

**KURŞUNLU (SALİHLİ) JEOTERMAL  
ALANINDAKİ ÜRETİM VE GERİBASIM  
KUYULARININ MİNERAL DENGELERİ VE  
KABUKLAŞMA EĞİLİMLERİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı**

**Kerem Kadir OĞUZ**

Mart, 2009  
İZMİR

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**KEREM KADİR OĞUZ**, tarafından **PROF.DR. GÜLTEKİN TARCAN** yönetiminde hazırlanan “**KURŞUNLU (SALİHLİ) JEOTERMAL ALANINDAKİ ÜRETİM VE GERİBASIM KUYULARININ MİNERAL DENGELERİ VE KABUKLAŞMA EĞİLİMLERİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. Gültekin TARCAN  
.....  
Yönetici

.....  
Doç. Dr. Ünsal GEMİCİ  
.....

Jüri Üyesi

.....  
Prof. Dr. Erdeniz ÖZEL  
.....

Jüri Üyesi

.....  
Prof.Dr. Cahit HELVACI  
Müdür  
Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmaları sırasında çalışmamın başlangıcından sonuçlandırılmasına kadar her türlü bilgi ve tecrübeleri, gösterdiği sabır ve anlayışla benden destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Gültekin TARCAN'a; çalışmalarım esnasında arazi, laboratuvar, teze her türlü kaynak ve fikirsel katkılarından dolayı Jeo. Yük. Müh. Cihan Güneş'e ve Jeo. Yük. Müh. Tuğbanur Özen'e teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışmalarım esnasında çalışma alanında her türlü izin ve olanağı esirgemeyen Salihli Belediye Başkanı İnş. Yük. Müh. Mustafa Uğur OKAY'a, teşekkür ederim.

Çalışmalarıma destek olan anne ve babama ve çalışmalarımın her türlü aşamasında büyük destekçim ve çalışmamı tamamlamamı sağlayan eşim Aslı'ya göstermiş olduğu sabır ve desteğinden dolayı çok teşekkür ederim.

Kerem Kadir Oğuz

# KURŞUNLU (SALİHLİ) JEOTERMAL ALANINDAKİ ÜRETİM VE GERİBASIM KUYULARININ MİNERAL DENGELERİ VE KABUKLAŞMA EĞİLİMLERİ

## ÖZ

Jeotermal uygulamalarda, akışkanın kimyasal içeriğine bağlı olarak oluşan kabuklaşma ve korozyon, sistemlerin işletilmesinde karşılaşılan önemli sorunlardır. Bu çalışmada, akışkanın kimyasal içeriğine bağlı olarak oluşan farklı kabuklaşma oluşumları ve türleri incelenmiş ve bu sorunların giderilme yöntemleri anlatılmıştır.

İnceleme alanındaki jeotermal rezervuar kayaçları şist, mermerden oluşan Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfittleridir. Bunun üzerine uyumsuz olarak gelen Miyosen – Pliyosen yaşlı sedimanter kayaçlar örtü kayaçlarını oluşturur.

Kurşunlu jeotermal sahasında 1979 yılında Maden Tetkik Arama Enstitüsü (M.T. A.) tarafından ilk sondaj kuyusu açılmıştır. Bunu takip eden yıllarda yine M.T. A. tarafından 4 adet daha kuyu açılmış, 2000 yılına kadar kuyular kaplıcalarda kullanım amacıyla kullanılmışlardır. 2000 yılında faaliyete geçen jeotermal şehir ısıtma projesi ile kuyular kaplıcanın yanısıra şehir ısıtması için de kullanılmaya başlanmıştır. Kaplıca için kullanımda kuyulardan yaklaşık 6-10 lt/sn debiler söz konusu iken konut ısıtma projesi ile üretilen sıcak su debisi 80-150 lt/sn gibi değerlere ulaşmıştır.

Kurşunlu jeotermal alanındaki termal sular Na-Bikarbonat sınıfına girmektedir. Termal sular aragonit, kalsit, hematit gibi minerallerce doymuş, amorf silisce doymuş değildir.

Phreeqci programı kullanılarak suların çökeltebilecekleri kalsit miktarları mol/lit olarak elde edilmiş, üretim debileri ile yorumlanarak çöken kalsit miktarı, çökeltme hızı ve günde çökelen kalsit miktarları bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Jeotermal, kabuklaşma, korozyon, kurşunlu, termal sular.

# **MINERAL EQUILIBRIUM AND SCALING TENDENCIES OF THE PRODUCTION AND REINJECTION WELLS IN KURŞUNLU SALİHLİ GEOTHERMAL FIELD**

## **ABSTRACT**

Depending on the chemical composition of the geothermal fluids scaling and corrosion are important problems in geothermal applications. Scaling and corrosion problem types and remedies which are dependent on the chemical composition of the geothermal fluids are studied and in scope of this work

The reservoir rocks of the geothermal systems are Paleozoic metamorphic rocks in the Kurşunlu area and which consists of marble, schist. Miocene - Pliocene sedimentary rocks are lying unconformably on top of these units, they are the cap rocks of the systems.

