştırma yöntemleri kullanılarak Şekil 3.9 ve 3.10'daki eğriler çakıştırılır ve düşüm eğrisinin ilk kısmı için  $1/u_A = 1000$ ,  $w=1$ ,  $t=1,33$  dak.,  $\Delta=0,6$  m olarak bulunur. Pompaj kuyusunda pompa çıkışındaki suyun debisi arazide  $Q=2,32$  m<sup>3</sup>/dak olarak ölçülmüştür. Akiferin transmisivitesi aşağıdaki gibi bulunur.

$$0,6m = \frac{2,32 \text{ m}^3/\text{dak}}{4\pi T} \cdot 1 \Rightarrow T = 0,3076 \text{ m}^2/\text{dak}.$$

Akifer kalınlığı ortalama 100 m kabul edilerek (Serpen, 2004), hidrolik iletkenlik katsayısı,

$$T = K_h \cdot b \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\frac{0,3076 \text{ m}^2}{\text{dak}} = K_h \cdot 100 \text{ m} \Rightarrow K_h = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}/\text{dak}$$

olarak bulunur. Depolama katsayısı ise,

$$0,001 = \frac{(41,21m)^2 \cdot S_A}{4 \cdot 0,3076m^2/\text{dak} \cdot 216\text{dak}} \Rightarrow S_A = 1,56 \cdot 10^{-4}$$

olarak bulunur. Şekil 3.10 ve 3.11 için çakıştırılan düşüm eğrisinin son kısmı

kullanılarak  $1/u_B = 1000$ ,  $w=1$ ,  $t=4,1$  dak,  $\Delta=1,5$  m olarak elde edilir. Pompaj kuyusundaki motorun debisi  $Q=2,32$  m<sup>3</sup>/dak ve  $b_1/b=0,08$  değerleri zaten daha önce elde edilmiştir. Transmissivite aşağıdaki gibi elde edilir.

$$1,5m = \frac{2,32 \text{ m}^3/\text{dak}}{4\pi T \cdot 0,08} \cdot 1 \Rightarrow T = 1,538 \text{ m}^2/\text{dak}.$$

Akifer kalınlığı yaklaşık 100m kabul edilmiştir (Serpen, 2004). Eşitlik (3.1)'e konulduğunda,

$$\frac{1,538m^2}{\text{dak}} = K_h \cdot 100 \text{ m} \Rightarrow K_h = 1,5 \cdot 10^{-2} \frac{m}{\text{dak}} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/sn}$$

Depolama katsayısı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$0,001 = \frac{(41,21m)^2 \cdot S_Y}{4 \cdot 1,538 \text{ m}^2/\text{dak} \cdot 216 \text{ dak}} \Rightarrow S_Y = 7,82 \cdot 10^{-2}$$

Balçova'da alüvyonda yapılan pompa deneyi sonucunda hidrolik iletkenlik katsayısı, geniş çaplı kuyular için kullanılan Boulton-Streltsova (1976) eğri çakıştırma yöntemiyle,  $3 \times 10^{-3}$  m/dak ile  $1,5 \times 10^{-2}$  m/dak arasında elde edilmiştir.

### 3.4 Jeotermal Sistem Ögeleri

#### 3.4.1 Temel Kaya

Çalışma alanı içindeki jeotermal sistemin tüm kayaçlarının hidrojeolojik özelliklerinden yukarıda da bahsedildiği gibi, jeotermal sistemin temelini Menderes Masifi metamorfikleri oluşturmaktadır. Masif yoğun metamorfizma altında neredeyse geçirimsiz bir yapı sunmaktadır. Jeotermal sistemin temeli, çalışma alanının güney kesiminde MTA tarafından yapılan sondajlardan elde edilen bilgilere göre yaklaşık 300 metre derinliklerde başlamaktadır. Sefirhisar horstunda ise jeofizikçi araştırmacıların çalışmalarına göre bu derinliğin 1500 metre civarında olduğu düşünülmektedir (Drahor ve diğer., 1999). Çalışma alanının kuzey kesiminde,

Balçova’da ise 2009 yılına kadar yöredeki tüm jeotermal sondajları açan kuruluş olan MTA tarafından yapılan en derin sondajın 1100 metre olmasına rağmen, sondaj metamorfik temeli kesememiştir. Bazı araştırmacılar metamorfik temelin 4000 metre civarında olabileceğini düşünmektedir (Öngür, 2001).

### **3.4.2 Hazne Kaya**

Çalışma alanındaki kayaçların hidrojeolojik özelliklerinin açıklandığı bir önceki bölümde, jeotermal sistemin hazne kayasını oluşturan İzmir filiş anlatılmıştır. Filiş birimini oluşturan yer yer hafif metamorfizma gösteren kumtaşı, silt ve şeyl aralanmaları gözeneklilik açısından çok zayıftır. Gözeneklilikleri akifer oluşturabilecek kadar yüksek değildir. Yine filişin bir başka elemanı olan serpantinitle ise breşik yapı sunmaları ve bozunmuş olmaları nedeniyle geçirimsizdirler. Çok fazla yüzlek vermeyen yoğun alterasyon geçirmiş riyolitlerin ise yine geçirimsiz oldukları kabul edilmektedir.

Bunun yanında, filiş içinde blok halinde bulunan kireçtaşlarının geçirdikleri evreler sonucunda çok fazla kırık ve çatlak içermeleri, su depolayabilecekleri anlamına gelmektedir. Yine aynı şekilde çok büyük sayılabilecek bir alanda yüzlek veren Miyosen tortulları içindeki kumtaşları geçirimli özellikte ve ayrıca kırık-çatlak sistemleri sayesinde ikincil gözenekleri de gelişmiştir. Bu da su depolayabilecekleri anlamını taşımaktadır. Yılmaz (1989)’a göre çalışma alanının Seferihisar kesimlerinde yer alan spilitler de su içerebilme özelliğine sahiptirler.

İzmir filiş üyelerine genel olarak bakıldığında geçirimsiz özellik sunmalarına rağmen esasında içerdiği yoğun kırık-çatlak sistemi, birimi mükemmel bir hazne kaya yapmıştır. Yer yer ilksel gözenekliliği, büyük oranda da ikincil gözenekliliği jeotermal sistemin hazne kayasını oluşturmasında etkilidir.

Çalışma alanında ayrıca kuzey ve güney sahillerinde alüvyonel akifer de mevcuttur. Seracılıkla yoğun bir şekilde kullanılan bu akiferler sulama suyu talebini büyük oranda karşılamaktadır.

### 3.4.3 Örtü Kaya

Mevcut jeotermal sistemin sıcaklığını kaybetmesini engelleyen örtü kaya ise çalışma alanında tam olarak tanımlanamamaktadır. Bunun nedeni örtü kaya özelliği sunan tek bir birim olmamasıdır. Jeotermal sistemin üzeri kimi yerde açık olmakla birlikte kimi yerde de kapalıdır. Balçova ve Sefirhisar alanlarında jeotermal sistem gereği sistemin üzeri kapalı olduğu düşünülmektedir. Sefirhisar horstu civarlarında ise sistemin üzeri açıktır ve beslenme buradan sağlanmaktadır.

Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Yeniköy formasyonu, çakıldaşı, kumtaşı ve silttaşı aralanmalarını içermektedir. Bu formasyon, yüksek geçirgenliğe sahiptir ve Vengosh ve diğerleri (2002)'ye göre sıcak kaynaklar genellikle filiş ile olan alt dokanağına yakın kesimlerde yer almaktadır. Bu volkano-tortul birim, Bornova Karmaşığı üzerinde, geçirimsiz veya yarı-geçirimli örtü kaya niteliği göstermektedir. 300m kalınlıktaki birim, andezit, riyolit, tuf ve volkanik kayaları içeren (Cumaovası volkanikleri) geçirimsiz killi filiş birimlerinden oluşmaktadır (Serpen, 2004).

### 3.4.4 Isı Kaynağı

Jeotermal sistemlerin bir diğer unsuru ısı kaynağıdır. Yerküre sıcaklığı ortalama 3°C/100 m gibi bir jeotermal gradyanla artmaktadır. Jeotermal gradyanın bu değer üzerinde artış gösterdiği sahalar ise jeotermal sahalar olarak isimlendirilirler. Batı Anadolu'daki jeotermal sistemlerin ısı kaynakları araştırmacılar arasında tartışma konusu olmuştur. Sözbilir (2005)'e göre Batı Anadolu'daki genişleme evresi süresince Menderes Masifini yükselmiş ve aşınmıştır. Akyol ve diğer. (2006)'ya göre genişleme evresi süreci, kabukta incelmelere yol açmıştır. Koçak (1990) ise bu incelmeler ile birlikte jeotermal sistemi oluşturan ögelerin ısı kaynağına yaklaştığını savunmuştur. Bir diğer görüş ise, jeotermal gradyan artışının mağmanın soğumamış kısımlarının yüzeye daha yakın olduğunu savunmaktadır (Giese, 1997). Mağmanın yüzeye daha yakın olması nedeniyle bölgede jeotermal gradyan yüksek olmaktadır. Yakın çevrede herhangi bir kanıtın olmadığı volkanizma etkisini savunan araştırmacılar da mevcuttur ki bu görüşün çok düşük bir olasılık olduğu kabul



edilmelidir. Isı kaynağına dair hala kesin bir yargıya varılmaksızın çalışma alanında kabuk incelmeye bağlı jeotermal gradyanın artması en genel kanıdır (Koçak ,1990).

Diğer bir yandan sistemdeki hazne kayanın ısı iletiminin de yüksek olması gerekmektedir. Böylece kayaçlar derinlerden gelen sıcaklığı yüze doğru iletebilirler. Kayaçların ısı kapasitelerine sayısal modelleme bölümünde değinilmiştir.

### **3.4.5 Beslenme**

Çalışma alanı kapsamındaki beslenme alanı Şekil 3.12’de sunulmuştur. Şekil üzerinde sürekli/mevsimsel dereler, kuru dereler, havza sınırları ve faylar birlikte gösterilmiştir. Bölgeye düşen yağışlar kabaca KD-GB doğrultulu bir hat boyunca ikiye bölünür. Bu hattın batısına düşen yağışlar Balçova akiferlerini, doğusuna düşen yağışlar ise Seferihisar akiferlerini beslemektedir.

Balçova akiferlerinin beslenmesinin 400-500 metre kotları civarından olduğu araştırmacılar tarafından belirlenmiştir (Aksoy ve diğer., 2001 ve Yılmaz, 1989). Bu yükseklikteki sular kuvvetli bir basınçla deniz seviyesine inmek isteyecektir. Öte yandan jeofizik çalışmalara göre (Satman ve diğer., 2002) Agamemnon-I fayının da içinde bulunduğu basamaklı fay yapıları alüvyonun altından kuzeye doğru uzanarak denize geçiş yapmaktadır. Buna rağmen Balçova akiferlerindeki akışkanlarda deniz suyu katkısı olmaması, hem jeotermal hem de alüvyonel akiferin ne derece iyi beslendiğini ortaya çıkarmaktadır.

### **3.5 Çalışma Alanının Hidrojeolojik Kavramsal Modeli**

Kavramsal model Şekil 4.17’deki A-A’ kesit hattı üzerinden alınmıştır. Kesit Kuzeydoğu’da Balçova jeotermal alanını ve Güneybatı’da Seferihisar jeotermal alanını içermektedir. Hattın uzunluğu yaklaşık 48 km’dir. Kavramsal model bölüm 3.6.4’de, ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

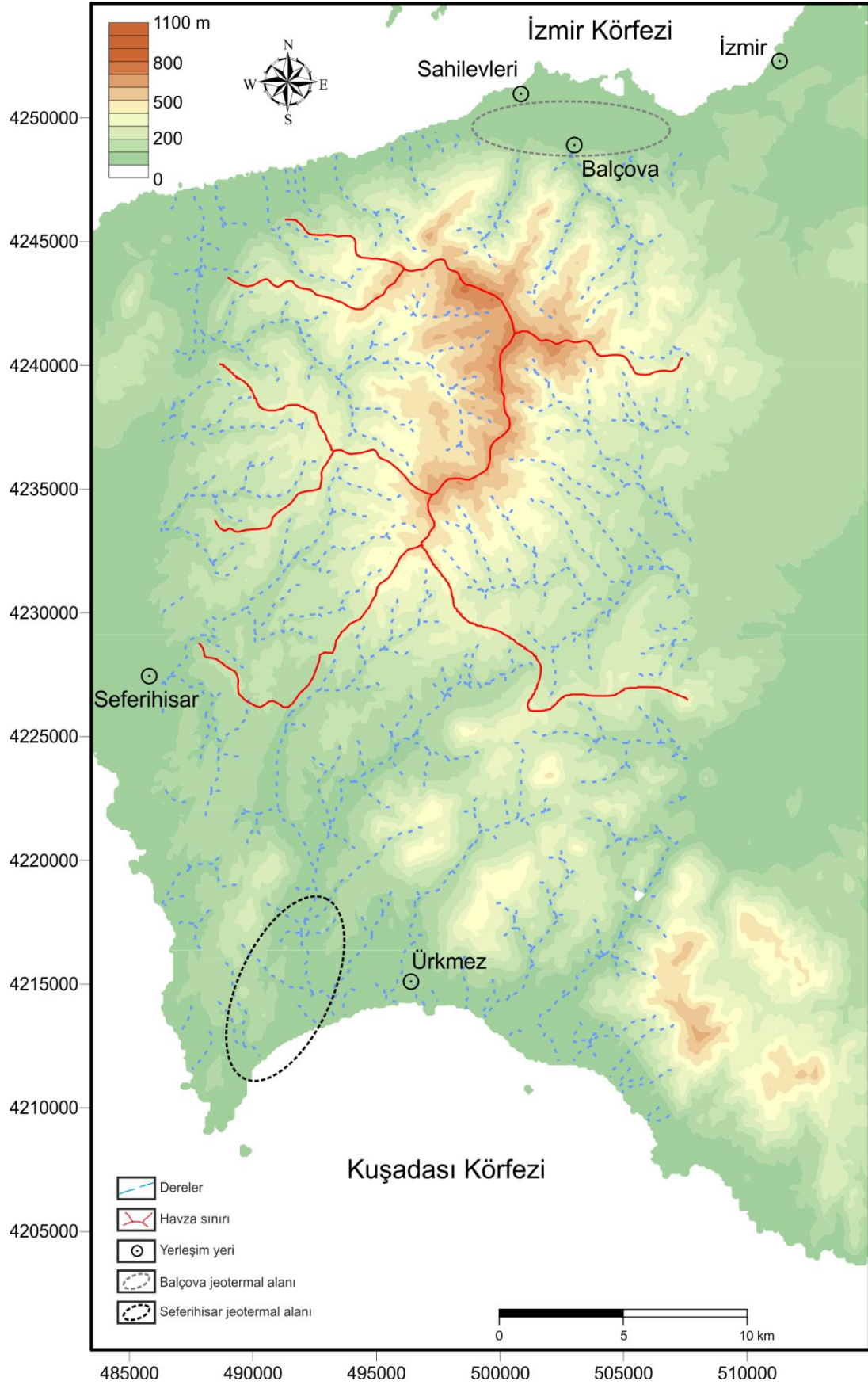
Kavramsal model içinde yer alan jeotermal sistem öğeleri Bölüm 3.4’de daha önce ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bu kavramsal modeli oluşturan birimlerin en

altında diğerk birimlere oranla daha az geçirimli olan metamorfikler yer alır. Balçova jeotermal alanında ve civarında açılan kuyulardan hiçbiri metamorfikleri kesememiştir. En derin kuyu 1100 metredir. Yayınlanmamış MTA verilerine göre Seferihisar jeotermal alanında metamorfikler 300 metreden itibaren başlamaktadır. Çalışma alanının ortasındaki horstta temel derinliği jeofizik çalışmalara göre 1500 m civarında olduğu dşunlmektedir (Drahor ve diğer., 1999).

Temel kayanın üzerinde İzmir filişinin oluşturduğu hazne kaya yer almaktadır. Filişi oluşturan üyeler tek başına gözeneklik açısından zayıf olmalarına rağmen birimdeki yoğun kırık-çatlak sistemi ikincil gözenekliliğin yüksek olmasını sağlamıştır.

Jeotermal sistemde doğrudan örtü kayayı oluşturan bir birim yoktur. Balçova jeotermal alanında Bornova karmaşığının yüzeyde altere olmuş kesimlerinin, Seferihisar jeotermal alanında ise Miyosen yaşlı sedimenter birimlerin örtü kayayı oluşturduğu tahmin edilmektedir. İki jeotermal alanın ortasındaki horsttan ise beslenmenin gerçekleştiği dolayısı ile hazne kayanın üzerinin açık olduğu dşunlmektedir.

Akım modelinde sınır koşulları belirlenirken sığ kuyularda ve dereelerde lmlş su yükleri kullanılarak sabit yük sınır koşulu olan 1.tip (Dirichlet) sınır koşulu kullanılmıştır. Isı taşınım modelinde ise, iki tip sınır koşulu uygulanmıştır. Çalışma alanında yıllık ortalama deniz suyu sıcaklığı 10°C olduğu için deniz tabanında 1.tip sabit sınır koşulu uygulanmıştır. Kavramsal modelin yüzeyi için yıllık ortalama hava sıcaklığı olan 18°C kullanılmıştır. Fakat ısınan yeraltı suyu yüzeye ulaşabileceği için sabit sınır koşulu yerine 3.tip (Cauchy) değişken sınır koşulu uygulanmıştır. Batı Anadolu için yapılan jeofizik çalışmalardan, jeotermal gradyan değerisi yaklaşık 6 km derinlik için 250°C elde edilmiştir. Kavramsal modelin taban sınırı için yine 1.tip sabit sıcaklık sınır koşulu uygulanmıştır (şekil 4.24).



Şekil 3.12 Jeotermal alanlar, akçılama ağı, havza sınırı ve dağlık kesimdeki beslenme havzası.

Oluşturulan hidrojeolojik kavramsal model bölgenin jeolojisi ve hidrojeolojisi dikkate alınarak oluşturulmuştur. Jeotermal sistemin hazne kayası, örtü kayası, ısıtıcı kaynağı gibi öğelerden önceki bölümlerde bahsedilmişti. Jeotermal alanın Balçova kesimindeki metamorfik temelin, Seferihisar'daki temelden çok daha derinlerde yer aldığı çalışma alanında açılmış sondajlardan anlaşılmaktadır. Fayların daha dik ve beslenmenin daha güçlü olduğu Balçova jeotermal alanında deniz suyu girişimi veya katkısı da söz konusu değildir. Seferihisar jeotermal alanında ise metamorfik temel yüzeye çok daha yakın, konveksiyon akımlar bu yüzden çok daha güçlüdür. Balçova'ya oranla sahil kesimini sınırlayan normal fayların daha düşük eğime sahip olmaları ve doğrultu atımlı fayların ise denize dik doğrultuda olması hem jeotermal akifere hem de alüvyonel akifere olan deniz suyu katkısını açıklamaktadır.

Aksoy (2001)'e göre jeotermal gradyan ile ısınmış sıg dolaşımli jeotermal sular, filiş birimindeki kırık, çatlak ve fay zonlarının ve diğer geçirimli birimlerin oluşturduğu hazne kaya içinde depolanmaktadır. Burada sıg dolaşımli sulardan kasıt 1500 m derinliğindeki sulardır. Yazara göre buradaki suların düşük Cl<sup>-</sup> içeriği, su dolaşımının hızlı ve sıg olduğunu göstermektedir. Sulardaki trityum izotopunun yüksek çıkması ve suların ısınmış yeraltı suyu kökeninde olması, yazara göre buradaki suların hızlı ve sıg dolaşımli sular olduğu savını onaylamaktadır. Tüm bu veriler birlikte ele alındığında oluşturulan kavramsal model Şekil 3.13'de sunulmuştur. Hidrojeokimyasal kavramsal model ise hidrojeokimya kısmında irdelenmiştir.

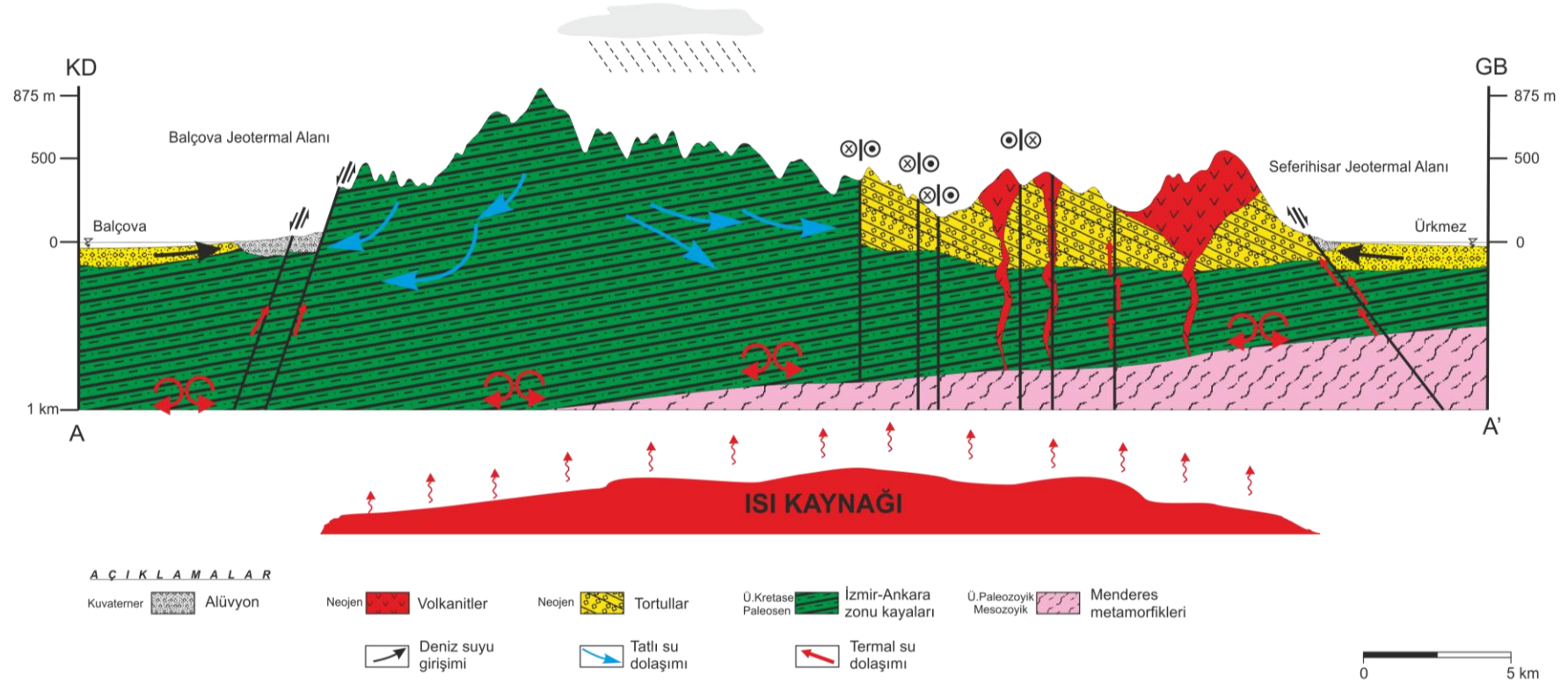
Bu tez kapsamında bölgesel ölçekte yeraltı suyu akımı, ısı iletimi ve kütle taşınım (termohalin modelleme) modeli oluşturmak ana hedefler arasındadır. Sayısal modeli oluşturmak için öncelikle jeolojik kesit ve kavramsal bir model gerekmektedir. Sayısal modelde kullanılacak tüm veriler kesitlerin ve kavramsal modelin üzerine yapılandırılacağı için kavramsal modelin önemi büyüktür.

Seferihisar jeotermal akiferi yoğun olarak deniz suyu içerikli akışkan dolaşımından oluşmaktadır. Seferihisar tatlı su akiferinde de deniz suyu girişimleri kıyı kesimlerde çok yoğun miktarda gözlenmiştir. Bazı noktalarda EC=22900 µS/cm

ve  $Cl=8073$  mg/L değerlerine kadar yükseldiği görülmüştür. Balçova alüvyonel akiferinde açılmış sığ kuyularda iletkenlik ölçümlerinde ve  $Cl^-$  anyon analiz sonuçlarına bakıldığında Seferihisar alüvyonel akiferindeki kadar yaygın bir girişim söz konusu değildir, fakat Balçova alüvyonel akiferinde KC-2, 3, 7, 29 ve 34 örneklerinden anlaşıldığı gibi kıyıya yakın yerlerde deniz suyu girişiminden bahsedilebilir. Ancak derin jeotermal kuyularda bu şekilde bir tuzlanma söz konusu değildir. Derin jeotermal kuyuların beslenmesi Balçova çevresindeki 600-1100 m kotlu tepelerden gerçekleşmektedir. Kavramsal modelin Balçova kısmındaki siyah ok sadece alüvyonel akiferlerde gerçekleşen deniz suyu girişimi nedeniyle yerleştirilmiştir ve Balçova jeotermal sistemi üzerinde herhangi bir etkisi yoktur.

### **3.6 Hidrojeokimya**

Çalışma alanına ait hidrojeolojik özelliklerin belirlenmesine yönelik toplamda, 109 adet yeni su örneği kurak ve yağışlı dönemlerde ve 4 ayrı bölgede olmak üzere örnekleme çalışması yapılmıştır. Balçova alüvyonel akiferi, Seferihisar alüvyonel akiferi, Balçova-Seferihisar arasındaki beslenme alanı ve her iki jeotermal alandaki sıcak sular ayrı gruplar altında çalışılmıştır. Ayrıca, bölgesel ölçekte çalışılan alanda, suları birbiri ile karşılaştırabilmek, benzerliklerini ve farklılıklarını ortaya koyabilmek için hem sıcak sulardan hem de soğuk sulardan örnekler alınmıştır. Örnekler, hem kurak hem de yağışlı dönemde alınmış olup, alınan noktalardaki mevsimler değişimlerin gözlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.13 Balçova – Seferihisar jeotermal alanlarının kavramsal modeli (Genç ve diğer., 2001, Uzel ve Sözbilir, 2008 ve Aksoy, 2001'den değiştirilerek alınmıştır).

Bu çalışmalar kapsamında yerinde sıcaklık, pH ve EC ölçümü; suların filtrelenip polietilen kaplarda depolanması gibi standart işlemler uygulanmıştır. Katyon ölçümü için örnekler saf nitrik asit ile pH=2'nin altında olacak şekilde asitlenmiştir. Bikarbonat alkalinitesi de arazide titrasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Arazide kurak dönemde alınan ilk grup örnek majör katyon, anyon ve iz element analizleri için ACME (Kanada) laboratuvarlarına gönderilmiştir. Su analizleri Acme laboratuvarlarında ICP Kütle Spektrometresiyle (ICP-MS) gerçekleştirilmiştir. Yağışlı dönemde alınan ikinci grup örnek ise majör katyon ve anyon analizleri için Frei Üniversitesi (Berlin)'ne gönderilmiştir. Burada Alev Atomik Absorpsiyon Spektrometresi, Grafit Fırın Atomik Absorpsiyon Spektrometresi, Alev Emisyon Spektrometresi ve fotometrik yöntemler kullanılarak su analizleri yapılmıştır.

Kimyasal analizler için toplanan örneklerin yanı sıra izotop çalışmaları için de ayrıca su örnekleri toplanmıştır. Bu örnekler, oksijen ve hidrojen izotop analizlerinin yapılması için Potsdam (Berlin)'deki Alfred Wegener Enstitü'sünde ölçülmüştür.

Bu bölümde hidrojeokimyasal çalışmalar olarak suların sınıflanmasını, suların kökenlerinin, fasiyes tiplerinin ve iyonlar arası ilişkilerin belirlenmesini, doygunluk indisi değerlerinin belirlenmesini, kimyasal analizlerin hata miktarlarının hesaplanmasını, toplam sertlik, toplam çözünmüş madde miktarları ve Na<sup>+</sup> adsorpsiyon oranının hesaplamalarını kapsamaktadır. Bölümün devamında ise izotop jeokimyasıyla ilgili ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır.

### **3.6.1 Yöntemler**

Çalışma alanındaki sıcak suların ve yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerini, kalitelerini, kökenlerini, karışım oranlarını ve birbirleriyle ilişkilerini belirleyebilmek için su örneklemeleri yapıp laboratuvarlara kimyasal analizleri için gönderilmiştir. Sıcaklık, pH ve iletkenlik arazide ölçülmüş, bikarbonat alkalinitesi de yine arazide yerinde ölçülmüştür.

Laboratuvardan gelen kimyasal analiz sonuçlarının kullanılabilir olması için ölçülen katyon ve anyon miktarlarının hata payının  $\pm$  % 5 olması istenmektedir. Hata miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır (Standard Methods, 1992):

$$\% e = \frac{\text{Toplam Katyonlar} - \text{Toplam Anyonlar}}{\text{Toplam İyonlar}} \times 100 \dots\dots\dots(3.2)$$

Suların sertlikleri içerdikleri  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  bileşiklerinden kaynaklanmaktadır. İki tipte sertlik söz konusudur: Bunlar geçici ve kalıcı sertliktir. Geçici sertlik,  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  bikarbonatlardan meydana gelmektedir. Su kaynatıldığında  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{MgCO}_3$  çökeltir ve geçici sertlik böylece giderilir. Kalıcı sertlikte ise  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$ , un yanında diğer tuzların da etkinliği olmaktadır. Suların sertliklerini Fransız sertliği, İngiliz sertliği, Alman sertliği veya toplam sertlik hesaplamaları gibi çeşitli yöntemlerle ifade etmek mümkündür. Toplam sertlik,  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  iyonlarının (mek/L cinsinden) toplamının 5 katı kadarı olarak belirlenmiştir (Şahinci, 1986).

$$\text{Toplam Sertlik} \cong 5 \times (r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}) \dots\dots\dots(3.3)$$

Toplam Çözünmüş Madde (TDS) miktarı, suların majör katyon ve anyonlarının mg/L cinsinden toplamı olarak yaklaşık hesaplanır (Şahinci, 1986).

$$\text{TDS (mg/l)} \cong \text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K} + \text{Cl} + \text{SO}_4 + \text{HCO}_3 \dots\dots\dots(3.4)$$

Suların fasiyes tiplerinin isimlendirilmesi Uluslararası Hidrojeologlar Birliği'ne göre yapılmaktadır (Canik, 1998 ve Gemici, 1999). Majör katyon ve anyonların % mek/L cinsinden değerlerinden % 20'yi aşanlar büyükten küçüğe göre sıralanır. Bu isimlendirmeye göre önce katyonlar, sonra anyonlar yazılır.

Arazi çalışmaları sırasında yapılacak hatalar, geri dönüşü olmayan sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle arazide yerinde ölçülmesi gereken yukarıda bahsedilmiş olan parametrelerin ölçümleri ve kimyasal çalışmalar özenle gerçekleştirilmiştir.

Fiziksel parametrelerin ölçüldüğü ve aynı zamanda arazide yerinde yapılan deneylerde kullanılan cihazlar kullanıldıkça kalibrasyon ayarları değişip, zaman içinde hatalı ölçümler yapabilmektedir. Yapılan hataları azaltmak adına her örnekleme çalışması yapılmadan önce tüm cihazlar tekrar kalibre edilmiştir.



Kullanılan örnek şişeleri, örneklerle reaksiyona girmeyecek polietilen malzemeden seçilmiş ve örneklemeden önce örnek alınacak su kullanılarak 3 kere çalkalanmıştır. Kirli veya daha önceden kullanılmış örnek şişeleri, örneğin gerçek kimyasını değiştirebilmektedir. Temiz ve daha önceden kullanılmamış şişe kullanmak bu yüzden önemlidir.

Örnekleme yapılmadan önce örnekleme noktasının uygunluğu kontrol edilip, koordinat alımı, topoğrafik kotun kaydedilmesi ve fotoğraf çekimi gibi standart işlemler tamamlanmıştır. Alınan örneklerin koordinatları topoğrafik haritaya yerleştirilmiştir. Örnekleme noktaları Şekil 3.5’de verilmiştir. Örnek dağılım haritalarının hazırlanmasında projeksiyon olarak UTM zon 35S, datum olarak ED 1950 kullanılmıştır.

Arazide bir yandan örnekleme yapılırken diğer bir yandan da pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık parametreleri multimetre kullanılarak ölçülmüştür. Fiziksel parametrelerin değerlerini uzun süre koruyamamasından dolayı, yapılacak en doğru şey bu tür parametre ölçümlerinin arazi ortamında ölçülmesidir. Özellikler sıcak sularda örneklerin laboratuvar ortamına taşınmasına kadar geçecek süre içinde, örnek içerisindeki CO<sub>2</sub> kısmı basıncının değişmesiyle suyun pH ve sıcaklığı da değişecektir. Her ölçümden sonra, kullanılan prob saf suyla yıkanmış ve temizlenmiştir. Bu şekilde prob üzerinde bir önceki örneğe ait herhangi bir kalıntı kalması engellenmiştir.

Günümüzde katyon ve anyon analizleri yapılan örneklerin gönderildikleri laboratuvarlar için 50 ml hacimli polietilen şişeler ölçüm yöntemi açısından yeterli gelmektedir. Ayrıca arazi çalışmalarında bikarbonat alkalinite analizi için de genellikle 50 ml hacminde örnek yeterli gelmektedir. Örnekler şişelenmeden önce her zaman 0.45 mikron çaplı filtre ile süzülmemektedir. Suyun içindeki askıda katı maddeler (AKM), örneğin asitlenmesi sırasında çözünerek örnek kimyasını etkilemektedir. Filtrasyon ile bunun önüne geçilmektedir.

Örnekleme yapıldıktan sonra katyon ve anyon analizi için laboratuvara gönderilmesi aşaması zaman almaktadır. Bu zaman dilimi içerisinde örneklerdeki metal iyonları

çökelebileceğinden bunu engellemek adına, metal analizine gönderilecek su örneklerine,  $pH \leq 2$  olacak şekilde saf nitrik asit eklenir. Anyon analizine gidecek örnekler için ise sadece filtrasyon yeterli olmaktadır. Örnek şişesinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde şişe kapatılıp soğuk bir ortamda (+ 4°C) laboratuvara gönderilene kadar saklanmaktadır.

Her örnekleme aşamasında, fiziksel parametre ölçümlerinden sonra bikarbonat analizi yapılmıştır. Titrasyon yöntemiyle yapılan bikarbonat analizlerinde arazi tipi manyetik karıştırıcı, multimetre ve yine arazi tipi cam büret kullanılmıştır. İlk aşamada su örneklerinin pH değeri ölçülmüştür. Değerinin 8,2'den yüksek olduğu durumlarda HCl kullanılarak önce su örneğinin pH'ı 8,2'ye düşürülmüştür. Daha sonra da pH 4,2'ye düşürülüp her iki durumda da harcanan asit miktarı kaydedilerek  $HCO_3^-$  hesaplanmasında kullanılmıştır. Örneğe ait bikarbonat miktarının mg/L cinsinden hesaplanması, aşağıdaki formül kullanılarak açıklanabilir (Standard Methods, 1992):

$$HCO_3 \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{HCl_{4,2} - 2 \times HCl_{8,2}}{50 \text{ ml}} \times 61,001 \dots\dots\dots(3.5)$$

Yukarıda anlatıldığı gibi bikarbonat analizi arazide her örnekleme noktasında yapılmıştır. Fakat örneklenen noktaların hiçbirinde pH 8,2'nin üzerine çıkmamıştır. pH'ın titrasyonla 4,2'ye düşülmesinde harcanan 0,1 Molar HCl miktarı  $HCl_{4,2}$  ve pH'ın titrasyonla 8,2'ye düşülmesinde harcanan asit ise  $HCl_{8,2}$  olarak tanımlanmıştır. Analizde kullanılan örnek hacmi 50 ml'dir. Elde edilen sonuçlar hidrojeokimya bölümünde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çalışma alanındaki sular; Balçova soğuk suları, Seferihisar soğuk suları, beslenme alanı (horst) soğuk suları ve sıcak sular olmak üzere dört grupta incelenmiştir. Bu örneklere ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3.7, 3.8 ve 3.9'da verilmiştir. Suların kimyasal analiz sonuçlarına göre kimyasal analiz hata oranları hesaplandığında genellikle  $Na^+$  ve  $Cl^-$  miktarları yüksek sulardaki hata oranları %5'i geçmektedir (Standard methods, 1992). Bu tip sulardaki hata oranlarının analiz sonucunun yanlış olmasının aksine analizi yapılmamış bir iyondan kaynaklandığı düşünülmektedir ve çalışmada bu örnek sonuçları da kullanılmıştır.

### 3.6.2 Yağışlı dönem örneklemeleri

#### 3.6.2.1. Seferihisar bölgesi sıcak ve soğuk suları

Bu bölgeye ait suların analiz sonuçları Tablo 3.7’de verilmiştir. Tablodaki değerlere göre; soğuk suların pH’ı 6.39 ile 8.64; sıcak suların pH değerleri ise 5.82 ile 7.50 arasında değişmektedir. Soğuk suların hesaplanan ortalama sıcaklıkları 16°C, sıcak suların ise 80°C’dir. EC değerleri soğuk sularda 628-4530  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında iken, sıcak sularda deniz suyu katkısından ötürü, 7510-74200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  gibi çok yüksek seviyelerdedir. Deniz suyu örneği olan KC-11’e ait analiz sonucu diğer örneklerle birlikte Tablo 3.7’de verilmiştir. Soğuk sular içinde Seferihisar alüvyonel akiferinden alınan T-13 örneği, alüvyonal akiferden alınan diğer soğuk su örneklerine göre yüksek miktarda EC değerine sahiptir. T-13 örneği denizin 50m yakınında, 130m derinlikli Dokuz Eylül Üniversitesi Kampına ait sondajdan alınmıştır. Denize çok yakın olması ve derinliğinin fazla olması nedeniyle EC değerinin yüksek olması olağandır.

Bölgedeki soğuk suların, denize ve termal alanlara yakın kesimlerde baskın kationu  $\text{Na}^+$  iken diğer bölgelerde  $\text{Ca}^{++}$ ’dur.  $\text{Na}$ ’un baskın olduğu bölgelerde baskın anyon ise  $\text{Cl}^-$ ’dür. İç kesimlerde su tipi Ca-karışık iken, denize ve termal alanlara yaklaştıkça su tipleri önce Ca-Cl daha sonra ise Na-Cl su tipi şeklinde değişim göstermektedir. Bölgedeki sıcak sular ise, Na-Cl su tipinde olup deniz suyu katkısı da içermektedir. Sadece Deli Ömer jeotermal alanından alınan örnekte, yoğun yüzey suyu katkısından dolayı su tipi Ca-Mg- $\text{HCO}_3^-$ ’tir.

Suların Piper diyagramındaki yerleri Şekil 3.14’de verilmiştir. Kıyı kesimine yakın bölgelerden alınan sular (KC-42, 44, 40, 50; T-1, 2, 6) diyagramda 7. bölgeye, karbonat olmayan alkalitesi % 50’den fazla sular kısmına düşmektedir. İç kesimlerden alınan sular ise (KC-47; SB-29, 31, 32, 34) diyagramda 5 numaralı bölgeye, karbonat sertliği %50’den fazla olan sular kısmına düşmektedir.

Tablo 3.7 Yağışlı dönemde örneklenen sulara ait fiziksel parametreler ve majör iyonların kimyasal analiz sonuçları (aksi belirtilmedikçe tüm sonuçlar mg/L cinsindedir).

Örnek adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	T.Sertlik (°F)	TDS	% e	Su Tipi
SB-1	16,3	6,34	526	54	26,2	15,8	0,7	21	57	195,20	24,25	369,90	5,48	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
SB-2	21	6,69	505	79	6,2	7,3	0,6	11	20	231,80	22,26	355,90	2,79	Ca-HCO <sub>3</sub>
SB-3	11,9	7,31	441	84	3,5	7,7	0,5	10	18	244,00	22,40	367,70	1,81	Ca-HCO <sub>3</sub>
SB-4	15,1	7,11	521	61	29,4	8,1	0,7	13	39	262,30	27,32	413,50	3,15	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SB-5	15,4	7,3	332	41	13,1	6	0,4	10	15	164,70	15,62	250,20	1,52	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SB-6	16,2	6,8	561	71	22	13,4	5,3	21	55	219,60	26,77	407,30	6,45	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
SB-7	14,1	6,25	189	22	4,8	8,1	0,3	14	15	73,20	7,46	137,40	-1,44	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -Cl
SB-9	12,9	6,91	813	151	9,3	10,9	0,6	27	37	427,01	41,50	662,81	1,50	Ca-HCO <sub>3</sub>
SB-11	17,6	7,01	515	55	6,2	7,3	0,6	7	34	298,90	16,27	409,00	-23,60	Ca-HCO <sub>3</sub>
SB-12	17,3	7,02	596	34	9,5	10,2	0,6	19	25	286,70	12,39	385,00	-32,42	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SB-13	18,6	8,24	447	63	16,4	8,8	0,9	17	27	219,60	22,47	352,70	2,71	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SB-14	21,8	7,1	398	45	3	26,7	9	22	16	183,00	12,46	304,70	-0,88	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
SB-15	16,7	6,84	1430	168	26,4	45	6,1	147	122	366,01	52,78	880,51	-0,06	Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
SB-16	14,4	7,3	547	70	18,4	12,8	4,5	20	182	48,80	25,04	356,50	4,85	Ca-Mg-SO <sub>4</sub>
SB-17	12,5	7,85	712	66	12,4	18	0,7	22	67	317,21	21,57	503,31	-17,03	Ca-HCO <sub>3</sub>
SB-18	15,6	7,37	620	88	11	18,1	10,5	26	56	329,41	26,48	539,01	-6,93	Ca-HCO <sub>3</sub>
SB-19	13,9	7,74	541	87	7,9	14,1	0,7	18	85	183,00	24,96	395,70	3,18	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
SB-21	15,6	7,18	799	156	8,5	10,4	0,7	22	35	451,41	42,42	684,01	1,17	Ca-HCO <sub>3</sub>
SB-22	18	6,94	750	130	17,6	14,7	0,5	18	74	329,41	39,68	584,21	7,11	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
SB-23	15,5	7,8	488	41	12,6	27,1	21,3	28	45	122,00	15,41	297,00	12,66	Ca-Na-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
SB-24	15,3	6,8	400	49	15,2	14,2	0,6	25	29	170,80	18,48	303,80	2,62	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SB-25	16,8	7,25	680	110	14,1	22,8	0,6	34	28	335,51	33,25	545,01	4,19	Ca-HCO <sub>3</sub>
SB-26	16,2	6,78	1027	143	51	19,3	1,2	34	110	512,41	56,66	870,91	2,33	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SB-27	18,4	8,5	408	50	18,4	13,8	2,4	23	35	183,00	20,05	325,60	3,25	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SB-28	23,7	7,93	803	84	49	27,7	2,6	42	72	366,01	41,12	643,31	4,47	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SB-29	24	6,71	1204	103	88,5	43,8	6,5	45	73	646,61	62,11	1006,41	3,97	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
SB-30	34,4	7,19	701	97	29	19,3	2,3	21	68	317,21	36,13	553,81	5,99	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SB-31	19	6,93	982	134	44	29	0,7	42	55	500,21	51,54	804,91	4,79	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
SB-32	18,1	7,42	1120	175	1,89	50,5	7	109	133	414,81	44,44	891,20	-5,76	Ca-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
SB-33	20	7,17	1535	165	21,5	165	5,6	220	140	366,01	50,02	1083,11	6,80	Ca-Na-Cl-HCO <sub>3</sub>
SB-34	17,4	6,93	1379	244	24	51,5	3,3	103	310	378,21	70,76	1114,01	2,86	Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
SB-35	20,2	6,87	1595	132	33,3	177	4,1	240	97	488,01	46,64	1171,41	1,01	Na-Ca- HCO <sub>3</sub> -Cl

Tablo 3.7 Devamı (KC-11: deniz suyudur).

Örnek adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	T.Sertlik (°F)	TDS	% e	Su Tipi
KC-1	17,5	6,87	1583	215,982	55,116	64,653	1,556	157	204,00	389,19	76,57	1087,49	9,37	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
KC-2	22,7	7,49	1763	225,541	61,394	81,317	2,453	219	201,00	422,13	81,54	1212,83	7,06	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
KC-3	18,7	7	4370	410,799	152,482	335,343	3,309	1095	306,00	298,90	165,24	2601,84	6,19	Ca-Na-Mg-Cl
KC-4	19,5	6,7	2260	279,998	64,386	134,949	5,67	300	327,00	457,51	96,35	1569,51	5,24	Ca-Na-Mg-Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-5	18,8	7,04	1529	214,752	51,973	57,729	1,52	203	132,00	439,21	74,97	1100,18	5,63	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub> -Cl
KC-6	19,6	7,08	1769	244,621	53,429	73,497	2,375	255	189,00	347,71	83,02	1165,63	8,27	Ca-Mg-Cl-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-7	16,9	6,98	2790	311,291	100,208	137,511	2,309	562	207,00	402,61	118,90	1722,93	5,41	Ca-Mg-Na-Cl- HCO <sub>3</sub>
KC-8	23,8	7,06	1504	188,463	56,627	76,728	2,009	221	138,00	457,51	70,32	1140,33	2,49	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub> -Cl
KC-9	19,5	7	2090	248,041	54,114	142,031	7,664	308	264,00	335,51	84,15	1359,36	8,21	Ca-Na-Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-10	22,8	6,91	1869	161,935	42,242	193,204	11,986	321	192,00	341,61	57,78	1263,97	4,15	Na-Ca-Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-11	20	8,16	54300	446,735	1428,32	12490,8	407,562	17755	3906,00	195,20	699,13	36629,57	8,46	Na-Cl
KC-12	26,3	7,22	1273	77,995	37,345	235,842	25,855	221	168,00	512,41	34,83	1278,45	-0,68	Na-Ca- HCO <sub>3</sub> -Cl
KC-13	24,5	7,13	1395	125,072	47,184	126,122	7,089	124	222,00	439,21	50,62	1090,67	1,52	Ca-Na-Mg- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
KC-14	25,3	7,15	1428	105,226	42,808	170,277	4,837	129	174,00	530,71	43,87	1156,86	1,07	Na-Ca-Mg- HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
KC-15	23	7,4	1463	138,49	42,734	129,903	9,238	200	147,00	420,91	52,14	1088,27	2,24	Ca-Na-Mg- HCO <sub>3</sub> -Cl
KC-16	21,5	7,35	1468	179,454	41,224	84,363	4,911	214	126,00	366,01	61,74	1015,96	4,82	Ca-Na-Mg-Cl- HCO <sub>3</sub>
KC-17	27	7	1484	128,219	33,383	168,652	11,6	119	207,00	512,41	45,73	1180,26	2,17	Na-Ca- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
KC-18	29,3	6,88	1289	98,175	24,477	149,874	16,628	109	165,00	390,41	34,57	953,56	3,55	Na-Ca- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
KC-19	23,6	7,17	1484	152,404	30,881	138,647	8,317	133	210,00	353,81	50,73	1027,05	8,14	Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
KC-20	20,6	7,1	723	55,985	22,819	65,794	4,457	59	117,00	170,80	23,36	495,86	5,14	Na-Ca-Mg- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
KC-21	20,3	7,3	903	112,492	26,473	60,746	5,678	70	117,00	341,61	38,96	733,99	2,77	Ca-Na-Mg- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-22	18,3	7,26	1030	123,981	28,475	75,592	4,969	69	135,00	353,81	42,65	790,82	6,18	Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-23	18,7	6,94	758	76,262	23,095	56,633	7,487	53	84,00	231,80	28,53	532,28	8,56	Ca-Na-Mg- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
KC-24	21,4	7,16	1280	110,883	23,083	150,195	14,497	102	177,00	390,41	37,16	968,06	5,04	Na-Ca- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
KC-25	25,9	7,29	1600	145,638	29,966	169,277	14,596	154	225,00	378,21	48,67	1116,68	6,86	Na-Ca- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl

Tablo 3.7 Devamı.

Örnek adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na+	K+	Cl-	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	T.Sertlik (°F)	TDS	% e	Su Tipi
KC-26	20,5	7,32	1727	164,572	34,034	179,193	6,962	183	261,00	329,41	55,07	1158,17	8,55	Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
KC-27	22,5	7,2	1122	111,867	25,474	115,315	2,728	107	126,00	402,61	38,39	890,99	2,10	Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
KC-28	26,3	7,12	1908	225,046	56,789	136,276	10,9	279	219,00	402,61	79,52	1329,62	7,49	Ca-Na-Mg-Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-29	22,9	7,02	3350	354,761	111,716	229,719	16,745	781	282,00	329,41	134,48	2105,35	5,69	Ca-Na-Mg-Cl
KC-30	22,4	7,3	1495	198,26	39,053	92,592	4,505	211	174,00	335,51	65,54	1054,92	6,74	Ca-Na-Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-31	20,7	6,75	814	64,453	30,777	63,328	2,512	66	135,00	237,90	28,74	599,97	-0,02	Ca-Na-Mg- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
KC-32	17,3	6,68	1653	144,875	83,339	105,739	3,902	217	324,00	146,40	70,44	1025,26	10,34	Ca-Mg-Na-SO <sub>4</sub> -Cl
KC-33	16,5	6,64	2310	189,879	100,083	185,65	8,573	366	381,00	256,20	88,56	1487,39	7,33	Ca-Mg-Na-Cl-SO <sub>4</sub>
KC-34	20	6,5	3270	221,407	119,664	327,829	3,258	672	423,00	256,20	104,48	2023,36	4,88	Na-Ca-Mg-Cl-SO <sub>4</sub>
KC-35	64,6	6,52	9580	275,959	75,649	2295,74	193,663	3271	348,00	616,11	99,98	7076,12	6,48	Na-Cl
KC-36	66,4	5,82	28500	756,185	69,811	6724,61	965,83	12388	210,00	362,96	217,40	21477,39	0,13	Na-Cl
KC-37	52,8	6,46	7420	214,668	47,322	1651,7	136,886	2485	282,00	658,81	73,03	5476,38	1,81	Na-Cl
KC-38	14,2	7,16	1985	179,555	34,385	209,417	6,586	396	123,00	414,81	58,95	1363,75	1,29	Na-Ca-Cl- HCO <sub>3</sub>
KC-39	21,7	6,87	4310	354,866	97,004	759,817	9,612	1418	282,00	448,97	128,45	3370,27	5,13	Na-Ca-Cl
KC-40	19,3	6,9	1812	220,513	40,809	224,43	7,058	418	150,00	480,69	71,81	1541,50	3,21	Ca-Na-Cl- HCO <sub>3</sub>
KC-41	18,7	6,92	2460	241,06	59,078	232,662	1,352	458	183,00	511,19	84,45	1686,34	3,72	Ca-Na-Cl- HCO <sub>3</sub>
KC-42	19,5	7,03	4530	242,15	152,82	748,35	30,848	1421	279,00	459,95	123,30	3334,12	4,10	Na-Mg-Ca-Cl
KC-43	19,2	7,05	2610	203,075	85,5	226,639	7,947	568	144,00	418,47	85,85	1653,63	2,55	Ca-Na-Mg-Cl- HCO <sub>3</sub>
KC-44	18,7	7,2	2920	163,482	92,58	337,156	10,147	625	246,00	492,89	78,88	1967,25	-0,21	Na-Ca-Mg-Cl- HCO <sub>3</sub>
KC-45	18,4	7,27	1560	100,587	51,692	154,049	7,102	257	75,00	385,53	46,37	1030,96	3,28	Na-Ca-Mg-Cl- HCO <sub>3</sub>
KC-46	16,9	7,4	1126	164,524	36,271	44,687	5,348	82	207,00	402,61	55,97	942,44	0,20	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-47	13,8	7,6	844	115,115	24,753	36,653	3,418	57	99,00	342,83	38,91	678,76	0,94	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-48	12,5	8,1	1448	224,452	43,084	58,949	3,852	108	315,00	434,33	73,73	1187,66	2,01	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
KC-49	12,7	8,64	3290	38,622	63,758	526,943	25,179	882	57,00	268,40	35,87	1861,91	0,45	Na-Cl
KC-50	18,2	8,61	1315	37	40,486	161,773	8,322	391	3,00	100,04	25,89	741,62	-1,21	Na-Mg-Cl

Tablo 3.7 Devamı.

Örnek adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	T.Sertlik (°F)	TDS	% e	Su Tipi
T-1	16,7	6,9	1730	110,51	32,84	178,372	14,823	337	66	340,38	41,09	1079,93	-0,31	Na-Ca-Cl- HCO <sub>3</sub>
T-2	17,5	6,6	1740	97,356	29,343	184,096	15,534	325	60	312,32	36,36	1023,65	0,46	Na-Ca-Cl- HCO <sub>3</sub>
T-3	14,4	6,39	1152	81,522	62,795	57,885	2,483	139	42	436,76	46,18	822,45	-0,57	Mg-Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -Cl
T-4	16,8	6,4	1105	82,481	62,072	48,711	1,931	112	39	383,08	46,12	729,28	5,28	Mg-Ca- HCO <sub>3</sub> -Cl
T-5	10	6,5	3600	149,221	61,436	484,144	27,122	900	-	239,12	62,51	1861,04	7,79	Na-Ca-Cl
T-6	15	6,5	2220	126,584	37,091	265,915	19,194	569	-	312,32	46,85	1330,10	0,61	Na-Ca-Cl- HCO <sub>3</sub>
T-7	15	6,5	628	75,496	12,276	34,351	1,795	43	72	229,36	23,89	468,28	-1,20	Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
T-8	16,5	6,57	970	120,117	14,441	53,23	3,831	61	102	375,76	35,91	730,38	-2,08	Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
T-9	16	6,77	1522	135,137	35,651	147,023	4,392	124	249	461,16	48,39	1156,36	-0,17	Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
T-10	16	6,94	1524	140,448	28,976	145,748	8,14	138	192	419,68	46,97	1072,99	3,82	Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> -Cl
T-11	14	7,05	1686	150,515	35,223	129,847	9,812	249	90	458,72	52,05	1123,12	-0,33	Ca-Na- HCO <sub>3</sub> -Cl
T-12	10	7,2	6222	276,406	83,237	866,63	68,756	1602	45	295,24	103,21	3237,27	8,23	Na-Ca-Cl
T-13	21	6,7	22900	1853,56	826,536	3548,84	36,266	8073	528	209,84	802,56	15076,04	13,20	Na-Ca-Mg-Cl

Tablo 3.8 Kurak dönemde örneklenen sulara ait fiziksel parametreler ve majör iyonların kimyasal analiz sonuçları (aksi belirtilmedikçe tüm sonuçlar mg/L cinsindedir).

Örnek adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	T.Sertlik (°F)	TDS	% e	Su Tipi
2SB-1	16.1	7.02	586	77.6	31.4	13.4	0.6	19	44	305.005	32.28	491.01	4,47	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub>
2SB-3	16.2	8.2	433	89.5	3.8	8.1	2.7	12	18	244.004	23.89	378.10	4,92	Ca- HCO <sub>3</sub>
2SB-4	-	6.98	583	74.3	33.2	8.5	1.1	12	42	305.005	32.20	476.11	4,80	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub>
2SB-6	20	7.12	498	67.8	20.6	12.1	1.8	16	52	231.804	25.39	402.10	2,89	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
2SB-10	-	7.09	729	149	9.3	9.4	0.6	14	21	439.207	41.00	642.51	3,57	Ca- HCO <sub>3</sub>
2SB-11	-	7.12	560	110.6	7.7	8.2	0.6	8	17	329.405	30.76	481.51	4,37	Ca- HCO <sub>3</sub>
2SB12	-	7.12	802	154	15.3	14.2	0.6	22	36	463.608	44.72	705.71	3,28	Ca- HCO <sub>3</sub>
2SB-13	26.6	8.6	370	38.2	22.8	12.4	1.3	18	27	170.803	18.91	290.50	5,91	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub>
2SB-14	22	7.1	378	48	3	27.8	9.6	27	15	176.903	13.21	307.30	1,53	Ca-Na- HCO <sub>3</sub>
2SB-17	23.8	7.4	905	166	20.9	24.9	1.5	33	68	414.807	50.02	729.11	9,77	Ca- HCO <sub>3</sub>
2SB-18	16.3	7.42	542	82.7	10.8	18.2	9.6	25	54	219.604	25.08	419.90	5,44	Ca- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
2SB-21	22.7	7.31	748	158	8.4	9.6	0.6	18	32	451.407	42.88	678.01	2,48	Ca- HCO <sub>3</sub>
2SB-22	22.2	7.39	769	141	20	16.8	0.4	28	83	378.206	43.41	667.41	3,90	Ca- HCO <sub>3</sub>
2SB-24	19.7	7.37	570	82	20.4	16.4	0.34	28	30	292.805	28.85	469.94	2,20	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub>
2SB-25	21.5	7.28	753	127	16.9	23.8	1.1	37	28	402.607	38.64	636.41	3,33	Ca- HCO <sub>3</sub>
2SB-26	24.1	6.91	1038	134.5	59	24.5	1.2	42	116	524.609	57.83	901.81	1,87	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub>
2SB-27	25.5	8.46	438	45.8	23.8	16.5	2.7	27	39	207.403	21.22	362.20	0,58	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub>
2SB-29	24.7	7	961	79.6	73.6	37	4.4	35	58	561.209	50.14	848.81	1,55	Mg-Ca- HCO <sub>3</sub>
2SB-30	41.4	6.95	819	83	43	41	3	29	71	414.807	38.40	684.81	2,39	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub>
2SB-31	25.3	7.26	1068	137	56.7	28.1	1	40	59	585.61	57.51	907.41	3,22	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub>
2SB-33	19.7	7.2	1762	154	22.8	242	7	264	193	439.207	47.81	1322.01	4,12	Na-Ca-Cl- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
2SB-34	19.4	7.13	678	123	12.2	28.5	2.9	50	110	244.004	35.71	570.60	4,68	Ca- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
2SB-37	20.4	7.23	760	137	19.4	17.8	0.24	19	121	341.606	42.17	656.05	3,13	Ca- HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
2SB-38	-	7.6	804	91.4	56.3	14.2	1.1	27	35	488.008	45.97	713.01	1,82	Mg-Ca- HCO <sub>3</sub>

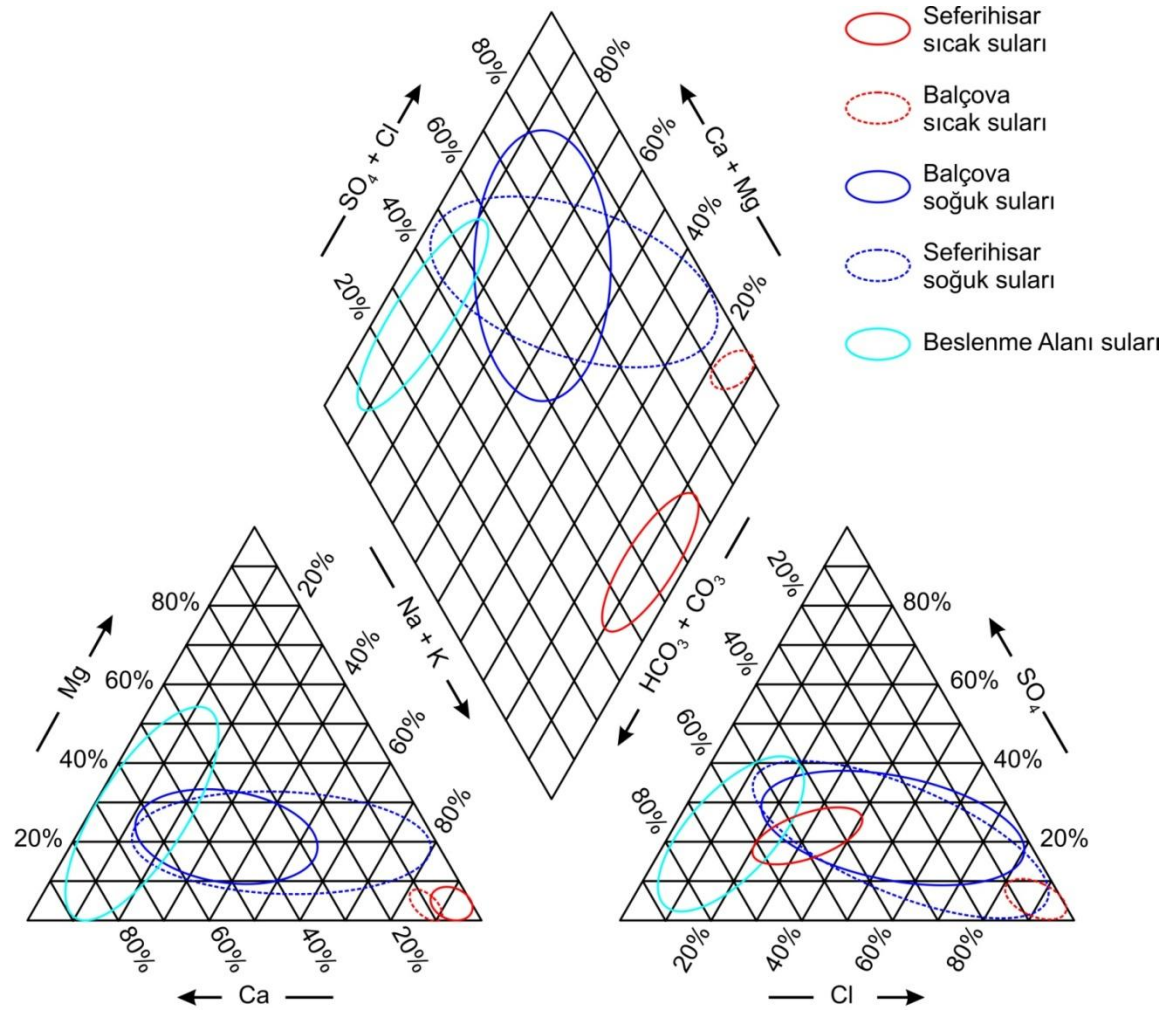


Tablo 3.8 Devamı.

Örnek adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	T.Sertlik (°F)	TDS	% e	Su Tipi
2SB-39	-	7.53	900	88	72	20.2	5.8	30	20	561.209	51.58	797.21	4,05	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub>
2SB-40	-	8.05	547	76.8	15.8	24.3	1.2	31	24	268.404	25.66	441.50	3,73	Ca-Mg- HCO <sub>3</sub>
2SB-41	66.6	6.25	9440	216	63	1934	158	3720	560	610.01	79.82	7261.01	-9,73	Na-Cl
2SB-42	58.2	6.54	9860	215	63	2000	158	3800	376	634.41	79.57	7246.41	-7,95	Na-Cl
2SB-43	69.5	5.96	27300	580	53.5	6100	790	25000	180	372.106	166.73	33075.61	-38,31	Na-Cl
2SB-44	55.1	7.01	7020	185	51	1390	110	2400	320	695.411	67.14	5151.41	-5,57	Na-Cl
2SB-45	18.7	7.25	735	117	12.8	34	3.9	57	61	317.205	34.46	602.91	2,38	Ca- HCO <sub>3</sub>
2SB-46	19.3	7.42	318	50	5.6	14.7	2.6	20	13	152.503	14.78	258.40	4,68	Ca- HCO <sub>3</sub>

Tablo 3.9 Balçova'daki derin jeotermal kuyulara ait fiziksel parametreler ve majör iyonların kimyasal analiz sonuçları (aksi belirtilmedikçe tüm sonuçlar mg/L cinsindedir).  
(Aksoy ve diğer., 2008).

Örnek adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	T.Sertlik (°F)	TDS	% e	Su Tipi
B-1	115	7,2	1925	23,3	4,9	345,1	26,2	190	219	550	7,83	1358,50	-4,66	Na-HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
B-4	117	7,4	1950	21,2	5,1	347,3	24,8	172	186	661	7,39	1417,40	-6,36	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl
B-5	124	7,4	1813	31,4	6,2	323,1	21,6	178	165	610	10,39	1335,30	-5,04	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl
B-7	115	7,0	1948	22,7	7,6	502,0	27,6	216	198	611	8,79	1584,90	9,14	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
B-10	114	7,5	1948	26,9	8,0	500,5	26,5	205	192	650	10,00	1608,90	8,95	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl
BD-1	135	8,2	1632	19,1	2,7	417,1	29,7	194	168	698	5,88	1528,60	-0,82	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl
BD-2	137	8,4	2010	15,2	2,5	508,5	30,1	260	186	664	4,82	1666,30	3,84	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl
BD-3	128	8,2	1926	22,2	3,0	435,5	27,9	241	205	680	6,77	1614,60	-2,77	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl
BD-4	132	8,3	2020	20,1	2,4	460,3	32,5	250	231	682	6,00	1678,30	-2,18	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
BD-5	117	8,2	1853	17,6	2,5	399,1	31,8	227	189	690	5,42	1557,00	-5,84	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl
BD-7	115	7,0	2190	26,8	9,1	382,9	32,0	220	213	575	10,43	1458,80	-1,27	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
BD-9	138	8,9	2020	14,5	4,9	476,4	35,1	276	228	390	5,63	1424,90	9,17	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl-SO <sub>4</sub>
BD-10	104	7,6	1473	22,3	9,0	345,4	27,7	138	159	690	9,27	1391,40	-2,56	Na- HCO <sub>3</sub> -Cl



Şekil 3.14 Çalışma alanındaki soğuk ve sıcak suların Piper diyagramındaki yerleri.

Orta kesimlerde bulunan sular ise 9 numaralı bölgede (Karışık sular) yer almaktadırlar. Seferihisar jeotermal alanından alınmış olan sıcak sular (KC-36, 37) Balçova jeotermal alanındaki sıcak sulardan farklı olarak deniz suyu katkısından dolayı diyagramda 7. bölgeye düşmektedir. Schoeller yarı logaritmik diyagramında T-1, 2, 5, 6, 11, 12; SB- 33, 35; KC-38, 39, 40 deniz suyu ile benzer pikler vermekte olup deniz suyu kökenlidir (Şekil 3.15).

Suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökellerin önceden tahmin edilmesi üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir. Bu nedenle özellikle sıcak ve mineralli suların kabuklaşma ve korozyon özelliklerinin tahmini ekonomik önem taşımaktadır. Bu çalışmada en çok rastlanılan çökel minerallerinin doygunluk bağıntıları sunulmuştur. Hesaplamalarda Solmin88 bilgisayar programı kullanılmıştır. Ayrıca, 25<sup>0</sup>C ve 1 atm. koşullarındaki hesaplamalar Excel bilgisayar programında yapılmıştır.

Bir mineralin verilen bir solüsyondaki doygunluk derecesi aşağıdaki bağıntı ile bulunmaktadır (Langmuir, 1971).

$$SI = \text{Log} \frac{IAP}{K_{eq}} \dots \dots \dots (3.6)$$

SI, doygunluk indisi

IAP, iyon etkinlik ürünü,

Keq, tepkime denge sabiti,

Çözeltideki mineralin elde edilen doygunluk indisi değeri (SI).

SI > 0 ise mineral çökeler.

SI = 0 ise mineral dengededir.

SI < 0 ise mineral çözünür.

Kimyasal bileşimi kontrol eden doygunluklara bakıldığında (Tablo 3.10), suların Al, K<sup>+</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, Li, Fe ve Ca<sup>+2</sup> silikatlara; Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Ba, Sr, Na-Al karbonatlara;

BaSO<sub>4</sub>'a; Al, Si, Fe, Sb, Cu-Fe, Zn-Fe oksitlere ve Balçova bölgesinde olduğu gibi tarım yapılan kesimlerde gübre kullanımına bağlı olarak Ca<sup>+2</sup> ve Pb fosfatlara doymun olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3.10 Seferihisar bölgesine ait örneklerin mineral doymunluk değerleri.

	<b>Kalsit</b>	<b>Dolomit</b>	<b>Jips</b>	<b>Hematit</b>	<b>Kuvars</b>
<b>KC-35</b>	0.52	2.03	-1.16	13.4	0.29
<b>KC-36</b>	-0.12	0.32	-1.29	11.2	0.58
<b>KC-37</b>	0.28	1.42	-1.27	11.4	0.44
<b>KC-38</b>	0.35	1.33	-1.39	10.5	0.43
<b>KC-39</b>	0.36	1.56	-1	11.8	0.36
<b>KC-40</b>	0.3	1.25	-1.26	11.4	0.36
<b>KC-41</b>	0.36	1.48	-1.17	10.3	0.38
<b>KC-42</b>	0.34	1.86	-1.17		0.4
<b>KC-43</b>	0.34	1.68	-1.35	10.8	0.43
<b>KC-44</b>	0.43	1.99	-1.24	11.8	0.38
<b>KC-45</b>	0.28	1.65	-1.8	12.8	0.46
<b>KC-46</b>	0.61	1.91	-1.15	10.4	0.5
<b>KC-47</b>	0.58	1.84	-1.53		0.55
<b>KC-48</b>	13.4	3.29	-0.9		0.55
<b>KC-49</b>	0.88	3.33	-2.43	13.7	-0.38
<b>KC-50</b>	0.61	2.64	-3.53	13.4	-0.22
<b>SB-32</b>	0.7	1.8	-1.29	11.5	0.45
<b>SB-33</b>	0.39	1.26	-1.32		0.48
<b>SB-34</b>	0.26	0.86	-0.85		0.54
<b>SB-35</b>	0.12	1.02	-1.58		0.31

Tablo 3.11'teki iz element derişimlerine göre Seferihisar bölgesinden alınan sular da Fe ve Mn değerleri TSE 266 (2005) ve WHO (2008)'in içme suyu standartlarını aşmaktadır. Bu değerler, özellikle termal sahalara yakın olan kesimlerdeki sularda görülmektedir. Aynı şekilde termal etkileşimden kaynaklanan sulardaki bor artışı içme suyu standartları değerlerini aşmaktadır. Sıcak sulara baktığımızda (KC-35, 36 ve 37) arsenik, bor, demir, mangan ve antimuan değerleri standartların üzerinde çıkmıştır.

### 3.6.2.2. Balçova sıcak ve soğuk suları

Balçova bölgesinden alınan soğuk su örnekleri ve önceki çalışmalardan derlenen sıcak suların analiz sonuçları Tablo 3.7 ve Tablo 3.9'de verilmiştir.

Verilere göre; soğuk suların pH değerleri 6,50-7,40 arasında olup sıcaklık ortalaması 20,8°C dir. EC değerleri 814 ile 3270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişim göstermektedir. Bu çalışma kapsamında alınan deniz suyu örneği ise 8,16 pH ve 54300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  EC ile karakterize edilmiştir.

Ana katyonlardan  $\text{Na}^+$  derişimi 57 mg/L ile 328 mg/L arasında değişmektedir.  $\text{Ca}^{+2}$  değerleri ise 64-354 mg/L arasındadır. Baskın anyonlardan Cl 63-1095 mg/L,  $\text{HCO}_3^-$  ise ortalama 358 mg/L değerlerine sahiptirler.

IAH (1979)'a göre çalışma alanındaki baskın iyonlar  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Na}^+$  olarak belirlenmiştir. KC-3, 5, 8, 11, 12, 29, 33 ve 34 hariç diğer örnekler baskın bir iyonla sahip olmayıp "karışık su" tipindedir. Baskın anyonlar ise  $\text{HCO}_3^-$  ve Cl'dür. %20'den fazla olarak görülen  $\text{SO}_4^{-2}$  ise birçok örnekte bulunmaktadır. Deniz suyu örneği (KC-11) ise tipik olarak Na-Cl su tipindedir.

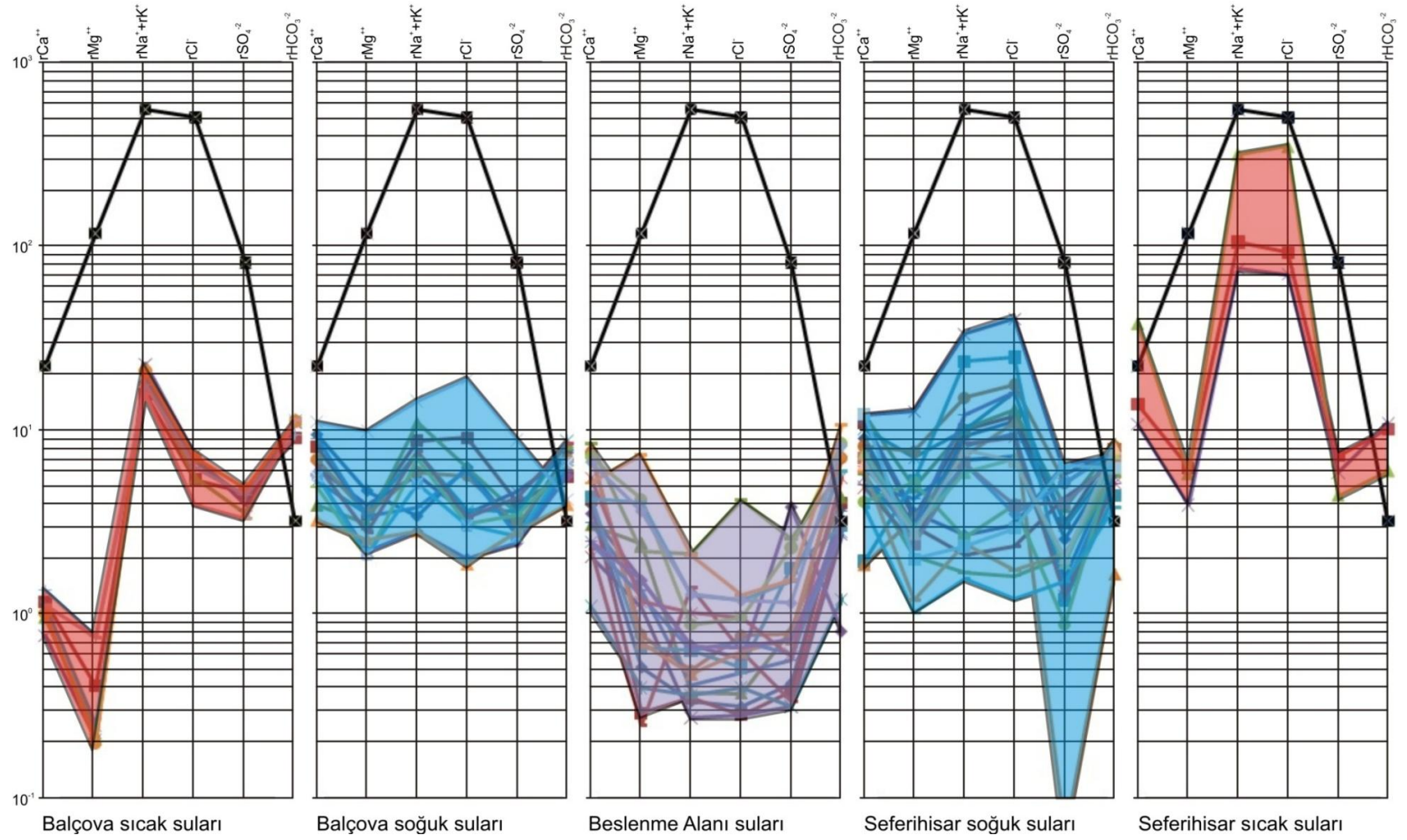
Suların sınıflaması ve evrimi ile ilgili olarak kullanılan Piper diyagramında (Piper, 1944) Balçova bölgesi suları genel olarak, alkali toprak elementleri ( $\text{Ca}+\text{Mg}$ ) > Alkali elementler ( $\text{Na}+\text{K}$ ) alanına düşmektedir (Şekil 3.4). KC-9, 21, 2, 23, 27 numaralı örnekler "Karbonat sertliği %50'den fazla sular"; KC-6, 7, 3, 29 ve 32 numaralı örnekler ise "Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla sular" sınıfına girmektedir. Geri kalan örnekler "karışık su" sınıfındadırlar.

Suların kökenlerine ilişkin bilgi edinmemize yardımcı olan Schoeller yarı logaritmik diyagramında (Şekil 3.15) KC-3, 7, 29, 34 diğer su noktalarına göre daha fazla iyon miktarı içermekte olup deniz suyu pikine benzer bir eğilim sunmaktadır. Diğer sular da benzer pik verdiği için aynı kökenli sular olarak değerlendirilebilir.

Aksoy ve diğer. (2008a)'ya göre; Balçova bölgesindeki sıcak sular Na- $\text{HCO}_3$ -Cl türünde olup, baskın anyonlara göre seyreltik Cl- $\text{HCO}_3$ 'lı sular ile ısınmış yeraltı sularının karışımıdır. Sular nötr karakterde ve kondanse olmayan gaz miktarı 1000 ppm'den az ve 10 ppm civarında bor içermektedir. Bu sıcak sular, Piper diyagramında 8. bölgeye, karbonat alkalinitesi % 50'den fazla olan sular kısmına

düşmektedir (Şekil 3.14).

Tablo 3.11 suların bazı seçilmiş iz element derişimlerini göstermektedir. Genel olarak bakıldığında, özellikle bor miktarı çoğu örnekte referans limitin üzerinde çıkmıştır. Onun dışında hiçbir iz element referans limitin üzerinde değildir. Yüksek bor derişimlerinin jeotermal kökenli olduğu düşünülmektedir. Bir kısım örneğin B, Li ve Br miktarları diğer örneklere oranla yüksek çıkmıştır. Bu konuyla ilgili detaylar bölüm 3.8’de açıklanmıştır.



Şekil 3.15 Çalışma alanındaki soğuk ve sıcak suların Schoeller yarı logaritmik diyagramdaki yerleri.

Tablo 3.11 Suların seçilmiş bazı iz element derişimleri.

ELEMENT ÖRNEK	Al ppb	As ppb	B ppb	Ba ppb	Br ppb	Ca ppb	Cl ppm	Cr ppb	Cu ppb	Fe ppb	K ppb	Li ppb	Mg ppb	Mn ppb	Na ppb	Ni ppb	P ppb	Pb ppb	Rb ppb	S ppm	Sb ppb	Se ppb	Si ppb	Sr ppb	Zn ppb
KC-1	10	2,7	94	63,56	514	215982	157	2,1	2,6	<10	1556	13	55116	1,58	64653	0,6	47	0,8	1,12	68	0,55	3	9579	903,9	56,4
KC-2	11	2,8	76	84,02	720	225541	219	0,7	4,3	242	2453	13,6	61394	13,65	81317	2,2	68	3,1	0,49	67	0,93	4,2	9042	993,69	776,9
KC-3	25	7,6	28	16,28	4514	410799	1095	1,1	4,1	42	3309	20,8	152482	2,42	335343	2,1	48	0,8	2,14	102	0,32	22,1	8519	2353,14	149,3
KC-4	12	2,8	114	124,89	949	279998	300	2,7	4,1	198	5670	16,8	64386	1,78	134949	3,9	121	0,5	0,44	109	0,35	4,7	10868	1176,69	109,9
KC-5	11	2,6	125	87,39	762	214752	203	2,1	6,3	145	1520	11,6	51973	4,25	57729	0,6	58	0,5	0,7	44	0,88	3,8	10952	819,85	53,1
KC-6	17	2,6	233	91,04	864	244621	255	1,7	6,7	85	2375	16,9	53429	4,38	73497	3,1	123	1,2	0,63	63	0,42	4,2	11391	943,85	96,3
KC-7	15	4,3	122	91,21	2228	311291	562	1,8	7,5	121	2309	14,4	100208	1,7	137511	1,8	51	0,7	0,51	69	0,24	11,3	9229	1505,11	39,2
KC-8	14	2,3	90	103,6	767	188463	221	2,4	6,6	122	2009	13,4	56627	2,23	76728	1,7	59	0,5	0,44	46	0,34	3,9	9895	945,32	95,5
KC-9	16	2,8	1145	82,72	1613	248041	308	1,8	8,9	46	7664	200,8	54114	1,67	142031	0,4	80	0,7	28,46	88	0,3	7,2	15309	886,97	47,6
KC-10	16	2,9	1860	34,93	1302	161935	321	0,8	6,3	74	11986	467,5	42242	2,41	193204	<2	99	0,4	51,69	64	0,29	6,6	19831	817,76	50,5
KC-11	<100	70,1	3848	30,69	66197	446735	17755	<50	10,2	1047	407562	202,2	1428322	<5	12490750	<20	<2000	18,6	109,47	1302	<5	306,7	<4000	8240,71	<50
KC-12	11	3	4072	55,48	1199	77995	221	2,9	13,1	<10	25855	201	37345	1,4	235842	1,1	57	0,8	22,38	56	1,94	4,9	12516	481,73	19,8
KC-13	18	1,7	2627	68,61	378	125072	124	3,3	6,5	40	7089	231,1	47184	1,55	126122	<2	167	1,1	21,02	74	0,31	1,9	14558	710,31	56
KC-14	7	1,4	4052	65,16	615	105226	129	2,4	3,2	<10	4837	132,1	42808	2,26	170277	<2	62	0,8	11,73	58	0,49	2,8	11804	573,11	82,3
KC-15	9	1,9	1828	64,01	637	138490	200	2,1	5,4	93	9238	169,6	42734	1,48	129903	0,5	68	0,7	9,18	49	0,39	3,1	13363	676,6	159,2
KC-16	15	1,8	458	51,51	755	179454	214	0,8	3,4	<10	4911	89,2	41224	1,18	84363	<2	60	0,8	1,6	42	0,14	3,2	13241	651,92	50,5
KC-17	13	1,6	3921	28,46	482	128219	119	1,4	4,2	183	11600	372	33383	6,91	168652	<2	67	0,7	49,8	69	0,21	2,5	20515	661,31	36,8
KC-18	11	1,8	3147	14,3	1303	98175	109	0,5	5,7	<10	16628	576,2	24477	17,81	149874	<2	81	0,5	66,59	55	0,34	5,8	26244	806,58	58,6
KC-19	12	1,3	2120	31,66	1252	152404	133	2,2	3,3	22	8317	196	30881	7,31	138647	<2	86	0,4	27,29	70	0,18	5,5	14229	589,3	20,9
KC-20	9	1,4	491	38,08	165	55985	59	0,6	10	<10	4457	12	22819	2,72	65794	3,2	78	0,6	1,86	39	0,39	0,9	10329	252,93	80,2
KC-21	7	1	679	44,79	247	112492	70	2,8	5	14	5678	80,3	26473	1,29	60746	0,3	62	0,6	6,21	39	0,32	1,4	11789	361,24	24,4
KC-22	8	0,9	644	43,32	277	123981	69	3,4	6,4	34	4969	35,9	28475	1,15	75592	<2	73	0,5	3,95	45	0,2	1,6	11529	365,35	35,4
KC-23	17	0,8	283	37,15	125	76262	53	1	3,7	171	7487	9	23095	2,61	56633	1	149	0,8	0,75	28	0,16	0,7	12444	232,41	54,7
KC-24	25	1,3	2520	43,56	660	110883	102	3,7	6,7	89	14497	243,6	23083	2,92	150195	0,4	118	1,1	22,12	59	0,35	3,4	14624	387,81	47,7
KC-25	20	1,5	2632	34,45	1867	145638	154	0,8	6,4	135	14596	218,7	29966	14,23	169277	1	49	1,1	23,85	75	0,42	8,4	14653	596,12	892,6
KC-26	10	1,5	2463	36,27	2072	164572	183	3,8	5,2	132	6962	139,9	34034	3,86	179193	<2	57	0,5	15,75	87	0,16	10,1	12397	565,83	178,2
KC-27	28	1,4	1279	35,94	340	111867	107	1,9	7,5	240	2728	37,8	25474	4,51	115315	0,8	277	0,9	2,91	42	0,32	1,6	11973	352,29	158,5
KC-28	10	2,4	1360	54,28	864	225046	279	1,4	4,9	37	10900	298,5	56789	1,84	136276	0,2	79	0,4	42,22	73	0,36	4,2	16482	1014,94	87,3
KC-29	68	5,7	215	222,4	2889	354761	781	0,9	6,3	247	16745	46,9	111716	13,21	229719	95,8	59	0,6	3,17	94	0,38	14,3	10398	1363,1	9677,6
KC-30	9	1,9	204	52,37	671	198260	211	1	3,9	115	4505	28,6	39053	4,63	92592	2,4	92	0,5	1	58	0,29	3,2	11235	592,29	535,2
KC-31	16	2,1	279	39,11	240	64453	66	<5	5,4	46	2512	22,4	30777	64,6	63328	1,4	75	0,5	1,05	45	0,29	1,1	14601	274,48	74,3
KC-32	16	2	93	34,65	1229	144875	217	<5	4,6	485	3902	21,4	83339	41,2	105739	1,6	111	0,6	0,63	108	0,27	6,2	13235	595,08	61,3
KC-33	17	3,2	119	51,95	1662	189879	366	<5	6,5	35	8573	20,9	100083	46,95	185650	2,2	99	0,7	0,53	127	0,16	8	12279	731,62	91,1



Tablo 3.11 Devami.

ELEMENT ÖRNEK	Al ppb	As ppb	B ppb	Ba ppb	Br ppb	Ca ppb	Cl ppm	Cr ppb	Cu ppb	Fe ppb	K ppb	Li ppb	Mg ppb	Mn ppb	Na ppb	Ni ppb	P ppb	Pb ppb	Rb ppb	S ppm	Sb ppb	Se ppb	Si ppb	Sr ppb	Zn ppb
KC-34	10	5,2	79	32,55	2624	221407	672	<5	4,7	125	3258	27,7	119664	36,94	327829	3,7	68	2,3	0,56	141	0,15	13,7	13282	1000,19	88,6
KC-35	66	98	11371	239,26	12184	275959	3271	<5	2,8	1448	193663	5096,8	75649	111,38	2295741	<2	<200	4,7	1245,24	116	75,94	69,9	45673	4842,34	19,4
KC-36	17	212,7	15297	905,33	45299	756185	12388	<5	3,4	9670	965830	13006,5	69811	570,95	6724611	<2	<200	3,6	5950,81	70	4,26	237,5	92305	17247,93	14,5
KC-37	35	56,7	10547	296,66	8899	214668	2485	<5	2,8	643	136886	4278,1	47322	187,31	1651698	<2	<200	4,2	1137,68	94	55,96	47,8	45552	4396,88	25,1
KC-38	8	1,9	110	64,42	1389	179555	396	<5	11,5	126	6586	4,1	34385	3,48	209417	0,9	80	0,7	3,03	41	0,09	8,1	8953	462,61	164,2
KC-39	385	7	347	143,83	5015	354866	1418	<5	9,6	1464	9612	5,7	97004	6,91	759817	<2	<200	7,5	4,23	94	<5	23,6	11273	994,28	143,2
KC-40	457	4,2	116	89,84	1481	220513	418	2,1	11,5	970	7058	5,9	40809	478,2	224430	4,7	236	5,3	5,58	50	0,3	8,2	10027	556,16	66,1
KC-41	24	2,7	147	115,23	1593	241060	458	1,1	15,7	276	1352	3,7	59078	6,54	232662	0,7	56	2,3	1,73	61	0,07	8,9	10230	639,83	611,2
KC-42	27	5,7	380	94,31	5180	242150	1421	<5	2,9	<100	30848	20	152820	2,75	748350	<2	411	2,5	8,93	93	<5	27	11159	1229,5	228,9
KC-43	3	3,1	94	93,8	2073	203075	568	<5	1,6	193	7947	6,3	85500	2,84	226639	<2	61	0,8	14,21	48	0,07	11,2	11714	629,78	91,6
KC-44	102	3,7	196	88,41	2290	163482	625	1,1	4	324	10147	13,5	92580	107,24	337156	4,1	44	0,9	2,87	82	0,28	13,1	10094	782,81	710,1
KC-45	88	1,5	170	58,73	894	100587	257	1,4	1,3	660	7102	8,2	51692	6,1	154049	1,4	60	0,8	1,48	25	0,12	5,2	11980	455,39	430,8
KC-46	10	2,5	94	29,61	345	164524	82	<5	3,9	36	5348	10,6	36271	12,68	44687	<2	209	0,5	5,82	69	0,13	2	12235	457,56	41,1
KC-47	4	2,2	93	23,45	221	115115	57	<5	4,1	<10	3418	10,3	24753	4,49	36653	0,2	108	0,3	5,06	33	0,12	1,2	11660	264,64	26,1
KC-48	3	0,8	114	55,45	465	224452	108	<5	1,9	<10	3852	15,3	43084	153,83	58949	<2	50	0,8	5,23	105	0,19	2,7	10914	533,51	1459,2
KC-49	3	2,8	295	31,4	3016	38622	882	<5	0,6	1649	25179	22,9	63758	56,19	526943	<2	58	0,8	3,05	19	<0,5	15,8	1352	260,96	73,6
KC-50	12	3,3	107	34,08	1411	37000	391	<5	0,9	632	8322	32,4	40486	17,57	161773	<2	182	0,6	4,88	1	0,07	7,5	2567	194,54	32,9

ELEMENT ÖRNEK	Al ppb	As ppb	B ppb	Ba ppb	Br ppb	Ca ppb	Cl ppm	Cr ppb	Cu ppb	Fe ppb	K ppb	Li ppb	Mg ppb	Mn ppb	Na ppb	Ni ppb	P ppb	Pb ppb	Rb ppb	S ppm	Sb ppb	Se ppb	Si ppb	Sr ppb	Zn ppb
T-1	72	1,7	346	70,84	1115	110510	337	2,5	7,7	2951	14823	232,8	32840	26,15	178372	0,3	73	1,7	34,44	22	0,16	5,5	7493	411,73	15
T-2	107	1,5	384	84,73	1044	97356	325	6,7	62	8280	15534	234,3	29343	35,16	184096	3,6	55	3,5	32,45	20	0,11	5	9365	404,71	49,6
T-3	76	7,8	128	70,48	418	81522	139	2,6	4,4	614	2483	8,9	62795	5,87	57885	1,3	51	1,9	2,21	14	0,29	2,2	14234	261,58	735,6
T-4	30	3,9	92	66,64	331	82481	112	4	3,5	287	1931	5,7	62072	1,63	48711	0,3	59	0,6	0,61	13	0,27	1,7	12950	260,72	27,7
T-5	67	<5	812	112,53	3208	149221	900	<5	4,5	5474	27122	337,7	61436	211,58	484144	<2	<200	2,6	2,86	<10	<5	13,1	6299	800,99	591,9
T-6	338	<5	645	141,48	1906	126584	569	<5	9,6	1417	19194	198,4	37091	7,96	265915	<2	<200	1,4	0,34	<10	<5	8,2	12664	677,34	129,3
T-7	40	1,3	111	17,49	155	75496	43	1,4	3,5	1679	1795	9,7	12276	30,88	34351	19,8	79	0,8	1,47	24	0,41	1	9310	171,46	61,3
T-8	32	1,8	194	42,48	218	120117	61	0,7	2,6	402	3831	42,8	14441	29,06	53230	0,4	33	0,4	8,84	34	0,22	1,2	13602	213,31	170,6
T-9	37	1	494	40,65	454	135137	124	0,5	2,5	562	4392	186,4	35651	4,07	147023	<2	26	0,5	6,19	83	0,2	2,6	12966	423,48	120,4
T-10	123	1,2	546	38,17	495	140448	138	1,2	3,8	1584	8140	125,1	28976	21,97	145748	<2	43	1,2	5,13	64	0,26	2,8	13341	330,14	165
T-11	145	2	261	83,4	825	150515	249	0,8	4,2	623	9812	28,5	35223	212,62	129847	1,7	94	1,9	7,44	30	0,26	4,2	13893	327,93	196,8
T-12	143	<5	1156	152,73	5782	276406	1602	<5	4,3	1186	68756	863,3	83237	13,39	866630	<2	<200	3,4	142,11	15	<5	27,5	11394	1916,63	46,2
T-13	<100	<50	1323	70,77	28546	1853563	8073	<50	12	5744	36266	353	826536	8,42	3548837	<20	<2000	<10	8,66	176	<5	144,7	9095	8141,77	139,5

Tablo 3.11 Devamı.

ELEMENT ÖRNEK	Al ppb	As ppb	B ppb	Br ppb	Ca ppb	Cl ppm	Cu ppb	Fe ppb	K ppb	Li ppb	Mg ppb	Mn ppb	Na ppb	Ni ppb	Pb ppb	Si ppb	Sr ppb	Zn ppb	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ppm	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ppm
SB-1	0	0	60	300	54000	21	20	30	700	20	26200	940	15800	0	0	7900	200	40	57	21
SB-2	0	0	0	300	79000	11	0	0	600	0	6200	90	7300	0	0	4600	290	500	20	13
SB-3	0	0	0	0	84000	10	0	0	500	0	3500	0	7700	0	0	4400	310	880	18	2
SB-4	0	0	0	0	61000	13	0	0	700	0	29400	0	8100	0	0	10500	110	0	39	5
SB-5	0	0	0	0	41000	10	0	0	400	0	13100	0	6000	0	0	9600	50	30	15	10
SB-6	0	0	0	300	71000	21	0	50	5300	0	22000	0	13400	0	0	7900	280	40	55	30
SB-7	0	0	0	0	22000	14	0	0	300	0	4800	0	8100	0	0	6800	80	0	15	4,7
SB-9	0	0	0	300	151000	27	0	0	600	0	9300	0	10900	0	0	5200	650	0	37	6
SB-11	0	0	0	0	55000	7	0	0	600	0	6200	0	7300	0	0	5800	320	0	34	1
SB-12	0	0	0	0	34000	19	0	0	600	0	9500	0	10200	0	0	4600	520	0	25	0
SB-13	0	0	0	0	63000	17	0	0	900	0	16400	0	8800	0	0	4500	330	0	27	0,6
SB-14	0	20	0	0	45000	22	0	150	9000	20	3000	150	26700	0	0	35000	80	20	16	1
SB-15	0	1	0	0	168000	147	0	0	6100	40	26400	0	45000	0	0	12000	970	0	122	140
SB-16	0	1	0	300	70000	20	0	0	4500	0	18400	40	12800	0	0	8000	300	120	182	7
SB-17	0	0	0	0	66000	22	0	0	700	0	12400	0	18000	0	0	6800	230	0	67	3
SB-18	0	0	0	300	88000	26	0	0	10500	0	11000	0	18100	0	0	6600	160	20	56	640
SB-19	0	1	0	0	87000	18	0	0	700	0	7900	0	14100	0	0	5400	220	80	85	4
SB-21	0	0	0	300	156000	22	20	0	700	0	8500	0	10400	0	0	4700	660	30	35	0,5
SB-22	0	0	50	300	130000	18	0	0	500	20	17600	0	14700	0	0	6800	430	20	74	13
SB-23	0	1	0	0	41000	28	0	0	21300	0	12600	0	27100	0	0	3600	130	40	45	63
SB-24	0	0	0	200	49000	25	0	0	600	0	15200	0	14200	0	0	10300	150	20	29	2
SB-25	0	0	0	300	110000	34	0	0	600	20	14100	0	22800	0	0	9700	450	20	28	1,6
SB-26	0	1	0	0	143000	34	0	20	1200	0	51000	30	19300	0	0	6700	560	40	110	0,7
SB-27	0	0	0	300	50000	23	0	30	2400	0	18400	0	13800	0	0	5000	240	0	35	5,6
SB-28	0	0	0	300	84000	42	0	0	2600	0	49000	0	27700	0	0	4800	450	20	72	0,3
SB-29	0	1	20	300	103000	45	0	0	6500	110	88500	300	43800	0	0	8400	3540	30	73	2
SB-30	0	0	0	300	97000	21	0	400	2300	50	29000	120	19300	0	0	14600	1630	270	68	0,3
SB-31	0	0	0	300	134000	42	0	0	700	0	44000	0	29000	0	0	10100	470	60	55	17
SB-32	0	2	100	600	175000	109	0	100	7000	20	18900	130	50500	0	0	11600	310	60	133	3,7
SB-33	0	0	850	400	165000	220	20	0	5600	200	21500	0	165000	0	0	13500	410	600	140	54
SB-34	0	0	70	900	244000	103	0	0	3300	20	24000	0	51500	0	0	13600	430	100	310	18
SB-35	0	0	680	1000	132000	240	0	0	4100	50	33300	0	177000	0	0	9300	560	40	97	8

Çalışma alanındaki suların kimyasal bileşimini kontrol eden seçilmiş bazı minerallerin PhreeqC (Parkhurst ve Appelo ,1999) programı ile hesaplanan doygunluk değerlerine (Tablo 3.12) bakıldığında, suların; Al, Li, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ve Ca<sup>+2</sup> silikatlara; Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Ba ve Na-Al karbonatlara; BaSO<sub>4</sub>'a; Al, Si, Fe, Cu-Fe ve Zn-Fe okside ve çoğu noktada gübre kullanımına bağlı olarak fosfata (Pb) doygun olduğu görülmüştür.

Tablo 3.12 Balçova bölgesine ait su örneklerinin mineral doygunluk değerleri.

	Albit	Barit	Kalsit	Korundum	Dolo mit	İllit	Kaolinit	K-Feldspat	Hematit	Kuvars
<b>KC-1</b>	0,13	0,49	0,12	0,78	1	4,52	5,25	1,45		0,38
<b>KC-2</b>	-0,07	0,47	0,83	-0,36	2,49	3,49	3,71	1,24	12,8	0,25
<b>KC-3</b>	0,99	-0,23	0,27	1,35	1,5	5,29	5,64	1,9	9,46	0,3
<b>KC-4</b>	0,43	0,86	0,08	1,05	0,89	4,98	5,49	1,96	9,05	0,39
<b>KC-5</b>	0,24	0,4	0,3	0,67	1,35	4,6	5,17	1,57	10,43	0,41
<b>KC-6</b>	0,54	0,54	0,35	0,86	1,41	5,04	5,34	1,95	10,62	0,41
<b>KC-7</b>	0,64	0,51	0,32	1,02	1,52	5,05	5,49	1,82	10,1	0,38
<b>KC-8</b>	-0,01	0,41	0,43	0,48	1,74	4,03	4,56	1,23	11,24	0,26
<b>KC-9</b>	1,17	0,65	0,21	0,95	1,13	5,79	5,7	2,8	9,61	0,54
<b>KC-10</b>	1,37	0,11	0,02	0,94	0,83	5,9	5,69	3,01	9,84	0,59
<b>KC-11</b>		0,26	0,76		3,44				14,07	
<b>KC-12</b>	0,51	0,25	0,24	-0,02	1,56	4,34	4,1	2,34		0,32
<b>KC-13</b>	0,77	0,48	0,25	0,66	1,47	5,08	5,04	2,33	10,35	0,42
<b>KC-14</b>	0,17	0,35	0,37	-0,36	1,75	3,52	3,78	1,43	0	0,31
<b>KC-15</b>	0,52	0,29	0,56	-0,36	2	4,27	4,03	2,22	11,86	0,41
<b>KC-16</b>	0,66	0,14	0,59	0,16	1,93	4,81	4,65	2,29		0,44
<b>KC-17</b>	1	0,04	0,26	0,41	1,34	5,1	4,93	2,61	11,37	0,52
<b>KC-18</b>	1,83	0,15	-0,42	-0,88	-0,18	5,98	5,51	4,1		
<b>KC-19</b>	0,69	0,14	0,33	0,19	1,36	4,68	4,61	2,3	10,21	0,42
<b>KC-20</b>	0,05	0,18	-0,46	0,29	0,04	4,26	4,62	1,77	0	0,35
<b>KC-21</b>	0,13	0,17	0,29	-0,23	1,33	4,16	4,22	1,99	9,83	0,41
<b>KC-22</b>	0,41	0,24	0,3	-0,01	1,33	4,51	4,56	2,15	10,4	0,44
<b>KC-23</b>	0,59	0,03	-0,42	1,22	-0,01	5,67	5,83	2,63	10,37	0,47
<b>KC-24</b>	1,25	0,29	0,22	0,96	1,14	5,89	5,54	3,1	11,19	0,48
<b>KC-25</b>	0,87	0,17	0,47	0,34	1,64	4,97	4,63	2,6	12,25	0,39
<b>KC-26</b>	0,78	0,32	0,37	0,03	1,42	4,59	4,53	2,26	11,78	0,43
<b>KC-27</b>	0,84	0,05	0,27	1	1,29	5,13	5,33	2,07	12,15	0,37
<b>KC-28</b>	0,56	0,25	0,46	0,05	1,73	4,55	4,42	2,25	10,48	0,44
<b>KC-29</b>	1,22	0,86	0,35	2,02	1,59	6,43	6,21	2,93	11,4	0,3
<b>KC-30</b>	0,18	0,26	0,5	-0,15	1,68	3,98	4,12	1,72	11,84	0,35
<b>KC-31</b>	0,63	0,21	-0,57	1,19	-0,11	5,35	5,81	2,11	8,87	0,5
<b>KC-32</b>	0,79	0,42	-0,68	1,22	-0,26	5,6	5,98	2,3	10,11	0,53
<b>KC-33</b>	0,76	0,6	-0,47	0,99	0,1	5,39	5,75	2,38	6,91	0,51
<b>KC-34</b>	0,82	0,3	-0,49	0,98	0,1	4,86	5,57	1,71	7,78	0,47

### 3.6.2.3. Beslenme Alanı Suları

Seferihisar jeotermal alanı ile Balçova jeotermal alanı arasındaki dağlık kesim, beslenme alanıdır. Bu bölgeye ait suların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.7'de verilmiştir. Bölgedeki suların pH değerleri 6,25-8.50 arasında değişmektedir. EC değerleri ise 189-1595  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasındadır. Suların IAH (1979)'a göre yapılmış olan sınıflamasına baktığımızda sudaki baskın kationun  $\text{Ca}^{+2}$ , baskın anyonun ise  $\text{HCO}_3^-$  olduğu gözlenmektedir.

Piper diyagramında (Şekil 3.14) SB-16 (Karbonat olmayan sertliği % 50'den fazla olan sular) ve SB-25 (Karışık sular) hariç tüm örnekler 5 numaralı bölgeye, karbonat sertliği % 50'den fazla olan sular kısmına düşmüşlerdir. Schoeller yarı logaritmik diyagramında SB-14, 15 hariç tüm sular benzer pikler verdiği için aynı kökenden olduklarını söyleyebiliriz (Şekil 3.15).

Beslenme alanındaki tüm suların SB-14 hariç iz element değerleri TSE 266 (2005) ve WHO (2008)'in içme suyu standartları içerisinde yer almakta olup, herhangi bir kirlenme söz konusu değildir. SB-14'te de As değeri 20 ppb ve Mn değeri 150 ppb ile sınır değerleri aşmaktadır (Tablo 3.11). Doygunluk değerlerine baktığımızda SB-1, 2, 6, 7, 14, 16, 24 hariç tüm suların  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  karbonatlara ve tüm suların Si oksitlere doymuş olduğu görülmektedir (Tablo 3.13).

### 3.6.3 Kurak Dönem Örneklemeleri

Kurak dönemde yapılan örneklemeler, yağışlı dönemdeki örneklemelere göre biraz daha zor olmuştur. Hava sıcaklığına bağlı olarak beslenme alanındaki kaynaklardan bazıları kurumuş, yağışlı dönemde alınan örnekler tekrar alınamamıştır. Bunun sonucunda, Seferihisar alüvyonunda alınabilen örnek sayısı daha da azdır. Kurak dönem kapsamında alınabilen örnekler Seferihisar jeotermal alanları (Seferihisar kıyı kesimindeki soğuk sular ve sıcak sular) ve beslenme alanı (dağlık kesim-horst) bölgesine aittir.

Tablo 3.13 Beslenme alanından alınmış su örneklerinin mineral doygunluk değerleri.

	Kalsit	Dolomit	Jips	Hematit	Kuvars
SB-1	-1,13	-1,22	-1,9	5,3	0,32
SB-2	-0,45	-0,63	-2,2		-0,007
SB-3	0,06	0,08	-2,2		0,17
SB-4	-0,2	0,61	-2,1		0,47
SB-5	-0,33	0,18	-2,6		0,43
SB-6	-0,51	-0,18	-1,9	8,4	0,33
SB-7	-1,97	-3,28	-2,7		0,31
SB-9	0,11	0,35	-1,8		0,22
SB-11	-0,23	-0,06	-2,1		0,16
SB-12	-0,44	-0,08	-2,4		0,07
SB-13	0,9	2,59	-2,2		0,02
SB-14	-0,35	-0,5	-2,5	11,5	0,85
SB-15	0,04	0,62	-1,3		0,5
SB-16	-0,71	-0,69	-1,4		0,37
SB-17	0,58	1,77	-1,8		0,34
SB-18	0,29	1,03	-1,8		0,26
SB-19	0,39	1,07	-1,6		0,21
SB-21	0,46	1,01	-1,8		0,11
SB-22	0,05	0,59	-1,5		0,22
SB-23	0,01	0,85	-2,1		0,003
SB-24	-0,76	-0,68	-2,2		0,46
SB-25	0,29	1,05	-2		0,4
SB-26	0,04	0,99	-1,4	7	0,25
SB-27	0,96	2,87	-2,2	10,7	0,07
SB-28	0,95	3,06	-1,8		-0,04
SB-29	0,03	1,4	-1,8		0,19
SB-30	0,4	1,72	-1,7	13,6	0,23
SB-31	0,21	1,32	-1,7		0,37

### 3.6.3.1. Beslenme Alanı Bölgesi (Balçova Seferihisar arası dağlık kesim)

Çalışma alanının dağlık kesimi olan horst bölgesinden alınan suların (Şekil 1.1) (2SB- 1, 3, 4, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 37, 38, 39, 40) analiz sonuçları Tablo 3.8'de verilmiştir.

Bölgeden alınan 24 su örneğinde pH değerleri 6,91 ile 8,60 arasında değişmektedir. Gölet ve barajdan alınan su örnekleri (2SB-13, 2SB-27) alkali özellikte olup geri kalan yeraltı suyu örnekleri nötr karakterdedir. EC değerleri ise 370 ile 1068  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişim göstermektedir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) sınıflamasına göre suların baskın kasyonu  $Ca^{+2}$  ve  $Ca+Mg$  iken baskın anyonu  $HCO_3^-$  tır (Tablo 3.13).  $Ca^{+2}$  derişimleri 38,2 ile 137 mg/L arasında değişim göstermektedir.  $HCO_3^-$  derişimi ise 365,75 mg/L ortalamaya sahiptir.

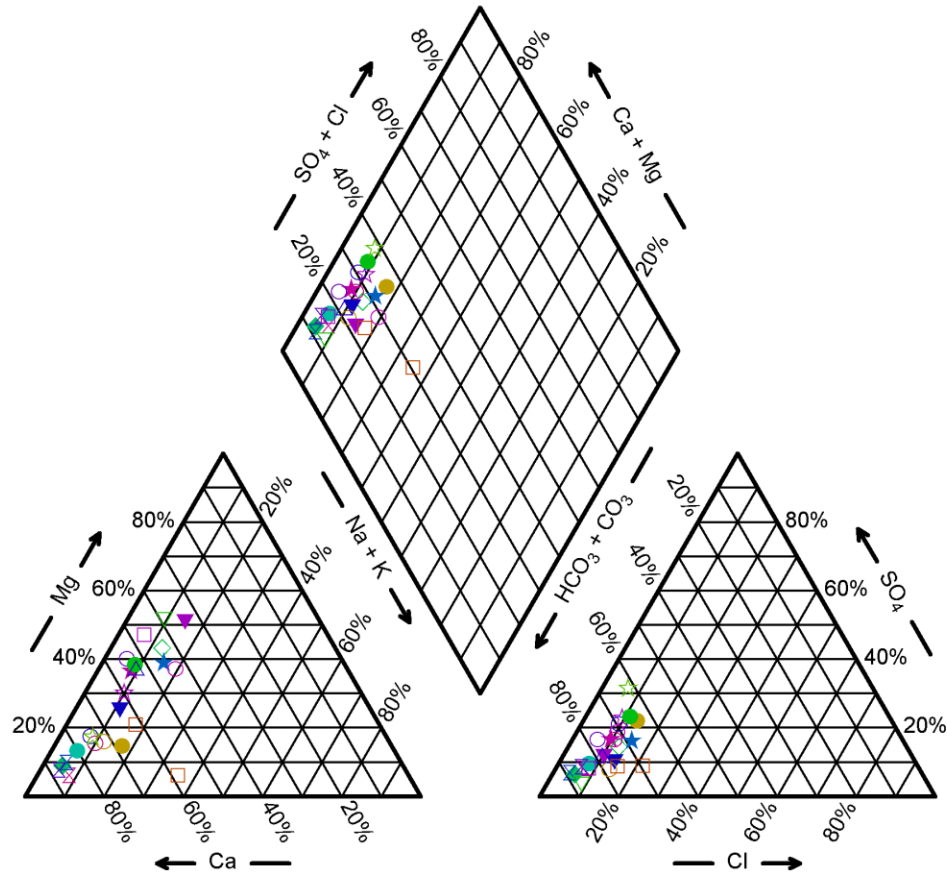
Suların sınıflaması ve evrimi ile ilgili olarak kullanılan Piper Diyagramı'nda (Şekil 3.16) beslenme alanındaki tüm sular 5 numaralı bölgeye (karbonat sertliği %50 den fazla sulara) düşmektedir.

Schoeller Diyagramı'na baktığımızda ise tüm suların deniz suyundan farklı ama kendi içlerinde benzer pikler verdiği yani kökenlerinin benzer olduğu görölmektedir (Şekil 3.17).

Beslenme alanında, Deli Ömer termal alanından alınan 2SB-14 hariç tüm suların iz element değerleri TSE 266 (2005) ve WHO (2008)'in içme suyu standartlarının limit değerini aşmamaktadır. 2SB-14'te de As değerleri 26 ppb ve Mn değerleri 180 ppb ile sınır değerleri aşmaktadır (Tablo 3.14).

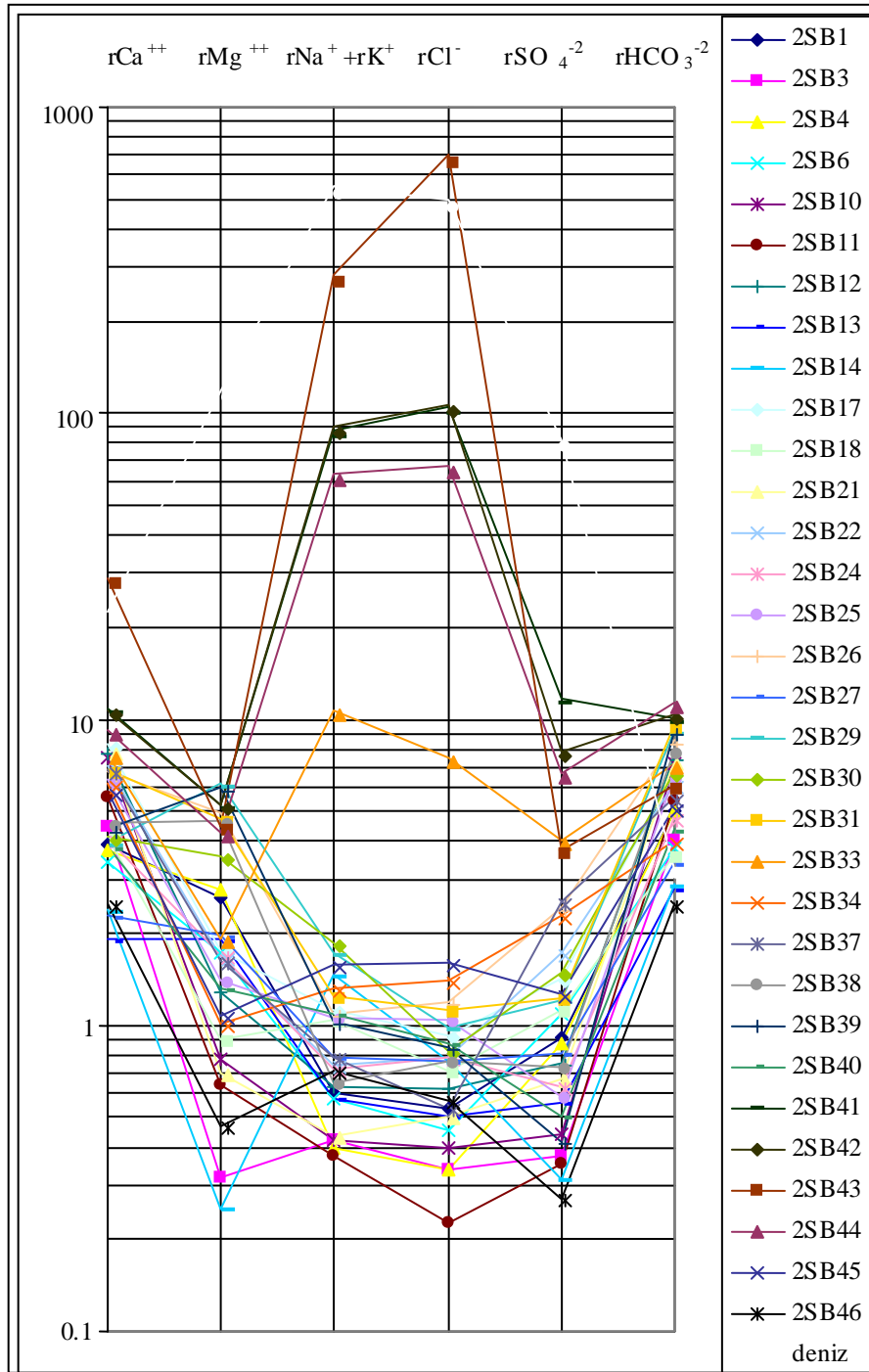
Doygunluk değerlerine baktığımızda 2SB-1, 4, 6, 14 hariç tüm suların  $Ca^{+2}$  karbonatlara; 2SB-1, 4, 6, 10, 11, 12, 14, 18 hariç  $Mg^{+2}$  karbonatlara ve tüm suların Si oksitlere doygun olduğu görölmektedir (Tablo 3.15).

Beslenme Alanı Örnekleri



- Açıklama
- ★ 2SB1
  - ✕ 2SB3
  - 2SB4
  - ☆ 2SB6
  - ◆ 2SB10
  - ⊠ 2SB11
  - 2SB12
  - ◇ 2SB13
  - 2SB14
  - 2SB17
  - 2SB18
  - ⊠ 2SB21
  - 2SB22
  - ▼ 2SB24
  - 2SB25
  - 2SB26
  - ★ 2SB27
  - ▼ 2SB29
  - 2SB30
  - △ 2SB31
  - ☆ 2SB37
  - 2SB38
  - ▽ 2SB39
  - 2SB40

Şekil 3.16 Beslenme alanına ait Piper diyagramı.



Şekil 3.17 Çalışma alanından alınan sulara ait Schoeller yarı logaritmik diyagramı.



Tablo 3.14 Kurak döneme ait suların bazı seçilmiş iz element derişimleri.

ELEMENT SAMPLES	As ppb	B ppb	Ba ppb	Br ppb	Ca ppb	Cl ppm	Cu ppb	Fe ppb	K ppb	Li ppb	Mg ppb	Mn ppb	Na ppb	Ni ppb	P ppm	Sb ppb	Si ppb	Sr ppb	Zn ppb	SO4 ppm	NO3 ppm
2SB-1	0	20	70	0	77600	19	0	20	600	20	31400	0	13400	0	0.6454	0	14000	300	60	44	0
2SB-3	0	0	0	0	89500	12	0	0	2700	0	3800	0	8100	0	0.6454	0	4700	320	0	18	0.6
2SB-4	0	0	0	0	74300	12	0	0	1100	0	33200	0	8500	0	0	3	11000	140	0	42	6
2SB-6	0	0	25	0	67800	16	0	20	1800	0	20600	0	12100	0	0.6454	2	7700	270	0	52	17
2SB-10	0	0	20	0	149000	14	0	0	600	0	9300	0	9400	0	0.6454	3	6400	580	0	21	3
2SB-11	0	0	0	0	110600	8	0	0	600	0	7700	0	8200	0	0.41951	0	6100	400	0	17	0
2SB-12	0	0	40	400	154000	22	0	0	600	0	15300	0	14200	0	0	0	6100	840	0	36	0
2SB-13	0	0	20	0	38200	18	0	20	1300	0	22800	0	12400	0	0	0	4200	330	0	27	0.2
2SB-14	26	0	0	200	48000	27	0	220	9600	30	3000	180	27800	0	0	0	38000	80	0	15	0.5
2SB-17	0	0	20	300	166000	33	0	130	1500	20	20900	50	24900	0	0	0	11000	600	0	68	0
2SB-18	0	0	20	0	82700	25	0	0	9600	0	10800	0	18200	0	0.6454	0	6700	140	0	54	23
2SB-21	0	0	0	0	158000	18	0	0	600	0	8400	0	9600	0	0.6454	0	4800	660	0	32	0
2SB-22	0	0	0	0	141000	28	0	0	400	20	20000	0	16800	0	0	2	7700	440	0	83	11
2SB-24	0	0	0	300	82000	28	0	0	340	0	20400	30	16400	0	0	0	11000	220	0	30	2
2SB-25	0	0	70	300	127000	37	0	0	1100	30	16900	0	23800	0	0.6454	0	10500	510	0	28	0.5
2SB-26	0	0	70	500	134500	42	0	100	1200	0	59000	20	24500	140	0	0	7900	570	0	116	0.2
2SB-27	2	0	0	0	45800	27	0	20	2700	0	23800	0	16500	0	0.6454	0	3700	260	0	39	0.8
2SB-29	0	0	110	300	79600	35	0	0	4400	90	73600	20	37000	0	0	2	11000	2500	0	58	1
2SB-30	0	0	130	300	83000	29	0	2300	3000	80	43000	200	41000	0	0	0	15000	2000	800	71	0
2SB-31	0	0	120	300	137000	40	0	0	1000	20	56700	0	28100	0	0	0	12000	510	0	59	11
2SB-33	0	1300	110	1000	154000	264	0	0	7000	410	22800	0	242000	0	0	0	8800	470	30	193	81
2SB-34	0	0	30	400	123000	50	0	120	2900	200	12200	0	28500	0	0.80675	0	6400	200	20	110	17
2SB-37	0	0	0	300	137000	19	0	0	240	0	19400	0	17800	0	0	0	13000	290	0	121	7
2SB-38	0	0	160	300	91400	27	0	0	1100	30	56300	0	14200	0	0	0	13000	600	20	35	0
2SB-39	0	0	60	300	88000	30	20	0	5800	0	72000	70	20200	0	0	0	15000	240	50	20	0.4
2SB-40	0	0	0	400	76800	31	0	0	1200	40	15800	0	24300	0	0.80675	0	31000	300	0	24	7

Tablo 3.14 Devami.