The first geothermal well is drilled in 1979 in Kurşunlu geothermal field by MTA. In the following years 4 more wells were drilled by MTA which were used by the thermal resort for bathology. In the year 2000 district heating system was established and the wells were used for district heating as well as thermal resort. While approximately 6-10 lt/sn of thermal water was used for the thermal springs, this demand has risen to 80-150 lt/sn for the district heating system.

Thermal waters in the Kurşunlu areas are generally Na-bicarbonate. The results of mineral equilibrium modeling indicate that the thermal waters of the study area are oversaturated with respect to aragonite, calcite, hematite and undersaturated with respect to amorph silica.

Scale Deposition quantities have been calculated using PHREEQC computer software and daily amounts of scale deposition and estimated time to clog well is calculated with respect to production amounts.

**Keywords:** Geothermal, scaling, corrosion, kurşunlu, thermal waters.

<b>YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....</b>	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>iii</b>
<b>ÖZ.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri .....	1
1.2 Çalışmanın Amacı .....	4
1.3. Araştırma Materyali ve Yöntemi .....	4
1.3.1 Arazi Yöntemleri .....	5
1.3.1.2 Örnekleme .....	6
1.3.1.3 Fiziksel Ölçümler .....	6
1.3.1.4 Alkalinite ( $HCO_3-CO_3$ ) .....	6
<b>BÖLÜM İKİ - JEOLJİK VE TEKTONİK TANITIM .....</b>	<b>7</b>
2.1 Giriş.....	7
2.2 Paleotektonik Birimler .....	7
2.3 Batı Anadolu'nun Neotektoniği .....	8
2.4 Litolojik Birimlerin Tanıtımı .....	11
2.4.1 Menderes Masifi Metamorfitleri .....	11
2.4.2 Neojen .....	12
2.5 Tektonizma.....	15
<b>BÖLÜM ÜÇ - HİDROJEOLJİ.....</b>	<b>16</b>
3.1 Giriş.....	16
3.2 Jeotermal Sistem Modeli:.....	19
3.3 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri .....	19

<b>BÖLÜM DÖRT - HİDROJEOKİMYA .....</b>	<b>21</b>
4.1 Giriş.....	21
4.3 Suların Sınıflandırılması .....	21
4.4 Suların Elektriksel İletkenlik ( EC ) Değerleri.....	25
<b>BÖLÜM BEŞ -SULARIN KABUKLAŞMA ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>26</b>
5.1 Giriş.....	26
5.2 Kabuklaşma Oluşumu .....	33
5.2.1 Kalsiyum Karbonat Kabuklaşması.....	35
5.2.2 Silikat Kabuklaşması.....	37
5.3 Kabuklaşmanın Engellenmesi ve Temizliği.....	38
5.3.1 Kalsiyum Karbonat Kabuklaşmasının Önlenmesi .....	38
5.3.1.1 Karbondioksit Kısmi Basıncının Kontrolü.....	38
5.3.1.2 Akışkan Ph'nın Düzenlenmesi.....	38
5.3.1.3 Önleyici Kimyasal Katkı Maddeler (İnhibitör) Kullanmak .....	39
5.3.2 Silis Kabuklaşmasının Önlenmesi.....	44
5.3.3 Kabuklaşmanın Önlenmesi İçin Diğer Yöntemler.....	44
5.3.4 Kuyularda Kabuklaşmanın Temizlenmesi.....	45
5.3.4.1 Mekanik Temizleme.....	45
5.3.4.2 Asitleme İşlemi:.....	46
5.4 İnhibitör Testleri: .....	47
<b>BÖLÜM ALTI - SONUÇLAR .....</b>	<b>50</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>51</b>

## **BÖLÜM BİR**

### **GİRİŞ**

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

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

Salihli, İzmir-Ankara (E96) karayolu ve İzmir-Uşak-Afyon demiryolu üzerindedir. Manisa İl Merkezi'ne 71 km ve İzmir İl Merkezi'ne yaklaşık 90 km uzaklıkta bulunan ilçe, batıdan Ahmetli, kuzeybatıdan Gölarmara, kuzeyden Gördes ve Köprübaşı, kuzeydoğudan Demirci, doğudan Kula, güneydoğudan Alaşehir ve güneyden Ödemiş tarafından çevrilmiştir. Salihli İlçesi güneyinde Bozdağlar Silsilesi, (2.157m) kuzeyinde Gediz Ovası ile kaplı olup, ovanın kuzeyinde Dibek Dağları (1.120m), kuzeydoğusunda Üşümüş Dağları (1085m) bulunmaktadır.