ELEMENT SAMPLES	As ppb	B ppb	Ba ppb	Br ppb	Ca ppb	Cl ppm	Cu ppb	Fe ppb	K ppb	Li ppb	Mg ppb	Mn ppb	Na ppb	Ni ppb	P ppm	Sb ppb	Si ppb	Sr ppb	Zn ppb	SO4 ppm	NO3 ppm
2SB-41	65	9400	200	10000	216000	3720	0	600	158000	4500	63000	0	1934000	0	0	58	29000	4000	0	560	0
2SB-42	46	11200	200	10000	215000	3800	0	500	158000	4600	63000	0	2000000	0	0	54	36000	4100	0	376	0.5
2SB-43	120	16800	800	45000	580000	25000	0	4500	790000	12600	53500	400	6100000	0	0	4	66000	13100	0	180	0.2
2SB-44	24	10000	200	7500	185000	2400	0	0	110000	4000	51000	200	1390000	0	0	10	31000	3200	0	320	2.5
2SB-45	0	0	40	400	117000	57	0	40	3900	20	12800	0	34000	0	0	0	13000	200	20	61	13
2SB-46	0	70	20	0	50000	20	0	310	2600	0	5600	130	14700	0	0	0	10000	80	0	13	0.6

Tablo 3.15 Beslenme alanından alınmış su örneklerinin mineral doygunluk değerleri.

2SB-1	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,38	-8,66	-8,28	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	0,01	-10,12	-10,12	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	-0,23	-8,66	-8,43	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,36	-3,3	-3,66	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,62	-17,5	-16,88	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	0,15	18,28	18,13	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	6,04	18,28	12,24	FeOOH
	Gypsum	-1,94	-6,52	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Hematite	13,39	36,55	23,16	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Hydroxyapatite	0,13	-39,75	-39,88	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
	Quartz	0,81	-3,3	-4,12	SiO <sub>2</sub>
	Strontianite	-3,14	-12,41	-9,27	SrCO <sub>3</sub>
	Talc	-2,79	19,66	22,44	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-3	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,78	-7,51	-8,29	CaCO <sub>3</sub>
	Calcite	0,93	-7,51	-8,44	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	-0,13	-3,78	-3,66	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,72	-16,16	-16,88	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-2,2	-6,79	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Hydroxyapatite	6,01	-33,88	-39,89	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
	Quartz	0,33	-3,78	-4,11	SiO <sub>2</sub>
	Strontianite	-1,01	-10,28	-9,27	SrCO <sub>3</sub>
	Talc	-0,3	22,13	22,43	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-4	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,45	-8,73	-8,28	CaCO <sub>3</sub>
	Calcite	-0,3	-8,73	-8,43	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,27	-3,41	-3,67	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,74	-17,59	-16,85	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-1,97	-6,55	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Quartz	0,73	-3,41	-4,13	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-3,5	19,08	22,58	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB06	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,38	-8,69	-8,31	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,41	-10,46	-10,05	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	-0,23	-8,69	-8,45	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,05	-3,56	-3,61	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,7	-17,67	-16,97	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	0,51	18,55	18,03	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	6,41	18,55	12,14	FeOOH
	Gypsum	-1,89	-6,47	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Hematite	14,43	37,09	22,66	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Hydroxyapatite	0,85	-39,29	-40,14	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
	Quartz	0,49	-3,56	-4,06	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-3,28	18,69	21,98	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

SI : Saturation Index  
IAP : Ion Activity Product  
KT : Solubility Constant

2SB-10	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,1	-8,18	-8,28	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,87	-11,01	-10,14	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,25	-8,18	-8,43	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,03	-3,64	-3,67	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,5	-17,35	-16,85	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Hydroxyapatite	1,68	-38,13	-39,81	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
	Quartz	0,49	-3,64	-4,13	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-5,49	17,09	22,58	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-11	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,06	-8,35	-8,29	CaCO <sub>3</sub>
	Calcite	0,09	-8,35	-8,44	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	-0,02	-3,66	-3,64	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,72	-17,63	-16,91	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-2,18	-6,76	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Hydroxyapatite	1,09	-38,89	-39,98	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
	Quartz	0,43	-3,66	-4,09	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-5,25	17,01	22,26	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-12	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,19	-8,11	-8,29	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,41	-10,51	-10,1	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,33	-8,11	-8,44	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	-0,02	-3,66	-3,64	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,09	-16,99	-16,91	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-1,8	-6,38	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Quartz	0,43	-3,66	-4,1	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-4,5	17,8	22,3	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-13	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,79	-7,56	-8,35	CaCO <sub>3</sub>
	Calcite	0,93	-7,56	-8,49	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	-0,32	-3,85	-3,53	SiO <sub>2</sub>
	Chrysotile	2,29	34,3	32	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
	Dolomite	2,01	-15,11	-17,13	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	0,97	18,84	17,87	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	6,86	18,84	11,98	FeOOH
	Gypsum	-2,39	-6,97	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Hematite	15,85	37,68	21,84	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Quartz	0,1	-3,85	-3,96	SiO <sub>2</sub>
	Talc	5,37	26,59	21,22	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-14	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,59	-8,9	-8,32	CaCO <sub>3</sub>
	Calcite	-0,44	-8,9	-8,46	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,72	-2,87	-3,59	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-1,78	-18,8	-17,02	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	1,57	19,55	17,98	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	7,46	19,55	12,09	FeOOH
	Gypsum	-2,49	-7,07	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Hematite	16,7	39,1	22,41	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Quartz	1,16	-2,87	-4,03	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-2,79	18,96	21,74	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

SI : Saturation Index  
IAP : Ion Activity Product  
KT : Solubility Constant

2SB-17	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,53	-7,8	-8,33	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,6	-10,59	-9,99	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,67	-7,8	-8,47	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,16	-3,41	-3,57	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,78	-16,29	-17,06	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	1,78	19,72	17,94	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	7,67	19,72	12,05	FeOOH
	Gypsum	-1,54	-6,12	-4,58	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Hematite	17,26	39,44	22,18	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Quartz	0,59	-3,41	-4	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-0,68	20,86	21,54	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-18	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,08	-8,37	-8,29	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,42	-10,54	-10,12	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,07	-8,37	-8,44	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,03	-3,62	-3,66	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,51	-17,4	-16,88	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-1,79	-6,37	-4,58	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Hydroxyapatite	2,44	-37,46	-39,9	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
	Quartz	0,49	-3,62	-4,11	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-3,01	19,41	22,42	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-21	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,46	-7,87	-8,32	CaCO <sub>3</sub>
	Calcite	0,6	-7,87	-8,47	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	-0,19	-3,77	-3,58	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,25	-16,78	-17,04	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-1,84	-6,42	-4,58	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Hydroxyapatite	3,47	-36,85	-40,31	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
	Quartz	0,25	-3,77	-4,01	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-3,92	17,74	21,66	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-22	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,39	-7,93	-8,32	CaCO <sub>3</sub>
	Calcite	0,54	-7,93	-8,46	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,02	-3,56	-3,58	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,54	-16,48	-17,02	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-1,49	-6,07	-4,58	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Quartz	0,46	-3,56	-4,02	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-1,58	20,14	21,72	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-24	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,04	-8,26	-8,3	CaCO <sub>3</sub>
	Calcite	0,19	-8,26	-8,45	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,21	-3,41	-3,61	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,06	-16,91	-16,96	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-2,07	-6,65	-4,58	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Quartz	0,65	-3,41	-4,06	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-1,22	20,8	22,01	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

SI : Saturation Index  
IAP : Ion Activity Product  
KT : Solubility Constant

2SB-25	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,27	-8,04	-8,31	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,33	-10,35	-10,03	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,42	-8,04	-8,46	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,17	-3,43	-3,59	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,27	-16,74	-17,01	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-1,97	-6,56	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Hydroxyapatite	2,82	-37,42	-40,24	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
	Quartz	0,61	-3,43	-4,03	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-1,95	19,86	21,8	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-26	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,02	-8,31	-8,33	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	0,11	-9,88	-9,98	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,17	-8,31	-8,47	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,01	-3,55	-3,56	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,31	-16,76	-17,07	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	0,59	18,52	17,93	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	6,48	18,52	12,04	FeOOH
	Gypsum	-1,45	-6,03	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Hematite	14,91	37,05	22,14	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Quartz	0,44	-3,55	-3,99	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-2,89	18,62	21,5	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB27	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,79	-7,55	-8,34	CaCO <sub>3</sub>
	Calcite	0,93	-7,55	-8,48	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	-0,35	-3,9	-3,55	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	1,94	-15,17	-17,1	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	1,07	18,97	17,9	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	6,96	18,97	12,01	FeOOH
	Gypsum	-2,18	-6,76	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Hematite	15,97	37,94	21,97	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Hydroxyapatite	6,13	-34,36	-40,49	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
	Quartz	0,07	-3,9	-3,97	SiO <sub>2</sub>
	Sepiolite	0	15,75	15,75	Mg <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>7</sub> ·5OH·3H <sub>2</sub> O
	Talc	4,23	25,57	21,34	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB29	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,06	-8,39	-8,33	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	0,04	-9,94	-9,98	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,09	-8,39	-8,48	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,15	-3,41	-3,55	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,49	-16,6	-17,08	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-1,95	-6,53	-4,58	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O
	Quartz	0,58	-3,41	-3,98	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-1,36	20,07	21,43	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

2SB-30	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,03	-8,43	-8,46	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,01	-9,77	-9,76	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,16	-8,43	-8,59	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,1	-3,27	-3,37	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,52	-16,93	-17,45	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	2,01	19,55	17,54	Fe(OH) <sub>3</sub>

SI : Saturation Index  
IAP : Ion Activity Product  
KT : Solubility Constant

2SB-30	Goethite	7,9	19,55	11,65	FeOOH
	Gypsum	-1,81	-6,41	-4,6	CaSO4:2H2O
	Hematite	18,99	39,1	20,11	Fe2O3
	Quartz	0,48	-3,27	-3,75	SiO2
	Siderite	0,19	-10,8	-10,98	FeCO3
	Talc	-0,01	19,61	19,63	Mg3Si4O10(OH)2
2SB-31	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,45	-7,89	-8,34	CaCO3
	Barite	0,05	-9,92	-9,97	BaSO4
	Calcite	0,59	-7,89	-8,48	CaCO3
	Chalcedony	0,18	-3,37	-3,55	SiO2
	Dolomite	1,16	-15,94	-17,1	CaMg(CO3)2
	Gypsum	-1,73	-6,31	-4,58	CaSO4:2H2O
	Quartz	0,61	-3,37	-3,98	SiO2
Talc	0,05	21,42	21,36	Mg3Si4O10(OH)2	
2SB-37	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,14	-8,16	-8,31	CaCO3
	Calcite	0,29	-8,16	-8,46	CaCO3
	Chalcedony	0,27	-3,33	-3,61	SiO2
	Dolomite	0,02	-16,96	-16,98	CaMg(CO3)2
	Gypsum	-1,34	-5,92	-4,58	CaSO4:2H2O
	Quartz	0,72	-3,33	-4,05	SiO2
Talc	-1,9	20,03	21,93	Mg3Si4O10(OH)2	
2SB-38	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,49	-7,82	-8,31	CaCO3
	Barite	0,12	-9,94	-10,05	BaSO4
	Calcite	0,64	-7,82	-8,45	CaCO3
	Chalcedony	0,28	-3,34	-3,61	SiO2
	Dolomite	1,35	-15,62	-16,97	CaMg(CO3)2
	Gypsum	-2,06	-6,64	-4,58	CaSO4:2H2O
	Quartz	0,72	-3,34	-4,06	SiO2
Talc	1,69	23,67	21,98	Mg3Si4O10(OH)2	
2SB-39	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,45	-7,85	-8,31	CaCO3
	Barite	-0,57	-10,63	-10,05	BaSO4
	Calcite	0,6	-7,85	-8,45	CaCO3
	Chalcedony	0,34	-3,27	-3,61	SiO2
	Dolomite	1,4	-15,57	-16,97	CaMg(CO3)2
	Gypsum	-2,35	-6,93	-4,58	CaSO4:2H2O
	Quartz	0,78	-3,27	-4,06	SiO2
	Rhodochrosite	-0,25	-11,36	-11,11	MnCO3
Talc	1,82	23,8	21,98	Mg3Si4O10(OH)2	
2SB-40	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,65	-7,66	-8,31	CaCO3
	Calcite	0,8	-7,66	-8,45	CaCO3
	Chalcedony	0,65	-2,96	-3,61	SiO2
	Dolomite	1,19	-15,78	-16,97	CaMg(CO3)2
	Gypsum	-2,18	-6,76	-4,58	CaSO4:2H2O
	Hydroxyapatite	5,54	-34,6	-40,14	Ca5(PO4)3OH
	Quartz	1,09	-2,96	-4,06	SiO2
	Sepiolite	0,67	16,56	15,89	Mg2Si3O7,5OH:3H2O
	Talc	4,35	26,33	21,98	Mg3Si4O10(OH)2

SI : Saturation Index  
IAP : Ion Activity Product  
KT : Solubility Constant

### 3.6.3.2. Seferihisar Jeotermal Alanı

Seferihisar bölgesinden, sıcak ve soğuk sular olmak üzere toplam 8 örnek alınmıştır. Bölgedeki soğuk suların (2SB-33, 34, 45, 46) ortalama pH değeri 7,3 EC değeri ise 318 ile 735  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. Sıcak sular ise 5,96-7,01 pH değerleri ve 7200-27300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  gibi yüksek EC değerleri ile karakterize edilmektedir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) sınıflamasına göre 2SB-33 hariç diğer 3 soğuk su örneğinin baskın katyonu  $\text{Ca}^{+2}$  olup, baskın anyon  $\text{HCO}_3^{-}$ 'tir. 2SB-33 örneğinde ise bir karışım sözkonusu olup, su tipi Na-Ca-Cl- $\text{HCO}_3$ 'tır. Bölgedeki sıcak sular ise, Na-Cl su tipinde olup deniz suyu katkısı da bulunmaktadır.

Suların Piper diyagramındaki yerleri Şekil 3.18'de verilmiştir. Alüvyondan alınan soğuk sular diyagramda 5 numaralı bölgeye (2SB-33 hariç), yani karbonat sertliği % 50 den fazla olan sular bölümüne düşmektedir. 2SB-33 ise herhangi bir baskın anyon ve katyonu olmayan "karışık sular" bölgesine düşmektedir. Seferihisar jeotermal alanından alınmış olan sıcak sular (2SB-41, 41, 43, 44) deniz suyu katkısından dolayı diyagramda 7. Bölgeye (Karbonat olmayan alkalinitesi % 50'den fazla sular) düşmektedir (Şekil 3.18). Schoeller yarı logaritmik diyagramında (Şekil 3.15) soğuk sular birbirleri ile paralel doğrular oluşturmakta olup, benzer kökenlidir. Jeotermal sular ise deniz suyuna benzer pikler verdiği için deniz suyu katkısı olduğu düşünülmektedir.

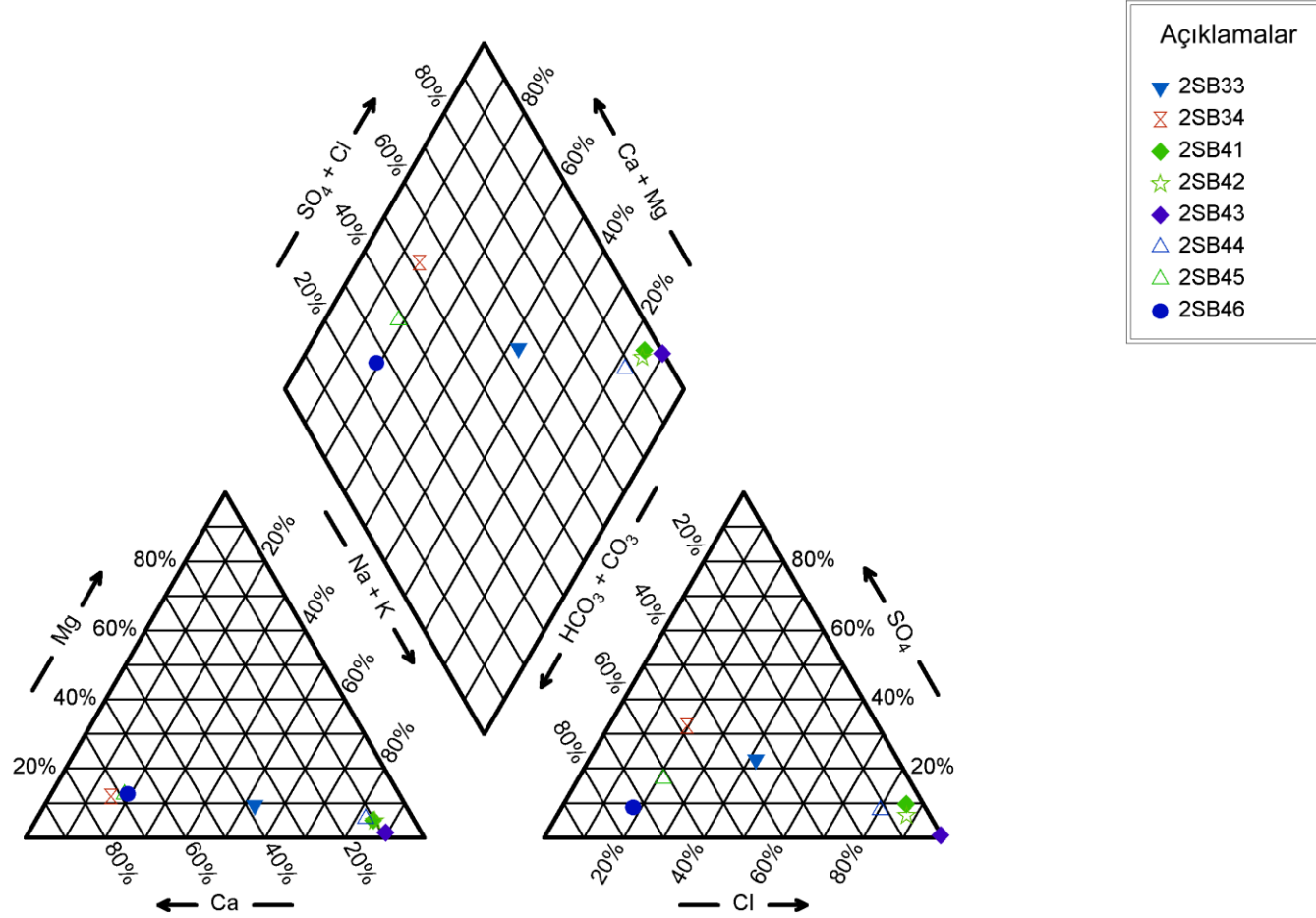
Tablo 3.14'deki iz element derişimlerine göre Seferihisar bölgesinden alınan soğuk sulardan 2SB-33 numaralı örnek dışında TSE 266 (2005) ve WHO (2008)'in içme suyu standartları limit değerlerini aşan değerlere rastlanmamıştır. 2SB-33 numaralı örnekte de bor değeri 1,3 mg/L değerine sahiptir ve standartları aşmaktadır. Sıcak sulara baktığımızda (2SB-41, 42, 43, 44) arsenik, bor, demir ve mangan değerleri standartların üzerinde çıkmaktadır.

Kimyasal bileşimi kontrol eden doygunluklara bakıldığında (Tablo 3.16), soğuk sulardan 2SB-33 ve 2SB-45'in  $\text{Ca}^{+2}$  karbonatlara, 2SB-33'ün  $\text{Mg}^{+2}$  karbonatlara, Fe



oksitlere, 2SB-34 ve 2SB-46'nın Al silikatlara, tüm örneklerin Si oksitlere doymu olduğu tespit edilmiştir. Sıcak su örneklerinde ise; 2SB-43 hariç  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  karbonatlara, tüm örneklerin Fe ve Si oksitlere, 2SB-43 hariç Ba,  $SO_4^{-2}$  ve  $Mg^{+2}$  silikata doymu olduğu görülmektedir.

Seferihisar Jeotermal Alanı Örnekleri



Şekil 3.18 Seferihisar jeotermal alanına ait Piper diyagramı.

Tablo 3.16 Seferihisar bölgesine ait su örneklerinin mineral doygunluk değerleri.

2SB-33	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,19	-8,12	-8,31	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	0,54	-9,51	-10,05	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,33	-8,12	-8,45	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,11	-3,5	-3,61	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,13	-16,85	-16,97	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-1,2	-5,78	-4,58	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Quartz	0,55	-3,5	-4,06	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-2,78	19,2	21,98	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
2SB-34	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,18	-8,47	-8,29	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,06	-10,16	-10,1	BaSO <sub>4</sub>
	Ca-Montmorillonite	4,3	12,86	8,56	Ca <sub>0,165</sub> Al <sub>2,33</sub> Si <sub>3,67</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
	Calcite	-0,03	-8,47	-8,44	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0	-3,64	-3,64	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,82	-17,73	-16,91	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	1,26	19,35	18,1	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Gibbsite	1,89	10,44	8,55	Al(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	7,15	19,35	12,21	FeOOH
	Gypsum	-1,39	-5,97	-4,58	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Hematite	15,71	38,71	22,99	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Hydroxyapatite	1,96	-38,01	-39,97	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> OH
	Illite	3,03	15,72	12,68	K <sub>0,6</sub> Mg <sub>0,25</sub> Al <sub>2,3</sub> Si <sub>3,5</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
	K-feldspar	0,15	2,47	2,31	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	K-mica	9,5	23,34	13,84	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
	Kaolinite	5,48	13,6	8,11	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
	Quartz	0,45	-3,64	-4,1	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-4,65	17,64	22,29	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
2SB-41	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,12	-8,84	-8,71	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	0,24	-9,34	-9,57	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	-0,01	-8,84	-8,83	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,16	-2,97	-3,13	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,08	-18,02	-17,94	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	-0,19	16,86	17,04	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	5,71	16,86	11,15	FeOOH
	Gypsum	-1,02	-5,7	-4,68	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Hematite	16,19	33,72	17,53	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Quartz	0,48	-2,97	-3,44	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-1,08	16,16	17,24	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
2SB-42	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,09	-8,52	-8,62	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	0,15	-9,46	-9,62	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,22	-8,52	-8,74	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,33	-2,87	-3,2	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	0,41	-17,37	-17,78	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	0,33	17,53	17,2	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	6,23	17,53	11,31	FeOOH
	Gypsum	-1,2	-5,85	-4,65	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Hematite	16,73	35,07	18,34	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Quartz	0,67	-2,87	-3,54	SiO <sub>2</sub>
	Talc	0,42	18,41	17,99	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

SI : Saturation Index  
IAP : Ion Activity Product  
KT : Solubility Constant

2SB-43	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,34	-9,09	-8,75	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,08	-9,64	-9,56	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	-0,23	-9,09	-8,86	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,56	-2,54	-3,1	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,95	-18,94	-17,99	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	-0,07	16,92	16,99	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	5,83	16,93	11,1	FeOOH
	Gypsum	-1,47	-6,16	-4,69	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Hematite	16,61	33,86	17,25	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Quartz	0,87	-2,54	-3,41	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-1,19	15,8	16,99	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
2SB-44	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,55	-8,04	-8,59	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	0,21	-9,42	-9,64	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,67	-8,04	-8,71	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,29	-2,95	-3,23	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	1,3	-16,43	-17,72	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Gypsum	-1,24	-5,88	-4,64	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Quartz	0,63	-2,95	-3,58	SiO <sub>2</sub>
	Talc	2,5	20,78	18,28	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
2SB-45	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	0,07	-8,23	-8,3	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,18	-10,26	-10,08	BaSO <sub>4</sub>
	Calcite	0,21	-8,23	-8,45	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,29	-3,33	-3,63	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-0,27	-17,21	-16,94	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	1,09	19,15	18,06	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	6,98	19,15	12,17	FeOOH
	Gypsum	-1,65	-6,24	-4,58	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Hematite	15,47	38,3	22,83	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Quartz	0,74	-3,33	-4,08	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-2,45	19,68	22,13	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
2SB-46	Phase	SI	log IAP	log KT	
	Aragonite	-0,35	-8,65	-8,3	CaCO <sub>3</sub>
	Barite	-0,98	-11,04	-10,07	BaSO <sub>4</sub>
	Ca-Montmorillonite	4,58	12,94	8,36	Ca <sub>0,165</sub> Al <sub>2,33</sub> Si <sub>3,67</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
	Calcite	-0,2	-8,65	-8,45	CaCO <sub>3</sub>
	Chalcedony	0,17	-3,45	-3,62	SiO <sub>2</sub>
	Dolomite	-1,08	-18,04	-16,96	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
	Fe(OH) <sub>3</sub> (a)	2,37	20,42	18,05	Fe(OH) <sub>3</sub>
	Gibbsite	1,72	10,15	8,44	Al(OH) <sub>3</sub>
	Goethite	8,26	20,42	12,16	FeOOH
	Gypsum	-2,52	-7,11	-4,58	CaSO <sub>4</sub> :2H <sub>2</sub> O
	Hematite	18,09	40,84	22,75	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Illite	3,5	15,97	12,47	K <sub>0,6</sub> Mg <sub>0,25</sub> Al <sub>2,3</sub> Si <sub>3,5</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
	K-feldspar	0,76	3,02	2,26	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	K-mica	9,77	23,32	13,55	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
	Kaolinite	5,47	13,41	7,94	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>
	Quartz	0,62	-3,45	-4,07	SiO <sub>2</sub>
	Talc	-2,67	19,39	22,06	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>

SI : Saturation Index  
IAP : Ion Activity Product  
KT : Solubility Constant

### 3.6.4 Hidrojeokimyasal Kavramsal model ve Değerlendirmeler

Hidrojeokimyasal çalışmalara göre çalışma alanında Balçova ile Seferihisar bölgeleri arasında kalan yüksek kotlu beslenme alanındaki yağmur suları, yeraltı suyuna karışıp bu alandaki soğuk su akiferlerini meydana getirirler. Bu bölgede, soğuk su akiferi Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> su tipindedir.

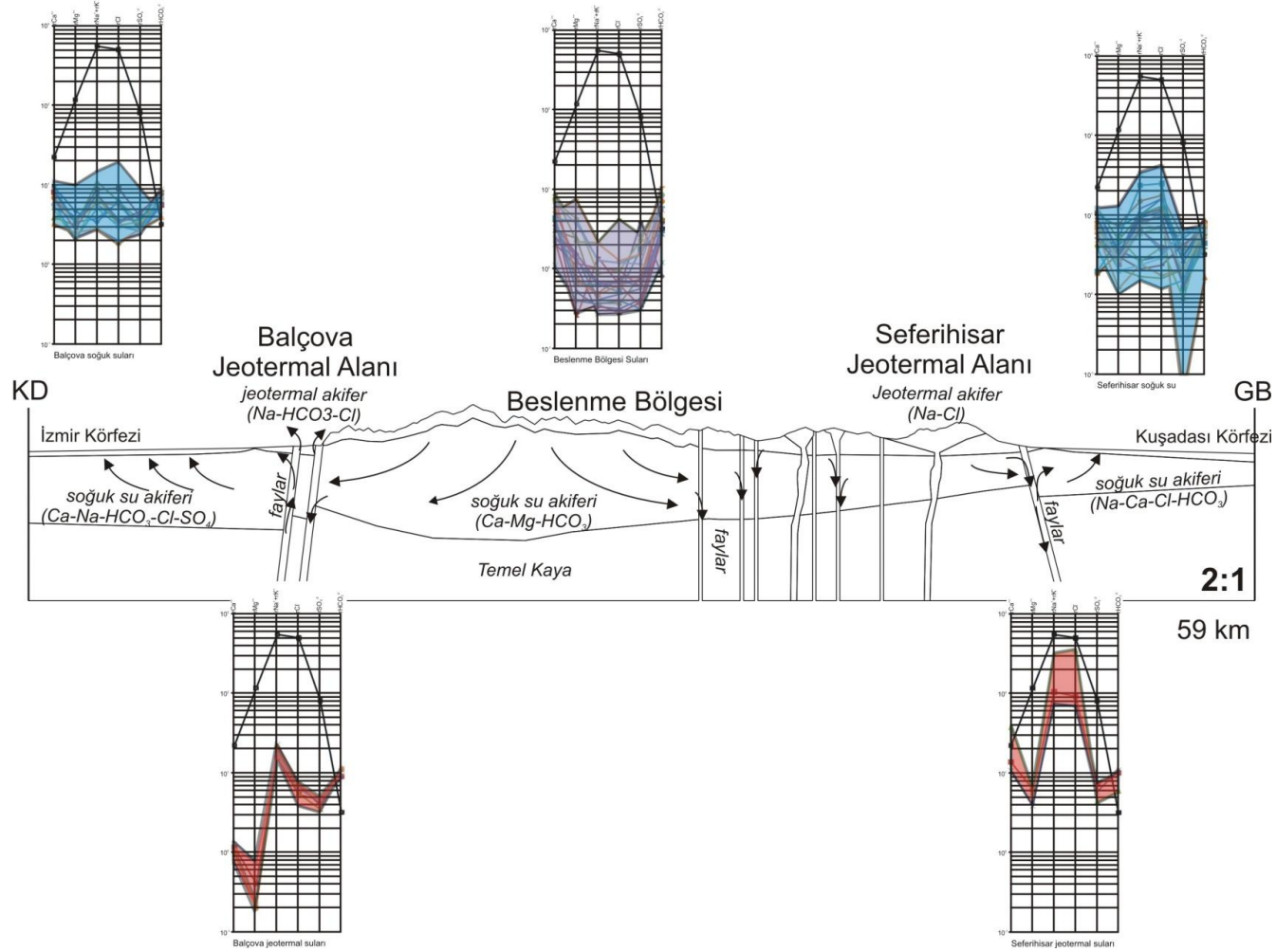
Beslenme alanının kuzey kesiminde kalan Balçova bölgesinde; gerek yağmur sularının gerekse de beslenme bölgesindeki mevcut soğuk su akiferinin yüksek açılı faylar boyunca derinlere ilerlemesi Na-HCO<sub>3</sub>-Cl su tipindeki jeotermal suların oluşumunu sağlamaktadır. Şekil 3.19'dan da görüleceği üzere Schoeller diyagramına göre bu jeotermal alandaki termal sular deniz suyundan farklı bir pike sahip olup deniz suyu katkısı içermez. Balçova alüvyonel bölgesindeki soğuk sular ise Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-Cl-SO<sub>4</sub> karışık su tipindedir. Bu soğuk sularda da deniz suyu katkısı bulunmamaktadır.

Beslenme alanının güney kesiminde kalan Seferihisar bölgesinde mevcut soğuk yeraltı suyu ve yağışlar, yüksek açılı faylar boyunca derine inerek ısınıp yine faylar boyunca yüzeye ulaştırılır. Ancak bu bölgede denizden karaya doğru uzanan faylar boyunca deniz suyu katkısı meydana gelmektedir. Bu bakımdan Seferihisar jeotermal alanındaki sular Na-Cl su tipinde olup Schoeller yarı logaritmik diyagramında deniz suyu ile benzer pikler verirler. Aynı durum Seferihisar alüvyonel akiferinde de mevcut olup sular Na-Ca-Cl-HCO<sub>3</sub> su tipinde ve yine Schoeller yarı logaritmik diyagramında deniz suyu ile benzer pikler verirler.

#### 3.6.4.1 Doğanbey Bölgesi

Bu bölgedeki (Şekil 3.6) yeraltı sularının kimyasal bileşimi yerel tatlı sular ile deniz suyunun farklı oranlarda karışması tarafından kontrol edilir. Değişik karışım oranları, çeşitli yapısal ve termal durumlarla tanımlanır.

Tatlı su yaygın olarak Ca-HCO<sub>3</sub> su tipinde iken bazı kesimlerde su tipi Na-Cl'dür. Yeraltı suyu akımı, volkanik bileşenleri de içeren filiş içerisinde yaygındır ve göreceli olarak yüksek Na/Cl oranına sahiptir.



Şekil 3.19 Hidrojeo kimyasal kavramsal model.

Doğanbey bölgesinde hiçbir termal, kaynak ve kuyulardaki suların Cl<sup>-</sup> değerleri deniz suyunun Cl<sup>-</sup> miktarını geçmemektedir. Cl<sup>-</sup> değerleri 3425-17100 mg/L arasında değişmektedir. pH değerleri göreceli olarak düşük olup (5.8-6.9) sıcaklıklar 50-82°C arasında değişiklik göstermektedir. Çalışma alanındaki termal tuzlu sular çok miktardaki yüksek HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> miktarları; ani Ca<sup>+2</sup> yükselmeleri ve aşırı miktardaki SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> düşüşleri ile tanımlanırlar. Na/Cl oranları deniz suyuna yakın değerlerde olup (0.86), volkanik kayalarla temas ettiğinin göstergesi olarak 1'den büyük olmaktadır. Mg/Ca oranı ise genellikle <1'dir (0.5-0.6). Cl/Br oranları deniz değerine yakındır.

Deniz suyu dışında bölgede bilinen başka hiçbir tuzlu su kaynağı yoktur. Çok tuzlu yeraltı suyu GB-KD yönlü faylar boyunca yaklaşık 10 km kadar içeriye girebilmektedir. Toplam çözünmüş madde miktarları Karakoç'ta 3 g/l iken fayların kesişim yerinde (Tuzla ve Cumalı) 17-18 g/l ye kadar yükselmektedir. Doğanbey Burnu Kaynağı 62°C ile her zaman denizi ısıtmakta olup 29 g/l toplam çözünmüş madde miktarına sahiptir. Sokulan deniz suyunun kimyasal içeriği, akım yollarındaki termal koşullardan, yeraltı suyu ve çevre kayalarla olan teması sonucunda sıcaklık ve mineral içeriği bakımından etkilenmiştir.

Doğanbey bölgesindeki, 66-67°C sıcaklığındaki termal sular (Tablo 3.7: KC-35, 36 ve 37), deniz suyu ve yerel meteorik suların karışımından oluşmaktadır. Tuzla ve Cumalı kaynakları, fayların kesişim yerlerinde, kilometrelerce içeride yer almaktadırlar. Kaynaklardaki Cl<sup>-</sup> derişimi 12388-13140 mg/L olup deniz suyu/tatlı su oranı % 80'lerden fazladır. Tuzla sıcak tuzlu suyunun hidrokimyasal kökeni Doğanbey alanına benzemesine rağmen tuzluluk miktarı daha yüksektir. Bu durum, su kaynaklarının ana fayların kesişim yerlerine olan yakınlığıyla ilgili olup deniz suyu girişimini arttırmaktadır.

#### 3.6.4.2 Ürkmez-Karakoç Bölgesi

Ürkmez-Karakoç sularının (Şekil 3.6) tuzluluğu, B-D faylarını besleyen ve kesen Doğanbey fayından karaya doğru giren deniz suyuna girişimine bağlı görülmektedir. Uç bileşenleri, Doğanbey sıcak su kaynağı (Tablo 3.7) ile tatlı sular (SB-46, Tablo

3.7) karışarak Karakoç termal kaynaklarının (SB-44, Tablo 3.7) kimyasına benzemektedir. Doğuya doğru, fay kapanıp deniz suyu girişini engellemekte ve bu yüzden de yerel yeraltı suyunun tuzlanmasını önlemektedir. Çalışma alanının güney sınırı boyunca, deniz suyu geniş sahil boyunca çok fazla iç kesimlere sızamaz, sadece faylar ve çatlaklar gibi tektonik hatları kullanarak girişim yapmaktadır.

#### 3.6.4.3 Seferihisar Barajı ve Dağlık Kesim

Seferihisar barajı, çalışma alanının en yüksek kesiminde yer almaktadır. Faylı bölge dışında, sular tipik volkanik arazi kökenli olup ( $\text{Na/Cl}$  ve  $\text{Mg/Ca} > 1$ ) soğuk ( $< 20^\circ\text{C}$ ) ve tatlıdır ( $\text{Cl}^-$  derişimleri 10-45 mg/L arasında değişir). Fayların yayılmasıyla, yüksek sıcaklıktaki sular ( $> 40^\circ\text{C}$ ) ve  $\text{HCO}_3^-$  bileşimindeki sular ile hidrotermalleşme çok belirgindir. İyonik oranlar soğuk suların oranlarına benzemektedir. Burada denizel veya başka kaynaktan olabilecek herhangi bir tuzluluk girdisi için kimyasal kanıt bulunmamaktadır.

#### 3.6.4.4 Balçova Bölgesi

Bu bölgede yeraltı suyu alüvyal akiferde ilerler ve 350 mg/L nin altındaki  $\text{Cl}^-$  derişimi ile tanımlanır (Tablo 3.7). Yüksek tuzluluktaki istisnai derişimler (örn. 1350 mg/L,  $\text{Cl}^-$ ) kıyı kesimine yakın yerlerde görülmektedir.

Bu çalışma, ölçülmüş jeotermal kuyulardaki sıcaklıklar ( $104-137^\circ\text{C}$ ) ile soğuk su ( $< 10^\circ\text{C}$ ) arasında çok büyük sıcaklık dalgalanmaları olduğunu açığa çıkartmıştır. Tüm örneklerde,  $\text{Na/Cl}$  oran değerleri 1'den büyük ve yüksek  $\text{HCO}_3^-$  derişimine sahip suların volkanik birimlerin içinden veya filiş, alüvyon gibi volkanik malzeme içeren litolojilerden geçtiğine dair hidrokimyasal izler taşımaktadır. Tersinir model, bu bölgedeki suların tuzluluğunun doğrudan Balçova deniz suyu ve tatlı sularının karışımı ile ilgili olmadığını ama akım yolları boyunca çevre kayalarla etkileşimleri ile ilgili olduğunu doğrulamıştır. Bu yüzden, Agamemnon sıcak suları KC-12 ve BC-11 örneklerini de kapsayan tersinir model uygulanması ile kolayca yeniden yapılandırılmıştır. Hesaplanan, kalsitin mol transferi çok düşük (eksi) değerlere sahiptir. Bu yüzden alanda, hiçbir traverten çökeliği görülmemektedir.



Yılmaz (1989) ve Aksoy (2001)'e göre Balçova jeotermal alanı, deniz seviyesinin 500 m yukarısından süzülerek hazne kayaya yerleşen meteorik sularla beslenmektedir. Tatlı suların izotop yükseklik eğilimi çalışma alanında birçok farklı hidrolojik sistemin var olduğunu göstermektedir. Balçova alüvyonu 100-500 metrelerden beslenirken Balçova derin kuyularındaki örneklere göre termal sular 900 m yükseklikteki Seferihisar horstundan beslenmektedir. Buna göre, horst bölgesinde topoğrafya ile kontrol edilen sular, yüzeye çıkmadan önce derinlere inerek ısınırlar. Meteorik suyun yükselen akımı, termal su örneklerindeki su-kayaç ilişkisini gösteren  $\delta^{18}\text{O}$  (‰) değerlerinin pozitif yönde ötelenmesi ile desteklenmektedir. Ayrıntılar Bölüm 3.8'de verilmiştir. Bu bulgular önceki çalışmalar ile de örtüşmektedirler (Yılmaz, 1989; Filiz ve diğer., 1993; Aksoy, 2001).

Bölgedeki farklı alanları özetlemek gerekirse; çalışma alanında, değişik kimyalarda ve izotop değerlerinde çeşitli yeraltı suyu kütleleri mevcuttur. Balçova'da termal sular ısıtılmış meteorik sular iken, güneyde Seferihisar'da (Doğanbey) çok güçlü bir deniz suyu katkısı bulunmaktadır. Geniş traverten yayılımı sadece kalsit çökmesi olan Doğanbey alanı boyunca görülmektedir.

Hem sıcaklık hem de hidrokimyasal veriler, sıcak suların yüzeyden derine inmiş, derin dolaşimli sular olduğunu açıkça göstermektedir. Boşalım ise ana fay hatları boyunca olmaktadır. Yükseklerden gelen bölgesel akış bu jeotermal sistemin jeotermal davranışını belirlemektedir. Balçova'da deniz suyunun yeraltı suyuna karışması, beslenme alanından sürekli bir tatlı su girdisi olduğu için azdır. Diğer taraftan, Ürkmez'de, hidrotermal suyun ana bileşeni, faylar boyunca kıyıda iç kesimlere doğru 10 km girişim yapabilen deniz suyudur.

### **3.7 Jeotermometre Uygulamaları**

Jeotermometreler akiferdeki akışkanın sıcaklığının tahmininde kullanılmaktadır. Bu nedenle jeotermometreler yeni sıcak ve mineralli su akiferlerinin araştırılmasında ve üretim yapılan sistemlerin takip edilmesinde büyük yararlar sağlamaktadırlar. Bu akiferlerin araştırılmasında, jeokimyanın en önemli uygulamalarından birisi kimyasal

jeotermometreler kullanılarak akışkanın yeraltındaki sıcaklığının tahmin edilmesidir. Kimyasal jeotermometreler sıcaklığa bağlı su-kayaç dengesine dayalıdır. Jeotermometreler su kayaç ilişkisindeki son denge sıcaklığını vermektedir (Nicholson, 1993). Bu nedenle jeotermometreler arasındaki farklılıklar denge reaksiyon hızlarındaki farklılıkların bir fonksiyonudur. Her bir jeotermometre için denge sıcaklığı farklıdır.

Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklığının tahmin edilmesi sıcak ve mineralli 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.

### ***3.7.1. Kimyasal Jeotermometreler***

Sıcak ve mineralli 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. Kimyasal jeotermometreler kalitatif ve kantitatif olmak üzere ikiye ayrılırlar.

#### ***3.7.1.1 Kalitatif Jeotermometreler***

Kalitatif jeotermometrelerin çoğunluğu uçucu elementlerin sıcak akışkanlarda ve zeminde göreceli miktarlarına dağılmalarına veya zemin gazlarındaki oranlarına dayanmaktadır (Fournier, 1977a). Sıcak akışkanlardaki bazı element, bileşik ve oranlar akifer sıcaklığı hakkında bilgi verebilirler. Tonani (1970) yüzeye yakın kesimlerde B, NH<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, Hg ve HS zenginleşmesinin sıcak akışkanın derinlerde kaynamasından kaynaklanabileceğini belirtir. Mahon (1970) yüksek Cl/F ve Cl/SO<sub>4</sub> oranlarının yüksek akifer sıcaklıklarına karşılık geldiğini savunmuştur. Fournier ve Truesdell (1970) Cl/(HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>) oranının farklı akifer sularının ayırtlanmasında belirteç olabileceğini işaret ederler. Bu oranın yüksekliği suların daha sıcak akiferlerden gelebileceğini gösterir. İz elementlerin de çok yüksek oranlarda

bulunmaları yüksek akifer sıcaklığına işaret edebilmektedir. Brondi ve diğer. (1973) yüksek Li değerlerinin yüksek yeraltı suyu sıcaklıklarını gösterdiğini belirtir. Yüksek SiO<sub>2</sub> ve Na/K oranının yüksekliği yüksek akifer sıcaklığına karşılık gelmektedir. Ayrıca, traverten çökelişi ise düşük akifer sıcaklığına işaret eder.

### *3.7.1.2 Kantitatif Jeotermometreler*

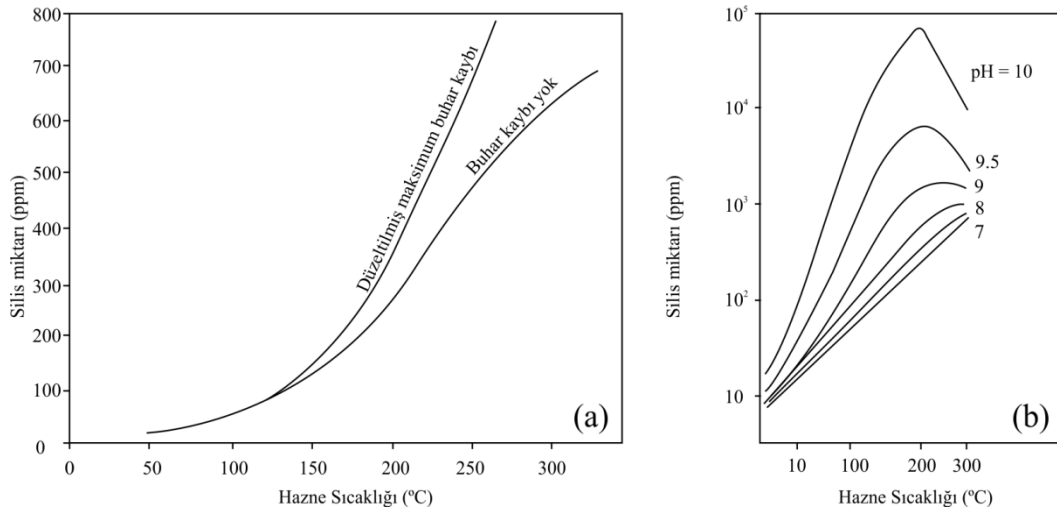
Kantitatif jeotermometre teknikleri yüzeyde ölçülen sıcak suların kimyasal içeriklerinin derinde maksimum sıcaklıkla kontrol edildiği esasına dayanır (Pope ve diğer., 1987). Kantitatif kimyasal jeotermometreler çözünürlüğe ve iyon değişimine dayalı olarak geliştirilmişlerdir.

### *3.7.2. Çözünürlüğe Dayalı Jeotermometreler*

#### *3.7.2.1 Silis Jeotermometreleri*

Minerallerin çözünürlükleri sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olarak değişir. Ancak silis dışında minerallerin çözünürlükleri jeotermometre olarak kullanılmaz. Doğal sularda yer alan silis molekül oluşumu veya uçucu maddelerin ortamdan ayrılması gibi nedenlerden etkilenmez (Fournier, 1977a).

Silis içeriği ve akifer sıcaklığı arasındaki ilişki Mahon (1966) tarafından saptanmıştır. Fournier ve Rowe (1966) tarafından geliştirilen kuvarsın çözünürlüğüne dayalı silis jeotermometreleri akifer sıcaklığının saptanmasında geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Kaynak veya kuyulardan elde edilen sıcak ve mineralli suyun silis içeriği akiferdeki su-mineral denge sıcaklığı ile karşılaştırılabilir (Şekil 3.20). Eğer sıcak akışkan örneklenmeden önce kaynarak soğumuş ise B eğrisi, kondaktif olarak soğumuş ise A eğrisi kullanılır (Fournier, 1977b).



Şekil 3.20 Sıcaklık (a) ve pH değerine (b) bağlı olarak kuvarşın çözünürlüğü (Fournier ve Rowe, 1966).

Çalışma alanında, hem Seferihisar hem de Balçova jeotermal sularından alınan örneklerin silis jeotermometreleri (Tablo 3.17) hesaplanmış ve Tablo 3.18'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında 1, 2 ve 3 numaralı jeotermometreler, kuyu başında ölçülen sıcaklık değerlerinden düşük sıcaklıklar vermişlerdir. O yüzden dikkate alınmamıştır. Kuvars jeotermometreleri hepsi birlikte irdelendiğinde Seferihisar Jeotermal alanının hazne kaya sıcaklığının 110 – 180 °C arasında değiştiği söylenebilir.

Tablo 3.17 Bu çalışmada uygulanan silis jeotermometre bağıntıları (tüm derişimler mg/L, \*: mol/L)

<b>Jeotermometre Adı</b>	<b>Bağıntı</b>	<b>Kaynak</b>	
1-SiO <sub>2</sub> (Amorf silis)	$t=731 / (4,52 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier, 1977a	0-250
2-SiO <sub>2</sub> (Alfa Kristobalit)	$t=1000 / (4,78 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier, 1977a	0-250
3-SiO <sub>2</sub> (B Kristobalit)	$t=781 / (4,51 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier, 1977a	0-250
4-SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	$t=1032 / (4,69 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier, 1977a	0-250
5-SiO <sub>2</sub> (Kuars)	$t=1309 / (5,19 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier, 1977a	0-250
6-SiO <sub>2</sub> (Buhar kaybı)	$t=1522 / (5,75 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier, 1977a	0-250
7-SiO <sub>2</sub> (Kalsedon, Kondaktif soğuma)	$t=1112 / (4,91 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Amorsson, 1983	25-180
8-SiO <sub>2</sub> (Kuars, buhar kaybı)	$t=1264 / (5,31 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Amorsson, 1983	100-180
9-SiO <sub>2</sub> (Kuars, buhar kaybı)	$t=1021 / (4,69 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Amorsson, 1983	25-180
10-SiO <sub>2</sub> (Kuars, buhar kaybı)	$t=1164 / (4,9 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Amorsson, 1983	180-300
11-SiO <sub>2</sub> (Kuars, buhar kaybı)	$t=1498 / (5,7 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Amorsson, 1983	180-300
12-SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)*	$t=1101 / (0,11 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Amorsson, 1983	25-180

Tablo 3.18 Bu çalışmada uygulanan silis jeotermometre sonuçları (tüm derişimler mg/L, \*=mol/L)

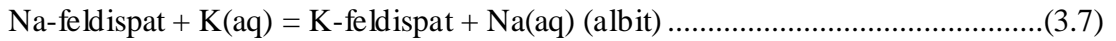
JEOTERMOMETRE Sıcaklık (°C)	Cumalı KC-36	Tuzla	G2 kuyusu	Cumalı Kaplıcası	BD-2	BD-4	BD-5	B-4	B-5	B-10	B-11	B-13
1-SiO <sub>2</sub> (Amorf Silis) Fournier, 1977	55,47	20,83	34,79	43,23	50,92	55,18	43,06	30,79	23,84	32,66	6,81	-11,15
2-SiO <sub>2</sub> (Amorf Silis) Fournier, 1977	129,35	90,94	106,52	115,88	124,35	129,04	115,69	102,07	94,31	104,16	75,15	54,72
3-SiO <sub>2</sub> (Amorf Silis) Fournier, 1977	79,53	42,20	57,24	66,34	74,62	79,22	66,16	52,93	45,45	54,95	27,11	7,78
4-SiO <sub>2</sub> (Kalsedon) Fournier, 1977	157,84	115,32	132,53	142,90	152,29	157,50	142,68	127,61	119,04	129,92	97,93	75,49
5-SiO <sub>2</sub> (Kuvars) Fournier, 1977	179,09	141,54	156,89	166,04	174,26	178,79	165,85	152,53	144,88	154,58	125,81	105,17
6-SiO <sub>2</sub> (Kuvars-buhar kaybı) Fournier, 1977	167,44	136,37	149,17	156,73	163,49	167,19	156,58	145,55	139,16	147,25	123,09	105,45
7-SiO <sub>2</sub> (Kalsedon, kondaktif soğuma) Arnorsson ve diğer., 1983	152,17	113,42	129,18	138,63	147,15	151,86	138,43	124,69	116,84	126,80	97,38	76,53
8-SiO <sub>2</sub> (Kuvars-buhar kaybı) Arnorsson ve diğer., 1983	146,16	112,62	126,36	134,53	141,86	145,89	134,36	122,46	115,61	124,29	98,50	79,92
9-SiO <sub>2</sub> (Kuvars, buhar kaybı) Arnorsson ve diğer., 1983	153,25	111,18	128,21	138,46	147,76	152,91	138,25	123,34	114,86	125,62	93,98	71,78
10-SiO <sub>2</sub> (Kuvars-buhar kaybı) Arnorsson ve diğer., 1983	173,77	132,91	149,53	159,49	168,48	173,44	159,28	144,79	136,51	147,01	116,01	94,04
11-SiO <sub>2</sub> (Kuvars-buhar kaybı) * Arnorsson ve diğer., 1983	166,86	135,41	148,36	156,02	162,86	166,61	155,86	144,69	138,24	146,41	121,99	104,18

### 3.7.3. İyon Değişimine Dayalı Jeotermometreler

İyon değişimi ve bozuşma reaksiyonlarında denge sabitleri sıcaklığa bağlıdır. Bu türdeki reaksiyonlarda çözülmüş katı madde oranları değişen sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir (Fournier, 1977a). Sıcaklığa bağlı olarak gelişen su-mineral dengeleri kullanılarak akifer sıcaklığının tahminine yönelik çeşitli jeotermometreler geliştirilmiştir.

#### 3.7.3.1 Na/K Jeotermometreleri

Na-K derişimleri ve oranları genellikle Na-Plajyoklas ve K-Feldispat arasında Na-K iyonlarının değişimi sonucunda belirlenir. Yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde bir arada yer alan alkali feldispatlardaki iyon değişimi aşağıdaki reaksiyona göredir (Nicholson, 1993).



Bağıntının denge sabiti aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$K_a = (a_{\text{K-feldispat}})(a_{\text{Na}^+}) / (a_{\text{Na-feldispat}})(a_{\text{K}^+}) \dots\dots\dots(3.8)$$

Eşitlik 3.8'de (a) iyon etkinliğini tanımlar. Katıların tanım gereği iyon etkinlikleri bire eşittir. Seyreltik çözeltilerde  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  iyon etkinlikleri tahlil sonucu saptanan mol/L değerine eşit kabul edilebilir. Bu durumda yukarıdaki eşitlik 3.8;

$$K_a = \text{Na/K (mol/L)} \dots\dots\dots(3.9)$$

eşitlik (3.9) şeklinde yazılır.. Ancak sıcaklığın yükselmesi  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  iyonlarının etkinliklerini değiştirir.  $\log (\text{Na/K}) - 1/T$  değerleri grafikte yaklaşık bir doğru vermektedir (Şahinci, 1991). Bu reaksiyondan yararlanarak çeşitli araştırmacılar tarafından farklı Na/K jeotermometre bağıntıları geliştirilmiştir (Tablo 3.19).

Na/K oranına bağlı olarak elde edilen jeotermometreler genellikle akifer sıcaklığı 200°C'nin üzerinde olan sahaların incelenmesinde faydalıdır. Genellikle 180-350°C

arasında olumlu sonuçlar veren Na/K jeotermometreleri özellikle 120°C altında yanlış sonuçlar verebilmektedir. Bu düşük sıcaklıklarda Na<sup>+</sup> ve K<sup>+</sup> iyonları killi minerallerden etkilenerek iyon değişimi reaksiyonlarını kontrol edemezler. Buna bağlı olarak jeotermometre hesaplamaları sonucunda gerçek akifer sıcaklığının çok üzerinde değerler elde edilir. Tablo 3.20’de Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları verilmiştir. Suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumlarına göre 110°C’den 295°C’ye ulaşan çok çeşitli akifer sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3.19 Bu çalışmada uygulanan Na/K kimyasal jeotermometre bağıntıları (tüm derişimler mg/L, \* : mol/L).

Jeotermometre Adı	Bağıntı	Kaynak	Geçerli Sıcaklı Aralığı
13-Na/K	$t=933/(0,933 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Arnorsson, 1983	25-250
14-Na/K	$t=1319/(1,699 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Arnorsson, 1983	250-350
15-Na/K	$t=777/(0,70 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Fournier ve Truesdell, 1973	100-275
16-Na/K	$t=855,6/(0,857 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Truesdell, 1976	100-275
17-Na/K	$t=1217/(1,483 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Fournier, 1979	100-300
18-Na/K*	$t=908/(0,692 - \log \text{Na/K}) - 273,15$	Arnorsson, 1983	25-250
19-Na/K	$t=1180/(1,32 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Fournier ve Potter, 1979	
20-Na/K	$t=883/(0,78 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Tonani, 1980	25-250
21-Na/K	$t=1178/(1,47 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Nieva ve Nieva, 1987	
22-Na/K	$t=1390/(1,75 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Giggenbach, 1988	

### 3.7.3.2 Na/Li, K/Mg, Li/Mg, Li Jeotermometreleri

Na/Li jeotermometrelerinde sıcak ve mineralli akışkanların kimyasal tahlillerinde bulunan iyon değerleri yerine bu iyonların iyon etkinlikleri kullanılır ve hesaplanan molar derişim değerleri dikkate alınır. Ellis ve Wilson (1960) ve Koga (1970) Na/Li oranının düşüklüğü yüksek entalpili jeotermal alanlara karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Foulliac ve Michard (1981) jeotermal alanlarda Na ve Li içeriklerinin sıcaklıkla değişimi ve su-kayaç reaksiyonlarını incelemiş ve sıcak akışkandaki Cl<sup>-</sup> içeriğine bağlı olarak Na/Li jeotermometreleri geliştirmişlerdir (Tablo 3.21). Lityum minerallerinin doğada az rastlanır olmasından dolayı lityumun denge reaksiyonu sonucu sıcak akışkana girmesi genelde beklenemez. Ancak sıcak akışkandaki lityum zenginleşmesi iyon değişimi ile açıklanabilir. Minissale ve Duchi (1988) karbonat kayaçların oluşturduğu jeotermal sistemlerde Na/Li jeotermometrelerinin uygun olduklarını belirtirler.



Tablo 3.20 Bu çalışmada uygulanan Na/K kimyasal jeotermometre sonuçları (tüm derişimler mg/L, \*: mol/L).