İlçe ekonomisi; tarım ve tarıma dayalı ticaret ve sanayi ağırlıktadır. Başlıca yetiştirilen tarımsal ürünler çekirdeksiz üzüm, buğday, arpa, pamuk, tütün ve mısırdır. Ayrıca çeşitli sebze ve meyve yetiştirilmekte olup, bunlardan Gökköy ve Allahdiyen köylerinde yetiştirilen kiraz çevrede "napolyon" kiraz adıyla bilinir. Hayvancılık da önemli gelir kaynağı olup, ikibinli yıllardan sonra besicilik sayısında artış görülmüştür.

Sıcak su kaynaklarının turizme dönüştürülmeye çalışıldığı Kurşunlu kaplıcaları; romatizmal hastalıklar, siyatik, lumbago, kireçlenmelerde, nevrin, nevralkji gibi hastalıklarda, kırık çıkık sekeleri, çeşitli cilt hastalıklarında, bazı kadın hastalıklarında, böbrek rahatsızlıkları ile taş ve kum dökümünde yarar sağlamaktadır. Ayrıca, bu sıcak su kaynakları sayesinde Salihli kentinin jeotermal enerji ile ısıtılması projesi başlamış, kentin bir kısmına bağlanan sistem çalışmaları devam etmektedir.



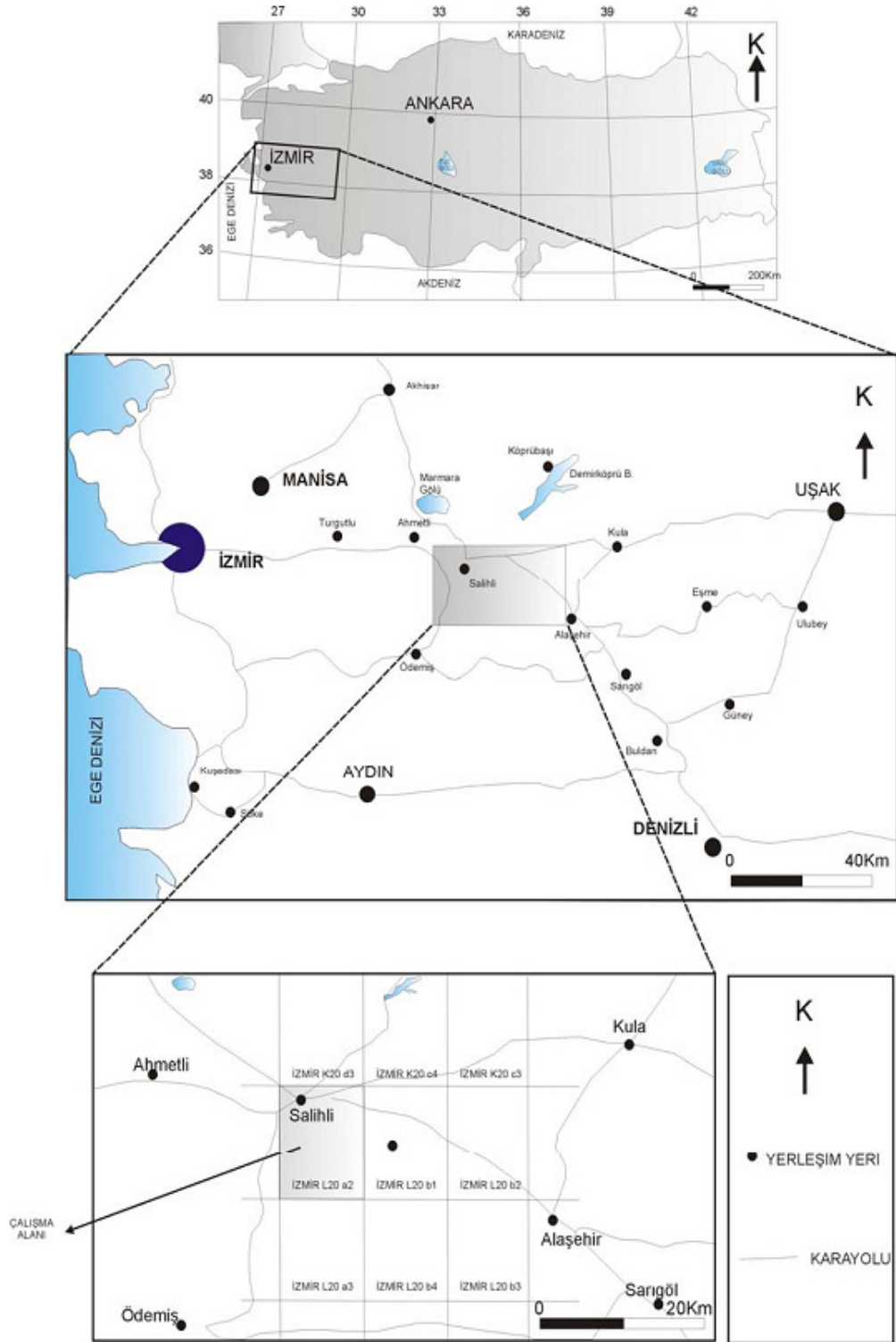
İzmir L20 – a1 paftaları içinde bulunan inceleme alanı yaklaşık 1km<sup>2</sup>'dir. İnceleme alanı İzmir'e yaklaşık 100km ve Alaşehir'e 30 km. uzakta bulunmaktadır (Şekil 1.1).