JEOTERMOMETRE Sıcaklık (°C)	Cumalı KC-36	Karakoç KC-37	Doğanbey	Tuzla	SH-1	G2	Cumalı Kap.	BD-2	BD-4	BD-5	B-4	B-5	B-10	B-11	B-13
13-Na/K Amorsson ve diğer., 1983	252,26	189,98	139,98	230,08	208,10	193,27	275,18	185,78	176,22	166,69	176,09	173,14	180,90	173,05	161,21
14-Na/K Amorsson ve diğer., 1983	245,78	201,21	162,97	230,28	214,52	203,65	261,39	198,09	190,92	183,69	190,82	188,59	194,44	188,53	179,49
15-Na/K Fournier ve Truesdell, 1973	230,49	162,98	110,48	206,18	182,38	166,49	255,95	158,52	148,39	138,35	148,25	145,14	153,35	145,05	132,59
16-Na/K Fournier, 1973	230,21	168,21	118,90	208,06	186,18	171,47	253,20	164,05	154,60	145,19	154,47	151,56	159,23	151,47	139,78
17-Na/K Fournier, 1979	250,12	201,39	160,19	233,08	215,86	204,04	267,37	198,01	190,25	182,45	190,14	187,74	194,06	187,66	177,93
18-Na/K* Amorsson ve diğer., 1983	241,18	179,90	130,76	219,35	197,72	183,14	263,76	175,77	166,38	157,01	166,25	163,35	170,98	163,26	151,62
19-Na/K Fournier ve Potter, 1979	274,98	220,25	174,60	255,75	236,41	223,20	294,56	216,48	207,85	199,18	207,73	205,05	212,08	204,97	194,18
20-Na/K Tonani, 1980	240,17	174,32	122,50	216,55	193,33	177,77	264,78	169,94	159,98	150,07	159,84	156,77	164,85	156,68	144,39
21- Na/K Nieva ve Nieva, 1987	236,20	188,53	148,26	219,53	202,67	191,11	253,09	185,22	177,63	170,00	177,53	175,17	181,36	175,10	165,58
22-Na/K Giggenbach, 1988	262,96	217,74	178,83	247,25	231,26	220,22	278,76	214,57	207,28	199,92	207,18	204,91	210,86	204,84	195,65

Na/Li jeotermometreleri gerek sedimanter gerekse de volkanik kayalardan oluşan akiferlerde düşük ve yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde olumlu sonuçlar verebilmektedir. Düşük sıcaklıklarda magnezyum iyon alışverişi hızlı olduğundan K/Mg ve Li/Mg oranları sıcak akışkanın yüzeye çıkmadan önceki son kayaç-su ilişkisini gösterir. Sıcak sularda sıcaklık arttıkça  $Mg^{+2}$  değeri azalacağından yüksek  $Mg^{+2}$  değerleri sıcak ve mineralli suyun yukarı çıkarken yüzeye yakın kesimlerdeki su-kayaç dengesine bağlanabilir. K/Mg jeotermometresi Giggenbach (1988) tarafından önerilmiştir (Tablo 3.21). Bu jeotermometre daha çok  $Na^{+}$  ve  $Ca^{+2}$ 'un yeterince hızlı denge haline ulaşmadığı düşük sıcaklıklı deniz suyu kökenli jeotermal sistemlerde başarılıdır. Tablo 3.22'de Mg/Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 3.21 Bu çalışmada uygulanan Na/Li, K/Mg, Li/Mg ve Li kimyasal jeotermometre bağıntıları (tüm derişimler mg/L, \*: mol/L ).

Jeotermometre Adı	Bağıntı	Kaynak	Geçerli Sıcaklık Aralığı
23-Li *	$t=2258/(1,44-\log Li) - 273,15$	Foulliac ve Michard, 1981	
24-Na/Li * (Cl<11000 ppm)	$t=1000/(\log Na/Li-0,38) - 273,15$	Foulliac ve Michard, 1981	
25-Na/Li * (Cl>11000 ppm)	$t=1195/(\log Na/Li+0,13) - 273,15$	Foulliac ve Michard, 1981	
26-Mg/Li	$t=1900/(4,67+\log \sqrt{Mg/Li}) - 273,15$	Kharaka ve Mariner, 1989	0-350
27-K/Mg	$t=4410/(13,95-\log K^2/Mg) - 273,15$	Giggenbach ve diğer., 1983	
28-Na/Li	$t=1590/(\log Na/Li+0,779) - 273,15$	Kharaka ve Mariner, 1989	0-350
29-Li/Mg	$t=1590/(\log Na/Li+0,779) - 273,15$	Kharaka ve Mariner, 1989	

### 3.7.3.3 Karışım Modelleri

Sıcak ve mineralli suların çoğunluğu yüzeye ulaşırken yüzeye yakın akiferlerdeki soğuk yeraltı sularıyla az veya çok karışırlar. Bu karışım sonucunda mineral dengesi gerçekleşmez veya kısmen olabilir. Bu durum yan kayacın litolojisi, akışkanın debisi, sıcaklığı, yüzeye çıkış hızı gibi etkenlere göre değişebilir. Eğer kimyasal denge durumuna karışım sonrası ulaşırsa jeotermometrelerden elde edilen sonuçlar derindeki akifer sıcaklığı değil, karışımın sıcaklığını verir. Fournier ve Truesdell (1974) karışım sularındaki sıcak su bileşeninin karışım öncesi sıcaklığının tahmininde kullanılan iki model geliştirmişlerdir. 1. Sıcak akışkandaki silis miktarı ve sıcaklık ilişkisine dayalı olan model, 2. Sıcaklık ve klorür içeriğine bağlı olan

Tablo 3.22 Bu çalışmada uygulanan Mg/Na/K kimyasal jeotermometre sonuçları (tüm derişimler mg/L, \*: mol/L).

JEOTERMOMETRE Sıcaklık (°C)	Cumalı KC-36	Karakoç KC-37	Tuzla	SH-1	G2	Cumalı Kap.	BD-2	BD-4	BD-5	B-4	B-5	B-10	B-11	B-13
23-Li *														
Fouillac ve Michard, 1981	268,70	-	251,80	-	258,40	265,25	165,73	166,95	165,59	160,81	160,17	161,29	163,54	132,70
24-Na/Li * (Cl<11000 ppm)														
Fouillac ve Michard, 1981	278,32	-	247,39	-	482,09	283,82	341,97	346,65	347,54	351,80	353,06	349,46	371,87	302,55
25-Na/Li * (Cl>11000 ppm)														
Fouillac ve Michard, 1981	241,20	-	218,40	-	378,40	245,19	286,38	289,62	290,23	293,16	294,03	291,56	306,85	258,66
26-Na/Li														
Kharaka ve Mariner, 1989	182,11	-	168,48	-	256,28	184,45	207,96	209,75	210,09	211,71	212,18	210,82	219,18	192,28
27-K/Mg														
Giggenbach ve diğer., 1983	175,75	115,32	145,19	156,40	109,54	178,13	121,80	119,19	109,48	100,26	94,68	98,09	98,01	67,83
28-Mg/Li														
Kharaka ve Mariner, 1989	151,17	-	117,31	-	138,67	148,30	130,78	132,36	124,27	110,19	104,65	105,41	112,37	67,11
29-Li/Mg														
Kharaka ve Mariner, 1989	115,39	-	144,00	-	124,95	117,49	131,55	130,18	137,36	151,27	157,31	156,45	148,99	209,72

model. Bu çalışmada incelenen sıcak ve mineralli sulara deniz suyu karıştığından sahada yer alan bu tür sulardaki  $Cl^-$  miktarı fazlalığı akifer sıcaklığının kontrolünde değildir. Bu nedenle inceleme alanındaki sıcak suların akifer sıcaklıkları 1. Modele göre incelenmiş ve entalpi-silis karışım modeli üzerinde ayrıntılı olarak durulmuştur.

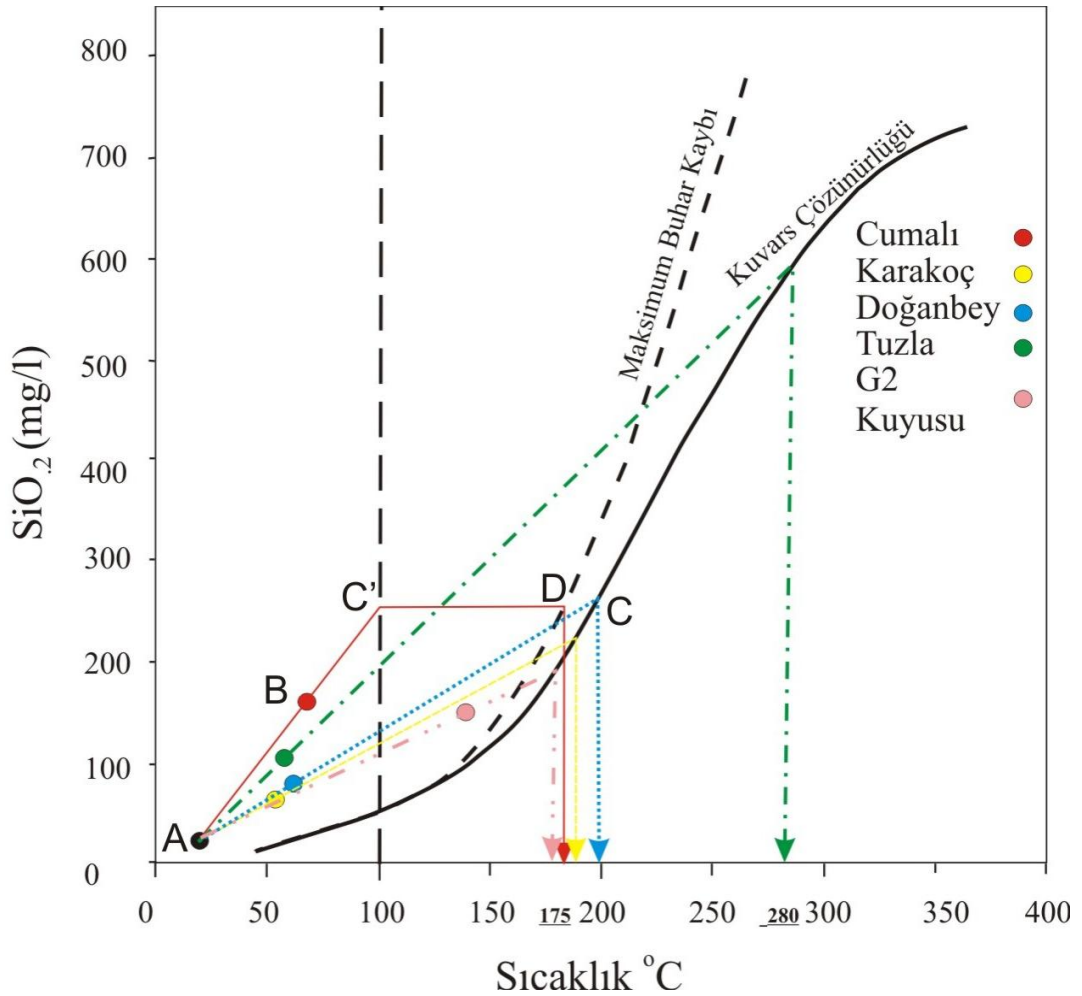
*3.7.3.3.1 Entalpi-Silis Karışım Modeli.* Entalpi-silis diyagramları karışık sıcak ve mineralli suların akifer sıcaklığının sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak tahmininde kullanılan bir tekniktir. Modelin başarılı olabilmesi üç temel varsayıma dayanır. Bunlar; *“karışım sonrası sıcaklık kaybı yoktur, kuvarsın çözünürlüğü akiferdeki akışkanın silis içeriğini kontrol eder ve akışkan akiferden ayrıldıktan ve soğuk su ile karışım gerçekleştikten sonra silis çökelişi veya çözünmesi yoktur”* varsayımlarıdır. İkinci varsayım derinlerdeki jeotermal akışkanın kuvarsa doymuş olmasından dolayı her zaman için geçerlidir. Çok yüksek sıcaklıklı sistemlerde kuvarsın hızla çökmesinden dolayı üçüncü varsayımın yerine gelmemesinden dolayı hatalar olabilmektedir (Nicholson, 1993).

Sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan silis-entalpi karışım modeli diyagramı kullanılarak modeli karışım öncesi buhar ve ısı kaybının olmaması ve karışım öncesi buhar kaybının olması (adyabatik soğuma) durumunda akifer sıcaklığı tahmin edilebilmektedir.

Diyagrama öncelikle yerel meteorik suların silis ve entalpi değerleri A noktası olarak işaretlenir (Şekil 3.21). Diyagrama inceleme alanındaki sıcak suların silis değerleri ve ölçülen sıcaklıkları işaretlenerek elde edilen noktalar (B noktası) A noktası ile birleştirilerek bu doğru uzatılır ve kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktadan (C noktası) yatay eksene dikme inilmek suretiyle dikmenin yatay eksenini kestiği nokta olan akifer kaya sıcaklıkları elde edilir. C noktası karışım suyundaki sıcak ve mineralli suyun karışımdan önceki entalpi ve silis değerini vermektedir. Buraya kadar anlatılan işlem karışımdan önce sıcaklık-buhar kaybının olmadığı koşulları yansıtır. Karışımdan önce buhar kaybı (adyabatik soğuma) durumunda ise diyagramda kesikli çizgi ile gösterilen maksimum buhar kaybı eğrisi dikkate alınmalıdır. Meteorik sularla sıcak ve mineralli suların entalpi ve silis değerleri yukarıda bahsedildiği şekilde grafiğe işaretlenerek A ve B noktaları bulunur. A ve B

noktalarını birleştiren çizgi karışım öncesi buhar kaybının olduğu varsayılan 100°C çizgisine kadar uzatılarak (C' noktası) birleştirilir. C' noktasından yatay eksene paralel çizilen çizgi maksimum buhar kaybına birleştirilerek D noktası bulunur. Bu noktanın düşey izdüşümü karışım öncesi akifer sıcaklığını, yatay izdüşümü ise sıcak akışkanın başlangıç silis değerini verir.

Yöredeki sıcak ve mineralli sulardan Cumalı (KC-36), Karakoç (KC-37), Doğanbey, Tuzla, G2 Kuyusu sularının akifer sıcaklığının ve soğuk yeraltı suları ile karışım oranlarının bulunması amacıyla Şekil 3.21'deki silis-entalpi diyagramında incelenmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi akifer sıcaklığının 175 ve 280°C arasında olabileceği sonucu çıkmaktadır.



Şekil 3.21 Seferihisar jeotermal alanındaki sıcak ve mineralli suların Entalpi-Silis diyagramı.

Silis-entalpi diyagramı sıcak ve mineralli su karışım oranlarının belirlenmesinde de kullanılır. Diyagramda AB/AC' oranı karışım suyundaki sıcak ve mineralli su oranını vermektedir. Bu yolla elde edilen karışım oranları Tablo 23'de verilmiştir.

Tablo 3.23 Sıcak suların Entalpi-Silis diyagramına göre belirlenen soğuk yeraltı suları ile karışım oranları.

Örnek no ve Adı	Cumalı KC-36	Tuzla	Doğanbey	Karakoç KC-37	G2 Kuyusu
Karışım suyundaki sıcak su oranı (%)	61	15	23	20	76

### 3.7.4 Jeotermometrelerin Uygulanabilirliği

Tablo 3.18, 3.20 ve 3.22'den görüleceği üzere farklı jeotermometre uygulamaları oldukça değişik sonuçlar vermektedir. Çünkü her jeotermometre belirgin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal koşullar için geçerlidir. Bu koşulların gerçekleşmediği durumlarda jeotermometrelerden elde edilen sonuçlar sağlıklı olmayacaklardır. Bazı değerlerin eksi, bazı değerlerin ise yüzeyde ölçülen sıcaklıktan daha düşük değerler vermesi, bu kimyasal jeotermometre uygulamaları için uygun hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal koşulların tam olarak gerçekleşemediğini göstermektedir. Bu nedenle jeotermometre sonuçlarını değerlendirirken oldukça dikkatli olunması gerekmektedir.

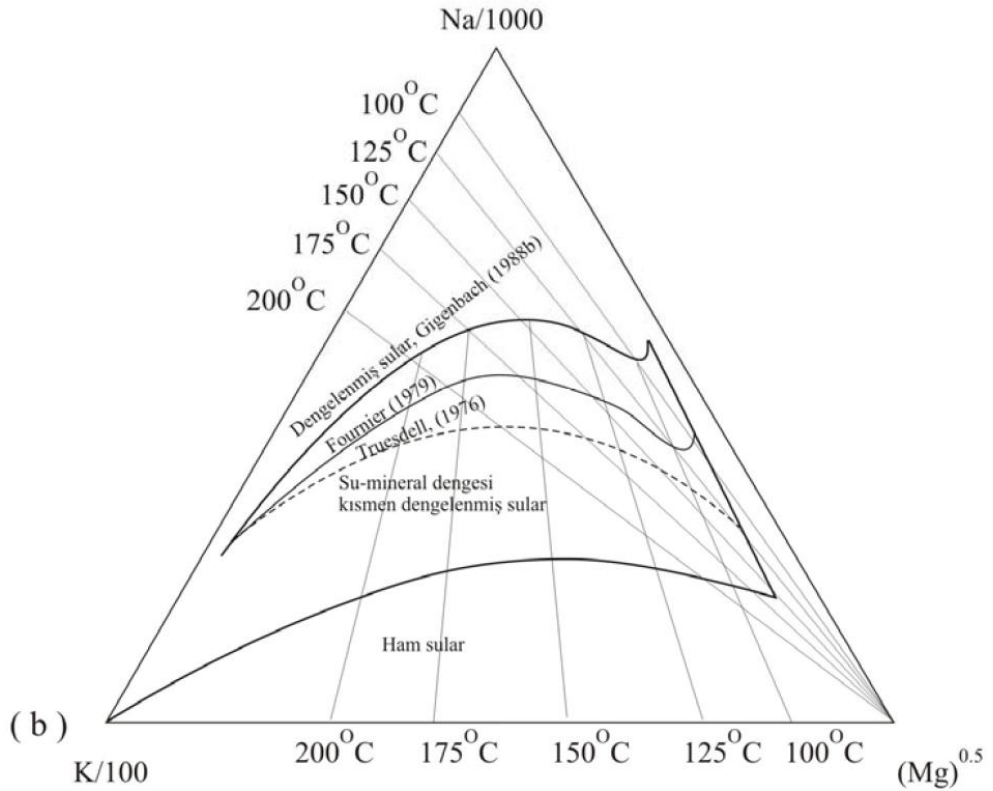
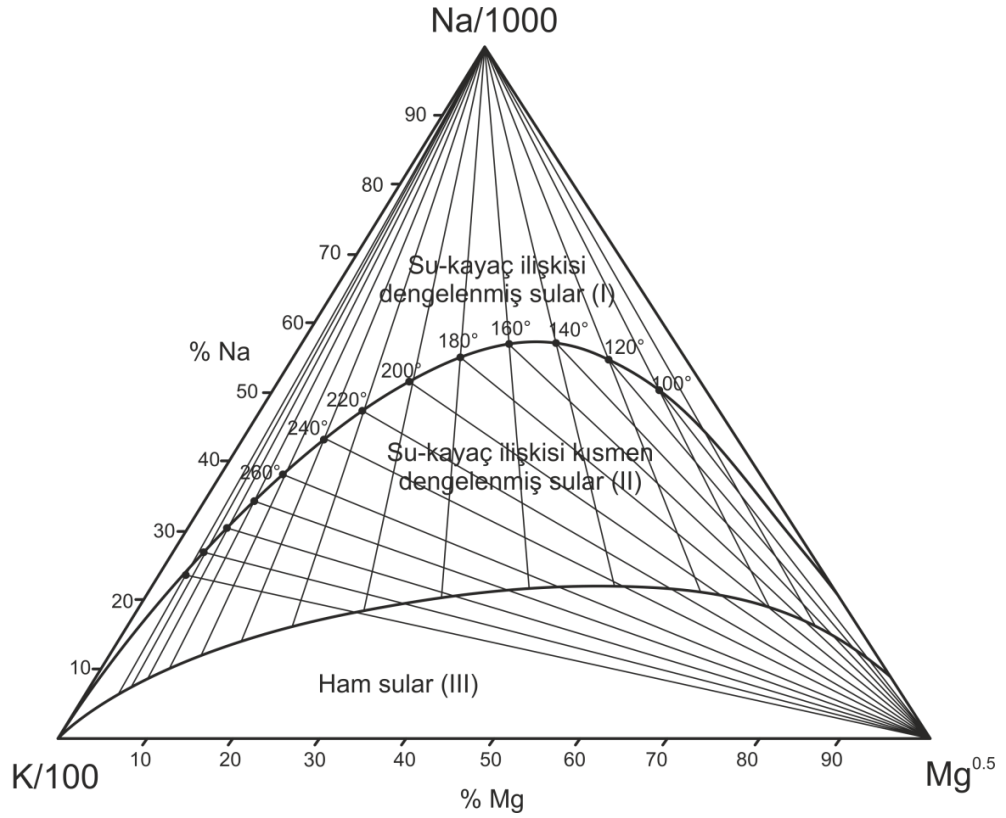
Jeotermometrelerin uygulanmasında bazı temel varsayımların göz önünde bulundurulması gerekmektedir: Bunlar; *“kimyasal reaksiyonlar sıcaklık denetimlidir, jeotermometre uygulamalarında kullanılan maddeler akifer kayada mevcuttur, akifer kayadaki mineraller ile akışkan arasındaki kimyasal denge tamamlanmıştır, sıcak suyun yüzeye çıkışı sırasında kimyasal yapısında meydana gelebilecek değişiklikler ihmal edilebilir boyutlardadır ve son olarak yükselen sıcak sular soğuk yeraltı suları ile karışmamaktadır”* varsayımlarıdır (White, 1970).

Bu jeotermometrelerin geçerliliği pek çok değişik araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Giggenbach (1988) tarafından Na-K-Mg üçgen diyagramı akifer sıcaklığının tahmini ve sıcak ve mineralli suların akiferi oluşturan kayalar ile kimyasal dengeye ulaşıp ulaşmadıklarının belirlenmesi, dolayısıyla katyon jeotermometrelerin uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla geliştirilmiştir

(Şekil 3.22). Fournier (1990) kayaç ile tam denge ve kısmen denge halindeki suları ayıran çizginin, bu çizginin oluşturulmasında kullanılan Na/K jeotermometre bağıntısına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur (Şekil 3.22). Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen bu grafikte özellikle deniz suyu karışımının olduğu sıcak ve mineralli suların akifer sıcaklıklarının bulunması için geliştirdiği Tablo 3.21'deki K/Mg jeotermometre bağıntısını kullanmıştır. Seferihisar yöresindeki sıcak ve mineralli sular da deniz suyu ile karışmış olduklarından katyon jeotermometrelerinin uygulanabilirliklerinin incelenmesinde Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen diyagram temel alınmıştır. Şekil 3.22'deki diyagram aynı bağıntılar kullanılarak daha düşük sıcaklıklı jeotermal sistemler için Shevenell ve Goff (1994) tarafından değiştirilerek geliştirilmiştir. Diyagramın oluşturulmasında üçgenin köşelerindeki katsayılar değiştirilerek bir bakıma ölçek değiştirilmiş ve sıcak ve mineralli suların dağılımları daha ayrıntılı olarak gözlenebilmiştir.

Giggenbach (1988) su-kayaç dengesi temelinde çeşitli iyonlara dayalı olarak geliştirmiş olduğu yöntemde üçgen diyagramları kullanarak su örneklerinin iyon içeriklerine göre kimyasal jeotermometre olarak kullanılmasına uygun olup olmadığını araştırmıştır.

Giggenbach (1988) bu araştırmasında  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  iyonlarının mg/L değerlerini ele alarak, suları başlıca iki grupta toplamıştır (Şekil 3.22). Bunlar sırasıyla; su kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu ve su-kayaç ilişkisindeki kimyasal dengenin sağlanamamış olduğu sulardır (ham sulardır). I bölgesinde yer alan sularda Na-K-Mg jeotermometrelerinin sağlıklı sonuçlar verebileceği belirtilmektedir. Diyagramın ham veya olgunlaşmamış su kesimindeki (II bölgesindeki) örneklerde su ve kayaç arasındaki denge sağlanmamış olduğundan bu bölgede yer alan sularda jeotermometre uygulamaları akifer sıcaklığının bulunmasında sağlıklı sonuçlar vermeyeceklerdir. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları (ham suları) birbirinden ayıran eğri olgunlaşma indeksinin (MI: maturity index)  $\text{MI}=2.0$  olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların birleşimiyle oluşmuştur. Olgunlaşmış sular ise su kayaç ilişkisinin kısmen ve tamamen dengede olduğu



Şekil 3.22 Hazne kaya sıcaklığının ve suların jeotermometre uygulamalarına uygunluklarının saptanabilmesi için kullanılan üçgen diyagramlar. a) Guggenbach (1988) ve b) Fournier (1990) tarafından geliştirilen diyagram (Nicholson, 1993).



sınırları belirten eş kimyasal özellikteki noktaların oluşturduğu bir eğri ile ikiye ayrılmaktadır. Diyagramdaki bu bölümler  $K^+-Mg^{2+}$  ve  $K^+-Na^+$  jeotermometre eşitlikleri (3.10) ve (3.11) ile elde edilen eş sıcaklık değerlerinin kesişim noktalarının oluşturduğu eğrilerle (izoterm) birbirinden ayrılmıştır. Jeotermal sistemlerde  $Na^+$ 'un düşük sıcaklıklarda bile su ile tam denge haline gelmesi yeterli zaman olmasından, yani suyun akiferde uzun zaman geçirmesinden dolayıdır. Bu nedenle denge halinin bulunmaması durumunda suyun  $Na^+$  içeriği de düşük olacaktır.

Aşağıda (3.12) nolu bağıntıda gösterilen olgunlaşma indeksine göre (MI) 2,0 değerinin altında değerler veren sular ham sular, 2,0'ın üzerinde değerler veren olgunlaşma indeksine sahip sular ise kısmen veya tamamen olgunlaşmış, su kayaç ilişkisi dengede olan sulardır. Burada bahsedilen olgunlaşma su-kayaç arasındaki kimyasal dengeye karşılık gelmektedir.

$$t (^{\circ}C) = 4410 / (13.95 - \log K^2/Mg) - 273.15 \text{ Giggenbach, (1988) .....(3.10)}$$

$$t (^{\circ}C) = 1319 / (\log Na/K + 1.699) - 273.15 \text{ Fournier, (1979) .....(3.11)}$$

$$MI = 0.315 \log (K^2/Mg) - \log (K/Na) \text{ Giggenbach, (1988) .....(3.12)}$$

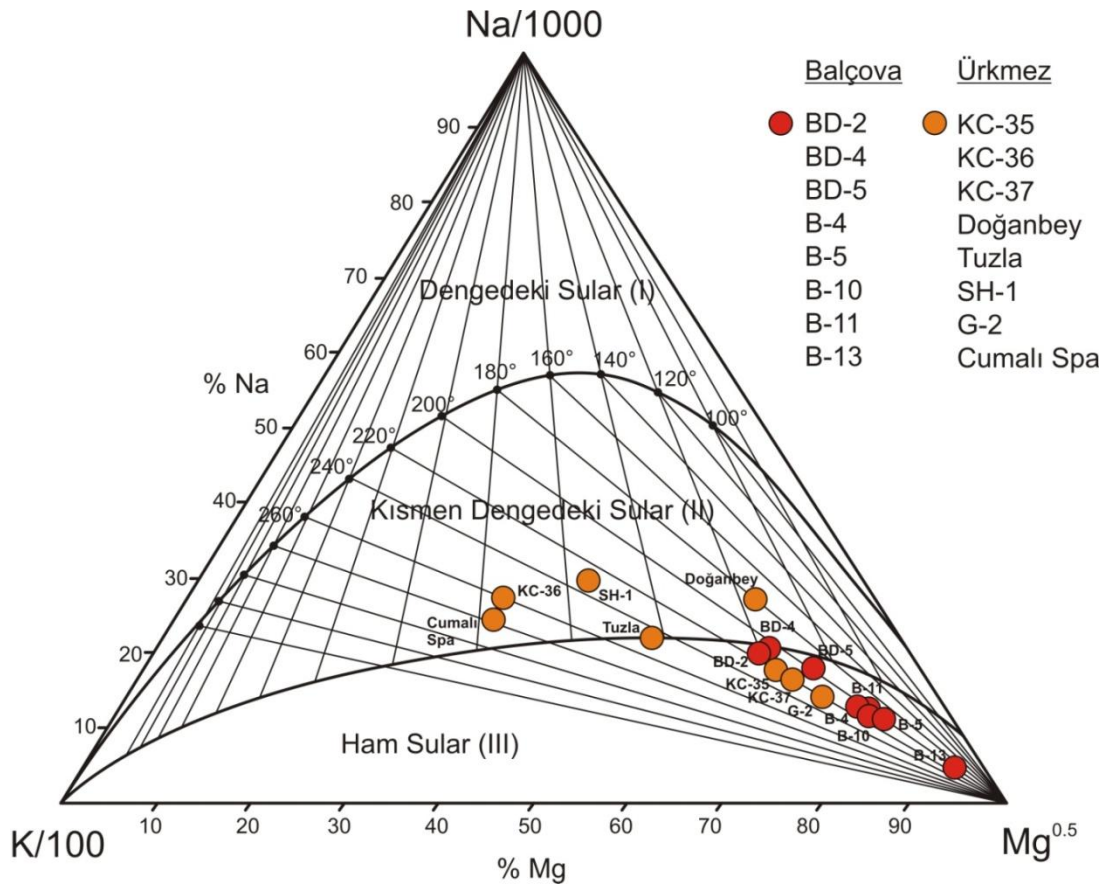
(değerler mg/L'dir).

Yukarıdaki bağıntılar katyon jeotermometrelerinin uygulanabilirliğini sayısal olarak gösterirler. Grafikselleştirme ise çok sayıda su örneğinin bir arada görülmesi, benzer kökenli olanların gruplanması ve hesaplamalardan sonra yorumlar yapılabilmesine olanak sağlar. Bu nedenle katyon jeotermometrelerinden elde edilen sonuçların yorumlanması sıcak ve mineralli suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumlarına veya olgunlaşma indeksinin değerine bağlıdır. Şekil 3.14'de inceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli suların ve bazı soğuk suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumları görülmektedir. Bu suların diyagram üzerindeki konumları incelendiğinde büyük bir kısmının ham sular kesiminde diğerlerinin ise kısmen dengede olan sular kesiminde yer aldıkları gözlenmektedir. Bölgedeki sıcak ve mineralli sular su-kayaç dengesini tamamlayamamış ya da kısmen tamamlamış olan sulardır. Bu durum Tablo 3.24'de sunulan örneklere, sulara ait olgunlaşma indeksleri (MI) incelendiğinde de görülmektedir.

Tablo 3.24 İnceleme alanında yer alan sıcak ve bazı soğuk suların olgunlaşma indisi (MI) değerleri.

	Cumalı KC-36	Karakoç KC-37	Doğanbey	Tuzla	SH-1 kuyusu	G2 kuyusu	Cumalı kaplıcası	Seferihisar	
MI	1,57	1,16	1,25	1,36	1,48	1,10	1,56		
	BD-2	BD-4	BD-5	B-4	B-5	B-10	B-11	B-13	Balçova
MI	1,22	1,21	1,14	1,03	0,98	1,01	1,02	0,70	

Tablo 3.24'den görüleceği üzere çalışma alanındaki suların MI değerleri 2'den küçük olup bu sular su-kayaç dengesi olgunlaşmamış sular sınıfına girmektedir. Olgunlaşma indisi 2'nin altında olan sular için Na-K-Mg jeotermometrelerinin kullanılması şüpheli sonuçlar verecektir. Bölgedeki sıcak ve mineralli suların tam denge halinde olmamalarının bir nedeni bunların soğuk yeraltı suları ve deniz suları ile karışmalarındandır. Hızlı bir döngüye sahip olan jeotermal sistemin su-kayaç dengesini tamamlamaya yetecek olan zamanı bulamaması da ikinci bir etken olarak görülebilir. Şekil 3.23'deki diyagrama bakıldığında Balçova jeotermal alanındaki sıcak ve mineralli suların ham sular bölümünde yer aldıkları gözlenmektedir.



Şekil 3.23 İnceleme alanındaki sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki (Shevenell ve Goff, 1994) görünümü ve su-kayaç dengesi sıcaklıkları.

Özellikle B-13 nolu su, yüzeyle çıkarken soğuk yeraltı suları ile karışmalarından dolayı yöredeki soğuk yer altı sularının diyagramda düştükleri alanın çok yakınlarda yer alırlar. Bu sular yüksek oranda soğuk yer altı suları ile karıştıkları ve tekrar su-kayaç dengesine ulaşacak zamanı bulamadıkları için ham sular kesiminde yer alırlar. Bu nedenle katyonlara bağlı olarak oluşturulan jeotermometrelerin büyük bir kısmı Balçova jeotermal sisteminin akifer sıcaklığının saptanması hesaplamalarında kullanılması yanıltıcı sonuçlar verecek, akiferin gerçek sıcaklığını yansıtmayacaktır.

Diğer sıcak su örnekleri olan Seferihisar sıcak ve mineralli sular ise Şekil 3.23'deki diyagramda kısmen dengelenmiş su kesiminde yer alırlar. Ancak Tablo 3.20'deki katyon jeotermometresi sonuçlarına bakıldığında bunların da oldukça yüksek ve olanaksız sonuçlar verdikleri görülmüştür.

Bu sıcak sular diyagramda deniz suyuna yakın alanlara düşerler. Sistemin deniz suyu beslenmeli oluşu ve hızlı bir döngüye sahip olması dolayısıyla özellikle Na/K jeotermometrelerinden elde edilen sonuçlar yanıltıcı olacaktır.

### 3.8 İzotop Jeokimyası

İzotop jeokimyası kapsamında, çalışma alanında kararlı çevresel izotoplar, beslenme alanının dağılımı, suların kökenini, buharlaşma oranlarını, deniz suyu, tatlı sular ve jeotermal suların karışım oranlarını ve su-kayaç ilişkilerini belirlemek için kullanılmıştır. Yeraltı sularından, yüzeyle sularından, jeotermal sulardan ve deniz suyundan su örnekleri alarak ortak proje yürütülen Berlin Frei Üniversitesi'ne izotop analizlerinin yapılması için gönderilmiştir. Suların Oksijen-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $\delta^2\text{H}$ ) izotop oranları araştırılmıştır.

#### 3.8.1 $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ ilişkisi

Oksijen ve hidrojen izotopları arasındaki ilişki bölgeye düşen yağışa, buharlaşmaya ve coğrafik koşullar gibi çeşitli olaylara bağlı olarak değişmektedir (Şekil 3.29). Bu değerler her bölgede değişik olduğu için her bölgenin kendine has

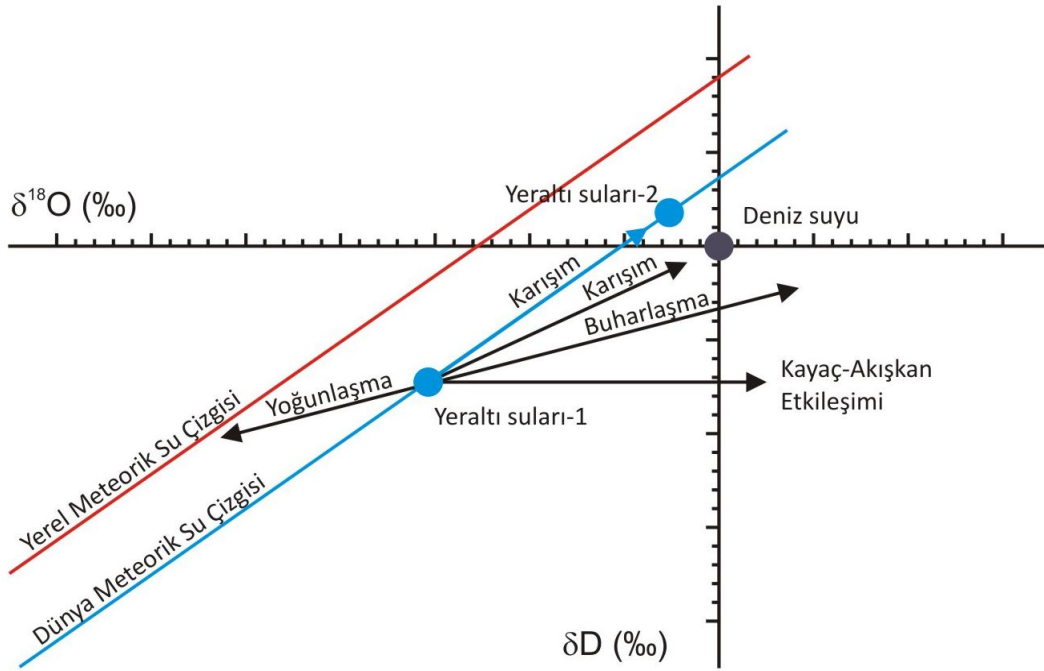
bir meteorik doğrusu vardır. Bölgeye düşen yağış sularının izotop analizlerinin yapılmasıyla, o alanın kendine özel meteorik doğrusu elde edilmiş olur. Ancak çalışma alanında ve yakın çevresinde daha önce yağış sularının izotop analizlerinin yapıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Dolayısıyla çalışma alanına en yakın Kos Adası'na ait veriler kullanılmıştır (Ruffa ve diğer., 1999).

Bazı jeotermal sulardaki  $\delta^{18}\text{O}$  zenginleşmeleri bu suların derin dolaşımı sırasında yan kayaçlar ile etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır (Şekil 3.29). Jeotermal akışkanın ağır izotoplarca zengin kayaçlar ile teması sonucu akışkanın  $\delta^{18}\text{O}$  içeriği artmaktadır. Kayaç yapısında sulara oranla daha az bulunan hidrojen ise jeotermal akışkanın içeriğini etkileyememektedir. Dolayısıyla derin dolaşım yapmış jeotermal sular, soğuk sular ile benzer  $\delta^2\text{H}$  içeriğine sahiptir (Kurttaş, 2002).

İzotopik oranların değişmesinde sıcaklık önemli bir faktördür. Sıcaklık arttıkça buharlaşma artar. Artan buharlaşmayla izotop oranları hafif izotoplarca fakirleşir ve ağır izotoplarca zenginleşmiş olur. Bu yüzden yaz yağışları, kış yağışlarına oranla daha ağır izotop oranına sahiptir. Benzer şekilde deniz seviyesinden karalara doğru gidildikçe, yükseklik artar, sıcaklıklar azalır ve buna bağlı olarak buharlaşma da azalır. Böylece ağır izotop bileşimi artmış olur (Clark ve Fritz, 1997).

Önemli bir buharlaşmanın olmadığı yüzey ve yeraltı suları, küresel meteorik su hattı üzerinde olmalıdır. İlkbahar, yaz yağışları ve alt kotlardaki yağışlar küresel meteorik su hattı üzerinde daha pozitif  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerlerine sahiptir. Sonbahar, kış yağmurları ve üst kotlardaki yağışlar daha negatif  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerlerine sahiptir (Kurttaş, 2002).

Su örneklerinin büyük çoğunluğu Craig (1961) tarafından önerilen  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  grafiğinde değerlendirilmiştir. Bu grafiğe göre örneklenen sular küresel meteorik su çizgisi ile Akdeniz meteorik su çizgisi arasında çizgisel bir yayılım sunmaktadır. Buna göre su örneklerinin tamamen meteorik kökenli olduğunu söyleyebiliriz. Çalışma alanına ait  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  grafiğinde Doğanbey, Karakoç sıcak su

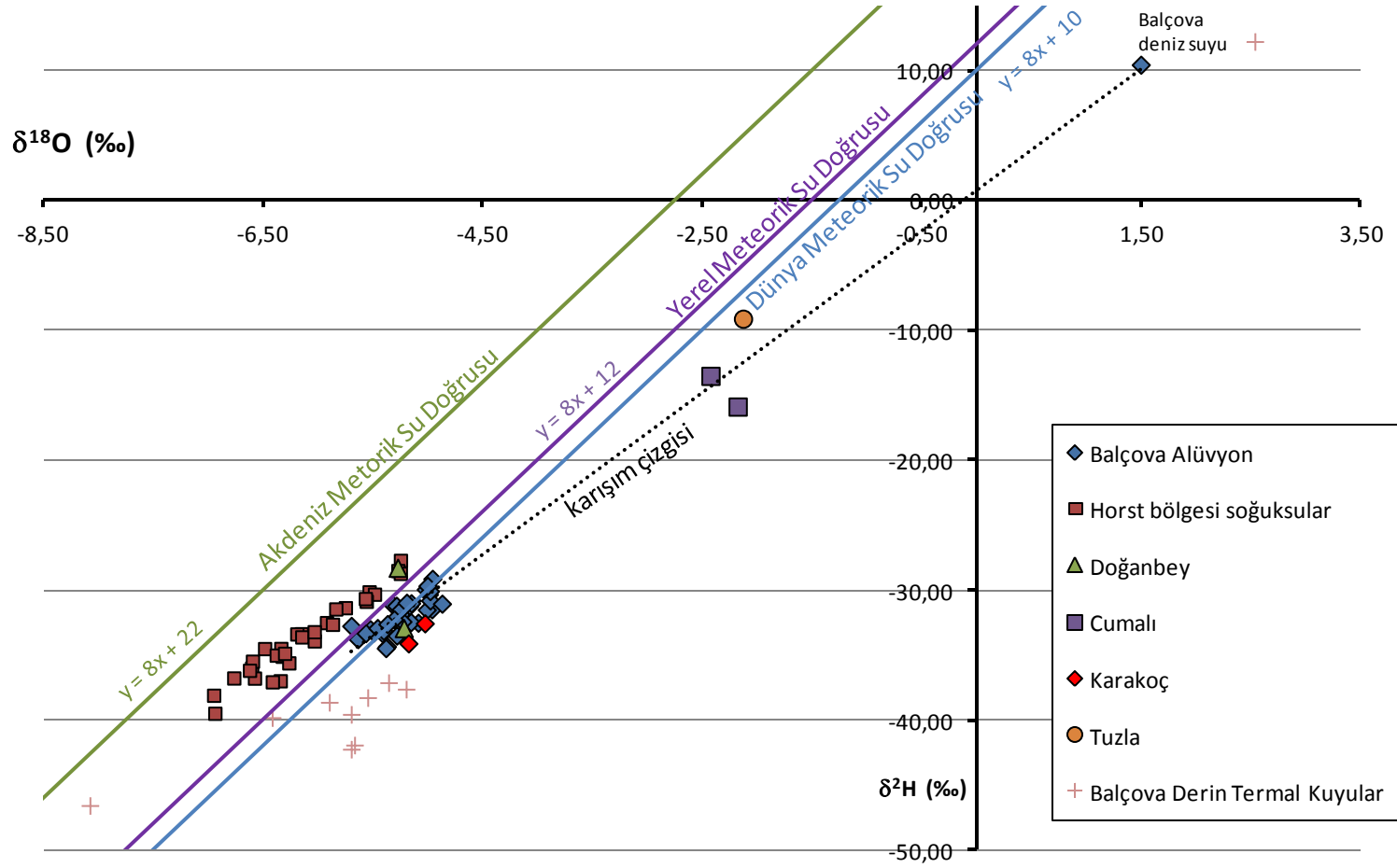


Şekil 3.24 Suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  ilişkisi.

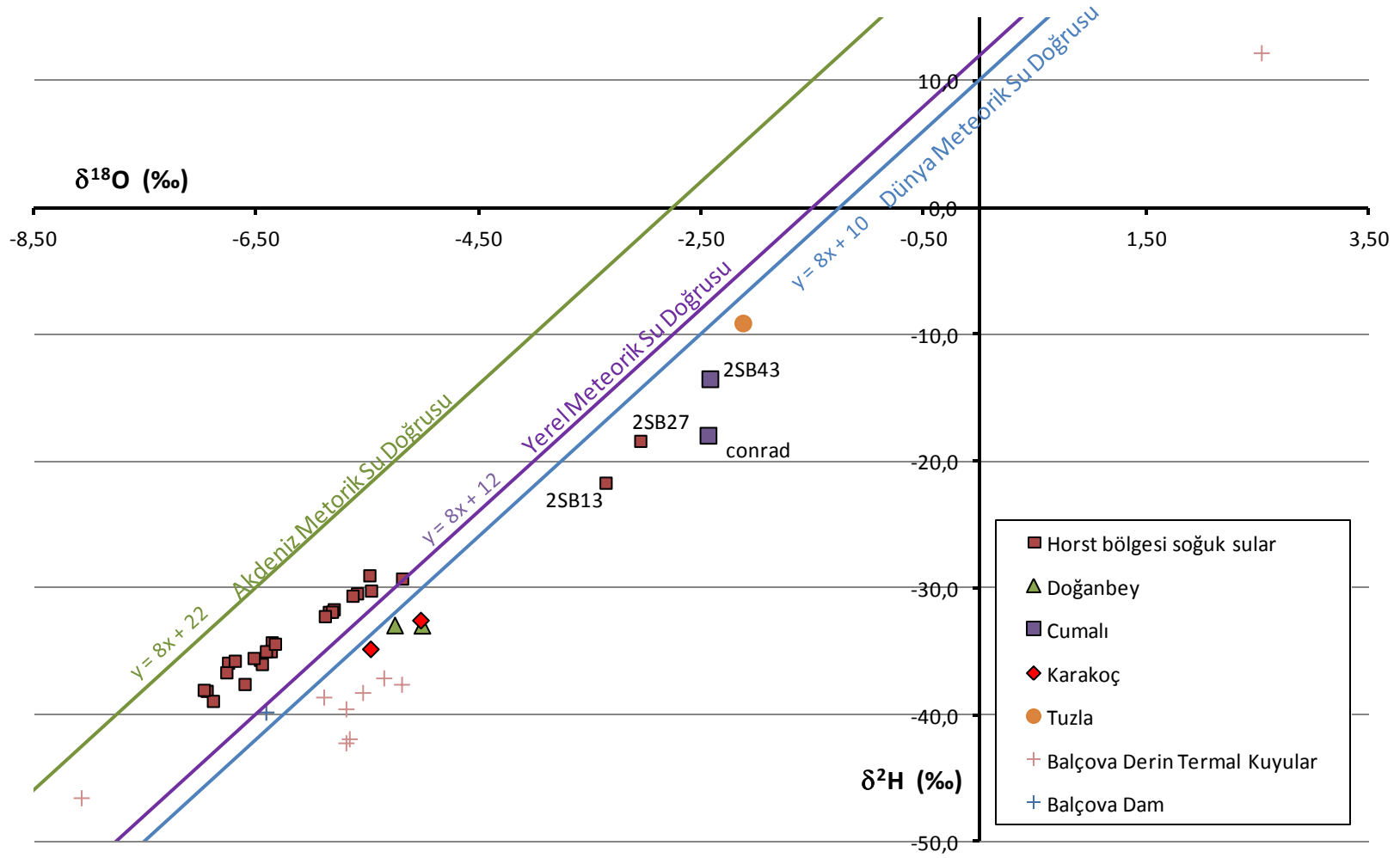
kaynaklarına ve Balçova derin jeotermal kuyulara ait örnekler, Balçova alüvyonundan ve beslenme alanından alınan soğuk su örneklerine kıyasla yaklaşık benzer  $\delta^2\text{H}$  değerlerine sahipken;  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri zenginleşmiştir. Deniz ve karışım suyu ise yüksek miktarda  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  içeriğine sahiptir (Şekil 3.25 ve 3.26).

Beslenme alanı olan horst bölgesindeki soğuk yeraltı suyu örnekleri kaynaklardan alınmıştır. Bunlar Kos Adası'na ait meteorik su çizgisinin üzerinde yer almaktadır (Şekil 3.25 ve 3.26). Bu durum yeraltı sularının tamamen meteorik kökenli olduğunu göstermektedir. Alandaki jeotermal sular ise meteorik kökenli olup, derin dolaşımın sonucu yüzeye ısınarak çıkarlar. Bu sırada su-kayaç etkileşimi nedeniyle  $\delta^{18}\text{O}$  zenginleşir. Buna ek olarak özellikle Seferihisar alanında deniz suyu katkısı nedeniyle ayrıca  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  oranlarında artış gözlenmektedir. Deniz suyu katkısı izotop verilerine göre Tuzla için % 58, Cumalı için % 53 olarak, Karakoç ve Doğanbey için ise % 17-20 arasında belirlenmiştir. Bu veriler hidrojeokimyasal değerlendirmeler ile elde edilen karışım yüzdeleriyle de uyumludur.

Seferihisar'daki sıcak sular meteorik sular ile deniz suyu arasındaki karışım çizgisi üzerinde yer alır. Balçova alüvyonel akiferinden alınan yeraltı suyu örnekleri,



Şekil 3.25 Yağışlı dönem  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  ilişkisi.



Şekil 3.26 Kurak dönem  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  ilişkisi.

horst alanındaki sulardan beslenmesine rağmen,  $\delta^{18}\text{O}$  oranında bir artış ve  $\delta^2\text{H}$  oranının ise sabit kalmış veya artmış olabileceği görülmüştür. Bunun olası iki nedeni vardır. Birincisi, deniz suyu girişimidir. Balçova alüvyonundan alınan soğuk su örneklerinin tamamının  $\text{Cl}^-$  içeriği, horst bölgesindeki sulardan fazladır. Ancak  $\text{Cl}^-$ ; KC-3, 7, 10, 29, 33 ve 34 nolu örneklerde oldukça yüksektir. İkinci neden ise alüvyonun altındaki gömülü faylarla termal suların yükselerek alüvyona karışmasıdır (Şekil 3.27). Bu durum sonucunda, Balçova alüvyonel alanındaki soğuk sular termal ve tuzlu su karışımından dolayı grafikte yukarıya doğru ötelenmiştir.

Yağışlı ve kurak dönemlerde yapılan yer altı suyu örneklemeleri  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  grafiğinde birbirlerinden çok farklı yerlerde çıkmamışlardır (Şekil 3.25 ve 3.26). Öte yandan iki dönem halinde yapılan örneklemelerin arasında sıcaklık farkı olduğu da gözlenmiştir. Yaz ve kış dönemleri arasında,  $40^\circ\text{C}$ 'ye çıkabilen atmosferik sıcaklık farkları sular üzerinde etkisini göstermektedir. Nitekim örneklenen bazı yüzey suları da yaz döneminde atmosferik sıcaklıktan çok fazla etkilenmiştir. Her iki dönem içinde su örnekleri üzerinde yağış ve buharlaşmanın etkileri olmakta fakat suların izotop oranlarına çok da fazla etki etmemektedir. Bu örneklerin sık dolaşım olabileceği ve çok fazla su-kayaç ilişkisinden etkilenmediğini gösterir. Aynı zamanda yağışlı ve kurak dönemlerde yapılan örneklemelerde, su sıcaklıklarının farklarına bakacak olursak, beslenme alanındaki SB-14, 18, 28, 29 nolu örnekler ve Seferihisar alüvyonundaki 33 nolu örnek dışında tüm örnekler  $4 - 11^\circ\text{C}$  arasında değişen farklı sıcaklıklara sahiptir. Bu da suların mevsim değişikliklerinden etkilendiğini yani daha sık ve hızlı bir dolaşıma sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Kurak dönemde örneklenmiş 2SB-13 ve 2SB-27 örneklerinin yağışlı döneme kıyasla  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  oranları zenginleşmiştir (Şekil 3.26). Bu iki örnek deniz suyu karışım çizgisi üzerinde bulunmaktadır. Kurak dönemde örneklenen bu örneklerin karışım suyu olmasından ziyade buharlaşmanın etkisiyle ağır izotopların zenginleşmesi sonucu grafikte bu şekilde gözüktüğü düşünülmektedir.

Karışım suları Clark ve Fritz (1997)'de ve Coplen ve diğer. (2000)'de bahsedildiği gibi meteorik çizginin altında daha düşük bir eğimli doğru üzerinde yer alır. Cumalı ve Tuzla örnekleri bu görüşe göre % 67-75 deniz suyu içermektedir.



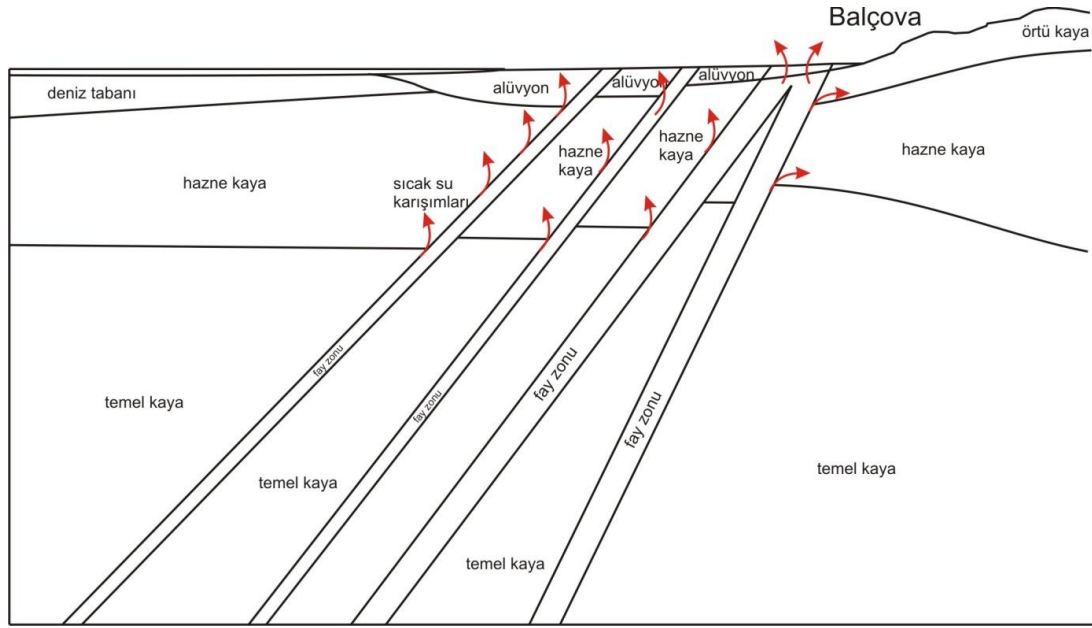
Karakoç ve Doğanbey örnekleri ise yaklaşık %12-20 oranında deniz suyu içermektedir.

### **3.8.2 $\delta^{18}\text{O}$ ve yükseklik ilişkisi**

Küresel su döngüsündeki su, okyanuslardan buharlaşarak, yüksek bölgelerdeki karasal yağışları oluşturduğu gibi okyanusların üzerinde de yağışları oluşturur. Oluşan su buharı soğuyarak yoğunlaşır ve yağmurları meydana getirir. Bir kısım buhar kıtalara doğru ilerleyerek yüzey ve yer altı sularını oluşturur. Atmosferik su buharı, meteorik suları oluşturmadan önce deniz seviyesinden yükseldikçe izotop oranı ağır izotoplarca fakirleşir. Bu aşamada meteorik sular dolayısıyla okyanus sularına kıyasla  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  gibi ağır izotoplarca daha fakirdir.

İzotopik oranlarla sıcaklık, yağış, buharlaşma ve enlem vb. coğrafik konum gibi değişkenler arasındaki ilişki bölüm başında ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştı. Tüm bu ilişkiler göz önünde bulundurulduğunda, değişik kotlardaki yağışlara ait  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinin bilinmesi ile yer altı suyunun beslendiği yüksekliği tahmin etmek mümkündür.

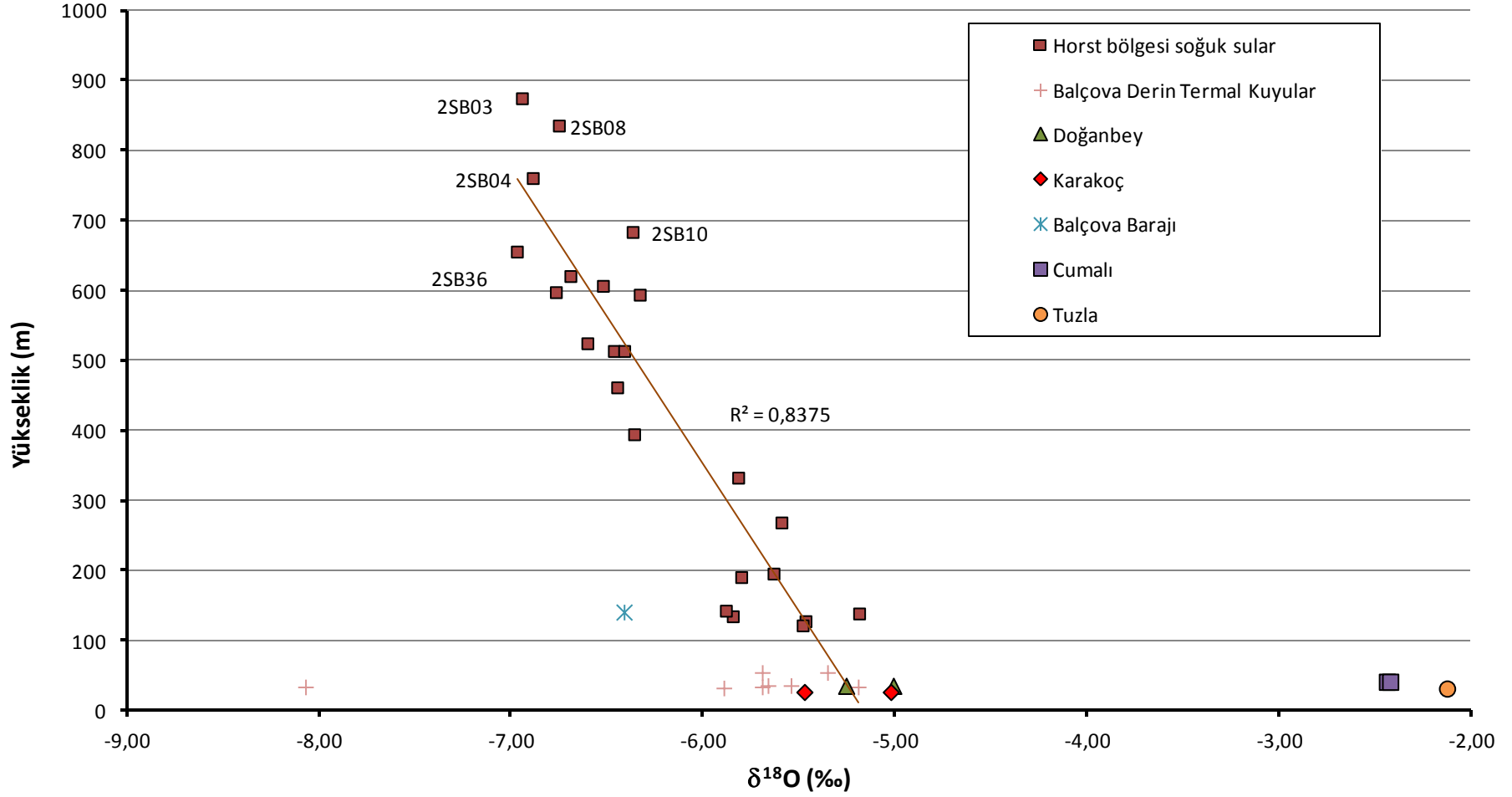
Kısa süreli dolaşım yapmış soğuk sularda  $\delta^{18}\text{O}$  ve yükseklik grafiğinin kullanılmasıyla, yer altı suyunun beslenme yüksekliğinin tahmin edilmesine rağmen jeotermal sularda bu yöntem işe yaramamaktadır.



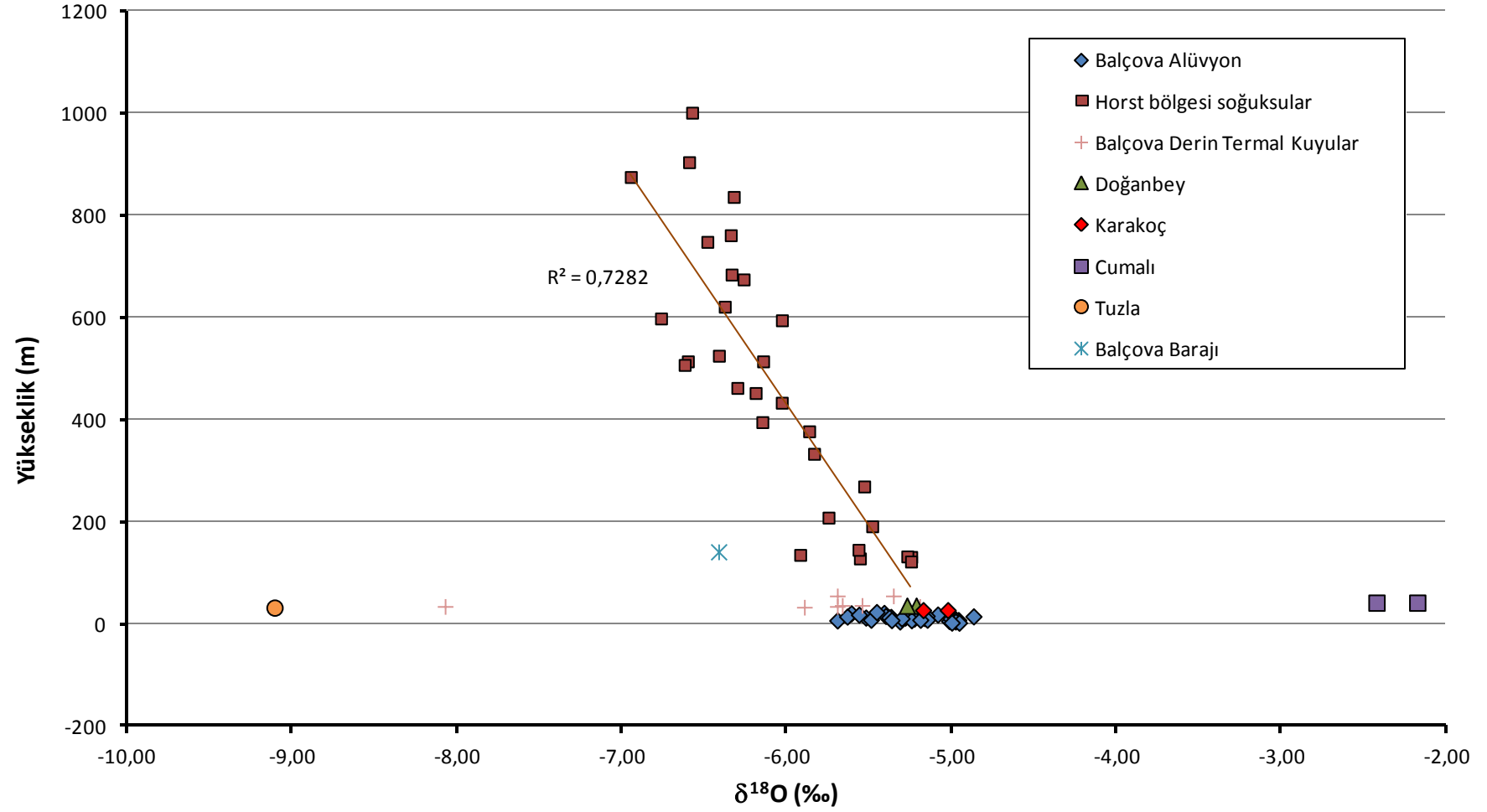
Şekil 3.27 A lüvyon altındaki gömülü faylarla sıcak suların soğuk sularla karışması.

$\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  grafiklerinde de açıklandığı gibi, uzun süreli dolaşım yapmış jeotermal suların yan kayaçlarla etkileşimi sonucu, bu sular ağır izotoplarca zenginleşmektedir. Bu yüzden  $\delta^{18}\text{O}$  ve yükseklik grafiği, beslenme alanının yüksekliğini tahmin etmede başarısız olacaktır. Ancak kayaçların yapısındaki hidrojenin oksijene oranla çok az miktarda bulunması, hata payını oldukça azaltmaktadır. Jeotermal suların beslenme yüksekliğinin tahmin edilmesinde  $\delta^{18}\text{O}$  ve yükseklik grafiğinin kullanılmasının yerine,  $\delta^2\text{H}$  ve yükseklik grafiği tercih edilmelidir. Bu durumda soğuk sularda hangi grafiğin kullanıldığı çok büyük bir önem taşımamaktadır (Nicholsen, 1993).

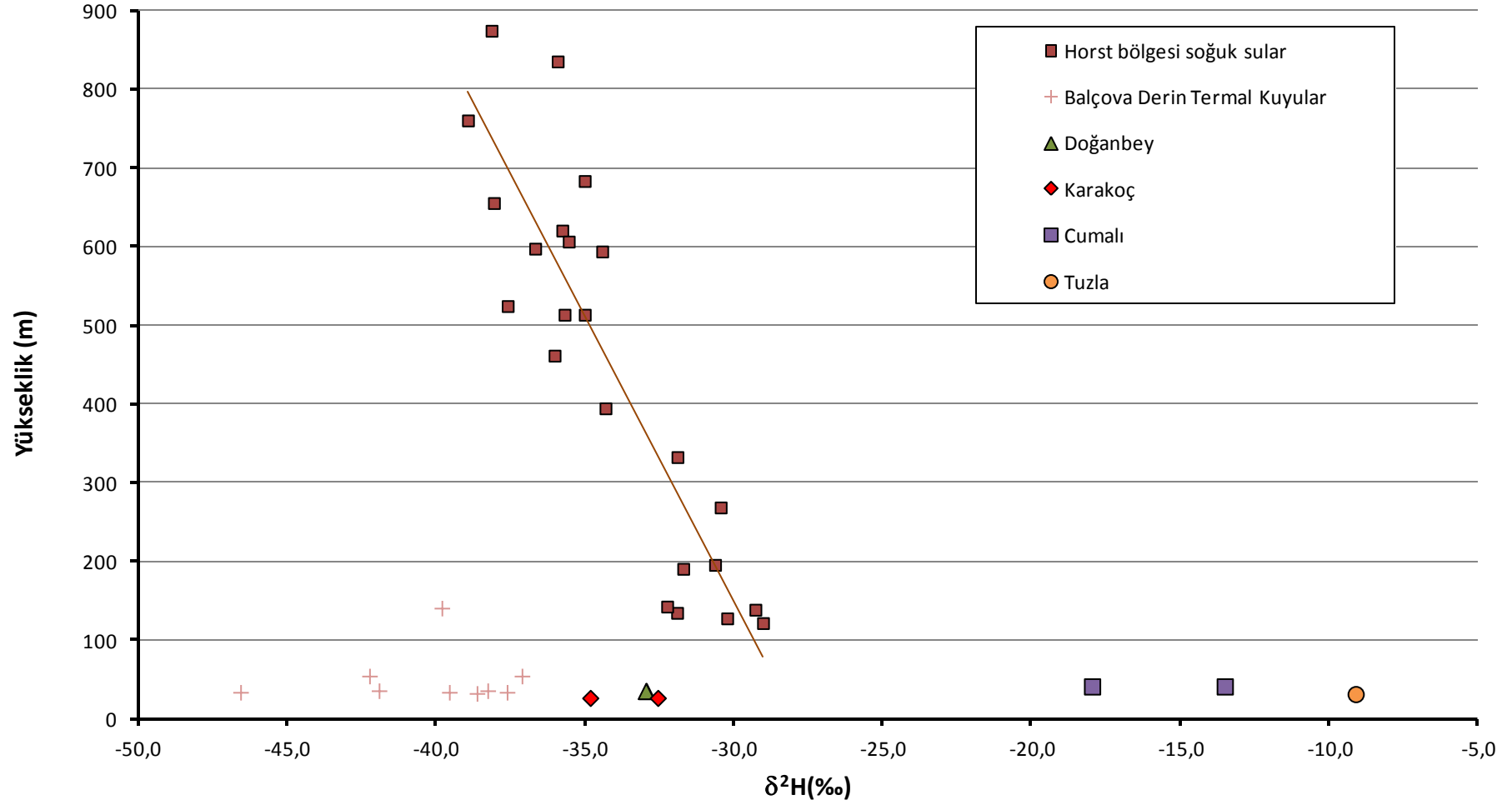
Bu kapsamda yağışlı ve kurak dönemler için horst bölgesinden alınan soğuk suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve yükseklik grafiği çizilmiştir ve bu grafik üzerinden jeotermal kaynakların beslenme yükseklikleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Aşağıdaki şekillerde kurak ve yağışlı dönemler için hem  $\delta^{18}\text{O}$  - yükseklik grafiği hem de  $\delta^2\text{H}$  - yükseklik grafiği verilmiştir.  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  kullanılan grafiklerin arasındaki fark çok net olarak gözükmektedir (Şekil 3.28, 3.29, 3.30, 3.31).



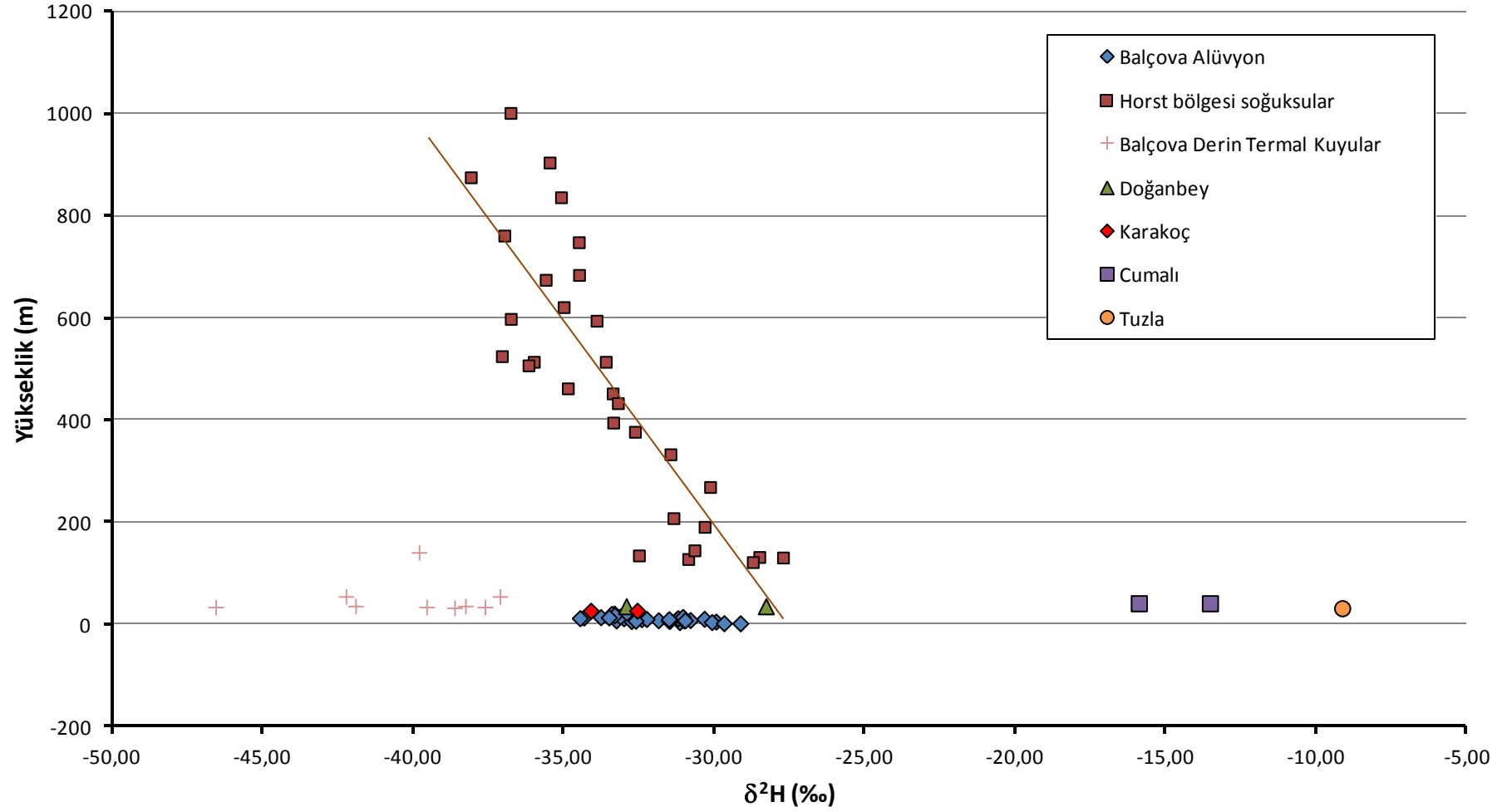
Şekil 3. 28 Kurak dönem yükseklik ile δ<sup>18</sup>O ilişkisi.



Şekil 3.29 Yağışlı dönem yükseklik ile δ<sup>18</sup>O ilişkisi.



Şekil 3.30 Kurak dönem yükseklik ile  $\delta^2\text{H}$  ilişkisi.



Şekil 3. 31 Yağışlı dönem yükseklik ile  $\delta^2\text{H}$  ilişkisi.

Kurak dönem örneklemeleri için  $\delta^{18}\text{O}$  ve yükseklik grafiğine bakıldığında, Karakoç, Doğanbey kaynaklarının beslenme yükseklikleri 50-150 m arasındayken,  $\delta^2\text{H}$  ve yükseklik grafiğinde 350-500 m arasında görülmektedir (Şekil 3.28).

Yağışlı dönem örneklemelerinde ise bu kaynakların  $\delta^{18}\text{O}$  ve yükseklik grafiğinde 50-100 m arasından beslendiği (Şekil 3.29),  $\delta^2\text{H}$  ve yükseklik grafiğinde ise yaklaşık 50-500 m arasından beslendiği görülmektedir (Şekil 3.30).

Burada sadece yağışlı dönemde  $\delta^{18}\text{O}$  oranının zenginleşmesi sözkonusudur. Ağır izotopların zenginleşmesi ya alçak kotlara düşen yağış ile veya derin ve uzun süre dolaşan sular ile açıklanabilir. Ancak buradaki sular derin ve uzun süre dolaşan sular olsaydı iki dönem için de beslenme yükseklikleri arasında bu denli farklar görmek mümkün olmazdı. Dolayısıyla yağışlı ve kurak dönem arasında gözlenen bu farklar, soğuk yeraltı sularının jeotermal kaynaklara daha fazla katkıda bulunmasından kaynaklanabilir. Bu sular ise düşük kotlardaki yağışlardan kaynaklanmaktadır ve jeotermal sisteme dahil olmaktadır.

Her iki örnekleme döneminde ve her iki grafikte Cumalı ve Tuzla kaynakları için beslenme yüksekliğini tahmin etmek mümkün değildir. Bunun nedeni, bu örneklerin yoğun miktarda deniz suyu içermeleridir.

Sadece yağışlı dönem örnekleme yapılabilen Balçova alüvyonuna ait örneklerin ise beslenme yükseklikleri  $\delta^2\text{H}$  ve yükseklik grafiğine bakıldığında (Şekil 3.31) 100-600 m olarak gözükmektedir. Bölgedeki en yüksek kotun 1100 m civarında olduğu düşünüldüğünde de gayet mantıklı bir yaklaşımdır.

Aksoy (2001) doktora tezinde, Balçova'daki derin jeotermal kuyularda yağışlı döneme ait örneklemeler yapmıştır. Bölgedeki suların evrimini daha iyi anlayabilmek adına bu veriler de çalışmaya dahil edilmiştir. Bu jeotermal suların beslenme yükseklikleri ise 700-1200 m arasında gözükmektedir.

### 3.8.3 $\delta^{18}\text{O}$ ve $\text{Cl}$ ilişkisi

$\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  grafiklerinde de açıklandığı gibi, Balçova alüvyonundan alınan soğuk su örnekleri meteorik kökenli olup, horst bölgesindeki beslenme alanından gelmektedir. Bu örnekler, beslenme alanındaki sulara oranla ağır izotoplarca daha zengindir ve grafikte sağa doğru ötelenmiştir. Öte yandan örnekler deniz suyu karışım çizgisi üzerinde yer almaktadır. Bu durum, jeotermal katkı, deniz suyu katkısı, buharlaşma etkisi veya su-kayaç etkileşimi sonucu olarak açıklanabilir. Bu aşamada ikisi de bağımsız korunumlu izleyici olan  $\text{Cl}^-$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri kullanılarak bir grafik çizilmiştir (Şekil 3.32).

Örnek yayılımları açık bir şekilde grafikte görülmektedir. Deniz suyu 16525 mg/L  $\text{Cl}^-$  içeriği ve ‰ 1.5  $\delta^{18}\text{O}$  izotop oranıyla grafiğin en sağında yer alır. Beslenme alanındaki tatlı sular ise 7-220 mg/L arasında değişen  $\text{Cl}^-$  ve yaklaşık ‰ -7 ile ‰ -5 arasında değişen  $\delta^{18}\text{O}$  izotop oranlarıyla grafiğin sol alt köşesinde yer alır. İki uç bileşen arasında kalan diğer örneklerin karışım suyu olduğu çok net gözükmektedir. Teorik olarak  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\text{Cl}^-$  grafiğinde, tatlı ve tuzlu sularla ilgili farklı karışım suları, düz bir karışım çizgisi üzerinde olmalıdır. Bir uç bileşeni tatlı su diğer uç bileşeni deniz suyudur (Zakhem ve Hafez, 2007). Yazara göre hesaplanan karışım oranları Tablo 3.25’de verilmiştir. Balçova alüvyonundan alınan soğuk su örneklerinin hem  $\text{Cl}^-$  hem de  $\delta^{18}\text{O}$  içerikleri beslenme alanındaki örneklerden yüksektir. Örnekler sadece karışım çizgisi üzerinde değil aynı zamanda da sağa doğru kaymıştır.  $\delta^{18}\text{O}$  izotopları zenginleşmiştir. İki bileşenin de artmış olması jeotermal su katkısını, deniz suyu katkısını veya buharlaşmayı işaret etmektedir.

Gonfiantini ve Araguas (1988)’e göre, eğer yeraltı suları buharlaşmadan etkilenmişse  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\text{Cl}^-$  grafiğinde üstel bir fonksiyonu tanımlayan bir çizgi üzerinde çıkması beklenir. Ancak  $\delta^{18}\text{O}$  içeriğinin değişmeden  $\text{Cl}^-$  derişiminin artması, yer altı suyunun yan kayaçları çözmekten ve eritmesinden kaynaklanmaktadır.

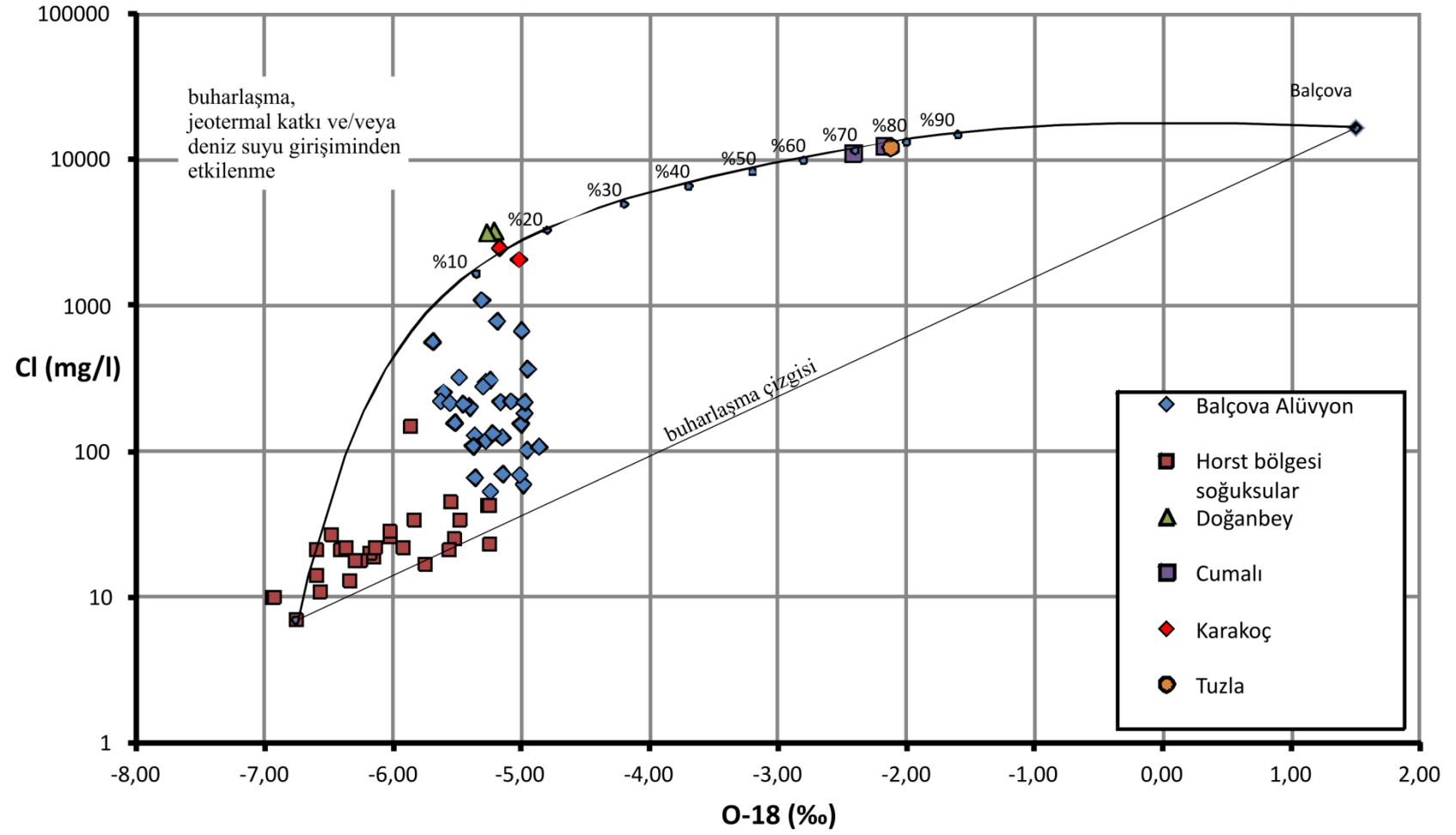


Tablo 3.25 Zakhem ve Hafız (2007)'ye göre hesaplanan karışım yüzdeleri.

Cl (mg/L)	deniz suyu	soğuk su	Cl (mg/L)	deniz suyu	soğuk su	Cl (mg/L)	deniz suyu	soğuk su
	16525	7		16525	7		16525	7
	% F	karışım		% F	karışım		% F	karışım
Balçova ds	100,00	16525	KC-8	1,30	221	KC-23	0,28	53
Cumalı	74,95	12388	KC-12	1,30	221	SB-29	0,23	45
Tuzla*	73,82	12200	SB-33	1,29	220	SB-28	0,21	42
Cumalı*	66,85	11050	KC-2	1,28	219	SB-31	0,21	42
Doğanbey	19,76	3271	KC-32	1,27	217	SB-25	0,16	34
Doğanbey*	19,03	3150	KC-16	1,25	214	SB-26	0,16	34
Karakoç	15,00	2485	KC-30	1,24	211	SB-23	0,13	28
Karakoç*	12,45	2064	KC-5	1,19	203	SB-9	0,12	27
KC-42	8,56	1421	KC-15	1,17	200	SB-18	0,12	26
KC-39	8,54	1418	KC-26	1,07	183	SB-24	0,11	25
KC-3	6,59	1095	KC-1	0,91	157	SB-27	0,10	23
KC-49	5,30	882	KC-25	0,89	154	SB-14	0,09	22
KC-29	4,69	781	SB-15	0,85	147	SB-17	0,09	22
KC-34	4,03	672	KC-19	0,76	133	SB-21	0,09	22
KC-44	3,74	625	KC-14	0,74	129	SB-1	0,08	21
KC-43	3,40	568	KC-13	0,71	124	SB-6	0,08	21
KC-7	3,36	562	KC-17	0,68	119	SB-30	0,08	21
KC-41	2,73	458	KC-18	0,62	109	SB-16	0,08	20
KC-40	2,49	418	SB-32	0,62	109	SB-12	0,07	19
KC-38	2,36	396	KC-48	0,61	108	SB-19	0,07	18
KC-50	2,32	391	KC-27	0,61	107	SB-22	0,07	18
KC-33	2,17	366	SB-34	0,58	103	SB-13	0,06	17
KC-10	1,90	321	KC-24	0,58	102	SB-07	0,04	14
KC-9	1,82	308	KC-46	0,45	82	SB-4	0,04	13
KC-4	1,77	300	KC-21	0,38	70	SB-2	0,02	11
KC-28	1,65	279	KC-22	0,38	69	SB-3	0,02	10
KC-45	1,51	257	KC-31	0,36	66	SB-5	0,02	10
KC-6	1,50	255	KC-47	0,32	60	SB-11	0,00	7
SB-35	1,41	240	KC-20	0,31	59			

\* Conrad ve diğer. (1997).

ds: deniz suyu

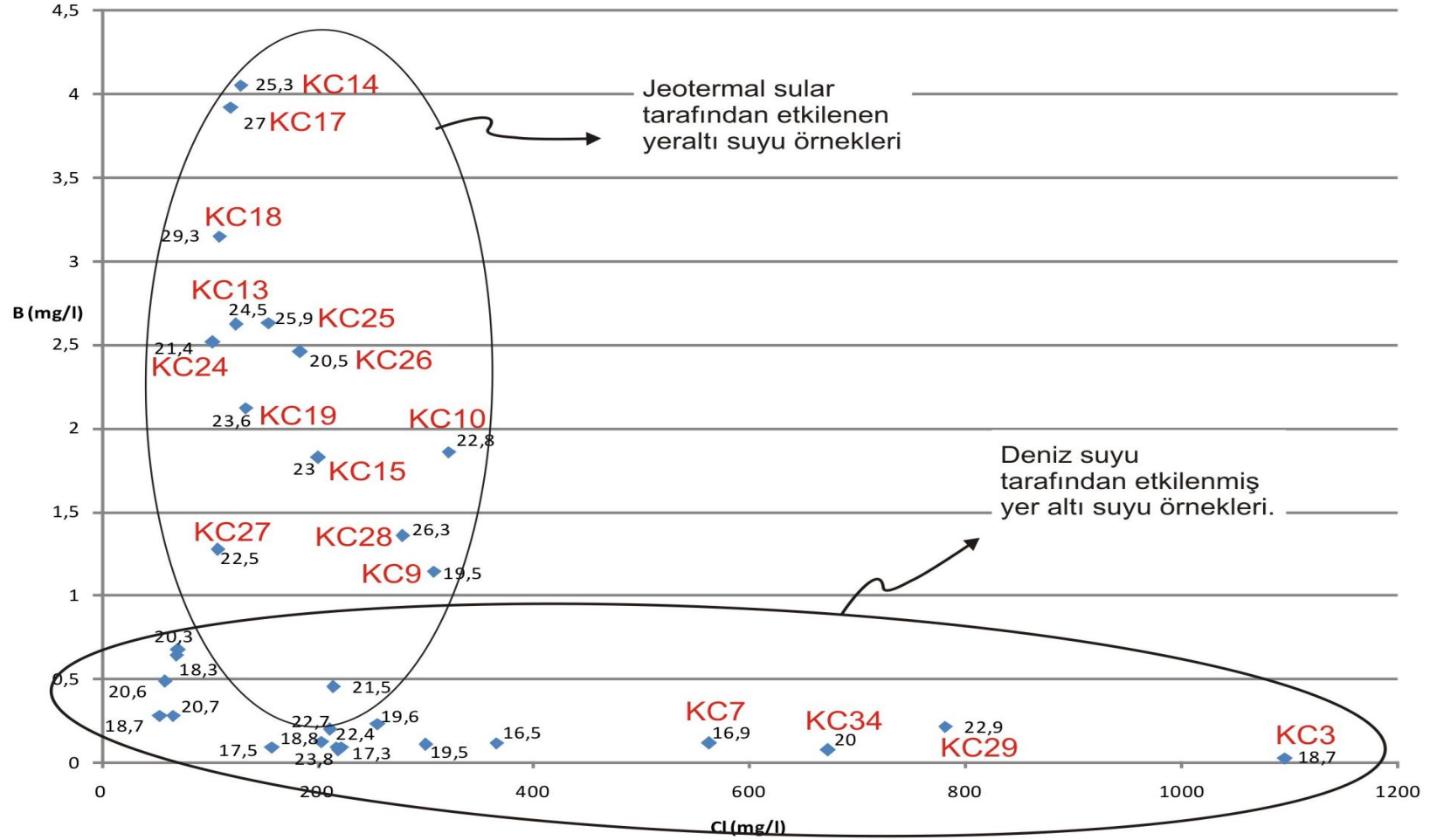


Şekil 3.32 Cl ile  $\delta^{18}\text{O}$  arasındaki ilişki.

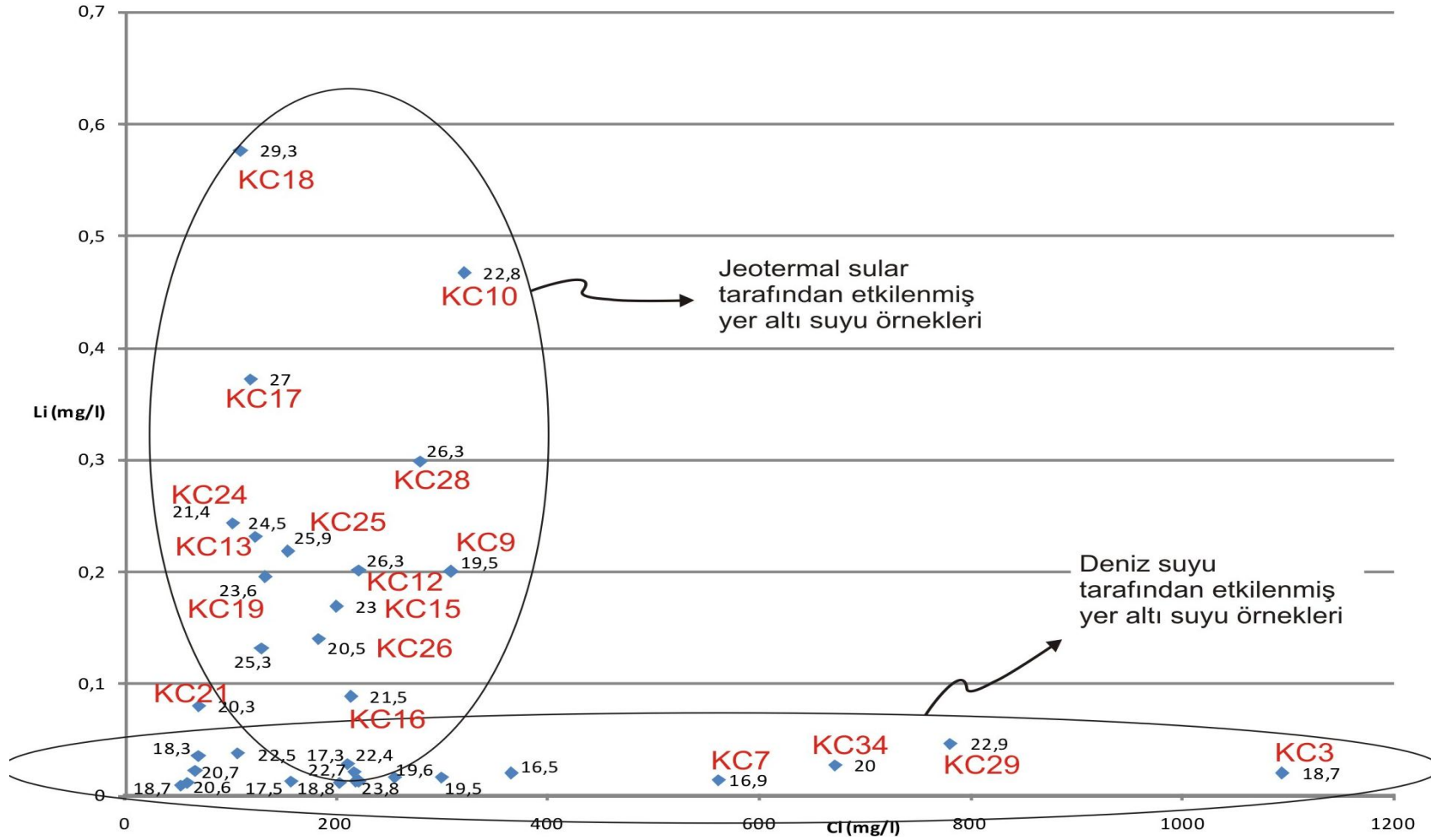
Çalışma alanı için çizilen  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\text{Cl}^-$  grafiğinde beslenme alanından alınan ve Balçova alanından alınan örnekler üstel bir fonksiyon olan buharlaşma çizgisi üzerinde çıkmıştır (Şekil 3.32). Ancak beslenme alanındaki örneklerde  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri,  $\text{Cl}^-$  derişimi sabit kalarak artmaktadır. Bu da yan kayaçların çözünmesinden kaynaklanmaktadır. Balçova alüvyonundan alınan soğuk su örneklerinin bir kısmı buharlaşma çizgisi üzerinde çıkmıştır. Bir diğer kısmının da  $\text{Cl}^-$  içerikleri oldukça yüksek çıkmıştır ki bu deniz suyu katkısını desteklemektedir.

$\text{Cl}^-$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  grafiği yer altı sularının kökenlerine ve karışım süreçlerine göre dağılımını vermektedir. Jeotermal suların karışım oranları, iki uç bileşen (deniz suyu ve tatlı su) arasında yeralan eksponansiyel doğru üzerinde görülmektedir. Beslenme alanından alınan yer altı suları buharlaşma doğrusu üzerinde çıkmaktadır. Fakat Balçova'dan alınan soğuk yer altı suları hafifçe ötelenmiştir. Burada buharlaşma, deniz suyu girişimi ve/veya jeotermal katkıdan etkilendiği söylenebilir.

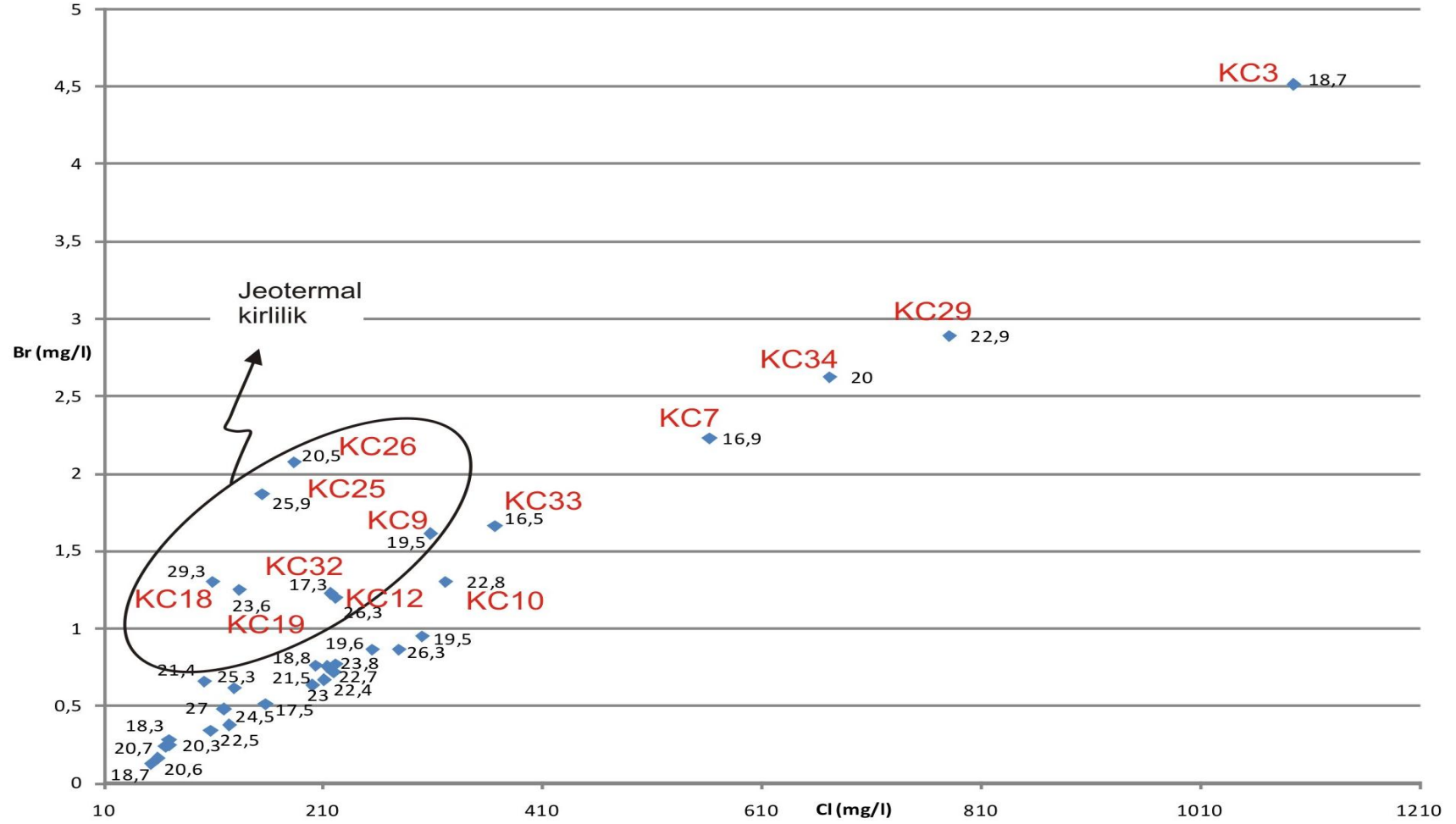
Balçova alüvyonundaki yer altı suları, alüvyon altındaki faylarla yüzeye yükselen jeotermal sulardan ve az da olsa deniz suyu girişiminden etkilenmiştir Aşağıdaki şekiller karışım süreçleri üzerinde daha açıklayıcıdır. Grafiklerde örneklerin adı ve sıcaklıkları etiket olarak kullanılmıştır. Jeotermal kirliliğin ve/veya deniz suyu girişiminin etkisinin böylece daha kolay görüleceği düşünülmüştür.  $\text{Br}^-$  ve  $\text{Cl}^-$  anyonları deniz suyu karışımını,  $\text{Li}$  ve yüksek sıcaklık değerleri ise alüvyon altında gömülü faylardan yayılan jeotermal suların etkisini işaret etmektedir. Bazı su örnekleri (KC-3, 29, 34 ve 7) göreceli olarak daha yüksek  $\text{Cl}^-$  içeriklerine sahiptir, fakat  $\text{Br}^-$  değerleri daha düşüktür (Şekil 3.33). Bu örnekler deniz suyundan etkilenmiştir. Diğer bir taraftan bazı su örnekleri ise (KC-14, 17, 18, 13, 25 ve 26) göreceli olarak daha düşük  $\text{Cl}^-$  içeriklerine sahiptir fakat  $\text{Br}^-$  değerleri yüksektir (Şekil 3.33). Bu örnekler ise jeotermal sulardan etkilenmiştir.  $\text{Cl}^-$ - $\text{Li}$  (Şekil 3.34) ve  $\text{Cl}^-$ - $\text{Br}^-$  (Şekil 3.35) grafiklerinde de aynı etkiler görülmektedir.



Şekil 3.33 Balçova bölgesindeki su örneklerinin sıcaklıkları ve Cl-B ilişkisi.



Şekil 3.34 Balçova bölgesindeki su örneklerinin sıcaklıkları ve Cl-Li ilişkisi.



Şekil 3.35 Balçova bölgesindeki su örneklerinin sıcaklıkları ve Cl-Br ilişkisi.

## **BÖLÜM DÖRT**

### **SEFERİHİSAR-BALÇOVA JEOTERMAL ALANLARINDA YERALTI SUYU AKIMI, ISI VE KÜTLE TAŞINIM MODELİ**

Balçova-Seferihisar jeotermal alanlarındaki termal akışkan sistemlerin termohalin modellemesi için DHI-WASY grubunun ürettiği FEFLOW yazılımı kullanılmıştır. FEFLOW akım, kütle ve enerji taşınımını yani termohalin akımını kontrol eden eşitliklerin çözülmesinde kullanılmaktadır. FEFLOW 2 veya 3 boyutlu akım, kütle ve sıcaklık taşınım için hazırlanmış bir sonlu elemanlar simülasyon paketidir. FEFLOW'un kullandığı advectif-dispersif modeli, kirleticilerin 2 ve 3 boyutlu kütle, sıcaklık ve hatta termohalin adveksiyon-dispersiyon denge eşitliklerini çözebilmektedir (Diersch, H.-J.G., 2002).

FEFLOW, hem doygun hem de yarı doygun akiferlerin incelenmesi olanağı tanır. Yarı doygun akifer koşullarında, van Genuchten-Mualem, Brooks-Corey (Diersch ve Perrochet, 1999) ve Haverkamp (Haverkamp ve diğer., 1977) gibi isteğe bağlı parametre modelleri için doğrusal olmayan Richard eşitliğini çözer. Alternatif olarak, 3 boyutlu, serbest akiferler için değiştirilebilen ağ yapısıyla, çoklu serbest yüzey yaklaşımı geliştirilmiştir.

FEFLOW aynı zamanda kararlı akım veya kararsız akım koşullarında çalışabilmektedir. Taşınım eşitlikleri kararlı veya kararsız akım koşulları için çözülebilmektedir.

Matematiksel modelleme; akışkanın kütle korunumu, kirletici maddelerin ve kimyasal bileşenlerin korunumu, akışkanın moment korunumu, enerji korunumu gibi temel fizik yasalarıyla şekillenmiştir. FEFLOW simülasyon sistemi yeraltı suyu akımını, kirletici kütlelerini ve ısı iletim süreçlerinin aynı anda veya ayrı ayrı modelleyebilmektedir. Bu özellik yukarıda değinilmiş olan 3 boyutlu ve kararsız akım sayısal analiz için kütle, kimyasal türler, doğrusal moment ve enerjiyle ilgili fiziksel korunum yasasına dayanmaktadır.

#### 4.1. Temel Tanım ve Kavramlar

Bu bölümde yeraltı suyu akımının temel kavramlarından olan akım potansiyeli ve Darcy Yasası incelenecek ve bu kavramlara dayalı olarak da yeraltı su akımının diferansiyel eşitliği (süreklilik eşitliği) geliştirilecektir.

##### 4.1.1 Hidrolik Yük (Akışkan Potansiyeli)

Yeraltı suyu, yüksek enerji seviyelerinden alçak enerji seviyelerine doğru hareket eder (Freeze ve Cherry, 1979; Bear, 1972; Bear, 1979). Enerji de birim zamanda iş yapabilme kabiliyeti şeklinde tanımlanır. Kısaca bir su molekülünün enerjisi, bu su molekülünün bir A noktasından bir B noktasına taşınması sonucunda yapılacak işle ölçülür. Simgesel olarak iş,

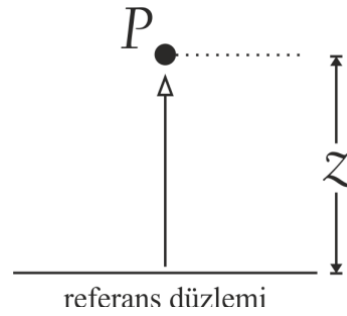
$$W = F \cdot s \quad (ML^2T^{-2}) \dots\dots\dots(4.1)$$

şeklinde formülize edilir. Bu eşitlikte W yapılan işi F uygulanan kuvveti, s de alınan yolu simgelemektedir. Yapılan işin veya enerjinin üç temel birim; M kütle, L uzunluk ve T zaman cinsinden birimi  $ML^2T^{-2}$ 'dir.

Referans düzlemi üzerinde bulunan bir su molekülünün referans düzleminden h kadar daha yukarıda bulunan bir P noktasına taşınmasıyla,

- a) Yükseklik enerjisi
- b) Hız enerjisi ve
- c) Basınç enerjileri oluşur (Şekil 4.1).





Şekil 4.1 Bir su molekülünün enerjisi (Freeze ve Cherry, 1979).

$$W_1 = mgz \quad \text{seviye değişimi nedeniyle yapılan iş (yükseklik enerjisi).} \dots\dots\dots(4.2)$$

$$W_2 = m \frac{v^2}{2} \quad \text{hız değişimi nedeniyle yapılan iş (kinetik enerji veya hız enerjisi).} (4.3)$$

$$W_3 = V\Delta p \quad \text{basınç değişimi nedeniyle yapılan iş (basınç enerjisi).} \dots\dots\dots(4.4)$$

Bu üç enerji şeklinin toplamına,

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \dots\dots\dots(4.5)$$

toplam enerji adı verilir.

Bölümün başında belirtilen “Yeraltı suyu; yüksek enerji seviyelerinden alçak enerji seviyelerine doğru hareket eder.” şeklindeki ifadeyi “Yeraltı suyu; toplam enerjisi yüksek olan seviyelerden toplam enerjisi daha düşük olan enerji seviyelerine doğru hareket eder.” şeklinde daha net olarak ifade etmek doğru olacaktır.

Yeraltı suyunun hızı genellikle oldukça düşüktür ve bir su molekülünün kinetik enerjisi (4.3) diğer yükseklik (4.2) ve basınç enerjilerinin (4.4) yanında ihmal edilebilir ve bir su molekülünün toplam enerjisi,

$$W = W_1 + W_3 = mgz + \int_{p_0}^p V dp \dots\dots\dots(4.6)$$

şeklinde ifade edilebilir.

$$W = mgz + m \int_{p_0}^p \frac{V}{m} dp = mgz + m \int_{p_0}^p \frac{dp}{m/V} = mgz + m \int_{p_0}^p \frac{dp}{\rho} \dots\dots\dots(4.7)$$

$m/V$  su molekülünün yoğunluğunu ( $\rho$ ) verir. Yoğunluğun sabit ve  $P_0 = 0$  olması durumunda (4.7) eşitliğinde verilen integral altındaki ifade  $\frac{mP}{\rho}$  şeklini alır ve bir su molekülünün toplam enerjisi de,

$$W = mgz + m \int_{p_0}^p \frac{dp}{\rho} = mgz + m \frac{P}{\rho} \dots\dots\dots(4.8)$$

olur.

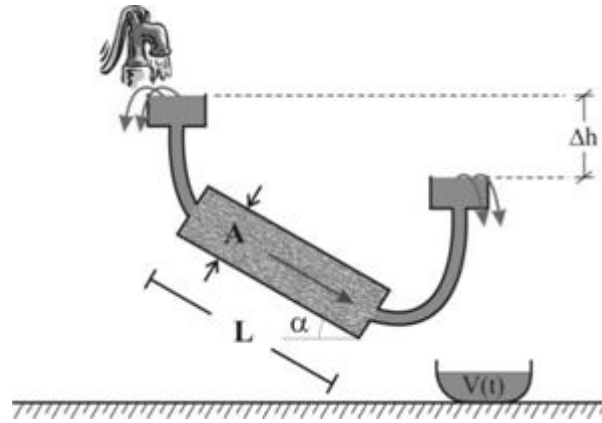
Eşitlik (4.8)'da gösterilen su molekülünün enerjisi yerine, bir su molekülünün birim ağırlığına karşıt gelen enerji kavramını kullanmak çok daha işlevsel bir kavramdır. Bu nedenle eşitlik (4.8)'in her iki tarafını su molekülünün ağırlığına bölerek, bir su molekülünün birim ağırlığına karşıt gelen enerjisi için,

$$\frac{W}{mg} = z + \frac{P}{\rho g} = z + \frac{P}{\gamma} \dots\dots\dots(4.9)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlik (4.9)'dan; bir su molekülünün birim ağırlığına karşıt gelen enerjisinin boyunun uzunluk,  $L$ , boyutuna eşit olduğu açıkça görülmektedir.

#### 4.1.2 Darcy Yasası

Darcy (1856), aşağıda şekli verilen düzeneğe benzer bir düzenek hazırlamıştır (Şekil 4.2). Bu düzenekte kullanılan tüpe Darcy'ye hürmeten Darcy tüpü adı verilmektedir.



Şekil 4.2 Darcy tüpünün şematik gösterimi.

Bu şekilde;

$A$  : Darcy tüpünün kesit alanını

$L$  : Darcy tüpünün boyunu

$\alpha$  : Darcy tüpünün eğim açısını

$\Delta h$  : Darcy tüpünün iki ucunda bulunan haznelerdeki su yüzeylerindeki su moleküllerinin enerji farklarını simgelemektedir.

Darcy, yukarıda verilen değişkenlerden birini değiştirip  $A$  kabında birim zamanda toplanan su miktarını (debiyi),

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(4.10)$$

hesaplamıştır. Bu eşitlikte  $V$ ,  $t$  süresi içerisinde Darcy tüpünün sağındaki kaptaki toplanan suyun hacmidir. Darcy ( $A$ ,  $L$ ,  $\alpha$  ve  $\Delta h$ ) değişkenlerinden birini, örneğin  $A$  (Darcy tüpünün kesit alanı)'yı değiştirip diğerlerini ( $L$ ,  $\alpha$  ve  $\Delta h$ ) sabit tutarak  $Q$  (debi) üzerindeki etkisini araştırmıştır. Darcy bu deneyi diğer değişkenler ( $L$ ,  $\alpha$  ve  $\Delta h$ ) için de aynen tekrarlamıştır.

Henry Darcy bu deney sonucunda  $Q$ 'nun  $A$ ,  $\Delta h$  ve  $1/L$  ile doğru orantılı, diğer bir deyişle,  $Q \sim A$ ,  $Q \sim \Delta h$  ve  $Q \sim 1/L$  olduğu sonucuna varmıştır.  $Q$ ;  $A$ ,  $\Delta h$  ve  $1/L$  ile doğru orantılı olduğuna göre bunların çarpımıyla da, doğru orantılıdır (Eşitlik 4.11).

$$Q \sim A \frac{\Delta h}{L} \dots\dots\dots(4.11)$$

Bir orantı katsayısı  $K$  kullanılarak, yukarıdaki doğru orantılılık,

$$Q = KA \frac{\Delta h}{L} \dots\dots\dots(4.12)$$

şeklindeki bir eşitlik ile ifade edilebilir (Kasenow, 1997). Eşitlik (4.12)'deki  $\frac{\Delta h}{L}$  'ye hidrolik eğim adı verilir.

Darcy bu orantı katsayısı  $K$ 'nın, tüp içersindeki daneli malzeme türüne göre farklılık gösterdiğini gözlemlemiş ve bu orantı katsayısı  $K$ 'ya hidrolik iletkenlik katsayısı adını vermiştir.

Yukarıdaki eşitlik,

$$K = \frac{Q}{A \frac{\Delta h}{L}} = \frac{\text{Birim zamanda geçen su miktarı}}{\text{Alan} \times \text{Hidrolik eğim}} \dots\dots\dots(4.13)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir. Bu yeni düzenlemeye göre hidrolik iletkenlik katsayısını ilk bakışta; birim alandan, birim hidrolik eğim altında, birim zamanda geçen su miktarı şeklinde tanımlamak mümkündür. Ancak daha net ve daha bilimsel olmak için, 25 °C'deki saf suyun, akım düzlemine dik olarak, birim alandan, birim hidrolik eğim altında, birim zamanda geçen su miktarı şeklinde tanımlamak gerekir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere birim, hız  $L/T$  birimine eşittir.

Henry Darcy'den sonraki çalışmalar, hidrolik iletkenliğin boşluklu ortamda;

- akan sıvının viskozitesine bağlı (akıcılığa karşı direnç)
- akan sıvının birim hacim ağırlığına bağlı ve
- akım ortamındaki malzemenin ortalama dane çapına bağlı,

bir fonksiyonu olarak sınıflandırılabilir (Todd, 1980). Diğer bir deyişle sembolik olarak  $K = k(\mu, \gamma, d)$  'dır. Yapılan boyut analizi çalışmaları ( $\pi$  teoremi) ile bu fonksiyonel ilişkinin  $k = Cd^2 \gamma / \mu$  olduğunu göstermiştir. Bu eşitlikte C boyutsuz bir katsayıdır. Bu eşitlikteki ilk çarpan  $Cd^2$  sadece akım ortamına ait bir özellik, ikinci çarpan  $\gamma / \mu$  ise sadece akım ortamındaki sıvıya ait bir özelliktir. Sadece akım ortamının özelliğini yansıtan küçük  $k$  'ya özgül permeabilite adı verilir (De Wiest, 1965).

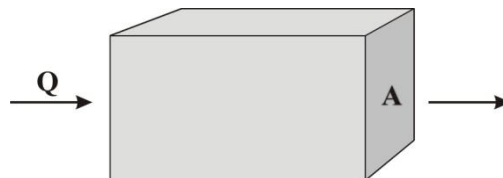
Yapılan çalışmalarda Darcy Yasası, Reynolds sayısının  $N_R < 1$  değerleri için geçerli olduğunu göstermiştir (Todd, 1980; De Wiest, 1965; Bear, 1972; Bear, 1979; Kasenow, 1997). Reynolds sayısı,

$$N_R = \frac{\rho v D}{\mu} \dots\dots\dots(4.14)$$

şeklinde verilmiş ve bu eşitlikte,  $\rho$  sıvının yoğunluğunu,  $v$  sıvının hızını,  $\mu$  sıvının viskozitesini,  $D$  de sıvının aktığı borunun çapını simgelemektedir. Özetle Darcy Yasası yeraltı suyunun düşük hızları için geçerlidir. Ancak yeraltı suyunun düşük hızlarında Darcy Yasası için bir alt limit bulunamamıştır (Todd, 1980).

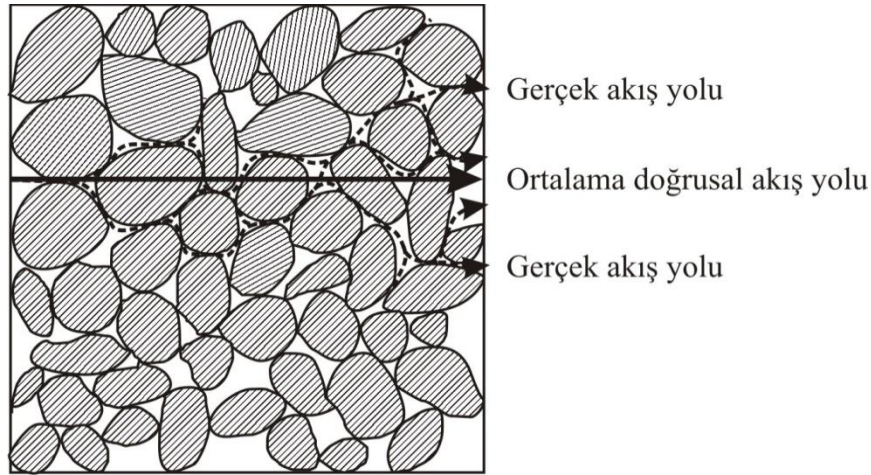
$$q = \frac{Q}{A} = K \frac{dh}{dL} \dots\dots\dots(4.15)$$

A kesitli bir alandan geçen su miktarının kesit alanına oranına ( $q = \frac{Q}{A} = K \Delta h / L$ ) özgül debi denir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Özgül debi tanımının şematik gösterimi.

Boyut analizi yapıldığında özgül debinin boyutunun da hız boyutuna eşit olduğu görülür. Teorik olan ortalama doğrusal akış yolundaki bu hız ( $q$ ), makroskobik hız, görünür hız veya Darcy hızı olarak bilinir. Fakat zemin içerisinde su partikülleri düzgün bir akış yolu izleyemez ve akış sırasında karşılarına çıkan tanelerin etrafından doluşurlar (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Gerçek hız, görünür hız ve turtozite kavramlarının şematik gösterimi (Freeze ve Cherry, 1979).

Su moleküllerinin izlediği bu gerçek akış yolundaki hız mikroskobik hız olarak bilinir. Mikroskobik hızlar yeraltı suyunun gerçek hızları olmakla birlikte ölçülmesi imkânsızdır. Bu nedenle yeraltı suyu akış yolu doğrusal olarak kabul edilir ve bütün hesaplamalarda gerçek (mikroskobik) hız yerine makroskobik hız kullanılır. Gerçek hız, akım ortamının turtozitesi (bir su molekülünün A ve B noktaları arasında izlediği gerçek yol uzunluğunun AB mesafesine oranı) ile ilişkili olduğu gibi akım ortamının porozitesi ile de ilişkilidir. Bir akım ortamının turtozitesini ölçmek pek mümkün değildir. Ancak gerçek hızın görünür hızla ilişkisi  $q_{gerçek} = q_{görünür}/n$  formülü ile verilebilir. Mikroskobik gerçek hıza sızıntı hızı da denir. Bu çalışmada gerçek hızlar (sızma hızları)  $v$  harfi ile gösterilecektir. Diğer bir deyişle  $v$  sızma hızı,  $q$  Darcy hızı ve  $n$  ortamın porozitesi olmak üzere  $v = q/n$ 'dir. Bu eşitlikte  $n$  akım ortamının porozitesini simgelemektedir.