İnceleme alanının üzerinde bulunduğu Gediz Grabeni ortalama yüksekliği 65 m. Olan ve batıdan doğuya gidildikçe az bir meyil ile yükselen ova görünümündedir. Güney kesimde ortalama 1500 m'yi bulan Bozdağlar bulunmaktadır.

Doğal bitki örtüsü ise alçak kesimlerde geniş yapraklı ağaçlar, yukarı kesimlerde ise iğne yapraklı ağaç türleri şeklindedir.

Bölgenin en önemli akarsuyu doğu – batı yönünde akan gediz nehridir. Bu nehre doğu kesimlerde Alaşehir Çayı katılmaktadır. Ayrıca DSİ tarafından yapılmış sulama kanalları ovayı adeta bir ağ gibi örmekte ve tarıma çok önemli katkı sağlamaktadır.

Çalışma bölgesi Ege Graben Sistemi'nin önemli ögesi olan Gediz Grabeni içinde, Salihli – Kurşunlu sahası ve civarında bulunmaktadır. Dünyanın önemli aktif kıtasal açılma tektoniğine sahip bölgelerinden birisi olan Batı Anadolu'da yaklaşık K–G yönlü gerilme rejimine bağlı olarak D–B uzanımlı birçok graben gelişmiştir. Gediz Grabeni Batı Anadolu'da bulunan bu graben sisteminin önemli bir yapısal unsurunu oluşturmaktadır. Kurşunlu Jeotermal Alanı, Salihli – Alaşehir Grabeni'nin güney kanadını oluşturan fayların üzerinde bulunur. Bölgede Kuvaterner başında E–W ve NE–SW doğrultulu faylanmalar aktivitelerini korurken, daha sonra WNE–ESE doğrultulu faylanmalar olmuştur. Bu genç faylanmaya bağlı olarak bölgenin jeotermal etkisinin başladığı düşünülmektedir (Angelier ve diğer., 1981, Dumont ve diğer., 1979). Bu çalışmada Gediz Grabeni'nin güney sınırında yer alan Salihli – Kurşunlu bölgesi ve civarındaki yüzey çatlaklarının bulunması amaçlanmaktadır. Ayrıca bölgede daha önce yapılan çalışmalar da incelenerek, bölgenin jeotermal potansiyeli hakkında daha detaylı bir sonuca ulaşılması amaçlanmıştır.



Şekil 1.1 Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası (Temimhan, 2005'den uyarlanmıştır).

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Çalışma kapsamında Kurşunlu Jeotermal Alanı ve çevresinin jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmeye çalışılmış, kuyularda oluşabilecek kabuklaşmanın türü, nedenleri ve alınacak önlemler araştırılmıştır. Yörenin jeotermal bir alan olması nedeniyle çalışmalar sıcak ve mineralli sular üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal özellikleri, kabuklaşma potansiyellerinin tespiti ve kabuklaşmaya karşı alınacak önlemler bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

## 1.3. Araştırma Materyali ve Yöntemi

Bu kısımda çalışma alanından elde edilen suların fiziksel ve kimyasal analizlerinin yapılmasında kullanılan analitik araştırma yöntemleriyle ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada arazi çalışmalarına ek olarak, DEÜ Jeoloji Mühendisliği-Jeokimya Laboratuvarı'nda kimyasal analiz laboratuvarında çalışma yapılmıştır. Bir kısım su örneğinin de karşılaştırmak amacıyla ACME Analitik Laboratuvarları Ltd'de (Kanada) ayrıntılı kimya analizi (72 element) yaptırılmıştır.

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

### 1.3.1 Arazi Yöntemleri

Bu bölümde arazi çalışmaları için;

- Saha ile ilgili önceki çalışmalarda yapılmış örnekleme noktaları,
- Sahanın genel jeolojik ve jeotektonik durumu,
- Ölçüm noktalarında yersel ve analitik hata farklılıklarını önlemek için kullanılan cihaz ve donanımların düzenli olarak ayarlamaları ve belirlenen ölçüm teknikleri korunarak tüm örnek noktalarında durağanlığın sağlanması,
- Su örneklemesi için uygun şişe seçimi ve temizliği,
- Su örneklerinin alınması, saklanması ve korunması için gerekli teknik altyapı,
- Sahada yapılacak su kimyası analizleri, gibi çalışmalar önceden planlanmıştır.

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

- Örneğin korunması için eklenen kimyasalların, örnekle reaksiyonundan ortaya çıkan gazların yüksek basınç yaratarak örnek kabında oluşacak tehlikeli durumların ortadan kaldırılması gerekebilir. Bunun için, analiz edilecek bileşenler göz önünde bulundurularak gaz kaçışına izin verilmelidir.
- Alınacak örnek miktarı toplamda 2 litre ve 5 ayrı temizlenmiş polietilen kapta;
- İlk 2 kapta derişik  $\text{HNO}_3$  ile asitlendirme,
- Sonraki iki kaba hiçbir kimyasal koruma yöntemi uygulanmadan,
- Son olarak tek kaba su içeriğindeki tahmini bileşenler göz önünde bulundurularak çeşitli oranlarda seyreltmeler uygulanmıştır.
- Koruma sınıflandırması uygulanarak kapların üzerine, arazi defterine numaralandırma not edilmiş ve örnek noktasının fotoğraf ve krokisi, ayırt edici özellikleri işlenmiştir.

### 1.3.1.2 Örnekleme

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

- Katyon örnekleri (örnek tipi K); derişik yüksek saflıktaki (ultrapure)  $\text{HNO}_3$  ile numune pH 2–3 aralığına gelebilecek şekilde arazide uygulaması yapılarak 1,5 ml  $\text{HNO}_3/500$  ml örnek olmak üzere eklenmiştir.
- Anyon analizleri için (örnek tipi A); hiçbir kimyasal koruma yapılmamış ve örnek mümkün olan en kısa sürede şişesine konarak gaz kaçıışı engellenmeye çalışılmıştır.
- Tüm örnekler polietilen kaplarda hava kalmayacak şekilde doldurulmuştur.
- Katyon analizi için eklenen  $\text{HNO}_3$  ortamda gaz çıkışı oluşturduğundan örnekleme kabının kapağı gazın çıkması sağlandıktan sonra kapatılmıştır.

### 1.3.1.3 Fiziksel Ölçümler

Sulardaki fiziksel parametreler korunamadığından arazi cihazları ile yerinde ölçümlenmiştir.

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

Her analiz sonrası cihazların elektrotları saf su ile temizlenmiştir.

### 1.3.1.4 Alkalinite ( $\text{HCO}_3\text{-CO}_3$ )

Alkalinite ölçümü, 0.1 Molar HCL (hidroklorik asit) ile 50 ml örnek numunesinde indikatör olarak pH metre (pH elektrodu) kullanılarak yapılmıştır. Numune 50 ml hacimde otomatik büret ile alınmış ve cam beherde, otomatik dijital göstergeli büret kullanılarak titrasyon yapılmıştır.