Bir su molekülünün ince bir tüp içerisinde geçerek bir A noktasından bir B noktasına ulaştığını düşünelim. A noktası ve B noktaları arasındaki enerji farkı  $dh$

olsun, bu su molekülünün izlediği yolun uzunluğu ise  $dl$ 'dir. Bu koşullarda bu su molekülünün hızı Darcy Yasası'na göre  $q = K dh/dl$  olmalıdır. Ancak, bir ileriki kısımda da görülebileceği gibi Darcy Yasası'nı su molekülünün aldığı yol ile ifade etmek birçok yeraltı suyu probleminin çözümünde büyük güçlükler yaratır. Bununla beraber su molekülünün aldığı yol yerine kullanılan eksen üzerindeki izdüşümünü almak (Şekil 4.5), aşağıda da görüleceği üzere çok büyük hatalar oluşturmayacaktır.

$$q = K \frac{dh}{dl} \quad \text{su molekülünün Darcy Yasası'na göre hızı. ....(4.16)}$$

Pythagore teoremi kullanılarak,

$$(dl)^2 = (dh)^2 + (dx)^2 \quad \text{.....(4.17)}$$

su molekülünün aldığı yol,

$$dl = dx \sqrt{1 + (dh/dx)^2} \quad \text{.....(4.18)}$$

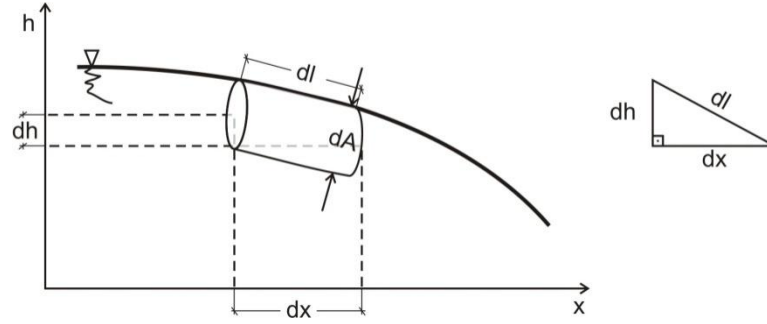
eşitliğiyle ifade edilebilir.

Yeraltı suyu hidrolik eğimlerinin düşük, diğer bir deyişle  $\frac{dh}{dx} \ll 1$ , olduğu göz önüne alındığında,  $dl \cong dx$  olur ve eşitlik (4.16) yerine yaklaşık olarak  $q \cong K \frac{dh}{dx}$  eşitliğini kullanmakta önemli bir sakınca yoktur.

Darcy Yasası ile hesaplanan hızın işareti ile kullanılan eksenin artış yönünü işaretlerin uyumlu olması arzu edilir. Bu uyumu geçekleştirmek için de Darcy yasasını,

$$q = -K \frac{dh}{dx} \quad \text{.....(4.19)}$$

şeklinde yazmak yeterli olacaktır.



Şekil 4.5 Darcy Yasası'nda pratiklik adına yapılan  $dl \approx dx$  varsayımının şematik açıklaması.

Darcy yasasını kuramsal olarak geliştirmek de mümkündür (McWorther ve Sunada, 1977).

#### 4.1.3 Yeraltı Suyu Akımının Diferansiyel Eşitliği

Akım ortamının herhangi bir noktasındaki su potansiyeli ve su akım hızları gibi bazı önemli değişkenlerin hesaplanabilmesi için yeraltı su akımını kontrol eden genel bir eşitliğe gereksinim vardır. Bu eşitlikte, mekân ve zamana göre ikinci ve/veya birinci türevler bulunacaktır. Bu nedenle bu eşitliğe yeraltı suyu akımının diferansiyel eşitliği adı verilir ve böyle bir eşitliğe; boyutları  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  ve  $\Delta z$  olan sonsuz küçük bir hacme sonsuz küçük bir zamanda giren ve çıkan su miktarının bilançosu yapılarak ulaşılır. Yeryüzünde var olan bir madde hiçbir şekilde yok edilemeyeceğine veya yeryüzünde olmayan bir madde de yoktan var edilemeyeceğine göre, sonsuz küçük bu elemanter hacme giren su miktarı, çıkandan büyükse depodaki madde hacmi artacak aksi halde eksilecektir. Bu olay; simgesel olarak,

$$\sum Q_{\text{giren}} - \sum Q_{\text{çıkan}} = \pm \Delta M \dots\dots\dots(4.20)$$

şeklinde ifade edilir.

Yukarıdaki eşitliğin solundaki birinci terim sonsuz küçük hacme giren, ikinci terim ise çıkan su, sağdaki (+ veya - işaretine sahip) terim ise depodaki su miktarının değişimini simgelemektedir.



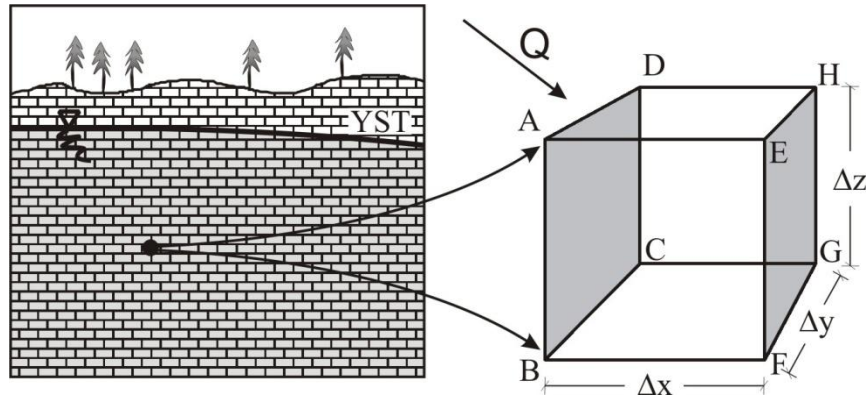
Özetle söz konusu diferansiyel eşitliğin çıkarılışı, tamamen maddenin korunumu ilkesine dayandırılmaktadır. Bu nedenle, bu şekilde geliştirilen diferansiyel eşitliğe maddenin korunumu eşitliği veya süreklilik eşitliği de denir.

Akım ortamında istenildiği kadar küçük tutulabilen  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  ve  $\Delta z$  boyutlarındaki dikdörtgenler prizmasına,  $x$  yönünde ABCD yüzeyinden birim zamanda giren su kütlesi  $\rho q_x \Delta y \Delta z$ , dikdörtgenler prizmasının  $x$  yönünde EFGH yüzeyinden birim zamanda çıkan suyun kütlesi ise şu şekildedir:

$$\left( \rho q_x + \underbrace{\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x}}_{\text{degisim}} \underbrace{\Delta x}_{\text{miktar}} \right) \Delta y \Delta z \dots\dots\dots(4.21)$$

Şekil 4.6'da gösterilen elemanter hacme,  $x$  yönünde birim zamanda giren su kütlesi ile birim zamanda çıkan su kütlesi arasındaki fark ise, aşağıdaki gibi olur:

$$\rho q_x \Delta y \Delta z - \left( \rho q_x + \underbrace{\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x}}_{\text{degisim}} \underbrace{\Delta x}_{\text{miktar}} \right) \Delta y \Delta z = - \frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z \dots\dots\dots(4.22)$$



Şekil 4.6 Akım ortamında alınan bir elemanter hacim.

Elemanter hacme  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönlerinde birim zamanda giren ve birim zamanda çıkan su kütleleri arasındaki farkların toplamı ise elemanter hacim içerisindeki su kütlesinin birim zamandaki değişimini verecektir (Şekil 4.7). Bu işlemler yapıldığında,

$$\text{x yönünde giren ve çıkan arasındaki fark} = -\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z \quad \dots\dots\dots(4.23)$$

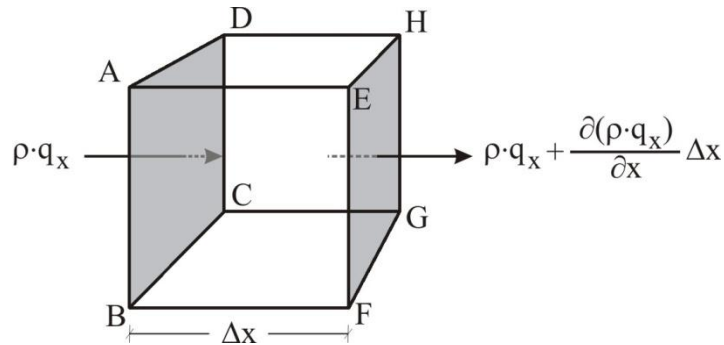
$$\text{y yönünde giren ve çıkan arasındaki fark} = -\frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} \Delta x \Delta y \Delta z \quad \dots\dots\dots(4.24)$$

$$\text{z yönünde giren ve çıkan arasındaki fark} = -\frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} \Delta x \Delta y \Delta z \quad \dots\dots\dots(4.25)$$

ve

$$-\left(\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z}\right) \Delta x \Delta y \Delta z = \frac{\partial(\Delta M)}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(4.26)$$

eşitliği elde edilir.



Şekil 4.7 Elemanter hacme giren ve çıkan sıvı kütlesinin şematik gösterimi.

Elemanter hacim içerisindeki suyun kütlesi  $\Delta M = \rho n \Delta x \Delta y \Delta z$  'dir. Bu kütlenin zaman içerisindeki değişimine gelince; akiferin düşey yönde basınçların etkisi nedeniyle yukarıdaki eşitlikte yer alan ortamın porozitesi ( $n$ ), akım ortamındaki sıvının yoğunluğu ( $\rho$ ) ve elemanter hacmin yüksekliği ( $\Delta z$ ) zaman içerisinde değişecektir. Ancak, akifer içerisindeki elemanter hacmin etrafında bulunan malzemelerin direnci nedeniyle, bir akiferdeki yanıl deformasyonlar ihmal edilebilir (De Wiest, 1965; Hantush, 1960; Bear, 1972; Bear, 1979; Goodman, 1980). Bu koşullar altında elemanter hacim içerisindeki su kütlesinin zaman içerisindeki değişimi;

$$\frac{\partial(\Delta M)}{\partial t} = \frac{\partial(\rho n \Delta x \Delta y \Delta z)}{\partial t} = \left( \rho n \frac{\partial(\Delta z)}{\partial t} + \rho \Delta z \frac{\partial n}{\partial t} + n \Delta z \frac{\partial \rho}{\partial t} \right) \Delta x \Delta y \dots\dots\dots(4.27)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eşitlik (4.27)'nin sağında bulunan terimin parantez içerisindeki terimler geliştirildiğinde,

$$\frac{\partial(\Delta M)}{\partial t} = \rho(\alpha + n\beta) \frac{\partial p}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z = \rho^2 g(\alpha + n\beta) \frac{\partial h}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z \dots\dots\dots(4.28)$$

eşitliği elde edilebilir (De Wiest, 1965). Bu eşitlikte  $\alpha$  ve  $\beta$  sırasıyla, akım ortamının ve bu ortamda akan sıvının sıkıştırılabilirliğidir. Sonuç olarak yeraltı suyu akımını kontrol eden diferansiyel eşitlik, aşağıdaki şekli alır:

$$-\left( \frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} \right) = \rho^2 g(\alpha + n\beta) \frac{\partial h}{\partial t} \dots\dots\dots(4.29)$$

Ancak bu eşitlikte  $q_x$ ,  $q_y$ ,  $q_z$  ve  $h$  olmak üzere dört bilinmeyen ve sadece bir eşitlik bulunmaktadır. Diğer bir deyişle, bu eşitliğin çözümü için üç eşitliğe daha gereksinim vardır. Bu eşitlikler Darcy yasasından elde edilebilir. Anizotrop bir ortamda, asal eksen sistemine göre yazılmış Darcy yasası,

$$q_x = -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \dots\dots\dots(4.30)$$

$$q_y = -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \dots\dots\dots(4.31)$$

$$q_z = -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \dots\dots\dots(4.32)$$

eşitlikleriyle ifade edilir. Bu eşitliklerde  $q_x$ ,  $q_y$  ve  $q_z$  sırasıyla x, y ve z yönlerindeki özgül debiler  $K_x$ ,  $K_y$  ve  $K_z$  de x, y ve z yönlerindeki hidrolik iletkenliklerdir. Eşitlik (4.30), (4.31) ve (4.32), eşitlik (4.26)'da yerlerine konulduğunda yeraltı suyu akımını kontrol eden diferansiyel eşitlik anizotrop ve heterojen bir ortamda, aşağıdaki şekli alır.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \rho K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = \rho S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(4.33)$$

Bu eşitlikteki  $S_s$  birim hacimdeki akiferin birim yük değişimi altında içerisine aldığı veya verdiği su miktarı olup, özgül depolama katsayısı adı verilir ve değeri,  $S_s = \rho g(\alpha + n\beta)$  formülüyle hesaplanabilir. Yeraltı suyu akımını kontrol eden bu diferansiyel eşitlik, yoğunluğun mekan içindeki değişimi ihmal edildiğinde, heterojen ve anizotrop bir ortamda, aşağıdaki şekli,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(4.34)$$

homojen ve izotrop bir ortamda ise, aşağıdaki şekli alacaktır:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K} \frac{\partial h}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(4.35)$$

## 4.2. Çözünmüş Maddelerin Taşınması

### 4.2.1. Temel Tanım ve Kavramlar

Sularda erimiş madde miktarları derişim terimi ile ifade edilir ve adveksiyon, difüzyon ve dispersiyon olayları da suda erimiş halde bulunan maddelerin taşınmasında rol alan önemli temel olaylardır. Bu nedenle, bu bölümde derişim kavramından sonra; adveksiyon, difüzyon ve dispersiyon olaylarına değinilecek ve sonra da, suda erimiş halde bulunan maddelerin taşınımının diferansiyel eşitliğinin geliştirilmesine yer verilecektir.

#### 4.2.1.1 Derişim

Derişim, belirlenen bir birim hacimdeki sıvıda çözünmüş madde kütlesi olarak tanımlanır. Derişim birimi olarak su kimyasında genellikle derişimin tanımlanmasında gr/L, mg/L birimleri de sık sık kullanılır. Parts per million (ppm);

$$ppm = \frac{\text{gram cinsinden erimiş madde miktarı}}{\text{eriyiğin gram cinsinden ağırlığı} \times 10^{-6}} \dots\dots\dots(4.36)$$

ve

$$\text{oransal derişim} = \frac{\text{erimiş maddenin kütlesi}}{\text{eriyiğin kütlesi}} \dots\dots\dots(4.37)$$

förmülleri çok sık kullanılan derişim birimlerindedir ve  $ppm = 10^6$  oransal derişimdir.

#### 4.2.1.2 Adveksiyon

Adveksiyon, kirletici maddelerin yeraltı suyuyla birlikte gözenekli ortamda, suyun akma hızıyla hareket etmesi olayıdır. Adveksiyon, akıntıya kapılan bir botun, suyun hızıyla hareket etmesine benzetilebilir (Şekil 4.8). Suyun akma hızı, gözenekli ortamdaki kirleticilerin ortalama doğrusal hızıdır. Kirleticilerin ortalama doğrusal

hızı,  $v = -\frac{K}{n_e} \frac{\partial h}{\partial l}$  eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte,  $K$  ve  $n$  sırasıyla akım ortamının

hidrolik iletkenlik katsayısı, etkin porozitesi ve  $\frac{\partial h}{\partial l}$  de akım yönündeki hidrolik eğimdir.



Şekil 4.8 Adveksiyon kavramı.

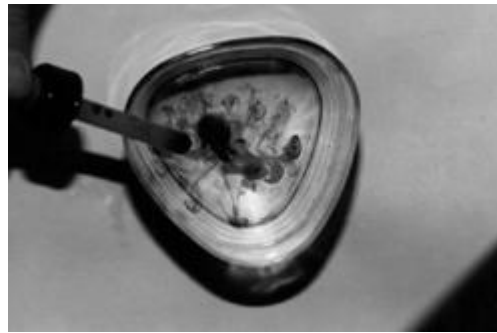
Akı (Flux), birim alandan birim zamanda geçen erimiş madde miktarı şeklinde tanımlanabilir ve akım düzlemine dik bir yüzeyden adveksiyon yoluyla geçen erimiş madde miktarı (advective flux) da,

$$f_{adv} = vnC \quad M / L^2 / T \dots\dots\dots(4.38)$$

eşitliği ile hesaplanır, birimi de  $M / L^2 / T$  'dir. Bu eşitlikte  $f_{adv}$  adveksiyon yoluyla geçen erimiş madde miktarı (advektif akı),  $v$  boşluklu ortamdaki sıvının hızını,  $n_e$  boşluklu ortamın etkin porozitesini ve  $C$  yeraltı suyundaki kirleticilerin derişimini simgelemektedir.

#### 4.2.1.3 Difüzyon

Difüzyon; çözülmüş maddelerin yüksek derişimden düşük derişime doğru hareketidir. Difüzyon, ateşten çıkan dumanın rüzgârsız bir günde atmosfere ve/veya bardakta durgun duran suya damlatılan bir kaç damla mürekkebin suda yayılmasına benzetilebilir (Şekil 4.9).

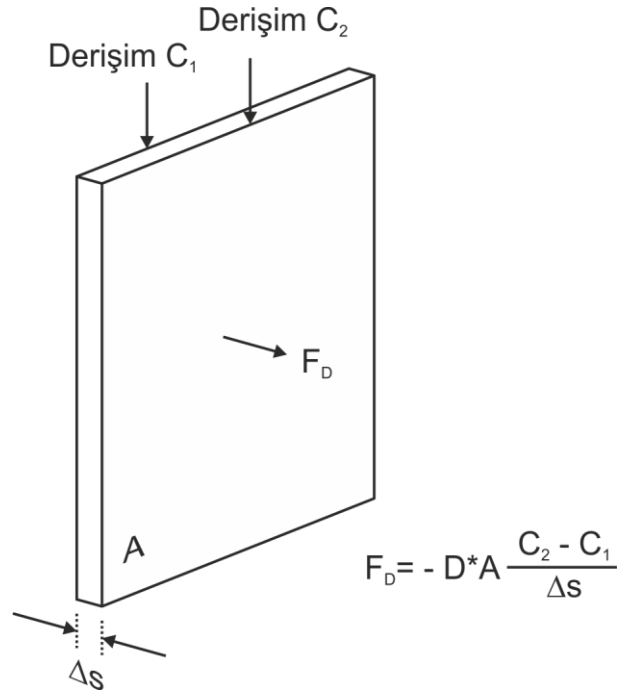


Şekil 4.9 Difüzyon kavramı.

Fick Yasası'na göre, sadece difüzyon yoluyla birim alandan, birim zamanda akım düzlemine dik yönde geçen erimiş madde miktarı, erimiş madde miktarının eğimiyle doğru orantılıdır. Simgesel olarak bu yasa,

$$f_{dif} = -D * \frac{\partial C}{\partial l} \dots\dots\dots(4.39)$$

şeklinde ifade edilir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Fick yasasının şematik gösterimi.

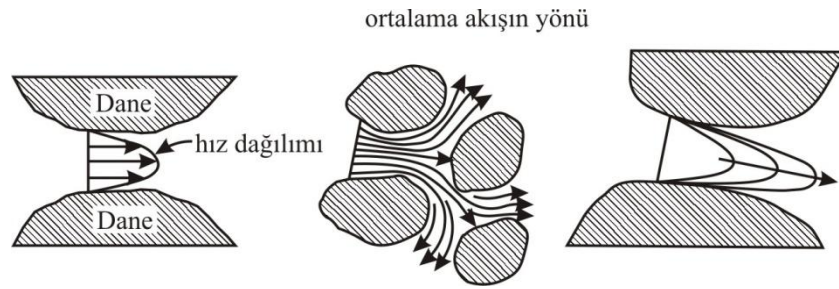
Eşitlik (4.39)'da  $D^*$ 'a moleküler difüzyon katsayısı veya sadece difüzyon katsayısı adı verilir.  $\frac{\partial C}{\partial l}$  ise erimiş madde miktarının, erimiş madde miktarı akımı yönündeki eğimidir. Yukarıdaki eşitlik (4.39) ile ifade edilen  $f_{dif}$  difüzyon yoluyla oluşan (difüziv) akıdır. Birimi  $M / L^2 / T$ 'dir. Bu koşullarda moleküler difüzyon katsayısı  $D^*$ 'ın birimi de  $L^2 / T$  olur.

Moleküler difüzyon katsayısı, sıkışkan içinde çözünmüş halde bulunan iyonların bir özelliğidir ve yeraltı suyunda bulunan ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) temel iyonların difüzyon katsayıları  $1 \times 10^{-9}$  ile  $2 \times 10^{-9}$   $m^2/s$  arasındadır (Freeze ve Cherry, 1979).

#### 4.2.1.4 Dispersiyon

Dispersiyon, derişim gradyanından ve akım ortamının heterojenliği nedeniyle yeraltı suyu akım hızının farklı noktalarda farklı değerler almasıyla oluşan bir yayılma türüdür.

Porozitenin arttığı noktalarda yeraltı suyu akım hızı azalır, azaldığı noktalarda ise hızlanır. Yeraltı suyunun önüne çıkan engeller nedeniyle, yeraltı suyu akım yönünde sık sık gelişigüzel değişiklikler yapar ve bir su molekülü bir A noktasından bir B noktasına giderken aldığı yol çok uzayabilir. Yeraltı suyu sediman yüzeyleri arasında hareket ederken duvara yakın olan akım çizgileri, ortadaki akım çizgilerine kıyasla daha yavaş hareket edecektir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 Yeraltı suyu akım hızlarının akım ortamının mikroskobik yapısına göre değişimi (Freeze ve Cherry, 1979).

Dispersiyon yoluyla birim alandan, birim zamanda, akım düzlemine dik yönde geçen erimiş madde miktarı, erimiş madde miktarının eğimiyle doğru orantılıdır. Simgesel olarak bu yasa,

$$f_{dis} = -D \frac{\partial C}{\partial l} \dots\dots\dots(4.40)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlik (4.40)'da  $D$  'ye hidrodinamik dispersiyon katsayısı adı verilir,  $\frac{\partial C}{\partial l}$  ise erimiş madde miktarının, erimiş madde miktarı akımı yönündeki eğimidir. Yukarıdaki eşitlik ile ifade edilen  $f_{dis}$  dispersiyon yoluyla oluşan (dispersive flux) akıdır. Birimi  $M / L^2 / T$  olmalıdır. Bu koşullarda moleküler dispersiyon katsayısı  $D$  'nin de birimi  $L^2 / T$  'dir.

Yukarıda dispersiyon ile ilgili yapılan özet açıklamalardan da anlaşılacağı üzere hidrodinamik dispersiyon katsayısı,  $D$ , erimiş halde bulunan maddenin özelliği olduğu kadar akım ortamının özelliklerini de yansıtan bir parametredir ve aşağıdaki



gibi elde edilir (Freeze ve Cherry, 1979).

$$D = \alpha v + D^* \dots\dots\dots(4.41)$$

Eşitlik (4.41)'de  $\alpha$  dispersivite katsayısıdır ve sadece akım ortamının özelliklerini yansıtan bir parametredir.  $v$  akım ortamındaki sıvının hızı ve  $D^*$  bu sıvıda erimiş halde bulunan maddenin moleküler difüzyon katsayısıdır. Yeraltı suyu söz konusu olduğunda moleküler difüzyon katsayısı  $D^*$ ,  $\alpha v$  teriminin yanında ihmal edilebilir ve yukarıdaki eşitlik (4.41)  $D \cong \alpha v$  şeklinde yazılabilir.

Bir yüzeyden toplam erimiş madde miktarı advectif akı ile difüzyif akının toplamına eşittir. Özetle,

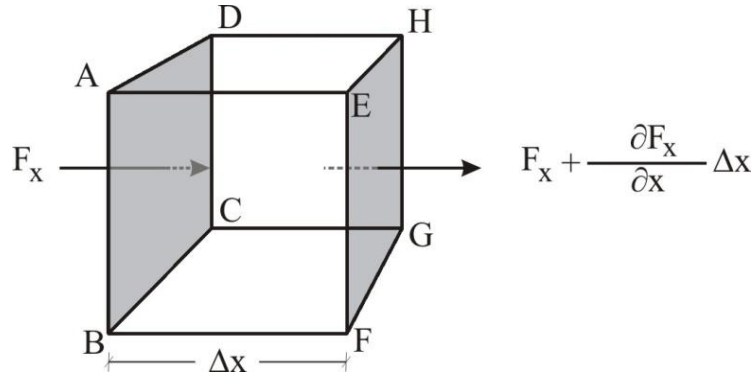
$$F \cdot dA = f_{adv} + f_{dif} = \underbrace{vnCdA}_{advectif\ akim} - nD \underbrace{\frac{\partial C}{\partial l}}_{difüzyif\ akim} dAm \dots\dots\dots(4.42)$$

Bu eşitlikte ki  $A$  akım yönüne dik olan yüzey alanı,  $l$  de yine akım yönüne dik yönde alınan yoldur.

### 4.3 Erimiş Madde Akımının Diferansiyel Eşitliği

Boyutları  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  ve  $\Delta z$  olan elemanter bir hacmin (Şekil 4.12) ABCD yüzeyinden birim zamanda giren ve EFGH yüzeyinden birim zamanda çıkan toplam erimiş madde miktarları sırasıyla aşağıdaki gibidir:

$$F_x \Delta y \Delta z \text{ ve } \left( F_x + \underbrace{\frac{\partial F_x}{\partial x} \Delta x}_{degisim} \right) \Delta y \Delta z \dots\dots\dots(4.42)$$



Şekil 4.12 Elemanter hacme x yönünde, birim alandan giren ve çıkan erimiş madde kütlesi.

x yönünde giren erimiş madde miktarı ile çıkan arasındaki fark da, y yönünde giren ve çıkan arasındaki fark da,  $-\frac{\partial F_x}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z$  olur. x, y ve z yönünde giren çıkan arasındaki farklar toplamının da, aşağıdaki gibi olacağı kolaylıkla gösterilebilir.

$$-\left(\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z}\right) \Delta x \Delta y \Delta z \dots\dots\dots(4.43)$$

Eşitlik (4.43)'deki  $F_x$ ,  $F_y$  ve  $F_z$  sırasıyla, elemanter hacme x, y ve z yönlerinde,

$$F_x = nv_x C - nD_x \frac{\partial C}{\partial x} \dots\dots\dots(4.44)$$

$$F_y = nv_y C - nD_y \frac{\partial C}{\partial y} \dots\dots\dots(4.45)$$

$$F_z = nv_z C - nD_z \frac{\partial C}{\partial z} \dots\dots\dots(4.46)$$

eşitlikleri ile verilmiş birim alandan birim zamanda giren toplam erimiş madde miktarlarıdır. Elemanter hacme birim zamanda giren erimiş madde miktarı ile çıkan arasındaki fark depodaki erimiş madde miktarının birim zamandaki değişim

$n \frac{\partial C}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z$  'ye eşit, diğer bir deyişle,

$$-\left(\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z}\right) = n \frac{\partial C}{\partial t} \dots\dots\dots(4.47)$$

olmalıdır.

Eşitlik (4.44), (4.45) ve (4.46), eşitlik (4.47)'de yerine konulduğunda, heterojen ve anizotrop bir akım ortamında erimiş madde miktarı akımını kontrol eden, aşağıdaki diferansiyel eşitlik elde edilir:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \left( \frac{\partial(v_x C)}{\partial x} + \frac{\partial(v_y C)}{\partial y} + \frac{\partial(v_z C)}{\partial z} \right) = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (4.48)$$

Homojen ve izotrop üç boyutlu bir ortamda eşitlik (4.48), aşağıdaki halini alır:

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \left( \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial C}{\partial z} \right) = \frac{\partial C}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(4.49)$$

Eşitlik (4.49) tek boyutlu bir ortamda ise,

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad \dots\dots\dots(4.50)$$

şeklini alır. Burada v,

$$v = -\frac{K}{n} \frac{dh}{dx} \text{ şeklindedir.}$$

#### 4.4 Isı Taşınım Eşitlikleri

Suya doymun, gözenekli bir ortamdaki ısı taşınımı, katı fazda kondüksiyon ile, sıvı fazda kondüksiyon veya adveksiyon ile gerçekleşmektedir. Yeraltı suyundaki ısı taşınımını kontrol eden eşitlikler, kütle taşınımını kontrol eden eşitlikler gibi, bölüm 4.2'de verilen adveksiyon ve dispersiyon tipindeki kısmi diferansiyel eşitliklerdir. Birim hacim için enerjinin korunumu yasasını uygulayarak yeraltı sularında ısı taşınımını aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$nR \frac{\partial T}{\partial t} + v_i \frac{\partial T}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = Q \quad \dots\dots\dots(4.51)$$

Burada  $v_i$  eşitlik (4.30), (4.31) ve (4.32)'de verilen özgül debi başka bir deyişle hız, T ise ortamın sıcaklığıdır.  $D_{ij}$  difüzyon katsayısı tensörü, efektif termal difüzivite ( $D^*$ ) olarak kullanılmıştır. Efektif termal difüzivite, termal kondüktivitenin ( $k_{eff}$ ) sıvı fazın hacimsel ısı kapasitesine ( $\rho_1 c_1$ ) oranıyla ifade edilir.

$$D^* = \frac{k_{eff}}{\rho_l c_l} \dots \dots \dots (4.52)$$

Efektif termal kondüktivite, suya doygun ortama ait termal kondüktivitenin ( $k_{eff}$ ) hacim ağırlıklı ortalamasına bağlıdır ve poroziteyle ( $n$ ) ifade edilir.  $k_l$  ve  $k_s$  sırasıyla sıvı fazın ve ortamın termal kondüktivitesidir.

$$k_{eff} = nk_l + (1 - n)k_s \dots \dots \dots (4.53)$$

Suyun ve ortamın kondüktivitesini ve termal kapasitesini karıştırmamak gerekir çünkü ısı hem suda hem de ortamda korunur ve kondüksiyonla taşınır. Fakat ısı sadece suda adveksiyonla taşınır. Bu yüzden sıvı ve katı ortamların hacimsel ısı kapasitelerindeki oluşan farklar nedeniyle bir gecikme katsayısını ( $R$ ) tanımlamak gerekir. Termal gecikme katsayısı, sıvı fazın hacimsel ısı kapasitesine ( $\rho_l c_l$ ), ortamın hacimsel ısı kapasitesine ( $\rho_s c_s$ ) ve poroziteye bağlıdır.

$$R = \frac{1+(1-n)c_s \rho_s}{nc_l \rho_l} \dots \dots \dots (4.54)$$

Eşitlik (4.51)'deki ikinci terim yeraltı suyundaki ısı adveksiyonunu temsil eder ve eşitlik (4.35) ile birlikte çalışır. Yeraltı suyunun hızı sıfır olursa, eşitlik (4.51) Fourier'in ısı kondüksiyon kanunuyla ifade edilen eşitliğe indirgenmiş olur. Fourier'in ısı kondüksiyon kanununa göre sıcaklık gradyanından söz edilen bir ortamda, ısı enerjisi yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru taşınır. Bu olaya ısı taşınım kondüksiyonu denir ve Fourier'in ısı kondüksiyon kanunu olarak bilinir. Isı akışı vektörü ( $q$ ), termal kondüktiviteye ( $k$ ) ve sıcaklığa ( $T$ ) bağlıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$q = -k \vec{\nabla} T \dots \dots \dots (4.55)$$

#### 4.5 Feflow Modelinde Kullanılan Eşitlikler

FEFLOW'un çözüm tekniğini anlamak için kullandığı temel eşitliklerden yola çıkarak gerekir. Korunum yasasının genel şekli aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial(\rho\Psi)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho v_i \Psi) + \frac{\partial j_i}{\partial x_i} = \rho f \quad \dots\dots\dots(4.56)$$

Korunum yasasından yola çıkarak aşağıdaki kirletici kütlesi için türetilmiş taşınım eşitliğinin son şekli ise aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon RC) + \frac{\partial}{\partial x_i}(q_i^f C) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \underbrace{(D_{ij}^{mol_f} + D_{ij}^{disp_f})}_{D_{ij}} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right] + \varepsilon R \vartheta C = Q_C \quad \dots\dots\dots(4.57)$$

f sıvı fazı ve s katı fazı için bireysel enerji korunum eşitlikleri sırasıyla aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_f \rho^f E^f) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\varepsilon_f \rho^f v_i^f E^f) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ (\lambda_{ij}^{cond_f} + \lambda_{ij}^{disp_f}) \frac{\partial T^f}{\partial x_j} \right] = \varepsilon_f \rho^f Q_T^f \quad \dots\dots\dots(4.58)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_s \rho^s E^s) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_{ij}^{cond_s} \frac{\partial T^s}{\partial x_j} \right) = \varepsilon_s \rho^s Q_T^s \quad \dots\dots\dots(4.59)$$

Bu iki ısı iletim eşitlikleri toplanabilir. Sonuç olarak, her faz için enerji eşitliklerini ayrı ayrı çözmeye gerek yoktur. Bunu yapmaktansa toplam enerji korunum eşitliğinin kullanılması tercih edilebilir.

$$\frac{\partial}{\partial t}[\varepsilon \rho^f E^f + (1 - \varepsilon) \rho^s E^s] + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho^f q_i^f E^f) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = Q_T \quad \dots\dots\dots(4.60)$$

Toplam enerji korunum eşitliklerinin çıkarılmasında sırasıyla aşağıdaki termodispersif ve ısı kaynağı terimleri kullanılmıştır:

$$\lambda_{ij} = \lambda_{ij}^{cond_f} + \lambda_{ij}^{cond_s} + \lambda_{ij}^{disp_f} \quad \dots\dots\dots(4.61)$$

$$= \underbrace{[\varepsilon\lambda^f + (1-\varepsilon)\lambda^s]\delta_{ij}}_{\text{kondüktif}} + \underbrace{\rho^f c^f \left[ \alpha_T V_q^f \delta_{ij} + (\alpha_L - \alpha_T) \frac{q_i^f q_j^f}{V_q^f} \right]}_{\text{dispersif}} \dots\dots\dots(4.62)$$

$$Q_T = \varepsilon\rho^f Q_T^f + (1-\varepsilon)\rho^s Q_T^s \dots\dots\dots(4.63)$$

Burada  $V_q^f = \sqrt{q_i^f q_i^f}$  Darcy akımını göstermektedir. Tüm bu formüller ırsaklık terimlerinden dolayı ırsaklık (diverjans) formülleri şeklinde isimlendirilir. Isı iletim eşitliklerinin ırsaklık şekli, ancak f sıvı fazı ve s katı fazı için iç enerjilerin uygulanması şartıyla tamamen T sistem sıcaklığı tarafından ifade edilebilir. Yukarıdaki ısı iletim formülü şu halini alır.

$$\frac{\partial}{\partial t}[(\varepsilon\rho^f c^f + (1-\varepsilon)\rho^s c^s)T] + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho^f q_i^f c^f T) - \frac{\partial}{\partial x_i}(\lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j}) = Q_T \dots\dots\dots(4.64)$$

f sıvı faz ve s katı faz için sırasıyla, kütle korunum eşitlikleri aşağıdaki gibidir.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon\rho^f) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho^f q_i^f) &= \varepsilon\rho^f Q_\rho^f = \rho^f Q_\rho \\ \frac{\partial}{\partial t}((1-\varepsilon)\rho^s) &= (1-\varepsilon)\rho^s Q_\rho^s \approx 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4.65)$$

Bu eşitlikler daha önce kullandığımız ırsaklık terimleriyle yer değiştirilebilir. Böylece sırasıyla, kirlenici kütle iletim ve ısı iletimleri eşitlikleri için termal kondüktivite şekilleri elde edilmiş olur.

$$\varepsilon R_d \frac{\partial C}{\partial t} + q_i^f \frac{\partial C}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + (\varepsilon R_\vartheta + Q_\rho) C = Q_C \dots\dots\dots(4.66)$$

$$[\varepsilon\rho^f c^f + (1-\varepsilon)\rho^s c^s] \frac{\partial T}{\partial t} + \rho^f c^f q_i^f \frac{\partial T}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \rho^f c^f Q_\rho (T - T_o) = Q_T \dots\dots(4.67)$$

İletim eşitliklerinin ırsaklık şekliyle kondüktivite şekli fiziksel olarak tamamen aynıdır. İki boyutlu yatay iletim eşitliklerinin ırsak şeklinde yazılmalarıyla,

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon RBC) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\bar{q}_i^f C) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ B(D_{ij}^{mol_f} + D_{ij}^{disp_f}) \frac{\partial C}{\partial x_j} \right] + \varepsilon R\vartheta C &= \bar{Q}_C \\ \frac{\partial}{\partial t} [B(\varepsilon \rho^f c^f + (1-\varepsilon)\rho^s c^s)T] + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho^f \bar{q}_i^f c^f T) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( B\lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) &= \bar{Q}_T \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4.68)$$

elde edilir. Bu denklemlerin eşdeğer kondüktivite şekli ise aşağıdaki gibidir:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon R_d B \frac{\partial C}{\partial t} + \bar{q}_i^f \frac{\partial C}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ B(D_{ij}^{mol_f} + D_{ij}^{disp_f}) \frac{\partial C}{\partial x_j} \right] + (\varepsilon R\vartheta + Q_\rho)BC &= \bar{Q}_C \\ B[\varepsilon \rho^f c^f + (1-\varepsilon)\rho^s c^s] \frac{\partial T}{\partial t} + \rho^f c^f \bar{q}_i^f \frac{\partial T}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( B\lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \rho^f c^f Q_\rho B(T-T_o) &= \bar{Q}_T \end{aligned} \right\} (4.69)$$

FEFLOW simülasyon sistemi yeraltı suyu akımını, kirletici kütesini ve ısı iletim süreçlerini aynı anda veya ayrı ayrı modelleyebilmektedir. Bu özellik yukarıda değinilmiş olan 3 boyutlu ve kararsız akım sayısal analiz için kütle, kimyasal türler, doğrusal moment ve enerjiyle ilgili fiziksel korunum yasasına dayanmaktadır. 3 boyutlu ve 2 boyutlu - sırasıyla düşey ve eksenden simetrik - işlemler için tipik model eşitlikleri aşağıdaki gibidir (i,j = 1,2,3):

$$S_o \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_i^f}{\partial x_i} = Q_\rho + Q_{EB}(C, T)$$

$$q_i^f = -K_{ij} f_\mu \left( \frac{\partial h}{\partial x_j} + \frac{\rho^f - \rho_o^f}{\rho_o^f} e_j \right) \dots\dots\dots(4.70)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon RC) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left( q_i^f C - D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + \varepsilon R\vartheta C = Q_C$$

$$\varepsilon R_d \frac{\partial C}{\partial t} + q_i^f \frac{\partial C}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + (\varepsilon R\vartheta + Q_\rho)C = Q_C$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [(\varepsilon \rho^f c^f + (1-\varepsilon)\rho^s c^s)T] + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho^f q_i^f c^f T) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = Q_T$$

$$[\varepsilon \rho^f c^f + (1-\varepsilon)\rho^s c^s] \frac{\partial T}{\partial t} + \rho^f c^f q_i^f \frac{\partial T}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_{ij} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \rho^f c^f Q_\rho (T-T_o) = Q_T$$

Kullanılan temel eşitlikler ise şu şekildedir:

$$\text{akışkan yoğunluğu} \quad \rho^f = \rho_0^f \left[ 1 + \frac{\bar{\alpha}}{(C_s - C_0)} - (C - C_0) - \bar{\beta}(T - T_0) \right]$$

$$\text{hidrolik yük} \quad h = \frac{\rho^f}{\rho_0^f g} + x_1$$

$$\text{hidrolik iletkenlik} \quad K_{ij} = \frac{k_{ij} \rho_0^f g}{\mu_0^f}$$

$$\text{yoğunluk oranı} \quad \bar{\alpha} = [\rho^f(C_s) - \rho_0^f] / \rho_0^f$$

$$\text{viskozite fonksiyonu} \quad f_\mu = \frac{\mu_0^f}{\mu^f(C, T)}$$

$$f_\mu = \frac{1 + 1,85\omega(C - C_0) - 4,1\omega^2(C - C_0) + 4,45\omega^3(C - C_0)}{1 + 1,85\omega - 4,1\omega^2 + 4,45\omega^3} \cdot \frac{1 + 0,7063\xi^3 - 0,04832\xi^3}{1 + 0,7063\xi(T - T_0) - 0,04832\xi(T - T_0)}$$

$$\xi = \frac{(T - 150)}{100} \quad \text{ve} \quad \omega = \frac{C}{\rho^f}$$

$$\text{Hidrodinamik dispersiyon katsayısı} \quad D_{ij} = (\varepsilon D_d + \beta_T V_q^f) \delta_{ij} + (\beta_L - \beta_T) \frac{q_i^f q_j^f}{V_q^f}$$

Modelleme çalışmalarında çözülecek dört öncelikli değişken ise şu şekildedir:

$h$  : hidrolik yük

$q_i^f$  : akışkanın Darcy hız vektörü

$C$  : kimyasal bileşenin derişimi

$T$  : sıcaklık

Yukarıda değinilen formüllerde geçen terimlerin açıklamaları ise şu şekildedir:

$\rho^f, \rho_0^f$  : sırasıyla akışkan ve referans akışkan yoğunluğu

$\rho^s$  : katı yoğunluğu

$S_0$  : depolama katsayısı

$K_{ij}$  : hidrolik iletkenlik tensörü

$e_j$  : birim yerçekimi vektörü

$f_\mu$  : viskozite fonksiyonu



- $D_{ij}$  : hidrodinamik saçılım tensörü  
 $\varepsilon$  : porozite  
 $\bar{\alpha}$  : akışkan yoğunluğu fark oranı  
 $\bar{\beta}$  : akışkan genleşme katsayısı  
 $C_0, T_0$  : sırasıyla referans derişim ve sıcaklık  
 $C_s$  : maksimum derişim  
 $p^f$  : akışkan basıncı  
 $g$  : yerçekimi ivmesi  
 $k_{ij}$  : permeabilite tensörü  
 $\mu^f, \mu_0^f$  : sırasıyla dinamik viskozite ve referans değeri  
 $\omega$  : kütle oranı  
 $D_d$  : akışkanın moleküler difüzyon katsayısı  
 $V_q^f$  : mutlak Darcy akışkan akımı  
 $\beta_L, \beta_T$  : sırasıyla kimyasal türlerin boyuna ve enine dispersivitesi

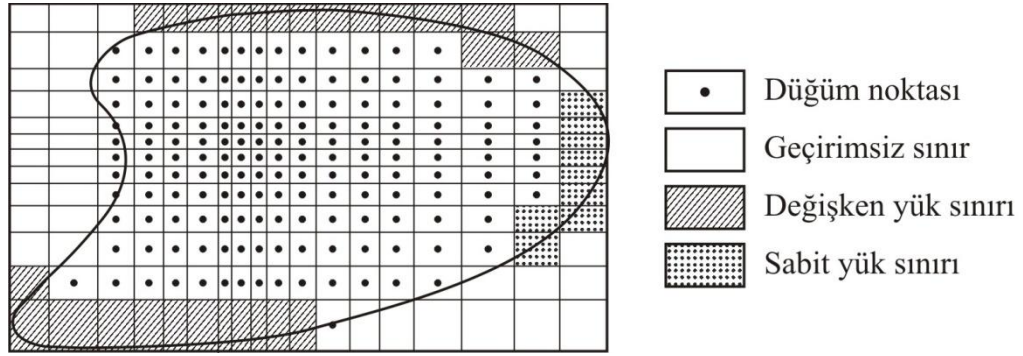
#### 4.6 Sayısal Çözüm Teknikleri

Bir matematik model, genellikle, yeraltı suyu akımını kontrol eden bir seri diferansiyel eşitlikten oluşmaktadır. Yeraltı suyu akımının ileriye dönük tahminlerde kullanılmasındaki güvenilirlik, kullanılan modelin doğa koşullarındaki yeraltı suyu akımını ne derece gerçeğe yakın bir şekilde temsil edip etmediği ile yakından ilişkilidir. Doğa koşullarının çok karmaşık olması nedeniyle modelin sadeleştirilmesi adına bazı varsayımların yapılması kaçınılmazdır. Analitik çözüm tekniklerinde, zorunlu bir şekilde kullanılan, akım ortamının homojen ve izotrop olduğu varsayımı, analitik modellerin kullanım alanını çok sınırlamaktadır. Bu nedenle, sorunlara daha gerçekçi bir yaklaşım için sayısal çözüm tekniklerinin kullanımı kaçınılmazdır (Wang ve Anderson, 1982).

Sayısal çözüm teknikleri, sonlu farklar (Şekil 4.13) ve sonlu elemanlar (Şekil 4.14) yöntemi olmak üzere başlıca iki sınıfta toplanabilir. Bu sayısal yöntemlere aşağıda kısaca değinilmiştir.

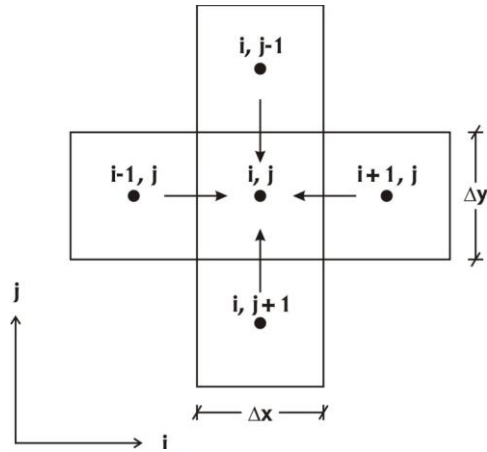
#### 4.6.1 Sonlu Farklar Yöntemi

Sonlu farklar yönteminde; iki boyutlu bir akım ortamı; Şekil 4.13’de görüldüğü gibi eni  $\Delta x$  boyu  $\Delta y$  olan, dikdörtgenler prizmalarından oluşan bir kareyaj sistemiyle temsil edilir. Her bir dikdörtgene hücre adı verilebilir. Hücre boyutlarının,  $\Delta x$  ve  $\Delta y$ ’lerin birbirlerine eşit olma zorunluluğu yoktur (Zheng ve Bennett, 1995).



Şekil 4.13 Sonlu farklar yönteminde çalışma alanının dikdörtgenlerden oluşan bir kareyaj sistemiyle temsil edilmesi ve sınır koşullarının belirlenmesi.

Konuya açıklık getirebilmek için akım ortamında bulunan bir hücreye ( $i,j$  hücresine) ve onun komşularıyla ( $i-1,j$ ;  $i+1,j$ ;  $i,j-1$  ve  $i,j+1$  hücreleriyle) olan ilişkisi daha aşağıda daha yakından ele alınmıştır (Zheng ve Bennett, 1995).



Şekil 4.14 İki boyutlu bir akım ortamında sonlu farklar yönteminde kullanılan bir hücre ve onun yan komşularıyla ilişkileri.

$i,j$  hücrelerine komşu olan hücrelerden su ve/veya madde akımı olacaktır.  $i-1, j$  hücrelerinden  $i,j$  hücrelerine olan su akımı,

$$Q_{i-1,j} = K_{i-1,j} \frac{h_{i-1,j} - h_{i,j}}{\Delta x} \Delta y$$

eşitliğiyle yaklaşık olarak gösterilebilir. Bu eşitlikte  $Q_{i-1,j}$ ;  $i-1,j$  hücrelerinden  $i,j$  hücrelerine olan su akımını,  $h$ 'lar indisleri belirtilen hücrelerdeki su potansiyellerini  $K_{i-1,j}$ ;  $i,j$  hücreleri ile  $i-1,j$  hücreleri arasındaki malzemenin hidrolik iletkenlik katsayısını ve  $\Delta x$  ve  $\Delta y$ 'ler de söz konusu hücrelerin merkezleri arasındaki mesafeyi simgelemektedir.

$i,j$  hücrelerine yan hücrelerden gelen su akımlarının toplamı, kararlı akım koşullarında sıfır olmalıdır.

$$K_{i-1,j} \frac{h_{i-1,j} - h_{i,j}}{\Delta x} \Delta y + K_{i+1,j} \frac{h_{i+1,j} - h_{i,j}}{\Delta x} \Delta y + K_{i,j+1} \frac{h_{i,j+1} - h_{i,j}}{\Delta y} \Delta x + K_{i,j-1} \frac{h_{i,j-1} - h_{i,j}}{\Delta y} \Delta x = 0$$

Akım ortamı homojen ve izotrop, diğer bir deyişle,  $K_{i-1,j} = K_{i+1,j} = K_{i,j-1} = K_{i,j+1} = K$  kabul edilecek ve  $\Delta x = \Delta z$  seçilecek olursa, yukarıdaki eşitlik,

$$h_{i,j} = \frac{1}{4} (h_{i-1,j} + h_{i+1,j} + h_{i,j-1} + h_{i,j+1})$$

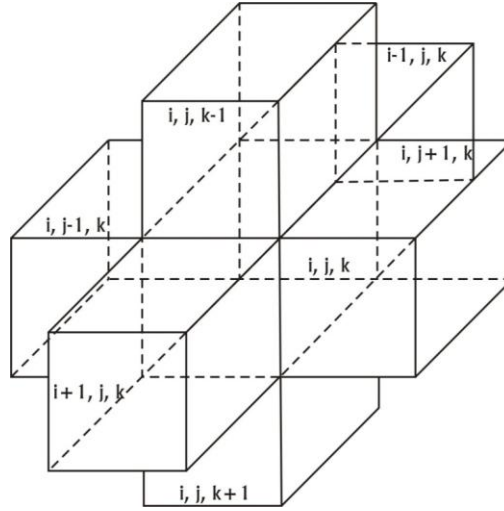
şeklini alır.

Akım ortamındaki her hücre için yukarıdaki eşitliğe benzer eşitlikler yazılıp sınır koşulları uygulandığında  $n$  bilinmeyenli  $n$  adet doğrusal eşitlik elde edilir. Bu eşitlik sistemi çözülerek her hücredeki su yükleri bulunabilir.

Şekil 4.13, dikkatli bir şekilde incelendiğinde, sabit veya değişken potansiyel, sabit veya değişken akı veya akımın olmadığı sınır koşulları; sonlu farklar yönteminde hücreler içersindeki potansiyelleri sabit tutarak veya değiştirerek temin edilmektedir. Diğer bir deyişle sonlu farklar yönteminde sınırlar; dikdörtgen

şeklindeki hücreler yanyana getirilerek oluşturulmaktadır. Bu olayı bilgisayar ekranında kare şeklindeki piksellerle oluşturulan şekillere benzetebiliriz. Piksel boyutları ne kadar küçükse o kadar net sınırlara sahip görüntüler elde edilebilir.

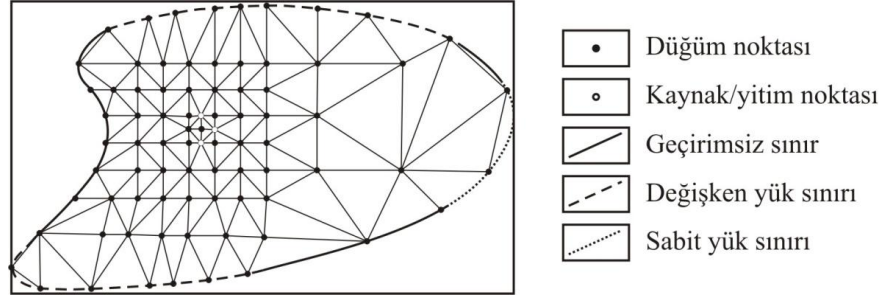
Sonlu farklar yönteminde de durum aynıdır. Hücre boyutları küçük seçilirse çok duyarlı güvenilirliği yüksek hesaplar yapmak mümkündür. Ancak, hücre boyutlarının küçük seçilmesi bilgisayar zamanını da üssel olarak arttıracaktır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 Üç boyutlu bir akım ortamında sonlu farklar yönteminde kullanılan bir hücre ve onun yan komşularıyla ilişkileri.

#### 4.6.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, sonlu farklar yöntemine kıyasla daha çok ve daha geniş matematik bilgisi gerektiren bir yöntemdir. Sonlu elemanlar yönteminde, iki boyutlu ortamlarda dikdörtgenlerden oluşan üç boyutlu ortamlarda ise dikdörtgen prizmalarından oluşturulan bir ağ sistemi kullanılır. Sonlu farklar yönteminde ise iki boyutlu bir ortamda Şekil 4.13'dekine benzer ancak, üçgenlerden oluşan bir ağ sistemi kullanılır.



Şekil 4.16 Sonlu elemanlar yönteminde çalışma alanının üçgenlerden oluşan bir kareyaj sistemiyle temsil edilmesi ve sınır koşullarının belirlenmesi.

Şekil 4.16'da da görüleceği üzere sonlu elemanlar yönteminde, sınır koşulları sonlu farklar yöntemine göre daha duyarlılık olarak alınabilmektedir.

Seferihisar-Balçova jeotermal alanı, iki fazlı akışkan akımı ve ısı taşınımı denklemlerinin birlikte çözüldüğü uygun bir çalışma alanıdır. Bu tip jeotermal alanlardaki sıcak akışkanların taşınım sürecini kontrol eden faktörlerin hazırlanacak bu sayısal model yardımıyla bulunması, doğadaki diğer jeotermal sistemleri anlamamıza yarar sağlayacaktır.

Modelleme çalışmalarına başlamadan önce kavramsal model, akifer parametreleri ve çalışma alanının genel jeolojisi elde edilmiştir. Önceki çalışmalardan elde edilen ve bu çalışma kapsamında kullanılacak tüm parametreler Tablo 4.1'de verilmiştir. Bu aşamada sayısal modeli oluşturabilmek için temel olarak aşağıdaki parametreler kullanılmıştır:

- Akım başlangıç koşulları

Hidrolik yük veya basınç değerleri başlangıç koşulları

- Akım sınır koşulları

1.tip (Dirichlet), 2.tip (Neumann) ve 3.tip (Cauchy) sınır koşulları

- Akım Bileşenleri

Hidrolik iletkenlik, anizotropi faktörü, yoğunluk oranı, depolama katsayısı

- Kütle Taşınım Verisi

Kütle Taşınım Başlangıç Koşulları

Kütle ve referans kütle değerleri

Kütle Taşınım Sınır Koşulları

1.tip (Dirichlet), 2.tip (Neumann) ve 3.tip (Cauchy) sınır koşulları

Kütle Taşınım Bileşenleri

Porozite, Boyuna ve Enine Dispersivite

- Isı Taşınım Verisi

Isı Taşınım Başlangıç Koşulları

Sıcaklık ve referans sıcaklık

Isı Taşınım Sınır Koşulları

1.tip (Dirichlet), 2.tip (Neumann) ve 3.tip (Cauchy) sınır koşulları

Isı Taşınım Bileşenleri

Porozite, akışkan ve katılara ait hacimsel ısı kapasitesi ve ısı iletkenlik, enine ve boyuna dispersivite

Listede ihtiyaç duyulan parametreler büyük bir çoğunluğu önceki çalışmalardan, akışkanlar ve katılara ait hacimsel ısı kapasiteleri ve ısı iletkenlikleri gibi bir kısım parametre ise teorik çalışmalardan elde edilmiştir (VDI, 2000). Elemanlara atanacak değerler ArcGIS programında Tablo 4.1’de verildiği gibi oluşturulmuştur.

## 4.7 Akım Modeli

### 4.7.1 Ağ Yapısı ve Birim Özellikleri

Hazırlanmış olan sayısal model Seferihisar ve Balçova jeotermal alanlarını içine alacak şekilde kuzey-güney yönlü, kararlı akım koşullarında oluşturulmuş, kesit bir modeldir. Her iki jeotermal alanın, kuzey-güney yönlü faylar yardımıyla birbiriyle ilişkili olabileceği göz önüne alınarak bu iki önemli jeotermal alan birlikte ele alınmıştır. Bu hattın seçilmesindeki amaç; denizin doğal sınır koşulu olarak kullanılabilmesi, iki jeotermal alanı kapsamaları ve tüm fay sistemlerini içermesidir. Bu şekilde çalışma alanındaki fay sistemlerinin yeraltı suyu akımı ve su bölümü

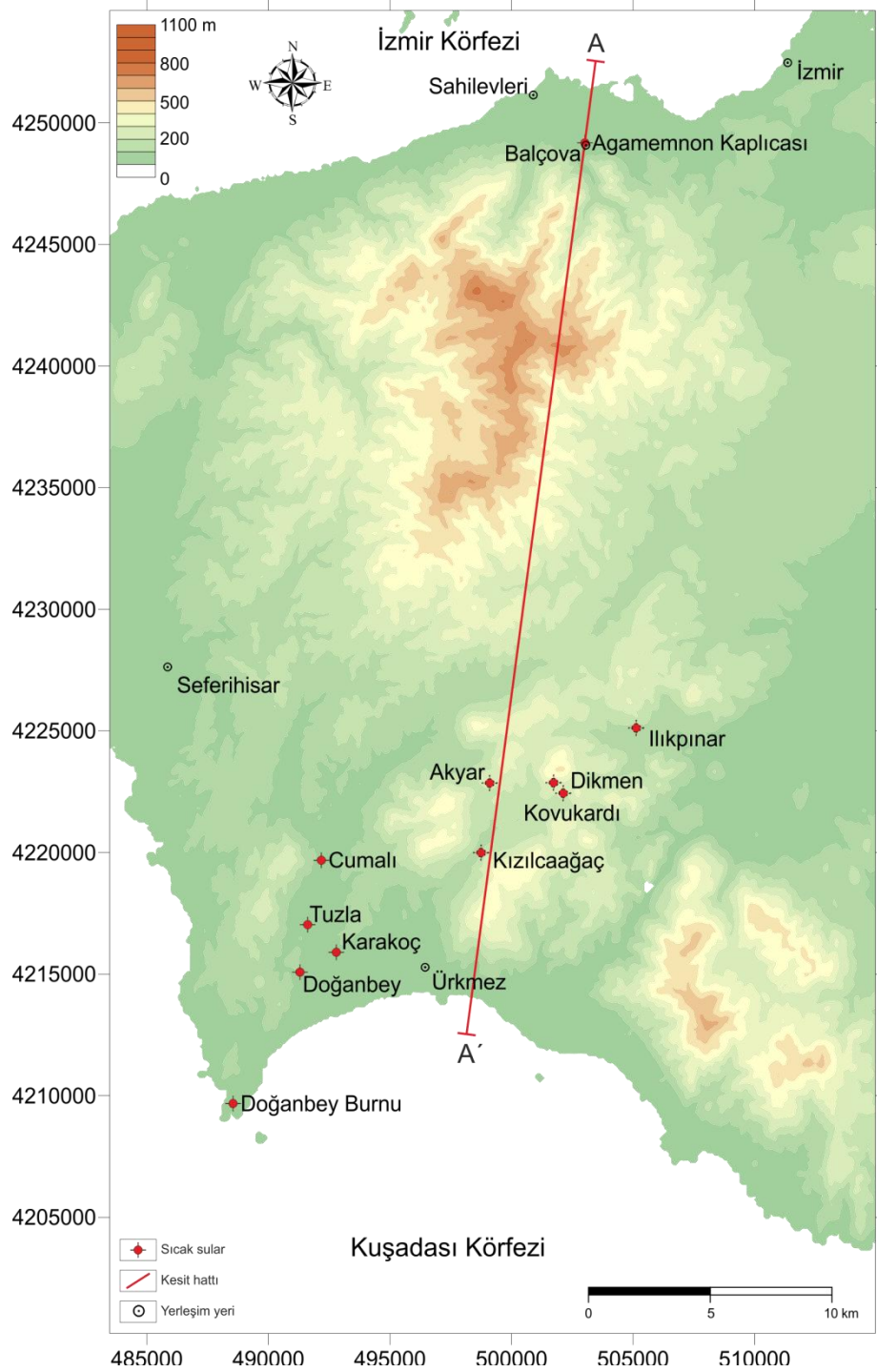
üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Tablo 4.1 Sayısal modelde kullanılacak olan jeolojik ve hidrojeolojik parametreler. Referanslar tabloyu takiben verilmiştir (\*).