## **BÖLÜM İKİ**

### **JEOLOJİK VE TEKTONİK TANITIM**

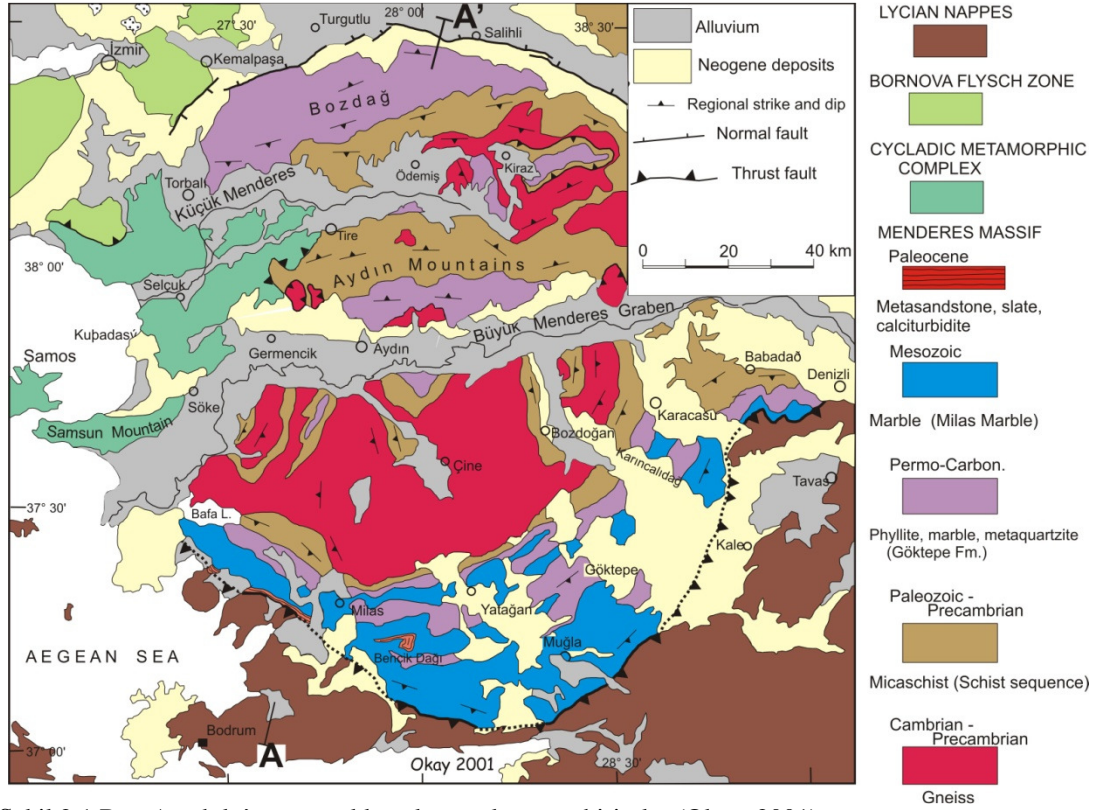
#### **2.1 Giriş**

Bu bölümde, Batı Anadolu ve Salihli jeotermal alanları çevresinin jeolojik özellikleri ve tektonik evrimi ile ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Batı Anadolu'da oluşan tektonik olaylar önceki çalışmalardan yararlanılarak, Kurşunlu Jeotermal Alanı (JTA) ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Batı Anadolu'daki Paleotektonik ve Neotektonik birimler, bilgiler doğrultusunda özet olarak ele alınmıştır. Salihli çevresinin Neojen stratigrafisi ve bu birimlerin dağılımı literatür ve MTA verilerinden derlenmiş, arazi çalışmaları ile yorumlanmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi ve MTA'nın hazırlamış olduğu jeolojik haritalar incelenmiş ve arazi çalışmaları ve gözlemleri ile uyumluluk sağlanmaya çalışılmıştır. Jeotermal alanlar ve yakın çevresinde jeolojik verilerin yetersizliği ciddi çalışmaların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma kapsamında, çalışma alanının jeoloji haritası bölgesel ve yöresel olarak iki şekilde düzenlenmiştir. Bölgesel ölçekte olan, Salihli jeotermal alanını kapsayacak şekilde batıda Sart-Caferbeyli, doğuda Dereköy köylerine kadar uzanan bir alanı kapsamaktadır. Yöresel ölçekteki jeoloji haritaları ise, Kurşunlu mevki ve Salihli alanlarını kapsamaktadır.

#### **2.2 Paleotektonik Birimler**

Menderes Masifi, özgün jeoloji geçmişi ile ülkemizin en yüksek ısı akısına sahip yöresini oluşturmaktadır (Öngür, 2005). Masif, yakın zamanda D-B uzanımlı grabenleri oluşturan derin yapısal süreksizliklerle kesilmiştir. Bu bölgede, bir yandan metamorfikleri etkilemiş olan sıyrılma fayları ve bir yandan da üst Miyosen'de oluşmuş, bugünlere verev uzanan bir başka fay sistemiyle yaygın ve etkili bir kırıklanma ve kaya ortamlarının geçirimsizlik kazanması olanaklı olmuştur (Öngür, 2005). Bütün bunlar, bu bölgede çok sayıda ve yüksek ısı yüklü jeotermal sistemin gelişmesini sağlamıştır. Bu bağlamda, çalışılan bölgeyi içine alan ve ilişkisi olduğu düşünülen bölgesel ölçekteki jeolojik ve yapısal verilerin değerlendirilmesi ve

yorumlamalarda dikkate alınması son derece önemlidir. Batı Anadolu'daki Menderes Masifi ve çevresindeki temel birimlerinin, jeotermal kaynaklarla olan ilişkilerini anlamada yardımcı olması açısından bu kısımda Paleotektonik birimlerin olabildiğince kısa özetleri verilmektedir.



Şekil 2.1 Batı Anadolu'nun temel kayalarını oluşturan birimler (Okay, 2001).

### 2.3 Batı Anadolu'nun Neotektoniği

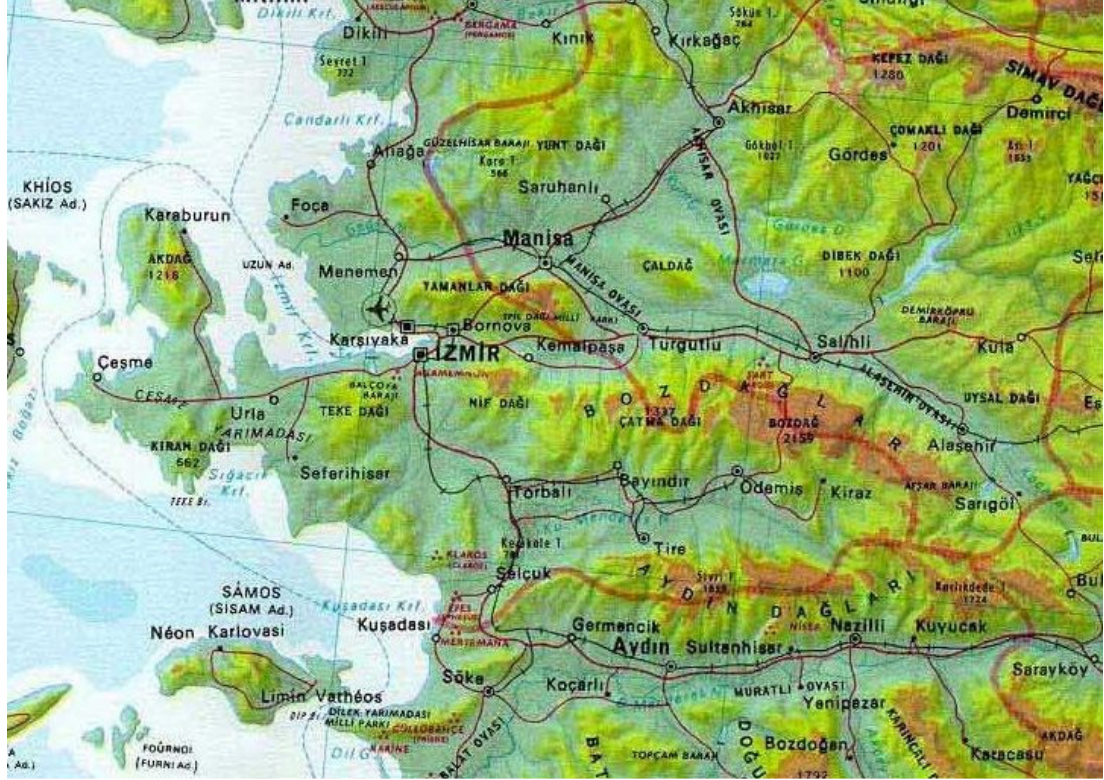
Batı Anadolu'da, Neotektonik açıdan K-KKD eğimli havzalar ve D-B uzanımlı grabenler göze çarpar. Anadolu'nun içinde yer aldığı Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağı, Afrika-Arabistan-Hindistan levhalarının kuzeye doğru hareket etmeleri ve Avrasya Levhası ile çarpışmaları sonucunda oluşmaktadır. Doğu Akdeniz bölümünde, Anadolu-Ege Bloğu saatin tersine rotasyonal bir hareketle Girit merkezli Helenik yayına doğru kaçmakta ve kuzey sınırını, Kuzey Anadolu Fayı belirlemektedir. Güney sınırını ise, Kıbrıs ve Helenik yayları ve Doğu Anadolu Fayı oluşturmaktadır. Kıbrıs ve Helenik yayları boyunca Afrika Kıtası'nın kuzey kenarındaki okyanusal litosfer, Anadolu ve Ege'nin altına dalmaktadır.

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

Koçyiğit (1984), Batı Anadolu'daki bu yapıların KB-GD, KD-GB, K-G ve D-B yönelimli 4 ayrı genişleme yönünde eř yaşlı blok faylanma şeklinde geliştiğini ileri sürmüştür. şengör (1987), cross-graben modelinde KD eğilimli erken Miyosen havzaların K-G Paleosen sıkışması ve kısılması altında Paleotektonik Tibet tipi cross-graben olarak gelişmeye başladığını ve sonra bunların Neotektonik Ege tipi Cross-Grabenler ile Tortoniyen'de yer değiştirdiğini belirtmektedir. Bu durumda, havza sınırlarındaki fayların Menderes Masifi'nin açağa çıkması ile oluşan ana fayları (düşük açılı normal faylar) asla kesmediğini öne sürmektedir. Buna karşılık Armijo ve Papanastassiou (1992), hareketlerin daha çok sınır koşulları tarafından sağlandığını ve deformasyonun belli sınırlar veya faylar boyunca meydana geldiği görüşünü ortaya koymuşlardır. GPS verileri her iki görüşün bazı alanlarda geçerli olduğunu göstermektedir. Doglioni ve diğer. (2003) göre, Ege ve çevresinin tümü ile farklı hızlarda KD'ya doğru hareket ettiğini göstermektedir. Araştırmacılara göre, genelde doğu yönünde ilerleyen tüm yitim zonları gibi, KD'ye hareket eden Helenik Yitim Zonu da, konveksiyon akımları ile aynı yönde hareket ettiğinden düşük açılı bir dalımı yansıtır. Bu düşük açılı yitim zonu, sırtında taşıdığı tüm parçaları aynı yöne (KD) doğru itmekte ve Avrasya'nın kıta parçaları da (Ege, Anadolu) bu itici güce karşı direnç gösterip ters yönde (GB) geri kaymaktadırlar. Yitimin itici gücünü daha çok hisseden Yunanistan, GB'ye doğru Türkiye'den daha hızlı hareket etmekte