	Malzeme	Hidrolik ( $\text{cm s}^{-1}$ ) İletkenlik	Isı ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) iletkenliği	Isı Kapasitesi ( $\text{MJ m}^{-3} \text{C}^{-1}$ )	Porozite	
<b>Alüvyon</b>	Çakıl	$10^{-2}$ *9	1.8	2.4 *16	0,15-0,25 *12 0,17 *17	
	Kum		1.7-5.1 (2.4) *16	2.2-2.9 *16		
	Kil		0.9-2.3 (1.7) *16	0.5-3.8 *16		
	Silt		0.9-2.3 (1.7) *16	0.5-3.8 *16		
<b>Örtü kayalar</b>	Çakıltası	$10^{-6}$ çok düşük *11	-	-		
	Yeniköy Fm. Kireçtaşı		2.5-4.0 (2.8) *16	2.1-2.4 *16		
	Tüf		1.5-4.5 *15			
	Kumtaşı		1.3-5.1 (2.3) *16	1.6-2.8 *16		
	Silttaşı		1.1-3.5 (1.7) *16	2.1-2.4 *16		
	Filiş Karabelen Granodiyoritleri	çok düşük *11				
<b>Rezervuar</b>	Metakumtaşı (kumtaşı, silttaşı, şeyl) *6	İlksel hidrolik.iletkenlik çok düşük *6	1.7 *21 1.3-5.1 (2.3) *16 1.1-3.5 (1.7) *16 1.5-2.6 (2.1) *16	2.0 *21 1.6-2.8 *16 2.1-2.4 *16 2.2-2.5 *16	İlksel porozite çok düşük *6	
	Bomova Karmaşığı	İlksel hidrolik.iletkenlik çok düşük *13	1.0-4.0 *15		İlksel porozite çok düşük *13	
	Filiş					
	Serpantin		1.0-4.0 *15			
Kireçtaşı *4	2.5-4.0 (2.8) *16		2.1-2.4 *16			
	Silttaşı		1.1-3.5 (1.7) *16	2.1-2.4 *16		
	Şeyl		1.5-2.6 (2.1) *16	2.2-2.5 *16		
<b>Bomova Karmaşığı</b>		$10^{-14}$ - $10^{-13}$ *14			0,05 *2 0,022 *6 0,15 *7 0 - 0,03 *12	
			$10^{-3}$ *1			
			$10^{-3}$ *8			
<b>Volkanik birimler</b>	Aglomera+tüf	Geçirimli kırık zonları *11	1.5-3.5 *15			
	Cumaovası vol. Andezit		1.5-4.5 *15			
	Riyolit		3.1-3.4 (3.3) *16	2.1 *16		
<b>Temel</b>	Kristalin şist	$\sim 10^{-11}$ *8				
	Menderes Met. Memer					
	Fillit *5					
<b>Deniz tabanı</b>	Havza tortulları *3					

1: Tarakçı, (1999); 2: Onur, (2002); 3: Ocaoğlu, (2005); 4: Erdoğan, (1990); 5: Akartuna, (1962); 6: Satman, (2002); 7: Eşder, (2002); 8: Anderson ve Woessner, (1992); 9: Yıldırım, (2004); 10: Şimşek, (2005); 11: Aksoy, (2001); 12: Serpen, (2004); 13: Öngür, (2001); 14: Onur ve diğer. (2002); 15: Clauser ve Huenges, (1995); 16: VDI, (2000); 17: Mahmut Parlaktuna ile sözlü görüşme (2008).

Model iki boyutlu, kesit bir model olarak hazırlanmıştır. İki boyutlu bu modelin kuzeyinde Balçova, güneyinde ise Ürkmez bulunmaktadır (Şekil 4.17). Modelin uzunluğu 59 km ve önceki çalışmalardan elde edilmiş ısı akımı verilerini kullanabilmek için derinliği 6,8 km olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 4.18).

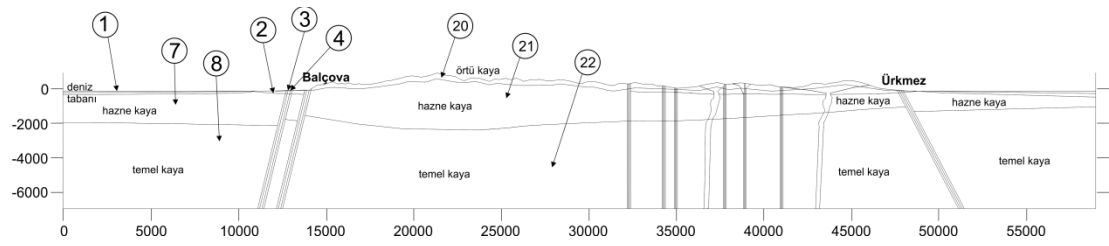


Şekil 4.17 Sayısal model çalışmaları için seçilmiş profil hattı.

Tüm elementler ve ilişkili oldukları jeolojik birimler Şekil 4.18’de verilmektedir. Elementler, temel kaya, hazne kaya, deniz tabanı, örtü kaya, volkanik birimler ve fay sistemlerini tanımlamaktadır. Modelde toplam 155172 adet element kullanılmıştır. Bu elementler fay zonlarında ve deniz ile akifer sınırında, gerçekleşen akımları daha

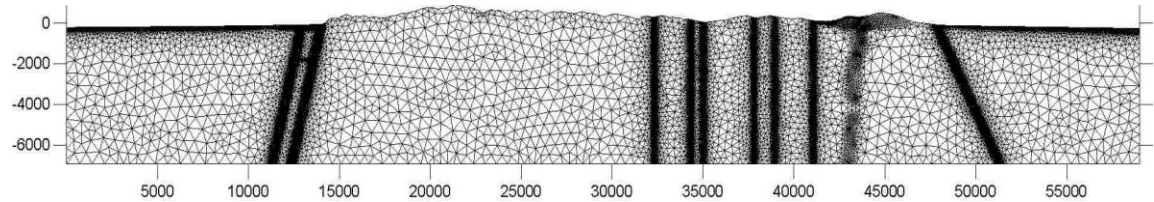


net görmek için modelin diğer kesimlerine oranla daha fazla zenginleştirilmiştir.



Şekil 4.18 Tümelemler ve ilişkili oldukları jeolojik birimler.

Şekil 4.19’da oluşturulan üçgen ağlar gösterilmiştir. Sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında Delaunay üçgen metodu kullanılmıştır (Shewchuk, 1996). Bu metodun kullanılmasındaki amaç, yöntemin daha hızlı olması, bilgisayar hafızasını etkili kullanması, Delaunay üçgenlerinin doğru hesaplanması ve eksiksiz olarak oluşturulmasından dolayıdır. Bu yöntemle oluşturulan ağların kaliteli yani en küçük açılara sahip olmaması Ruppert’in Delaunay inceltme algoritmasını kullanmasından dolayıdır (Shewchuk, 2002). Modelde toplam 78543 adet düğüm noktası kullanılmıştır.



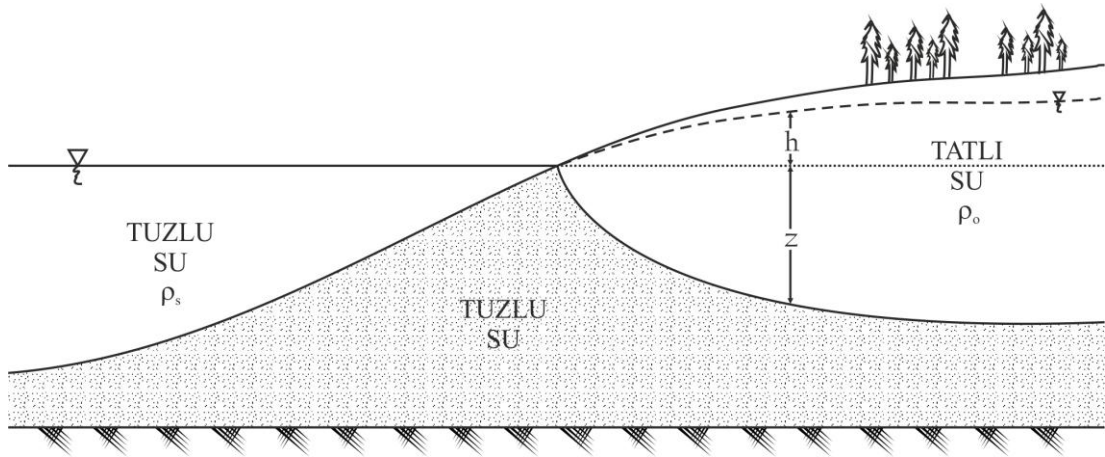
Şekil 4.19 Triangular (Delaunay) yöntemiyle oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı.

Herbir stratigrafik birim hidrolik iletkenlikleri, porozite, ısı kapasitesi ve ısı iletkenlikleri gibi fiziksel özelliklerinden ötürü homojen olarak düşünülmüştür. Modelde fay zonları izotrop olarak tanımlanmıştır. Modelde ayrıca deniz tabanı geçirimli olarak tanımlanmıştır. Gerçek jeolojik koşullar sadeleştirilerek tüm birimlerin homojen olarak düşünülmelerine rağmen bölgesel ölçekte model hidrojeolojik açıdan gerçeği yansıtmaktadır.

#### 4.7.2 Sınır Koşulları

Modelin yanal sınırları akım için geçirimsiz olarak kabul edilmiştir. Kesit modelin yüzeyinde hidrolik yükler 1. tip sabit sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Hidrolik yükler, dereler topoğrafik kotu verecek şekilde ve kuyularda ölçülen su seviyeleri kullanılarak belirlenmiştir. Alüvyonel akiferler yapılmış olan su seviye ölçümlerine göre, yeraltı su tablası alüvyonel akiferlerde yüzeye 1-2 metreye kadar yaklaşırken, dağlık kesimde bu mesafe daha fazladır.

Deniz tabanında, yüzeyde tanımlandığı gibi 1. tip sabit sınır koşulu tanımlanmıştır. Ghyben (1888) ve Herzberg (1901) birbirlerinden bağımsız olarak yeraltına girişim yapan deniz suyunun, beklendiği gibi deniz suyu seviyesinde olmadığını bulmuşlardır. Bu ilişki Ghyben-Herzberg ilişkisi olarak bilinmektedir. Feflow yeraltı suyu akım eşitlikleri için basınç yüklerini (P) kullanmak yerine tatlı su (eşitlik 4.71) ve tuzlu sulardaki (eşitlik 4.71) piyezometre yüklerini kullanmaktadır. Bu yüzden tuzlu su yükleri, eşdeğer tatlı su yüklerine çevrilmek zorundadır. Yoğunluğu  $\rho_0$  olan bir tatlı su ortamında hidrolik yük (h) eşitlik 4.71'deki gibi ve tuzlu su yoğunluğu  $\rho_s$  olan bir ortamda ise hidrolik yük ( $h_s$ ) eşitlik 4.72'deki gibi tanımlanmaktadır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Ghyben-Herzberg ilişkisini gösteren şekil.

Tuzlu su ortamlarındaki hidrolik yük  $h_s$  Feflow yazılımının kullandığı yeraltı suyu eşitliklerinde kullanılmadığı için eşdeğer tatlı su hidrolik yüküne (h) çevrilmesi

gerekmektedir. Eşitlik 4.71 ve 4.72'deki  $g$ ; yerçekimi ivmesini,  $z$  ise tatlı su-tuzlu sınırının referans düzlemine olan uzaklığıdır.

$$h = \frac{P}{\rho_o \cdot g} + z \dots\dots\dots(4.71)$$

$$h_s = \frac{P}{\rho_s \cdot g} + z \dots\dots\dots(4.72)$$

Eşitlik 4.71'in pay ve paydasını  $\rho_o$  ile çarparak eşitlik 4.73 elde edilmiştir.

$$h_s = \frac{P}{\rho_o \cdot g} \cdot \frac{\rho_o}{\rho_s} + z \dots\dots\dots(4.73)$$

Eşitlik 4.73 düzenlenerek eşitlik 4.74, 4.75 ve tatlı sular için eşdeğer hidrolik yük (h) elde edilmiştir (Eşitlik 4.76).

$$h_s = (h - z) \frac{\rho_o}{\rho_s} + z \dots\dots\dots(4.74)$$

$$h_s = h \frac{\rho_o}{\rho_s} + \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_s}\right) z \dots\dots\dots(4.75)$$

$$h = h_s \frac{\rho_s}{\rho_o} + \left(\frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_o}\right) z \dots\dots\dots(4.76)$$

Eşitlik 4.76'nın ikinci terimi ise yoğunluk oranı ( $\alpha$ ) olarak tanımlanmaktadır (Eşitlik 4.77).

$$\alpha = \left(\frac{\rho_s - \rho_o}{\rho_o}\right) \dots\dots\dots(4.77)$$

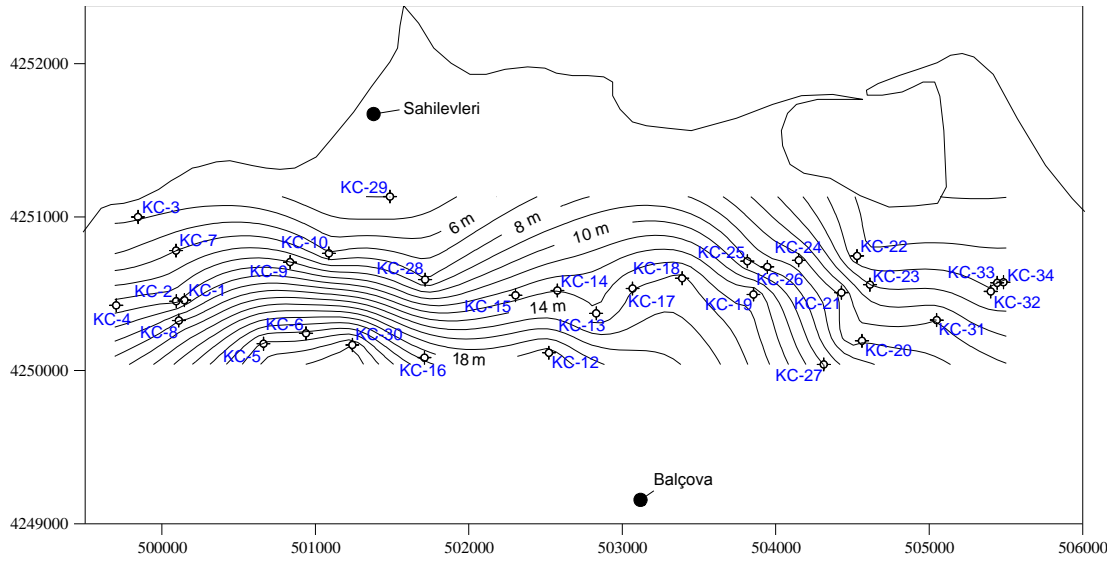
Son olarak eşitlik 4.76 tekrar düzenlenerek en çok bilinen halini alır (Eşitlik 4.78).

$$h = (1 + \alpha) \cdot h_s - \alpha \cdot z \dots\dots\dots(4.78)$$

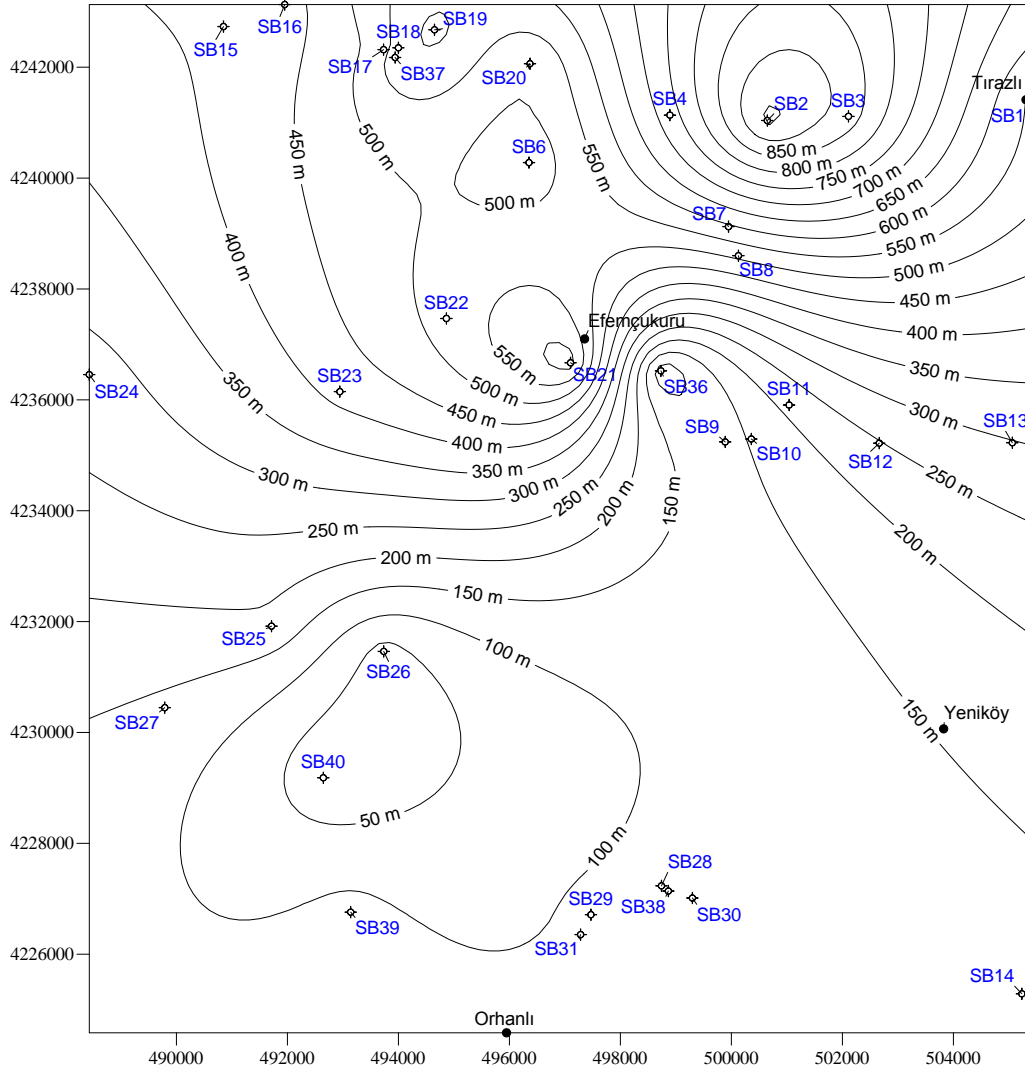
Hidrolik yük değerlerinin modele atanabilmesi için çalışma alanında açılmış olan kuyularda, kaynaklarda ve derelerde su seviye ölçümleri yapılmıştır. Balçova, beslenme alanı ve Seferihisar'daki su tablası sırasıyla şekil 4.21, 4.22 ve 4.23'de verilmiştir. Şekil 4.24'de ise topoğrafik kesitte su tablası görülmektedir. Eşitlik 4.78 kullanılarak deniz suyu basınç yükleri, eşdeğer tatlı su hidrolik yüklerine çevrilmiştir ve şekil 4.25 elde edilmiştir.

#### 4.7.3 Akım Parametreleri

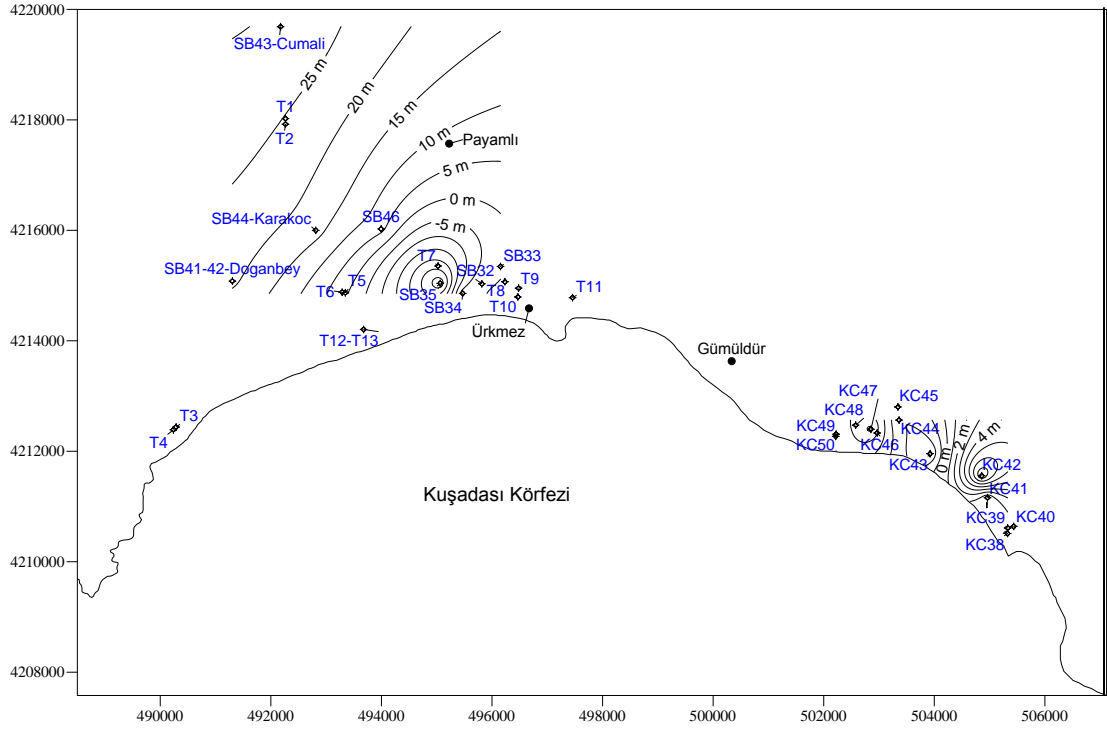
Parametreler ile ilgili önceki çalışmalardan birçok veri elde edilmiştir. Bu değerler Göktürkler ve diğer. (2003) ve Arkan ve Parlaktuna (2005) gibi yazarların Batı Anadolu'da yapılmış sayısal modelleme çalışmalarından, Tezcan (1966), Yılmaz (1989), Öngür (2001), Satman ve diğer. (2002), Serpen (2004), Sarı ve Şalk (2003),



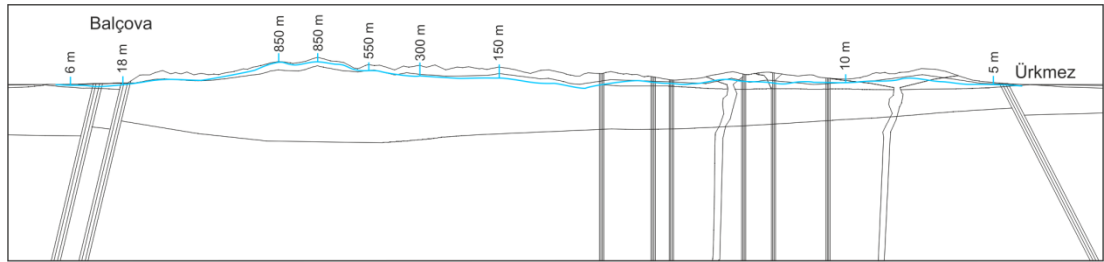
Şekil 4.21 Balçova bölgesine ait yeraltı su tablası.



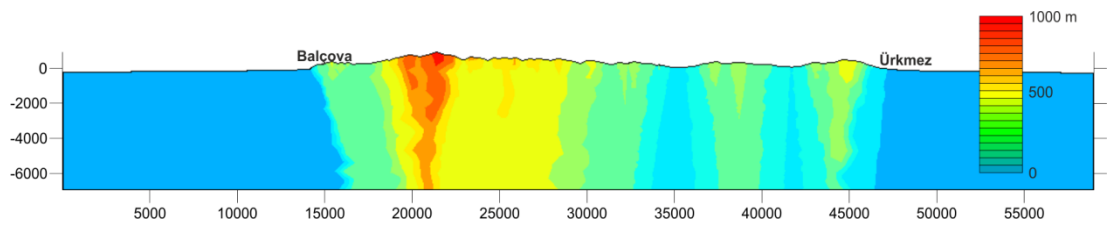
Şekil 4.22 Beslenme alanına (horst) ait bölgesine ait yeraltı su tablası.



Şekil 4.23 Seferihisar bölgesine ait yeraltı su tablası.



Şekil 4.24 Çalışma alanına ait yeraltı su tablası.



Şekil 4.25 Başlangıç anındaki hidrolik yüklerin dağılımı.

alınmıştır. Ayrıca Balçova alüvyonel akiferlerine ait hidrolik iletkenlik parametrelerini elde etmek için arazide pompaj deneyleri yapılmıştır. Tüm bu çalışmalarla Tablo 4.2'deki değerler elde edilmiştir. Rezervuar için hidrolik iletkenlik değeri  $1 \times 10^{-7}$  m/s olarak seçilmiştir. Alüvyonda tüm elementlere oranla çok yüksek iletkenlik değerleri kullanılmış olup, bu değer  $1 \times 10^{-5}$  m/s'dir. Fay

zonlarındaki hidrolik iletkenlik değeri de  $1 \times 10^{-5}$  m/s olarak ayarlanmıştır. Temel kayanın hidrolik iletkenliği için çok düşük olan  $1 \times 10^{-22}$  m/s değeri atanmıştır. Örtü kaya için ise hidrolik iletkenlik değeri  $1 \times 10^{-9}$  m/s olarak atanmıştır. Volkanik sokulumların hidrolik iletkenliklerinin içerdikleri kırık ve çatlaklar nedeniyle yüksek olduğu tahmin edilmiştir ve volkanik birimleri oluşturan tüm elementlere hidrolik iletkenlik değeri olarak  $1 \times 10^{-9}$  m/s değeri atanmıştır.

Tablo 4.2 Modelde kullanılan parametreler.

Birimler	Hidrolik iletkenlik (m/s)		Porozite
	$k_x$	$k_y$	
Alüvyon	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-6}$	0.5
Üst hazne kaya	$1 \times 10^{-13}$	$1 \times 10^{-14}$	0.005
Örtü kaya	$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-10}$	0.005
Deniz tabanı	$1 \times 10^{-13}$	$1 \times 10^{-14}$	0.05
Hazne kaya (rezervuar)	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-8}$	0.05
Temel kaya	$1 \times 10^{-22}$	$1 \times 10^{-23}$	0.001
Fay zonu	$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$	0.3
Volkanik sokulum	$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-10}$	0.005

Akım parametreleri içindeki genişleme katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\rho(P, T) = \rho_0 (1 - \beta(T - T_0) + \gamma(P - P_0))$$

$\rho$  : Suyun yoğunluğu

$P$  : Su basıncı

$\rho_0$  : Suyun referans yoğunluğu

$P_0$  : Referans su basıncı

$\gamma$  : Depolama Katsayısı

$T$  : Su sıcaklığı

$\beta$  : Genişleme katsayısı

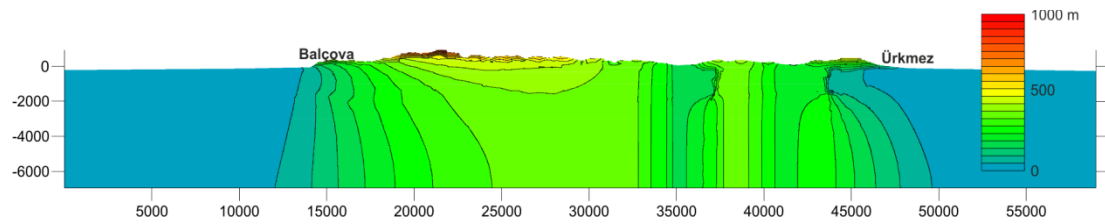
$T_0$  : Referans su sıcaklığı

Fay zonlarında, volkanik sokulumlarda, temel kayada anizotropi oranı 1,0 olarak atanmıştır. Buna göre  $K_{düşey} = K_{yatay}$  ( $K_x = K_y$ ) demektir. Alüvyon ve hazne kaya gibi birimlerde anizotrop faktörü 0,1 olarak alınmıştır. Maksimum hidrolik iletkenlik, minimum hidrolik iletkenliğin 10 katıdır.

$$\text{anizotropi faktörü} = \frac{K_{\text{düşey}}}{K_{\text{yatay}}}$$

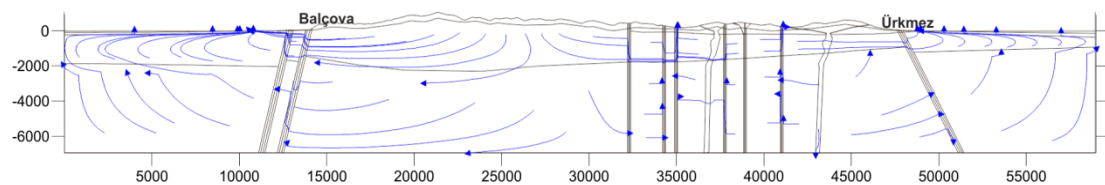
#### 4.7.4 Akım Modelinin Değerlendirilmesi

Isı ve kütle taşınımından yoksun çalıştırılan model ile hidrolik koşullar denetlenmiştir. Model sonucunda elde edilen hidrolik yük dağılımı Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.26 Hesaplanan hidrolik yük dağılımı.

Kararlı akım koşullarında oluşturulmuş olan modelde oluşan akım doğrultuları Şekil 4.27'de verilmiştir. Kesitin sol tarafına yaklaşık 27 km uzaklıkta yeraltı suyu bölümü gerçekleşmiştir. Yeraltı suyu akımları kesitin kuzeyinde Balçova tarafındaki faylara doğru gerçekleşmektedir. Akımlar fay zonuna girerek yukarıya doğru çıkmakta ve hazne kayaya ulaşmaktadır. Hazne kayaya ulaşan akımlar alüvyona kadar yükselip yüzeye ulaşmaktadır. Balçova'da hazne kaya içindeki akımlar kavışarak deniz tabanına doğru yükselmiştir. Kesitin güney tarafında Ürkmez jeotermal alanında ise düşey fay yüzeylerine doğru ilerleyen akımlar faya ulaştıktan sonra yüzeye doğru yükselmektedir. Normal faya ulaşan akımlar ise kararsız bir davranış göstermektedir. Ürkmez jeotermal alanındaki hazne kayada da Balçova akiferine benzer akım yolları ortaya çıkmıştır. Kesitin her iki ucundaki temel kayada, fayların tavan bloğunda gözlenen akımlar hazne kaya-temel kaya sınırına doğru ilerlemekte ve hazne kayaya bir şekilde girmekte ve yeraltı su akımları hazne kayanın temele yakın olan sınırından deniz tabanına ulaşmaktadır.



Şekil 4.27 Akım modeli sonucunda oluşan akım doğrultuları.

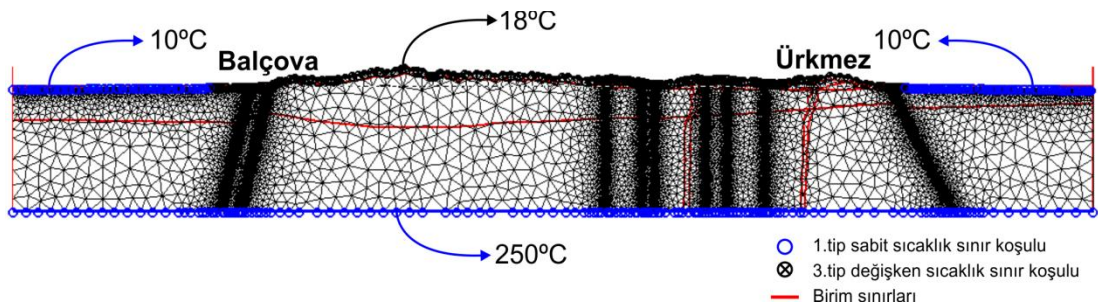


## 4.8 Akım ve Isı Taşınım Modelinin Birlikte Çalıştırılması

Akım ve ısı taşınım modeli, bölüm 4.7’de hazırlanmış olan akım modeli üzerine, sınır koşulları ile termal parametreler tanımlanarak akım ve ısı taşınım modeli oluşturulmuştur. Model ile ilgili tüm genel bilgiler bölüm 4.7’de verilmiştir.

### 4.8.1 Sınır Koşulları

Modelin yanıl sınırları ısı taşınımı için geçirimsiz olarak kabul edilmiştir. Kesit modelin tabanında sıcaklık değerleri 1.tip sabit sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Meteorolojik verilere göre Ege Bölgesi’nin yıllık ortalama hava sıcaklığı 18°C civarındadır. Çalışılan kesitte, bazı bölgelerde yüzeyde sıcaklık artışlarının olması beklenmektedir. Bu nedenle, modelin tabanından yüzeyine doğru ısı taşınımının oluşabilmesi için modelin yüzey sınır koşulu 3.tip değişken sınır koşulu seçilmiştir ve 18 °C ayarlanmıştır. Böylece yüzeydeki sıcaklık ısı taşınımı sürecinde değişken davranabilecektir. 6 km derinlikteki jeotermal gradyan, jeofizik çalışmalar ile 250°C olarak bulunmuştur (Drahor ve diğer., 1999). Model tabanının sıcaklığı sabit olacağı için sınır koşulu olarak 1.tip sabit sınır koşulu seçilmiştir ve 250 °C sıcaklık değeri girilmiştir. Yüzey ve taban sıcaklıkları bu doğrultuda modele sınır koşulları olarak aktarılmıştır (Şekil 4.28).



Şekil 4.28 Sıcaklık sınır koşulları.

### 4.8.2 Termal Parametreler

Metamorfik kayalar termal iletkenlikleri konusunda kuvars içeriklerine göre sınıflanabilirler. Çünkü kuvars ısı iletiminde çok büyük rol oynar. Temel kaya yapısı itibariyle en yüksek termal iletkenlik değerine sahiptir. Volkanik sokulumlar da

kuvars içerikleri nedeniyle yüksek olabilecek bir termal iletkenlik değerine sahiptir. Fay zonları ve alüvyon gözeneklilikleri açısından en düşük termal iletkenlik değerine sahiptir.

Birimlerin ısı kapasiteleri hakkında yapılmış araştırmalardan yola çıkarak modeldeki tüm birimlere ısı kapasite değerleri aşağıdaki Tablo 4.3'deki gibi atanmıştır (VDI, 2000). En yüksek değer rezervuara atanan değerdir. En yüksek ikinci değer ise temel kayaya atanan değerdir. En düşük değer ise alüvyona ve fay zonlarına atanan değerlerdir.

Yoğunluk değişkeni, basınç ve sıcaklığa bağlı bir parametredir. Sıcaklığın artmasıyla yoğunluk azalmaktadır. Bu fonksiyonda genleşme katsayısına sıfır değerinin atanması, sıcaklık faktörünün devre dışı bırakılmasıyla yoğunluğun sabit olacağı anlamına gelmektedir. Oysa ki modelde sıcaklık birinci dereceden önemli bir faktördür. Bu nedenle genleşme katsayısına sıfırdan farklı küçük bir değer atanması gerekmektedir. Hidrolik iletkenlik katsayısı, permeabilite katsayısı, viskozite ve yoğunluğa bağlı bir değişken olması nedeniyle, genleşme katsayısının alacağı değerle de doğrudan ilişkilidir.

$$K = \frac{k \cdot \rho \cdot g}{\mu}$$

K : Hidrolik iletkenlik katsayısı (L/T)

k : permeabilite katsayısı (L<sup>2</sup>)

μ : viskozite

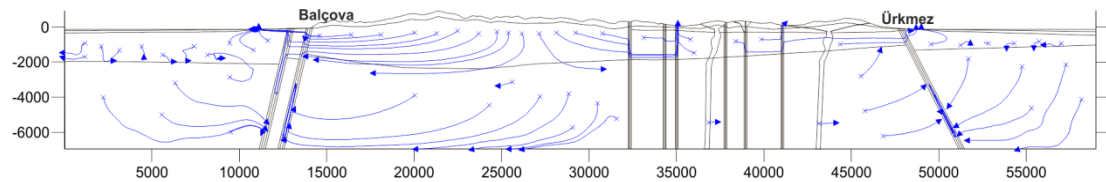
ρ: yoğunluk

Tablo 4.3 Modelde kullanılan parametreler.

Birimler	Hacimsel ısı kapasitesi ( $10^6 \text{ J m}^3/\text{C}$ )	Termal iletkenlik (W/m/C)
Alüvyon	1.7	1.5
Üst hazne kaya	2	2.3
Örtü kaya	2.1	3
Deniz tabanı	2	2.3
Hazne kaya (rezervuar)	2.4	2.8
Temel kaya	2.1	3.5
Fay zonu	1.8	2
Volkanik sokulum	2.1	3

#### 4.8.4 Akım ve Isı Taşınım Modelinin Değerlendirilmesi

Mevcut akım modeli, ısı taşınımı ile birlikte çalıştırıldığında Şekil 4.29'daki akım yolları elde edilmiştir. Isı taşınımından yoksun akım modelindeki benzer akım yolları oluşmuştur. Yeraltı suyu bölümü akım modeli sonucuyla aynıdır. Kesitin her iki ucundaki deniz tabanının altındaki hazne kayada oluşan akım yolları hariç diğer tüm akım yolları, önceki model sonuçlarına benzemektedir. Ancak deniz tabanının altındaki hazne kayada akım yolları kararsız şekilde gözükmemektedir. Önceki modelde, sadece beslenme alanından normal faylara doğru bir yönlenme varken akım ve ısı taşınım modelinde fay zonu etrafındaki tüm akımlar faya doğru gerçekleşmektedir.

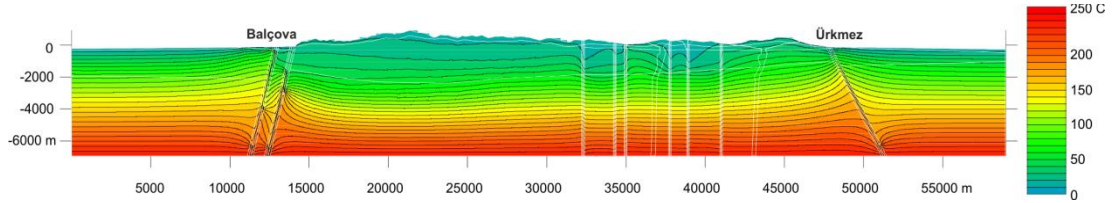


Şekil 4.29 Yeraltı suyu akım yolları.

Isı taşınımından yoksun çalıştırılan akım modeline kıyasla, deniz tabanının altındaki hazne kayada deniz tabanına doğru olan akım yolları değişmiş ve tüm akımlar kararsız bir şekilde gözükmemektedir. Hazne kayada fay zonlarına yakın

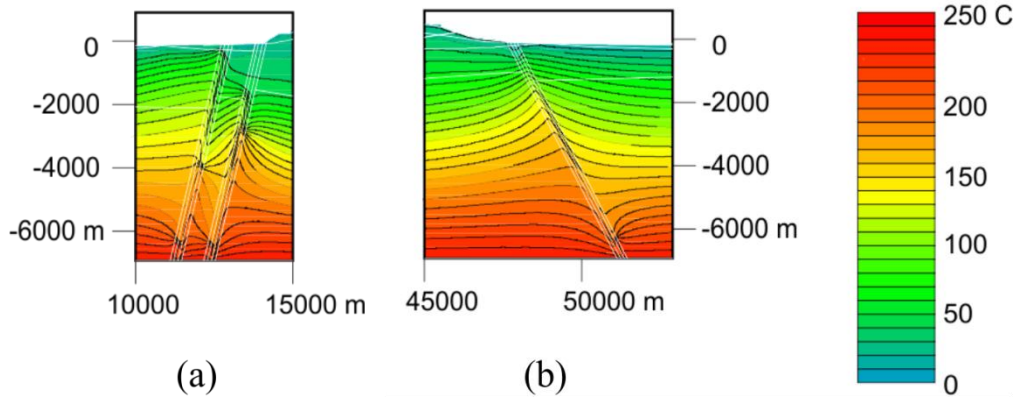
kısımlarda ufak çapta konveksiyon akımları gözlenmeye başlanmıştır (Şekil 4.29).

Akım ve ısı taşınım modelinin çalıştırılmasıyla elde sıcaklık dağılımı Şekil 4.30'de verilmiştir. Yakın plan görünüşü ise Şekil 4.31.a'da Balçova ve Şekil 4.31.b'de Ürkmez için verilmiştir.



Şekil 4.30 Sıcaklık dağılımı.

Balçova jeotermal akiferinde beslenme alanından gelen akımlar normal fayın bir yüzeyinden girmekte ve fay zonundaki sıcaklık farklılıklarından dolayı konveksiyon akımlarını oluşturmaya başlamaktadır (Şekil 4.31.b). Beslenme alanı tarafından fay zonuna giren sıcak sular, fay içinde dolaşarak soğumaktadır. Aynı derinlikte fayın bir diğer yüzeyinde ısınmış sular soğuyarak fayı terketmektedir. Aynı işlem bir diğer paralel fayda da gerçekleşmektedir. Kesitin Ürkmez tarafında bu işlem çok daha net bir şekilde gözükmemektedir (Şekil 4.31.b).



Şekil 4.31 Yakın plan sıcaklık dağılımları.

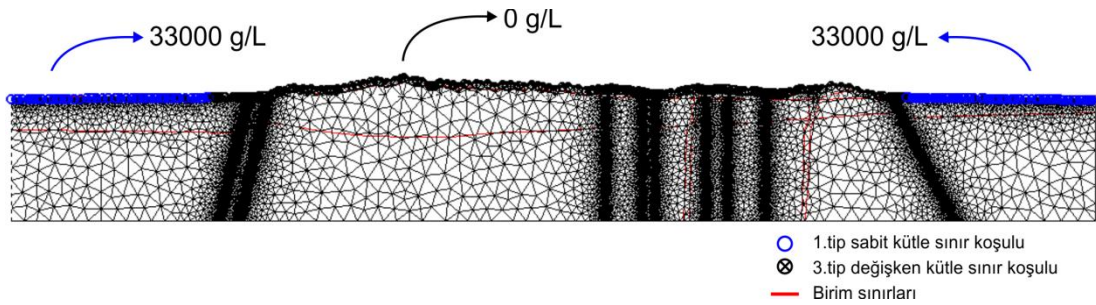
#### 4.9 Akım, Isı ve Madde Taşınım Modellerinin Birlikte Çalıştırılması

Akım ve ısı taşınım modeli hazırlandıktan sonra, madde taşınım ile ilgili parametreler ve sınır koşulları tanımlanarak akım, ısı ve madde taşınım modelleri birlikte çalıştırılmıştır. Model ile ilgili tüm genel bilgiler bölüm 4.7'de verilmiştir.

#### 4.9.1 Sınır Koşulları

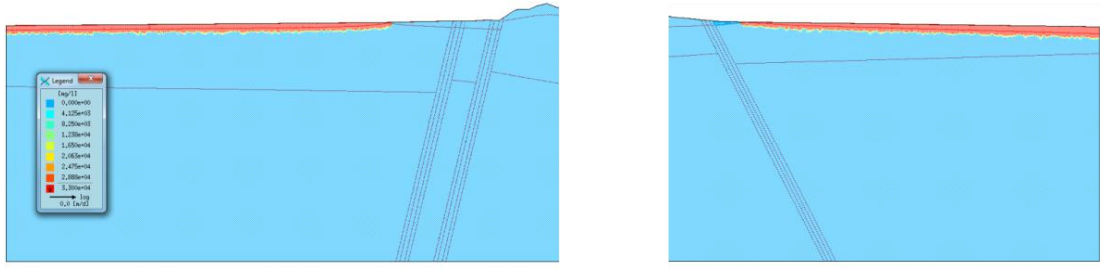
Akım ve ısı taşınım modelindeki sınır koşulları korunarak, madde taşınımı için gerekli koşullar ayarlanmıştır. Modelin yanıl ve taban sınırları ısı taşınımı için geçirimsiz olarak kabul edilmiştir. Modelin deniz tabanı, kütle taşınımına izin vermesi için 1.tip sabit kütle sınır koşulu tanımlanmıştır. Ege Bölgesi'ne ait deniz suyu çözünmüş madde derişimi 33 mg/L olduğu için maksimum derişim  $C_s = 33 \text{ mg/L}$  olarak ayarlanmıştır. Modelin tabanından yüzeyine doğru ısı taşınımının oluşabilmesi için modelin yüzeyine 3.tip değişken sınır koşulu uygulanmıştır. Böylece yüzeydeki sıcaklık ısı taşınımı sürecinde modelin yüzeyi değişken davranabilecektir.

Deniz tabanından çözünmüş madde taşınımının gerçekleşebilmesi için deniz tabanına ait elemente deniz suyundaki maksimum çözünmüş madde derişimi olan  $C_s = 33 \text{ mg/L}$  değeri atanmıştır (Şekil 4.32).



Şekil 4.32 Kütle sınır koşulları.

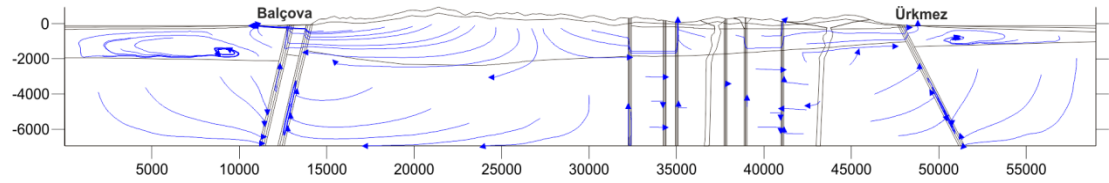
Deniz tabanına maksimum çözünmüş made miktarı için 33 mg/L değeri atandıktan sonra çözünmüş maddelerce tam doygun hale ulaştığı düşünölen deniz tabanına ait elemente de aynı değer atanarak her iki koşulun birbiriyle uyumlu olması sağlanmıştır (Şekil 4.33).



Şekil 4.33 Çözünmüş madde başlangıç koşulları.

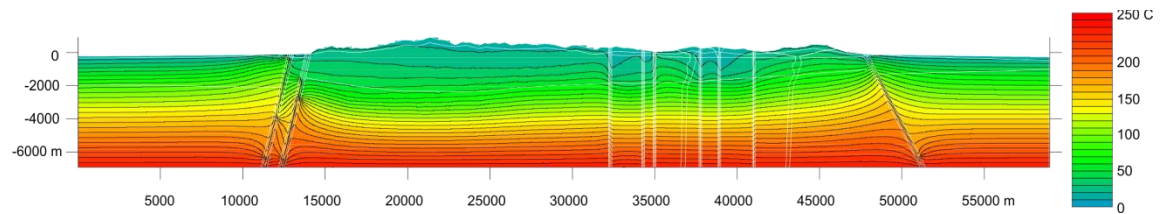
#### 4.9.2 Akım, Isı ve Madde Taşınım Modelinin Değerlendirilmesi

Akım, ısı ve taşınım birlikte çalıştırılarak model sonuçları kararlı akım koşullarında elde edilmiştir. Önceki modellerdeki mevcut akım yolları kararlı hallerini korumakta ancak Şekil 4.34'de verilen yeraltı suyu akım yollarına bakıldığında deniz tabanı altındaki hazne kayada oluşan konveksiyon akımları daha net bir şekilde gözükmektedir.



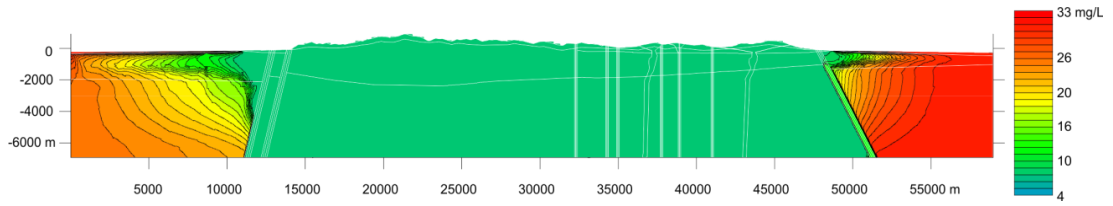
Şekil 4.34 Yeraltı suyu akım yolları.

Model sonucunda hesaplanan sıcaklık dağılımı (Şekil 4.35), ısı taşınım modeliyle hesaplanan sıcaklık dağılımı ile aynıdır. MTA raporlarına göre, Balçova jeotermal akiferinde profil hattı üzerinde, yüzeye çok yakın mesafelerde 100°C sıcaklığında akışkan vardır. Ancak modelden elde edilen sıcaklık sonuçlarına göre yüzeye yakın kesimlerde bu sıcaklıklara ulaşamamıştır.

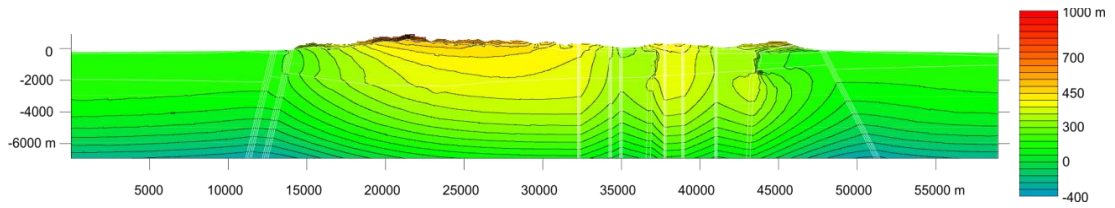


Şekil 4.35 Hesaplanan sıcaklık dağılımı.

Şekil 4.36’da verilen çözülmüş madde dağılımına göre Ürkmez jeotermal alanında oluşan konveksiyon akımları Balçova’ya oranla daha güçlüdür. Çözülmüş madde dağılımı normal fayın deniz tarafında, fay yüzeyine tamamen ulaşmış durumdadır. Çözülmüş maddelerin fay zonuna da girişimi sözkonusudur. Balçova jeotermal akiferinde ise fay yüzeyine yaklaşmış fakat içine ulaşamamıştır. Bu durum temelin yüzeye yakınlığının ne derece önemli olduğunu göstermektedir. Model sonucunda elde edilen hidrolik yük dağılımı Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.36 Çözülmüş madde dağılımı.



Şekil 4.37 Model sonunda elde edilen hidrolik yükler.

## BÖLÜM BEŞ SONUÇLAR

Çalışma alanı içindeki jeotermal sistemin temelini Menderes Masifi metamorfikleri oluşturmaktadır. Filiş birimini oluşturan yer yer hafif metamorfizma gösteren kumtaşı, silt ve şeyl ardalanmaları gözeneklik açısından çok zayıftır. İzmir filisi üyelerine genel olarak bakıldığında geçirimsiz özellik sunmalarına rağmen oluşum evrimi esasında oluşan yoğun kırık-çatlak sistemi, birimi mükemmel bir hazne kaya yapmıştır. Mevcut jeotermal sistemin sıcaklığını kaybetmesini engelleyen örtü kaya ise çalışma alanında tam olarak tanımlanamamaktadır. Bunun nedeni örtü kaya özelliği sunan tek bir birim olmamasıdır. Volcano-tortul birim, Bornova Karmaşığı üzerinde, geçirimsiz veya yarı-geçirimli örtü kaya niteliği göstermektedir. Isı kaynağı kabuk incelmeye bağlı jeotermal gradyanın artmasıdır.

Seferihisar bölgesindeki soğuk suların pH'ı 6.39 ile 8.64; sıcak suların pH değerleri ise 5.82 ile 7.50 arasında değişmektedir. Soğuk suların ölçülen ortalama sıcaklıkları 16°C, sıcak suların ise 80°C'dir. EC değerleri soğuk sularda 628-4530  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında iken, sıcak sularda deniz suyu katkısından ötürü, 7510-74200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  gibi çok yüksek seviyelerdedir. Bölgedeki soğuk sular, iç kesimlerde su tipi Ca-karışık iken, denize ve termal alanlara yaklaştıkça su tipleri önce Ca-Cl daha sonra ise Na-Cl su tipi şeklinde değişim göstermektedir. Bölgedeki sıcak sular ise, Na-Cl su tipinde olup deniz suyu katkısı da içermektedir.

Balçova bölgesindeki soğuk suların pH değerleri 6,50-7,40 arasında olup sıcaklık ortalamaları 20,8°C'dir. EC değerleri 814 ile 3270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişim sunmaktadır. Balçova bölgesindeki sıcak sular Na-HCO<sub>3</sub>-Cl türünde olup, baskın anyonlara göre bakıldığında seyreltik Cl-HCO<sub>3</sub>'lü sular ile ısınmış yeraltı sularının karışımıdır.

Alandaki jeotermal sular meteorik kökenli olup, derin dolaşımın sonucu yüzeye ısınarak çıkarlar. Bu sırada su-kayaç etkileşimi nedeniyle  $\delta^{18}\text{O}$  zenginleşir. Buna ek olarak özellikle Seferihisar alanında deniz suyu katkısı nedeniyle ayrıca  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  oranlarında artış gözlenmektedir. Deniz suyu katkısı izotop verilerine göre Tuzla için



% 58, Cumalı için % 53 olarak, Karakoç ve Doğanbey için ise % 17-20 arasında belirlenmiştir. Seferihisar bölgesi için  $\delta^{18}\text{O}$  ve yükseklik ilişkisine göre Karakoç, Doğanbey kaynaklarının beslenme yükseklikleri 50-150 m arasındayken,  $\delta^2\text{H}$  ve yükseklik grafiğinde 350-500 m arasındadır. Balçova bölgesinde alüvyondaki soğuk suların beslenme yükseklikleri  $\delta^2\text{H}$  ve yükseklik ilişkisine göre 100-600 m olarak belirlenmiştir. Balçova'daki termal suların  $\delta^2\text{H}$  ve yükseklik ilişkisine göre beslenme yükseklikleri ise 700-1200 m arasında belirlenmiştir.

Balçova alanındaki termal sular, deniz suyu girişiminin hemen hemen olmadığı düşük toplam çözünmüş madde içeriğine sahip ısınmış meteorik sulardır. Doğanbey termal suları, özellikle fayların kesişim yerlerinde ve kıyı kesimlerde önemli deniz suyu katkısına sahiptir. Üçüncü bir yeraltı suyu kütlesi, gradyan artışının hemen hemen olmadığı Seferihisar horstunda bulunmaktadır.

Modelleme için seçilen profil hattında oluşturulmuş hidrolik kontrollü akım modeline göre beslenme alanından giren suların büyük çoğunluğu faylar tarafından yakalanmaktadır. Bir kısmı Ürkmez tarafına diğer bir kısmı da Balçova alanlarına doğru gitmektedir. Ayrıca faylar ise birbirlerinden bağımsız çalışmaktadır.

Doğanbey'deki deniz suyu katkısı, yeraltı suyunun tuzlanmasında, bölgesel akımın çok önemli bir rol oynadığını gösterir. Termohalin akımın modellenmesine göre, hem sıcaklık hem tuzluluk anomalilerini kontrol eden ana faktörün termal konveksiyon olduğunu göstermektedir. Bir yandan, termal konveksiyon, sıcak ve soğuk akışkanın yükselip alçalmasını sağlayan faylar içindeki jeotermal gradyanı doğrudan etkiler. Diğer taraftan, deniz suyunun faylar boyunca kilometrelerce içeri girmesini sağlar. Faylar içine doğru aluşan akımlarla, deniz suyu sıcak sular ile karışır. Meydana gelen akışkan, alüvyona ulaşmadan önce birçok konvektif dönüşüme uğramaktadır. Balçova'da horstun güçlü topoğrafya denetimli yeraltı suyu akımı, sıcak suyun yüzeye çıkmasını engellerken, bu süreç güneyde daha zayıftır.

Hazne kaya boyunca oluşan ve temel kayayla sınırlanan bölgedeki konveksiyon akımları, jeotermal suların hareketlerini belirlediğini, gözlenen sıcaklık değişimlerinden sorumlu olduğunu ve bazı tektonik ortamlarda deniz suyu girişimine

neden olmaktadır. Seferihisar jeotermal sistemlerinin oluşmasında önemli rol oynayan fay sistemleri, kıyı akiferlerindeki termal kontrollü deniz suyu girişiminden de sorumludur.

Konvektif akımlar her iki jeotermal bölgedeki temel kaya ve hazne kaya boyunca yerleşmiş fay sistemlerine çok yakın bölgelerde oluşmaktadır. Aynı zamanda birbirlerinden bağımsız olarak çalışan faylar, sıcaklığın devreye girmesiyle hidrolik olarak bağlantılı olduğu ortaya çıkmıştır.

Seferihisar bölgesinde temel kayanın Balçova'ya oranla yüzeye daha yakın olması, oluşan konveksiyon akımlarının alüvyona ve deniz tabanına daha yakın olmasını sağlamıştır. Oluşan bu konveksiyon akımları geçirimsiz temel kaya sınırı ve deniz tabanı arasında fay zonları boyunca gözlenmektedir. Deniz tabanının yarı geçirimli olduğu durumlarda bile bu konveksiyon akımları varlığını korumuştur. Sahil akiferlerindeki sıcak su çıkışlarının konveksiyon akımlarına sebep olduğu ve bu akımların deniz tabanından faylara doğru bir çekim etkisi yarattığı görülmektedir. Bu aşamada Karakoç, Doğanbey, Cumalı, Tuzla ve Doğanbey Burnu'ndaki jeotermal akışkanlarda neden daha fazla tuzlanma olduğu ve Balçova'da neden daha az tuzlu bir jeotermal akışkan olduğu anlaşılmaktadır.

Termohalin model sonuçlarına göre; yeraltı suları topoğrafya kontrolüyle beslenme alanından kıyı kesimine doğru hareket etmektedir. Yeraltı suyunun faylar yardımıyla çok derinlere kadar inip jeotermal gradyan ile ısınıp tekrar yüzeye çıktığı ve hazne kayadaki yeraltı suyu akımının temel kaya-hazne kaya sınırı ve faylar boyunca oluşması sonucu elde edilmiştir. Balçova bölgesinde bölgesel akım çok kuvvetliken, Seferihisar bölgesinde alüvyonun kalınlığının az olması, temel kayaların yüzeye yakın olması gibi nedenlerle bölgesel akım daha zayıf bir şekilde oluşmaktadır. Her iki jeotermal alanda gelişen yeraltı suyu akımları, kütle ve ısı taşınım süreçleri ve jeotermal sistemlerin oluşumunu denetleyen faktörler karşılaştırıldığında bu iki sistemin aynı bölgesel tektonik etki altında oluşmalarına rağmen birbirlerinden bağımsız çalıştıkları saptanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Akartuna, M. (1962). İzmir-Torbalı-Seferihisar-Urla bölgesi jeolojisi hakkında. Geology of İzmir-Torbalı-Seferihisar-Urla region. *Mineral Research and Exploration Institute (MTA) of Turkey*, 59, 1-18.
- Aksoy, N. (2001). *Balçova Narlıdere jeotermal sisteminin izleyiciler ile incelenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir.
- Aksoy, N. ve Filiz, Ş. (2001). Balçova - Narlıdere jeotermal sahasının çevresel izotoplarla incelenmesi. 1.Çevre ve Jeoloji Sempozyumu, *Yeraltı Suları ve Çevre Sempozyumu - İzmir, Bildiriler Kitabı*, 289-296.
- Aksoy, N., Serpen, U. ve Filiz, S. (2008a). Management of the Balçova-Narlıdere geothermal reservoir, Turkey. *Geothermics*, 37, 444-466.
- Aksoy, N., Şimşek, C. ve Gündüz, O. (2008b). Groundwater contamination mechanism in a geothermal field: A case study of Balçova, Turkey. *Journal of Contaminant Hydrogeology*, 103, (1-2), 13-28.
- Akyol, N., Zhu, L., Mitchell, B.J., Sözbilir, H., ve Kekovalı, K. (2006). Crustal structure and local seismicity in Western Anatolia, *Geophysical Journal International*, 166, (3), 1259-1269.
- Anderson, P., ve Woessner, W.W. (1992). *Applied Groundwater Modeling*. Academic Press, San Diego, California.
- Arkan, S., Parlaktuna, M. (2005). Resource assessment of Balçova geothermal field. *Proceedings World Geothermal Congress 2005*. Antalya, Turkey, 24–9 April.
- Arnorsson, S. (1983). Chemical equilibria in Icelandic geothermal systems. Implications for chemical geothermometry investigations. *Geothermics*, 12, 119-

128.

Arnnorsson, S., Gunnlaugsson ve E., Svavarsson, H. (1983). The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 47, 567-577.

Attendorn, H.G. ve Bowen, R.N.C. (1997). *Radioactive and stable isotope geology*. Chapman ve Hall, London.

Bear, J. (1972). Dynamics of fluids in porous media. *American Elsevier Publishing Company, Inc.*, New York.

Bear, J. (1979). *Hyraulics of ground water*. New York: McGraw Hill, Inc., New York.

Brinkmann, R. (1976). *Geology of Turkey*: enke, Stuttgart, 158.

Brinkmann, R. (1966). Geotektonische gliederung von westanatolien: *Neus Jahrb. Geol. Palâontol, Monatsh*, 10, 603-618.

Brinkmann, R. (1972). Mesozoic troughs and crustal structure in Anatolia: *Geol.Soc. America Bull.*, 83, 819-826.

Brondi, M., Dall'aglio, M. ve Vitrani, F. (1973). Lithium as a pathfinder element in the large scale hydrogeochemical exploration for hydrothermal systems, *Geothermics*, 2, 142-143.

Çağlar, K.Ö. (1961). Türkiye maden suları ve kaplıcaları *In: MTA Enstitüsü Yayını* Ankara, 107, 1061-1104.

Canık, B. (1998). *Hidrojeoloji, yeraltı sularının aranması, işletilmesi, kimyası*. AÜ. Fen Fak. Jeoloji Müh. Böl., Ankara.

- Clauser, C. ve Huenges, E. (1995). Thermal conductivity of rocks. *American Geophysical Union*.
- Clark, I. ve Fritz, P. (1997). *Environmental isotopes in hydrogeology*. Lewis Publishers. New York.
- Conrad, M.A., Hipfel, B., Satır, M. (1995). Chemical and stable isotopic characteristics of thermal waters from the Çesme-Seferihisar area, İzmir (W. Turkey). In: Pişkin, Ö., Savaşçın, M.Y., Ergün M. and Tarcan, G. (Eds.), *Proceedings International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, 2*, 669–679,
- Coplen, T.B., Herczeg, A.L. ve C. (2000). *Barnes. Isotope engineering, using stable isotopes of the water molecule to solve practical problems, environmental tracers in subsurface hydrology*, Kluwer Academic Publishers, Australia, 529.
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703,
- Craig, H. (1961). The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas. In: E. Tongiorgi (ed.), *Nuclear Geology in Geothermal Areas*, CNR, Pisa, 17-53.
- Çağatay, M.N. (1993). Hydrothermal alteration associated with volcanogenic massive sulfide deposits; examples from Turkey. *Economic Geology*, 88, 606-621
- Çetiner, L., Baçova (İzmir) (2004). BD-8 jeotermal enerji arama sondaj kuyusu bitirme raporu. In: *MTA Der. Rap. No 10674*, (yayımlanmamış) Ankara, MTA, 36.
- Darcy, H. (1856). *Les fontains publiques de la ville de Dijon*. Paris: Victor Dalmont.

- De Wiest, R.J.M. (1965). *Geohydrology*. New York: John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Diersch, H.-J.G. (2002). *FEFLOW - Physical basis of modeling*. Reference Manual - Part I, WASY Ltd., Berlin.
- Diersch, H.-J.G. ve Perrochet, P. (1999). On the primary variable switching technique for simulating unsaturated-saturated flows. *Adv. Water Resour.*, 23 (1), 25-55.
- Dominco, A. (1969). *Hydrogeochemical study of the Agamemnon-Seferihisar-Urta district* In: Ankara, MTA.
- Drahor, M.G. ve Berge, M.A. (2006). Geophysical investigations of the Seferihisar geothermal area, Western Anatolia, Turkey. *Geothermics*, 35, 302–320,
- Drahor, M.G., Sarı, C. ve Şalk, M. (1999). Seferihisar jeotermal alanında doğal gerilim (SP) ve gravite çalışmaları. *DEÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1, 3, 97-112,
- Ellis, A.J. ve Wilson, S.H. (1960). The geochemistry of alkali metal ions in the Wairakei hydrothermal system. *N.Z.J. Geol. Geophys.*, (3), 593-617.
- Ercan, A., Drahor, M. ve Atasoy, E. (1986). Natural polarization studies at Balçova goothermal field. *Geophysical Prospecting*, 34, 475-491.
- Erdoğan, B., Toksoy, M., Özerdem, B. ve Aksoy, N. (2006). Economic assessment of geothermal district heating systems: A case study of Balçova-Narlıdere, Turkey. *Energy and Buildings*, 38, 1053-1059.
- Erdoğan, B. (1985). Bornova karmaşığının bazı stratigrafik ve yapısal özellikleri: *Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özetleri*, 14.

- Erdoğan, B. (1990). İzmir - Ankara zonunun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi: *Türkiye Petrol Jeologları Derneği*, 19.
- Erdoğan, B. (1990). İzmir-Ankara zonu ile Karaburun tektonik kuşağının ilişkisi. *Maden Tetkik ve Arama dergisi*, 110, 1-15.
- Eşder, T., ve Şimşek, Ş. (1977). The relationship between the temperature gradient distribution and geological structure in the İzmir-Seferihisar geothermal area, Turkey. In: *Symposium on Geothermal Energy CENTO Scientific Programme Ankara*, 93-111.
- Eşder, T. (1975). Seferihisar I ve II jeotermik derin deneme sondajları kuyu bitirme raporu. In: *MTA Der. Rap. No. 5495*, (yayımlanmamış) Ankara, 183.
- Eşder, T., ve Şimşek, Ş. (1975). Geology of İzmir (Seferihisar) geothermal area, Western Anatolia of Turkey: determination of reservoirs by means of gradient drilling. In: *Proceedings of the Second UN Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, San Francisco, CA, 349-61.
- Eşder, T. (2002). Cumalı - Tuzla sektöründe jeotermal enerji potansiyeli ve elektrik dışı uygulamalar üzerine çalışmalar. *Jeotermal Yaz Okulu Ders Kitabı*.
- Filiz, Ş., Gökğöz, A. ve Tarcan, G. (1993). Hydrogeologic comparisons of geothermal fields in the Gediz and Büyük Menderes Grabens. In: *Congress of the World Hydrothermal Organisation*, İstanbul-Pamukkale, Turkey, 129-153.
- Fairley, J.P. (2009). Modeling fluid flow in a heterogeneous, faultcontrolled hydrothermal system. *Geofluids*, 9, 153-66.
- Fouillac, C. ve Michard, G. (1981). Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. *Geothermics*, 10, 55-70.

- Fournier, R.O. ve Potter, R.W. (1979). Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer. *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, 43, 1543-1550.
- Fournier, R.O., ve Truesdell, A. H. (1970). Geochemical indicators of subsurface temperature applied to hot spring waters of Yellowstone National Park, Wyoming, USA. *Geothermics*, 2, 1, 529-535.
- Fournier, R.O., ve Truesdell, A. H. (1973). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, 37, 1255-1275.
- Fournier, R.O., ve Truesdell, A. H. (1974). Geochemical indicators of subsurface temperature-part 2, estimation of temperature and fraction of hot water mixed with cold water. *J. Res. U.S. Geol. Survey*, 2, 263-270.
- Fournier, R.O. (1977a). A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. *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. *Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy. Cento Scientific Programme, Ankara*, 199-210.
- Fournier, R.O. (1979). A revised equation for the Na/K geothermometer. *Geoth. Res. Council, Transac.*, 3, 221-224.
- Fournier, R.O. (1990). The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters, *Geoth. Res. Council Trans.*, 14, 1421-1425.
- Freeze, R.A. ve Cherry, J.A. (1979). *Ground water*. New Jersey: Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs.



- Gemici, Ü. ve Filiz, S. (2001). Hydrogeochemistry of Çesme geothermal area, Western Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Researches*, 110, 171-187.
- Gemici, Ü. (1999). *Çeşme Yarımadası'nın Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları*. DEÜ. Müh. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Genç, S.C., Altunkaynak, S., Karacık, Z. (2001). Yazman, M. and Yılmaz, Y., The Çubukludağ graben, south of İzmir: its tectonic significance in the Neogene geological evolution of the western Anatolia. *Geodinamica Acta*, 14 (1/3), 45-55.
- Geochemical Calculations (1999). *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report*, 99-4259, 312.
- Ghyben, W.B. (1888). *Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam*. Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs, The Hague, Netherlands, 8-22.
- Giese, L.B. (1997). *Geotechnische und umwelt geologische aspekte bei der forderung und reinjection von thermal fluiden zur nutzung geothermischer energie am beispiel des geothermal feldes Kızıldere und des umfeldes, W.Anatolien/Turkei*. Ph.D. thesis FU Berlin, 201.
- Giggenbach, W.F. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochim. et Cosmochim. Acta.*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L. ve Truesdell, A.H. (1983). Isotopic and chemical composition of Parbati Valley geothermal discharges, NW Himalaya, Indiana. *Geothermics*, 5, 51-62.
- Gonfiantini, R. ve Araguás, L. (1988). Los isótopos ambientales en el estudio de la intrusión marina. *Simposio Internacional Tecnología de la Intrusión en Acuíferos*

*Costeros. Instituto Geológico y Minero de España, 1, Almuñécar. 135-190.*

Goodman, R.E. (1980). *Introduction to rock mechanics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Gök, I. M., Sarak, H., Onur, M., Serpen, U. Ve Satman, A. (2005). Numerical modeling of Bağcıva-Narlıdere geothermal field. *World Geothermal Congress*. Antalya, Turkey.

Göktürkler, G., Şalk, M., Sarı, C. (2003). Numerical modeling of the conductive heat transfer in western Anatolia. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 6, 1–15.

Gvirtzman, H., Garven, G., ve Gvirtzman, G. (1997). Thermal anomalies associated with forced and free ground-water convection in the Dead Sea rift valley. *Geological Society of America Bulletin*, 109, 1167–76.

Haverkamp, R., Vauclin, M., Touma, J., Wierenga, P.J. ve Vachaud, G. (1977). Comparison of numerical simulation models for onedimensional infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41, 285-294.

Hantush, M.S. (1960). *Theory of ground-water motion*. New Mexico: New Mexico Institute of Mining and Technology, Socorro.

Herzberg, A. (1901). Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder. *Wasserversorgung*, 44, 815-819 and 842-844.

IAH (1979). *Map of Mineral and Thermal Water of Europe Scale: 1:500,000*. IAH, UK.

İlkışık, O.M. (1995). Regional heat flow in western Anatolia using silica temperature estimates from thermal springs. *Tectonophysics*, 244, 175-184.

- Kasenow, M., (1997). *Applied ground water hydrology and well hydraulics*. Water Resources Publications, Colorado.
- Kaya, O. (1981). Miocene reference section for the coastal parts of West Anatolia. *Newsletters on Stratigraphy*, 10, 164-191.
- Kharaka, Y.K., Gunter, W. D., Affarwall, P. K., Perkins, E. H. ve De Braal, J. D. (1988). Solmineq.88: A computer program code for geochemical modelling of water-rock interactions. *In U.S. Geological Survey Water Investigations Report*, 88-05.
- Koçak, A. (1990). An approach to occurrence of the geothermal systems in Western Anatolia, *Proceedings of International Earth Sciences Congress on Aegean regions* (IESCA 1990), 148-159.
- Koga, A. (1970). Geochemistry of the waters discharged from drillholes in Otake and Hatchobaru areas (Japan). *Geothermics. Special issue*, 22, (2), 1422-1425.
- Kurttaş, T. (2002). Karışım sularında kökensel katkıların belirlenmesi. *Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu Bildiri Kitabı*. 297-312, Adana.
- Kruseman, G.P. ve Ridder, N.A. , (1970). *Analysis and evaluation of pumping test data*, Amsterdam, 2<sup>nd</sup> edition, 372.
- Langmuir, D. (1971). Geochemistry of some carbonate ground waters in Central Pennsylvania. *Geochim. Osmochim. Acta*. 35.
- Lopez, D.L. ve Smith, L. (1995). Fluid flow in fault zones: analysis of the interplay of convective circulation and topographically driven groundwater flow. *Water Resources Research*, 31, 1489–503.

- Magri, F., Akar, T., Gemici, U. ve Pekdeğer, A. (2010). Deep geothermal groundwater flow in the Seferihisar-Balcova area, Turkey: results from transient numerical simulations of coupled fluid flow and heat transport processes. *Geofluids*, 10, (3), 388-405.
- Mahon, W.A. (1966). Silica in hot water discharged from drill holes at Wairakei, New Zeland. *N.Z.J. Sci.* 9, 165-144.
- Mahon, W.A. (1970). Chemistry in the exploration and exploitation of hydrothermal systems. *Geothermics. Special issue 2*, (2), 1310-1322.
- McWorther, D.B. ve Sunada, D.K. (1977). Ground water hydrology and hydraulics. Colorado: *Water Resources Publications*, Fort Collins.
- Minissale, A., ve Duchi, V. (1988). Geothermometry on fluids circulating in a carbonate reservoir in north-central Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 35, 237-252.
- Mutlu, H., Güleç, N. ve Hilton, D.R. (2008). Helium-carbon relationships in geothermal fluids of western Anatolia, Turkey. *Chemical Geology*, 247, 305-321.
- Nicholsen, K. (1993). *Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques*, Springer-Verlag, ISBN13:9780387560175, December.
- Nieva, D. ve Nieva, R. (1987). Developments in the geothermal energy in Mexico, part 12-A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. *Heat recovery systems and CHP*, 7, 243-258.
- Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kusçu, I. (2004). Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kusadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province. *Tectonophysics*, 391, 67-83.

- Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kusçu, I. (2005). Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. *Marine Geology*, 219, 155–171.
- Onur, M. (2002). *İzmir Balçova – Narlıdere Jeotermal Sahasının Rezervuar ve Üretim Performansı Projesi*. 2, 355.
- Onur, M., Aksoy, N., Serpen, U. ve Satman, A. (2002). Analysis of pressure transient tests in Balçova-Narlıdere geothermal field. *Turkish Journal of Oil and Gas* 8, 20-36.
- Onur, M., Aksoy, N., Serpen, Ü. ve Satman, A. (2005). Analysis of welltests in Balçova-Narlıdere geothermal field, Turkey. *Proceedings World Geothermal Congress 2005*. Antalya, Turkey, 24–29 April.
- Öngür, T. (2001). *İzmir Agamemnon kaplıcaları-Balçova jeotermal alanı jeolojisi ve yeni kavramsal jeoloji modeli* (yayınlanmamış çalışma).
- Parkhurst, D.L. ve Appelo, C.A.J. (1999). User's guide to PHREEQC (version 2) A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: *U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 95-4227*, 143.
- Piper, A.M. (1944). A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses. *Am Geophys Union Trans*, 25, 914–923.
- Pope, L.A., Hajash, A. ve Popp, R.K. (1987). An experimental investigation of the quartz, Na/K, Na-K-Ca geothermometers and the effects of fluid composition. *Jour. of Volcanology and Geothermal Res.* 31, 151-161.
- Ruffa, G.L., Panichi, C., Kavouridis, T., Liberopoulou, V., Leontiadis, J. ve Caprai, A. (1999). Isotope and chemical assessment of geothermal potential of Kos Island,

Greece. *Geothermics*, 28, (2), 205-217.

Sarı, C. ve Şalk, M. (2003). Heat flow investigations in Western Anatolia. In: Geophysical Research Abstracts, Nice, France, *EGS-AGU-EUG Joint Assembly*, 5.

Satman, A., Serpen, Ü. ve Onur, M. (2001). *İzmir Balçova-Narlıdere jeotermal sahasının Rezervuar ve üretim performansı projesi*, Cilt 1 ve 2. Maslak İstanbul Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 479.

Satman, A., Serpen, Ü. ve Onur, M. (2002). *İzmir Balçova-Narlıdere Jeotermal Sahasının Rezervuar ve Üretim Performansı Projesi*. Balçova Jeotermal Ltd. Özel rapor.

Sayın, E., Pazi, İ. ve Eronat, C. (2006). Investigation of water masses in İzmir Bay, Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15, 343–72.

Serpen, Ü. (2004). Hydrogeological investigations on Balçova geothermal system in Turkey. *Geothermics*, 33, 309–335.

Shevenell, L., ve Goff, F. (1994). Evolution of hydrothermal waters at St. Helens, Washington, USA. *Jour. of. Volcanology and Geothermal Resc.* 69, 73-94.

Shewchuk, J.R. (1996). Triangle: engineering a 2D quality mesh generator and delaunay triangulator. In: *M.C. Lin and D. Manocha, Editors, Applied Computational Geometry: Towards Geometric Engineering, First ACM Workshop on Applied Computational Geometry Lecture Notes in Computer Science, 1148*, Springer-Verlag, Berlin, 203–222.

Shewchuk, J.R. (2002). Delaunay refinement algorithms for triangular mesh generation, computational geometry: Theory and Applications, *Computational Geometry*, 22, (1-3), 21-74.

- Sözbilir, H. (2005). Oligo-Miyosen extension in the Lycian orogen: evidence from the Lycian molasse basin, SW Turkey, *Geodinamica Acta*, 18/3, 257-284.
- Standard methods (1992). Standard methods for the examination of water and wastewater (18<sup>th</sup> ed.) *American Public Health Association*.
- Şahinci, A. (1986). *Yeraltı suları jeokimyası*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Basım Evi, İzmir.
- Şahinci, A. (1991). *Jeotermal sistemler ve jeokimyasal özellikleri*. Reform Matbaası, Beyler-İzmir, 548.
- Şalk, M., Göktürkler, G., Özel, M., Karamandereci, I.H. ve Sarı, C. (1999). Crustal temperature distributions in the Western Turkey. *Second Balkan Geophysical Congress and Exhibition*, İstanbul, Turkey, July 5-9, Book of Abstracts, 174-175.
- Şimşek, C. (2005). Balçova jeotermal sahasında bor ve arsenik kirliliği, *Teskon-Jeotermal Enerji Semineri*, 361-368, İzmir.
- Tarakçı, N. (1999). *Çamlı barajı ve çevresinin hidrojeolojisi*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Tarcan, G. ve Gemici, Ü. (2003). Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, İzmir, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 126, 225-242.
- Tezcan, K. (1966). *İzmir Agamemnon jeofizik etüdlerinin jeotermik enerji bakımından değerlendirilmesi*. MTA Ege Bölge Kütüphanesi, No:98/3072, İzmir.
- Todd, D.K. (1980). *Ground water hydrology* (2<sup>nd</sup> edition). John Wiley & Sons, Inc., New York.

- Tonani, F. (1970). Geochemical methods of exploration for geothermal energy. *Geothermics. Special issue 2*, (1), 492-515.
- TSE 266 (2005). *Türk Standartı: Sular-İçme ve Kullanma Suları*, Ankara.
- Uzel, B. ve Sözbilir, H. (2008). A First record of strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: The Cumaovası basin as an example. *Turkish Journal of Earth Sciences*.
- Vengosh, A., Helvacı, C. ve Karamandereci, İ. (2002). Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey. *Applied Geochemistry*, 17, 163-183.
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2000). *Termische Nutzung des Untergrundes (Thermal use of underground)*.
- White, D.E. (1970). Geochemistry applied to the discovery, evaluation and exploitation of the geothermal energy resources. *Geothermics. Special Issue 2*, 1, 58-80.
- Wang, H.F. ve Anderson, M.P. (1982). Introduction to groundwater modeling finite difference and finite element methods, W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- WHO (2008). *Guidelines for Drinking-water Quality*, 3rd edition.
- Yıldırım, T. (2004). *Hydrogeological investigation west of the Çavuşçayı (Sungurlu) basin*. Ankara University Graduate School of Natural and Applied Sciences, MSc Thesis, 101.



- Yılmaz, Y. (1997). Geology of western Anatolia, In: Schindler C., Pfister M. (eds), Active Tectonics Of Northwestern Anatolia–The Marmara Polyproject, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 31–53.
- Yılmaz, S. (1984). *İzmir Balçova jeotermal sahasında ısı üretimine yönelik değerlendirme raporu*. In:(ed. MTA Der.Rap. No. 7504 y) Ankara, 18.
- Yılmaz, S. (1989). *Balçova kaplıcalarının (İzmir) hidrojeoloji ve jeokimyasal özellikleri*. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış.
- Zakem, A.B. ve Hafez, R. (2007). Environmental isotope study of seawater intrusion in the coastal aquifer (Syria). *Environmental Geology*, 51, (8), 1329-1339.
- Zhao, C., Hobbs, B.E., Mühlhaus, H.B., Ord, A. ve Lin, G. (2003). Convective instability of 3-D fluid-saturated geological fault zones heated from below. *Geophysical Journal International*, 155, 213–20.
- Zheng, C. ve Bennett, G.D. (1995). *Applied contaminant transport modeling*. Van Nostrand Reinhold, New York.

**EKLER**  
**EK-1.**

**Table 2** Values of  $W(u_A, S_A, \beta, r/r_{ew}, b_1/D, d/D, b_2/D)$  for  $b_1/D = 0.6, d/D = 0.0, b_2/D = 0.3, S_A = 10^{-3}$

$1/u_A$	$r/r_{ew} = 1.0$													
	$\sqrt{\beta} = 0.001$				$\sqrt{\beta} = 0.001$				$\sqrt{\beta} = 0.001$					
	0.1	0.5	0.001	0.1	0.5	0.001	0.1	0.5	0.001	0.1	0.5	0.5		
1.0	0.0010	0.0010	0.0013	0.0013	0.0010	0.0074	0.0074	0.0074	0.0050	0.0292	0.0175	0.0790	0.0761	0.0503
2.0	0.0020	0.0020	0.0058	0.0057	0.0044	0.0409	0.0409	0.0409	0.0218	0.1503	0.0779	0.3438	0.3085	0.2010
5.0	0.0050	0.0050	0.0273	0.0265	0.0173	0.2159	0.2159	0.2159	0.0835	0.7802	0.6291	1.1237	0.9253	0.4525
10.0	0.0100	0.0100	0.0743	0.0675	0.0400	0.5669	0.5563	0.5669	0.1830	1.8194	1.2137	2.1240	1.5437	0.6095
20.0	0.0200	0.0200	0.1814	0.1685	0.0815	1.3944	1.3281	1.3944	0.3367	3.1661	2.0453	3.3009	2.2569	0.6120
50.0	0.0500	0.0494	0.5347	0.4680	0.1863	3.0645	2.7865	3.0645	0.5640	5.2069	3.0028	5.2213	3.1886	0.6129
100.0	0.0999	0.0988	1.1338	0.9311	0.2600	5.6002	3.9772	5.6002	0.6125	6.5213	3.6015	6.7220	3.6021	0.6136
1000.0	0.9845	0.9049	6.1993	4.0172	0.5930	10.4528	4.3683	10.4528	0.6147	10.5503	4.3015	10.5525	4.2841	0.6141
10000.0	6.7033	4.1975	13.5249	4.3977	0.7112	14.3775	4.3720	14.3775	0.6150	14.3822	4.3032	14.3887	4.2849	0.6143
100000.0	17.4883	4.8257	18.2229	4.3988	0.7112	18.2247	4.3721	18.2247	0.6150	18.2262	4.3036	18.2262	4.2851	0.6144

**Table 3** Values of  $W(u_A, S_A, \beta, r/r_{ew}, b_1/D, d/D, b_2/D)$  for  $b_1/D = 0.4, d/D = 0.0, b_2/D = 0.2, S_A = 10^{-3}$

$1/u_A$	$r/r_{ew} = 1.0$													
	$\sqrt{\beta} = 0.001$				$\sqrt{\beta} = 0.001$				$\sqrt{\beta} = 0.001$					
	0.1	0.5	0.001	0.1	0.5	0.001	0.1	0.5	0.001	0.1	0.5	0.5		
1.0	0.0010	0.0010	0.0013	0.0013	0.0008	0.0071	0.0071	0.0071	0.0031	0.0203	0.0076	0.0522	0.0437	0.0154
2.0	0.0020	0.0020	0.0048	0.0048	0.0020	0.0408	0.0408	0.0408	0.0105	0.1327	0.0409	0.3426	0.2045	0.0700
5.0	0.0050	0.0050	0.0270	0.0260	0.0067	0.2256	0.2205	0.2256	0.0418	0.6759	0.1392	1.3972	1.1012	0.1619
10.0	0.0100	0.0100	0.0740	0.0641	0.0147	0.6000	0.5486	0.6000	0.0910	1.7921	0.2541	3.0825	2.3541	0.2934
20.0	0.0200	0.0200	0.1815	0.1552	0.0307	1.5147	1.1791	1.5147	0.1725	4.6397	2.9895	5.0573	3.4989	0.3431
50.0	0.0500	0.0500	0.5353	0.4292	0.0750	3.9961	2.6179	3.9961	0.3132	7.9908	4.1512	8.0937	4.4236	0.3893
100.0	0.1000	0.1000	1.1685	0.8295	0.1393	6.8764	3.8867	6.8764	0.3605	10.0945	4.4929	10.0948	4.5671	0.3910
1000.0	1.0000	0.9745	10.1713	4.0503	0.4267	15.7928	4.7150	15.7928	0.3782	15.8287	4.6010	15.8288	4.5883	0.3920
10000.0	8.7036	4.7560	21.5181	5.1752	0.5110	21.5829	4.7152	21.5829	0.3887	21.5830	4.6011	21.5830	4.5889	0.3925
100000.0	27.2770	5.7269	27.3204	5.1923	0.5121	27.3393	4.7152	27.3393	0.3959	27.3393	4.6011	27.3393	4.5991	0.3926

## EK-2.

Table 1 Values of  $W(u_B, \beta, b_1/D, b_2/D)$  for  $b_1/D = 0.1$  and  $b_2/D = 0.1$ 

$l/u_B$	$\sqrt{\beta}$						
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1.0
0.001	0.7930	0.3196	0.0815	0.0302	0.0077	0.0026	0.0012
0.002	0.7930	0.3196	0.0815	0.0302	0.0077	0.0026	0.0012
0.005	0.7931	0.3196	0.0816	0.0303	0.0078	0.0026	0.0012
0.010	0.7931	0.3197	0.0817	0.0304	0.0079	0.0027	0.0013
0.020	0.7931	0.3198	0.0819	0.0305	0.0080	0.0028	0.0014
0.050	0.7933	0.3202	0.0824	0.0311	0.0084	0.0031	0.0016
0.100	0.7935	0.3209	0.0834	0.0320	0.0091	0.0037	0.0021
0.200	0.7941	0.3222	0.0853	0.0338	0.0105	0.0048	0.0032
0.500	0.7956	0.3260	0.0909	0.0392	0.0151	0.0088	0.0071
1.0	0.7981	0.3325	0.1003	0.0484	0.0233	0.0169	0.0156
2.0	0.8032	0.3452	0.1190	0.0674	0.0417	0.0364	0.0373
5.0	0.8182	0.3820	0.1736	0.1251	0.1017	0.0998	0.1033
10	0.8425	0.4392	0.2565	0.2122	0.1856	0.1764	0.1745
20	0.8885	0.5398	0.3873	0.3358	0.2839	0.2572	0.2479
50	1.0088	0.7569	0.5975	0.4995	0.4006	0.3572	0.3426
100	1.1649	0.9612	0.7342	0.5980	0.4782	0.4293	0.4130
200	1.3743	1.1498	0.8392	0.6808	0.5514	0.5000	0.4829
500	1.6696	1.3326	0.9500	0.7798	0.6453	0.5925	0.5748
1000	1.8513	1.4309	1.0250	0.8514	0.7154	0.6621	0.6443
2000	1.9837	1.5129	1.0970	0.9219	0.7851	0.7315	0.7136
5000	2.1099	1.6114	1.1902	1.0142	0.8769	0.8232	0.8053
10000	2.1891	1.6829	1.2600	1.0837	0.9463	0.8926	0.8746

Table 2 Values of  $W(u_B, \beta, b_1/D, b_2/D)$  for  $b_1/D = 0.2$  and  $b_2/D = 0.2$ 

$l/u_B$	$\sqrt{\beta}$						
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1.0
0.001	1.4167	0.7963	0.3227	0.1552	0.0505	0.0188	0.0091
0.002	1.4167	0.7963	0.3228	0.1552	0.0505	0.0188	0.0091
0.005	1.4167	0.7963	0.3228	0.1553	0.0506	0.0189	0.0092
0.010	1.4167	0.7964	0.3230	0.1555	0.0508	0.0191	0.0094
0.020	1.4167	0.7965	0.3232	0.1558	0.0512	0.0195	0.0097
0.050	1.4168	0.7968	0.3240	0.1569	0.0524	0.0205	0.0107
0.100	1.4170	0.7973	0.3254	0.1587	0.0544	0.0224	0.0123
0.200	1.4173	0.7983	0.3280	0.1623	0.0583	0.0261	0.0158
0.500	1.4182	0.8014	0.3358	0.1729	0.0703	0.0377	0.0271
1.0	1.4197	0.8065	0.3487	0.1903	0.0904	0.0584	0.0484
2.0	1.4226	0.8166	0.3739	0.2434	0.1307	0.1019	0.0953
5.0	1.4315	0.8462	0.4444	0.3818	0.2427	0.2230	0.2218
10	1.4459	0.8926	0.5470	0.4749	0.3847	0.3617	0.3554
20	1.4740	0.9765	0.7074	0.6775	0.5531	0.5120	0.4967
50	1.5516	1.1732	0.9864	0.8779	0.7677	0.7055	0.6828
100	1.6624	1.3881	1.1977	1.0637	0.9176	0.8477	0.8225
200	1.8343	1.6266	1.3815	1.2211	1.0617	0.9881	0.9617
500	1.1397	1.9105	1.5915	1.4150	1.2482	1.1724	1.1453
1000	1.3810	2.0874	1.7384	1.5570	1.3879	1.3114	1.2840
2000	1.5921	2.2442	1.8811	1.6973	1.5271	1.4502	1.4227
5000	1.8216	2.4375	2.0667	1.8816	1.7107	1.6336	1.6060
10000	1.9744	2.5794	2.2061	2.0205	1.8494	1.7723	1.7446

Table 3 Values of  $W(u_B, \beta, b_1/D, b_2/D)$  for  $b_1/D = 0.4$  and  $b_2/D = 0.2$ 

$l/u_B$	$\sqrt{\beta}$							
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1.0	1.5
0.001	3.1197	1.8544	0.8406	0.4461	0.1666	0.0678	0.0341	0.0115
0.002	3.1197	1.8544	0.8406	0.4462	0.1667	0.0679	0.0342	0.0116
0.005	3.1198	1.8545	0.8408	0.4464	0.1669	0.0681	0.0344	0.0118
0.010	3.1198	1.8546	0.8410	0.4467	0.1673	0.0685	0.0348	0.0121
0.020	3.1198	1.8547	0.8414	0.4473	0.1681	0.0693	0.0356	0.0127
0.050	3.1199	1.8551	0.8426	0.4491	0.1705	0.0718	0.0379	0.0147
0.100	3.1201	1.8559	0.8446	0.4520	0.1744	0.0758	0.0418	0.0181
0.200	3.1206	1.8573	0.8486	0.4580	0.1822	0.0840	0.0498	0.0254
0.500	3.1218	1.8616	0.8605	0.4758	0.2055	0.1091	0.0752	0.0506
1.0	3.1238	1.8687	0.8801	0.5050	0.2442	0.1521	0.1206	0.1003
2.0	3.1278	1.8829	0.9184	0.5616	0.3198	0.2387	0.2152	0.2080
5.0	3.1398	1.9242	1.0261	0.7168	0.5235	0.4688	0.4596	0.4661
10	3.1595	1.9897	1.1841	0.9308	0.7785	0.7298	0.7168	0.7158
20	3.1979	2.1092	1.4355	1.2347	1.0872	0.0182	0.9929	0.9819
50	3.3049	2.3967	1.8930	1.6955	1.4962	1.3947	1.3611	1.3425
100	3.4606	2.7255	2.2637	2.0258	1.7900	1.6794	1.6392	1.6179
200	3.7090	3.1127	2.6056	2.3312	2.0755	1.9591	1.9169	1.8943
500	4.1765	3.6128	3.0127	2.7142	2.4469	2.3271	2.2838	2.2603
1000	4.5758	3.9466	3.3029	2.9967	2.7258	2.6048	2.5611	2.5373
2000	4.9517	4.2517	3.5864	3.2766	3.0038	2.8823	2.8384	2.8145
5000	5.3869	4.6341	3.9566	3.6447	3.3708	3.2490	3.2050	3.1810
10000	5.6863	4.9164	4.2351	3.9225	3.6482	3.5263	3.4822	3.4582

Table 4 Values of  $W(u_B, \beta, b_1/D, b_2/D)$  for  $b_1/D = 0.4$  and  $b_2/D = 0.4$ 

$l/u_B$	$\sqrt{\beta}$							
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1.0	1.5
0.001	2.1193	1.4457	0.8244	0.5202	0.2425	0.1138	0.0612	0.0217
0.002	2.1193	1.4458	0.8244	0.5202	0.2426	0.1139	0.0613	0.0217
0.005	2.1193	1.4458	0.8245	0.5204	0.2428	0.1141	0.0616	0.0220
0.010	2.1193	1.4458	0.8246	0.5206	0.2432	0.1146	0.0621	0.0224
0.020	2.1193	1.4459	0.8248	0.5210	0.2439	0.1155	0.0630	0.0233
0.050	2.1193	1.4461	0.8255	0.5222	0.2460	0.1182	0.0659	0.0259
0.100	2.1194	1.4464	0.8266	0.5242	0.2496	0.1227	0.0707	0.0304
0.200	2.1196	1.4470	0.8288	0.5283	0.2566	0.1317	0.0803	0.0396
0.500	2.1201	1.4489	0.8354	0.5403	0.2775	0.1584	0.1095	0.0697
1.0	2.1209	1.4520	0.8462	0.5600	0.3115	0.2023	0.1584	0.1238
2.0	2.1225	1.4583	0.8673	0.5979	0.3758	0.2855	0.2528	0.2319
5.0	2.1274	1.4768	0.9275	0.7018	0.5421	0.4925	0.4812	0.4803
10	2.1355	1.5065	1.0180	0.8468	0.7488	0.7254	0.7211	0.7222
20	2.1514	1.5627	1.1695	1.0632	1.0109	0.9927	0.9861	0.9837
50	2.1972	1.7085	1.4778	1.4297	1.3860	1.3588	1.3474	1.3414
100	2.2676	1.8964	1.7669	1.7242	1.6693	1.6366	1.6232	1.6158
200	2.3900	2.1524	2.0662	2.0138	1.9499	1.9142	1.8998	1.8917
500	2.6586	2.5464	2.4513	2.3883	2.3186	2.2810	2.2660	2.2574
1000	2.9343	2.8464	2.7351	2.6682	2.5965	2.5583	2.5431	2.5344
2000	3.2369	3.1372	3.0157	2.9468	2.8741	2.8356	2.8203	2.8115
5000	3.6322	3.5121	3.3842	3.3141	3.2408	3.2022	3.1868	3.1779
10000	3.9206	3.7921	3.6621	3.5917	3.5182	3.4794	3.4640	3.4551

Table 5 Values of  $W(u_B, \beta, b_1/D, b_2/D)$  for  $b_1/D = 0.6$  and  $b_2/D = 0.3$ 

$1/u_B$	$\sqrt{\beta}$							
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1.0	1.5
0.001	3.9479	2.6184	1.4298	0.8779	0.4008	0.1879	0.1015	0.0360
0.002	3.9480	2.6184	1.4298	0.8779	0.4009	0.1880	0.1016	0.0362
0.005	3.9480	2.6184	1.4299	0.8781	0.4012	0.1884	0.1020	0.0365
0.010	3.9480	2.6185	1.4301	0.8784	0.4017	0.1890	0.1027	0.0372
0.020	3.9480	2.6186	1.4304	0.8791	0.4028	0.1904	0.1041	0.0384
0.050	3.9481	2.6189	1.4315	0.8810	0.4060	0.1943	0.1083	0.0423
0.100	3.9482	2.6194	1.4333	0.8841	0.4112	0.2008	0.1152	0.0489
0.200	3.9485	2.6205	1.4369	0.8904	0.4216	0.2139	0.1293	0.0626
0.500	3.9494	2.6238	1.4476	0.9092	0.4527	0.2530	0.1721	0.1070
1.0	3.9508	2.6292	1.4652	0.9399	0.5031	0.3174	0.2441	0.1875
2.0	3.9537	2.6399	1.4998	0.9992	0.5995	0.4407	0.3842	0.3490
5.0	3.9622	2.6714	1.5976	1.1615	0.8507	0.7510	0.7263	0.7213
10	3.9763	2.7221	1.7438	1.3878	1.1644	1.1014	1.0866	1.0842
20	4.0039	2.8169	1.9857	1.7226	1.5607	1.5031	1.4842	1.4765
50	4.0828	3.0586	2.4677	2.2812	2.1248	2.0522	2.0261	2.0130
100	4.2025	3.3620	2.9097	2.7251	2.5498	2.4689	2.4398	2.4246
200	4.4066	3.7637	3.3614	3.1598	2.9707	2.8853	2.8547	2.8383
500	4.8398	4.3653	3.9395	3.7215	3.5236	3.4355	3.4039	3.3868
1000	5.2692	4.8172	4.3653	4.1414	3.9405	3.8515	3.8169	3.8023
2000	5.7300	5.2537	4.7861	4.5593	4.3569	4.2674	4.2354	4.2180
5000	6.3248	5.8159	5.3388	5.1102	4.9070	4.8173	4.7851	4.7676
10000	6.7576	6.2359	5.7556	5.5265	5.3230	5.2331	5.2010	5.1835

Table 6 Values of  $W(u_B, \beta, b_1/D, b_2/D)$  for  $b_1/D = 0.6$  and  $b_2/D = 0.6$ 

$1/u_B$	$\sqrt{\beta}$							
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1.0	1.5
0.001	2.6242	1.9387	1.2748	0.9142	0.5229	0.2878	0.1684	0.0632
0.002	2.6242	1.9387	1.2748	0.9134	0.5229	0.2879	0.1685	0.0634
0.005	2.6242	1.9387	1.2749	0.9144	0.5232	0.2883	0.1690	0.0638
0.010	2.6242	1.9387	1.2750	0.9146	0.5236	0.2889	0.1697	0.0646
0.020	2.6242	1.9388	1.2752	0.9150	0.5244	0.2902	0.1713	0.0662
0.050	2.6243	1.9389	1.2757	0.9161	0.5269	0.2940	0.1759	0.0711
0.100	2.6243	1.9392	1.2767	0.9180	0.5309	0.3003	0.1835	0.0792
0.200	2.6244	1.9397	1.2785	0.9218	0.5391	0.3128	0.1987	0.0956
0.500	2.6248	1.9411	1.2840	0.9330	0.5630	0.3498	0.2436	0.1462
1.0	2.6254	1.9436	1.2932	0.9515	0.6018	0.4089	0.3160	0.2312
2.0	2.6267	1.9485	1.3112	0.9874	0.6750	0.5184	0.4491	0.3907
5.0	2.6304	1.9630	1.3632	1.0873	0.8654	0.7855	0.7608	0.7454
10	2.6366	1.9867	1.4437	1.2323	1.1097	1.0918	1.0932	1.0953
20	2.6489	2.0322	1.5833	1.4626	1.4390	1.4600	1.4721	1.4795
50	2.6847	2.1563	1.9033	1.8981	1.9505	1.9870	2.0022	2.0110
100	2.7414	2.3295	2.2419	2.2886	2.3580	2.3965	2.4119	2.4208
200	2.8448	2.5919	2.6317	2.6974	2.7705	2.8093	2.8248	2.8337
500	3.0947	3.0588	3.1743	3.2448	3.3185	3.3573	3.3728	3.3817
1000	3.3875	3.4601	3.5892	3.6601	3.7338	3.7726	3.7881	3.7970
2000	3.7526	3.8730	4.0048	4.0757	4.1494	4.1882	4.2037	4.2126
5000	4.2869	4.4223	4.5545	4.6253	4.6990	4.7378	4.7533	4.7622
10000	4.7013	4.8382	4.9703	5.0412	5.1149	5.1537	5.1691	5.1780

Table 7 Values of  $W(u_B, \beta, b_1/D, b_2/D)$  for  $b_1/D = 0.8$  and  $b_2/D = 0.4$ 

$l/u_B$	$\sqrt{\beta}$							
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1.0	1.5
0.001	4.6137	3.2588	1.9878	1.3410	0.7047	0.3671	0.2094	0.0773
0.002	4.6137	3.2588	1.9879	1.3410	0.7048	0.3672	0.2096	0.0775
0.005	4.6137	3.2588	1.9880	1.3412	0.7052	0.3677	0.2102	0.0781
0.010	4.6137	3.2588	1.9881	1.3415	0.7058	0.3686	0.2112	0.0791
0.020	4.6137	3.2589	1.9884	1.3422	0.7070	0.3703	0.2131	0.0811
0.050	4.6138	3.2592	1.9894	1.3440	0.7106	0.3754	0.2190	0.0871
0.100	4.6139	3.2596	1.9910	1.3471	0.7165	0.3839	0.2288	0.0972
0.200	4.6141	3.2605	1.9942	1.3532	0.7284	0.4007	0.2485	0.1179
0.500	4.6148	3.2632	2.0037	1.3715	0.7634	0.4507	0.3071	0.1825
1.0	4.6160	3.2677	2.0195	1.4014	0.8202	0.5315	0.4029	0.2936
2.0	4.6183	3.2765	2.0504	1.4594	0.9279	0.6830	0.5828	0.5065
5.0	4.6251	3.3027	2.1389	1.6195	1.2077	1.0566	1.0102	0.9862
10	4.6365	3.3451	2.2737	1.8473	1.5624	1.4828	1.4644	1.4573
20	4.6589	3.4257	2.5046	2.1989	2.0291	1.9870	1.9769	1.9732
50	4.7237	3.6390	2.9974	2.8305	2.7321	2.6983	2.6836	2.6832
100	4.8244	3.9238	3.4919	3.3728	3.2823	3.2470	3.2360	3.2308
200	5.0037	4.3319	4.0370	3.9281	3.8355	3.7989	3.7873	3.7817
500	5.4120	5.0105	4.7744	4.6634	4.5680	4.5184	4.518	4.5125
1000	5.8595	5.5660	5.3318	5.2189	5.1224	5.0843	5.0723	5.0663
2000	6.3860	6.1258	5.8879	5.7739	5.6768	5.6386	5.6265	5.6204
5000	7.1228	6.8631	6.6220	6.5027	6.4098	6.3715	6.3533	6.3523
10000	7.6825	7.4192	7.1768	7.0619	6.9643	6.9259	6.9138	6.9077

Table 8 Values of  $W(u_B, \beta, b_1/D, b_2/D)$  for  $b_1/D = 0.8$  and  $b_2/D = 0.8$ 

$l/u_B$	$\sqrt{\beta}$							
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1.0	1.5
0.001	3.2447	2.5476	1.8414	1.4220	0.9015	0.5324	0.3222	0.1237
0.002	3.2447	2.5476	1.8414	1.4220	0.9016	0.5326	0.3224	0.1239
0.005	3.2447	2.5476	1.8415	1.4222	0.9019	0.5330	0.3230	0.1246
0.010	3.2447	2.5476	1.8416	1.4223	0.9023	0.5338	0.3240	0.1258
0.020	3.2447	2.5476	1.8417	1.4227	0.9032	0.5353	0.3260	0.1281
0.050	3.2447	2.5478	1.8423	1.4239	0.9059	0.5399	0.3320	0.1351
0.100	3.2448	2.5480	1.8432	1.4257	0.9103	0.5476	0.3420	0.1467
0.200	3.2449	2.5485	1.8449	1.4295	0.9192	0.5627	0.3618	0.1701
0.500	3.2453	2.5499	1.8502	1.4407	0.9453	0.6072	0.4198	0.2403
1.0	3.2458	2.5521	1.8590	1.4592	0.9877	0.6781	0.5119	0.2545
2.0	3.2470	2.5567	1.8764	1.4953	1.0682	0.8089	0.6789	0.5625
5.0	3.2505	2.5703	1.9270	1.5972	1.2803	1.1288	1.0670	1.0195
10	3.2562	2.5926	2.0065	1.7486	1.5600	1.5034	1.4873	1.4746
20	3.2676	2.6360	2.1503	1.9986	1.9528	1.9676	1.9768	1.9799
50	3.3012	2.7568	2.4911	2.5026	2.5941	2.6516	2.6731	2.6859
100	3.3551	2.9330	2.8800	2.9843	3.1225	3.1910	3.2158	3.2288
200	3.4556	3.2131	3.3558	3.5081	3.6651	3.7383	3.7646	3.7785
500	3.7105	3.7538	4.0503	4.2252	4.3914	4.4670	4.4941	4.5087
1000	4.0298	4.2512	4.5940	4.7749	4.9437	5.0201	5.0475	5.0623
2000	4.4565	4.7823	5.1435	5.3270	5.4971	5.5739	5.6014	5.6163
5000	5.1234	5.5033	5.8736	6.0586	6.2295	6.3065	6.3341	6.3490
10000	5.6604	6.0541	6.4272	6.6127	6.7838	6.8609	6.8885	6.9035

### EK-3. TABLOLAR

Tablo 3.1. Balçova'dan Alınan Su Örnekleri.....	17
Tablo 3.2 Beslenme Alanından Alınan Su Örnekleri.....	18
Tablo 3.3 Seferihisar'dan Alınan Su Örnekleri.....	19
Tablo 3.4 $r_{rew}=20$ ve $\beta^{0.5}=0,1$ 'e karşılık gelen $1/uA$ - w grafiği tablosu .....	25
Tablo 3.5 $b_1/b=0,1$ $b_2/b=0,1$ ve $\beta^{0.5}=0,1$ 'e karşılık gelen $1/uB$ - w grafiği tablosu.....	26
Tablo 3.6 Arazide gözlem kuyusunda ölçülen düşüm- zaman değerleri .....	27
Tablo 3.7 Yağışlı dönemde örneklenen sulara ait fiziksel parametreler ve majör iyonların kimyasal analiz sonuçları .....	43
Tablo 3.8 Kurak dönemde örneklenen sulara ait fiziksel parametreler ve majör iyonların kimyasal analiz sonuçları .....	47
Tablo 3.9 Balçova'daki derin jeotermal kuyulara ait fiziksel parametreler ve majör iyonların kimyasal analiz sonuçları .....	48
Tablo 3.10 Seferihisar bölgesine ait örneklerin mineral doygunluk değerleri.....	51
Tablo 3.11 Suların seçilmiş bazı iz element derişimleri .....	55
Tablo 3.12 Balçova bölgesine ait su örneklerinin mineral doygunluk değerleri .....	58
Tablo 3.13 Beslenme alanından alınmış su örneklerinin mineral doygunluk değerleri .....	60
Tablo 3.14 Kurak döneme ait suların bazı seçilmiş iz element derişimleri .....	64
Tablo 3.15 Beslenme alanından alınmış su örneklerinin mineral doygunluk değerleri .....	66
Tablo 3.16 Seferihisar bölgesine ait su örneklerinin mineral doygunluk değerleri ...	74
Tablo 3.17 Bu çalışmada uygulanan silis jeotermometre bağıntıları .....	84
Tablo 3.18 Bu çalışmada uygulanan silis jeotermometre sonuçları.....	85
Tablo 3.19 Bu çalışmada uygulanan Na/K kimyasal jeotermometre bağıntıları .....	87
Tablo 3.20 Bu çalışmada uygulanan Na/K kimyasal jeotermometre sonuçları .....	88
Tablo 3.21 Bu çalışmada uygulanan Na/Li, K/Mg, Li/Mg ve Li kimyasal jeotermometre bağıntıları.....	89
Tablo 3.22 Bu çalışmada uygulanan Mg/Na/K kimyasal jeotermometre sonuçları ..	90
Tablo 3.23 Sıcak suların Entalpi-Silis diyagramına göre belirlenen soğuk yeraltı suları ile karışım oranları .....	93

Tablo 3.24 İnceleme alanında yer alan sıcak ve bazı soğuk suların olgunlaşma indisi (MI) değerleri.....	97
Tablo 3.25 Zakhem ve Hafez (2007)'ye göre hesaplanan karışım yüzdeleri.....	112
Tablo 4.1 Sayısal modelde kullanılacak olan jeolojik ve hidrojeolojik parametreler .....	150
Tablo 4.2 Modelde kullanılan parametreler .....	158
Tablo 4.3 Modelde kullanılan parametreler .....	162



#### EK-4. ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Çalışma alanındaki jeotermal sahaları gösteren harita.....	3
Şekil 2.4 Çalışma alanının sadeleştirilmiş jeoloji haritası.....	6
Şekil 2.5 Çalışma alanının genelleştirilmiş kolon kesiti .....	7
Şekil 2.6 Çalışma alanının yorumlanmış jeolojik kesiti.....	12
Şekil 3.36 Soğuk ve sıcak su örnek noktalarının arazideki dağılımı .....	14
Şekil 3.37 Alüvyon akiferdeki örnek noktalarının detayı (üstte Balçova ve altta Sefèrihisar jeotermal alanları) .....	15
Şekil 3.38 Balçova'da bir serada yapılan örnekleme ve su seviyesi ölçümü.....	20
Şekil 3.39 Doğanbey sıcak su kaynağının çıkış noktası.....	20
Şekil 3.40 Karakoç kaplıcalarında ufak bir termal havuz .....	21
Şekil 3.41 Sefèrihisar'da 2009'da açılmış bir sıcak su kuyusu.....	21
Şekil 3.42 Deliömer sıcak su sahasındaki eski bir termal banyo .....	22
Şekil 3.43 Arazide elde edilen verilerin gösterimi .....	25
Şekil 3.44 Tablo 3.1'e göre oluşturulmuş $1/u_A$ - w grafiği .....	26
Şekil 3.45 Tablo 3.2'ye göre oluşturulmuş $1/u_B$ - w grafiği.....	27
Şekil 3.46 Tablo 3'e göre oluşturulmuş düşüm ( $\Delta$ )-zaman (t) grafiği .....	28
Şekil 3.47 Jeotermal alanlar, akaçlama ağı, havza sınırı ve dağlık kesimdeki beslenme havzası .....	34
Şekil 3.48 Balçova – Sefèrihisar jeotermal alanlarının kavramsal modeli .....	37
Şekil 3.49 Çalışma alanındaki soğuk ve sıcak suların Piper diyagramındaki yerleri	49
Şekil 3.50 Çalışma alanındaki soğuk ve sıcak suların Schoeller yarı logaritmik diyagramdaki yerleri .....	54
Şekil 3.51 Beslenme alanına ait Piper diyagramı.....	62
Şekil 3.52 Çalışma alanından alınan sulara ait Schoeller yarı logaritmik diyagramı	63
Şekil 3.53 Sefèrihisar jeotermal alanına ait Piper diyagramı .....	73
Şekil 3.54 Hidrojeokimyasal kavramsal model.....	77
Şekil 3.55 Sıcaklık (a) ve pH değerine (b) bağlı olarak kuvarsın çözünürlüğü .....	83
Şekil 3.56 Sefèrihisar jeotermal alanındaki sıcak ve mineralli suların Entalpi-Silis diyagramı .....	92
Şekil 3.57 Hazne kaya sıcaklığının ve suların jeotermometre uygulamalarına uygunluklarının saptanabilmesi için kullanılan üçgen diyagramlar .....	95

Şekil 3.58 İnceleme alanındaki sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki (Shevenell ve Goff, 1994) görünümü ve su-kayaç dengesi sıcaklıkları ....	97
Şekil 3.59 Suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ ilişkisi .....	100
Şekil 3.60 Yağışlı dönem $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ ilişkisi .....	101
Şekil 3.61 Kurak dönem $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ ilişkisi .....	102
Şekil 3.62 Alüvyon altındaki gömülü faylarla sıcak suların soğuk sularla karışması .....	105
Şekil 3. 63 Kurak dönem yükseklik ile $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisi .....	106
Şekil 3.64 Yağışlı dönem yükseklik ile $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisi .....	107
Şekil 3.65 Kurak dönem yükseklik ile $\delta^2\text{H}$ ilişkisi .....	108
Şekil 3. 66 Yağışlı dönem yükseklik ile $\delta^2\text{H}$ ilişkisi .....	109
Şekil 3.67 Cl ile $\delta^{18}\text{O}$ arasındaki ilişki .....	113
Şekil 3.68 Balçova bölgesindeki su örneklerinin sıcaklıkları ve Cl-B ilişkisi .....	115
Şekil 3.69 Balçova bölgesindeki su örneklerinin sıcaklıkları ve Cl-Li ilişkisi .....	116
Şekil 3.70 Balçova bölgesindeki su örneklerinin sıcaklıkları ve Cl-Br ilişkisi .....	117
Şekil 4.38 Bir su molekülünün enerjisi .....	120
Şekil 4.39 Darcy tüpünün şematik gösterimi .....	122
Şekil 4.40 Özgül debi tanımının şematik gösterimi .....	124
Şekil 4.41 Gerçek hız, görünür hız ve turtozite kavramlarının şematik gösterimi ...	125
Şekil 4.42 Darcy Yasası'nda pratiklik adına yapılan $dl \approx dx$ varsayımının şematik açıklaması .....	127
Şekil 4.43 Akım ortamında alınan bir elemanter hacim .....	128
Şekil 4.44 Elemanter hacme giren ve çıkan sıvı kütesinin şematik gösterimi .....	129
Şekil 4.45 Adveksiyon kavramı .....	132
Şekil 4.46 Difüzyon kavramı .....	133
Şekil 4.47 Fick yasaının şematik gösterimi .....	134
Şekil 4.48 Yeraltı suyu akım hızlarının akım ortamının mikroskobik yapısına göre değişimi .....	135
Şekil 4.49 Elemanter hacme x yönünde, birim alandan giren ve çıkan erimiş madde kütesi .....	137
Şekil 4.50 Sonlu farklar yönteminde çalışma alanının dikdörtgenlerden oluşan bir karelej sistemiyle temsil edilmesi ve sınır koşullarının belirlenmesi .....	145

Şekil 4.51 İki boyutlu bir akım ortamında sonlu farklar yönteminde kullanılan bir hücre ve onun yan komşularıyla ilişkileri.....	145
Şekil 4.52 Üç boyutlu bir akım ortamında sonlu farklar yönteminde kullanılan bir hücre ve onun yan komşularıyla ilişkileri.....	147
Şekil 4.53 Sonlu elemanlar yönteminde çalışma alanının üçgenlerden oluşan bir karelej sistemiyle temsil edilmesi ve sınır koşullarının belirlenmesi .....	148
Şekil 4.54 Sayısal model çalışmaları için seçilmiş profil hattı .....	151
Şekil 4.55 Tüm elementler ve ilişkili oldukları jeolojik birimler.....	152
Şekil 4.56 Triangular (Delaunay) yöntemiyle oluşturulmuş sonlu elemanlar ağı....	152
Şekil 4.57 Ghyben–Herzberg ilişkisini gösteren şekil .....	153
Şekil 4.58 Balçova bölgesine ait yeraltı su tablası.....	155
Şekil 4.59 Beslenme alanına (horst) ait bölgesine ait yeraltı su tablası .....	156
Şekil 4.60 Seferihisar bölgesine ait yeraltı su tablası.....	157
Şekil 4.61 Çalışma alanına ait yeraltı su tablası.....	157
Şekil 4.62 Başlangıç anındaki hidrolik yüklerin dağılımı.....	157
Şekil 4.63 Hesaplanan hidrolik yük dağılımı .....	159
Şekil 4.64 Akım modeli sonucunda oluşan akım doğrultuları.....	159
Şekil 4.65 Sıcaklık sınır koşulları .....	160
Şekil 4.66 Yeraltı suyu akım yolları.....	162
Şekil 4.67 Sıcaklık dağılımı .....	163
Şekil 4.68 Yakın plan sıcaklık dağılımları .....	163
Şekil 4.69 Kütle sınır koşulları.....	164
Şekil 4.70 Çözünmüş madde başlangıç koşulları.....	165
Şekil 4.71 Yeraltı suyu akım yolları.....	165
Şekil 4.72 Hesaplanan sıcaklık dağılımı .....	165
Şekil 4.73 Çözünmüş madde dağılımı.....	166
Şekil 4.74 Model sonunda elde edilen hidrolik yükler.....	166