ve Ege Denizi'nin açılması gerçekleşmektedir. Araştırmacılara göre, Ege'deki açılma Arap Plakası'ndan bağımsız bir harekettir. Tüm bu verilerin ışığında, mutlak hareket KD yönünde olmakta ve genişleme de buna dik yönde olmaktadır (Doglioni ve diğer., 2003).



Şekil 2.2 Batı Anadolu'nun horst ve graben yapıları.

Bütün bu farklı görüşlerden anlaşılacağı üzere, bu bölgedeki deformasyonla ilgili kinematik özellikler ve dinamik olaylar son derece karışıktır. Her ileri sürülen fikrin belirli doğruları olmasına rağmen tartışma ve görüşler devam etmektedir. Batı Anadolu'da, K-G gerilmenin yaşı da uzun zamandır tartışılan konulardan birisidir. Seyitoğlu ve Scott (1991), gerilmenin yaşının Oligosen sonu Miyosen başı olduğunu belirtmişlerdir. Buna karşılık Şengör (1987) ve Yılmaz (1997), bu dönemde sıkışmanın hala devam ettiğini ve ancak bu dönemde oluşan basenlerin gerilme ile değil sıkışma rejimi içerisinde meydana geldiğini savunmuşlardır. Esas gerilme rejiminin orta Miyosen'den itibaren düşük hızda oluştuğunu ve bu hızın Pliyosen'de arttığını kabul etmişlerdir. Batı Anadolu ve Ege Denizi'ndeki yaklaşık K-G gerilmesinin hızı konusunda da farklı görüşler vardır. Jackson ve McKenzie (1984) ve Taymaz, Jackson ve McKenzie (1991), bu hızın 6 cm/yıl olabileceğini ileri

sürmüşlerdir ve Ege Denizi'nin son birkaç milyon yılda %50 gerildiğini belirtmişlerdir. Güncel araştırmalarda 15 mm/yıl olarak verilen ortalama değerler vardır.

## 2.4 Litolojik Birimlerin Tanıtımı

İnceleme alanının içinde bulunduğu Salihli-Alaşehir Ovası "Gediz Grabeni" olarak bilinir. Gediz Grabeni güney kenarı faylı, kuzey kenarı ise açısız uyumsuz olan bir yarım grabendir. Gediz Grabeni'nin üzerindeki tortul istifin kalınlığı güney kenarında 2000 m'ye ulaştığı halde, kuzey kenarında yaklaşık 400m'dir. İnceleme alanı Gediz Grabeni'nin kuzey kenarı üzerinde yer alır. Burada temeli Menderes Masifi'ne ait Paleozoik-Mesozoyik yaşlı gnays, şist ve mermerden oluşan metamorfik kayalar oluşturur. Metamorfik kayalar üzerine Miyosen-Kuvaterner yaşlı çoğunlukla kırıntılı yersel karbonat ve volkanik ara katkılı ve oldukça kalın tortullar açısız uyumsuzlukla yer alır.

Salihli bölgesinde başlıca iki kaya grubu yüzlek vermektedir. Bunlar;

- Menderes Masifi Metamorfikleri,
- Karasal çökeller,

### 2.4.1 Menderes Masifi Metamorfikleri

Menderes Masifi Batı Anadolu'nun en önemli metamorfik birimidir ve İzmir-Ankara kenet kuşağı ile Likya Napları arasında yer alır. Diğer tektonik üniteler gibi Menderes Masifi de kabaca NE-SW doğrultuludur. Masif karmaşık bir içyapısı ve litolojik dağılım gösterir. Oysa Okay (1989) Menderes Masifi'nin basit bir yapıya sahip olduğunu ve genel yapının G-GD eğimli olduğunu ifade etmiştir. Masifin kor kısmını yüksek derecede amfibolit fasiyesinde gnays ve şistler oluşturur (Şengör ve diğ., 1984). Okay (1989) masifin genel stratigrafik dizilimin Prekambriyen gnayslarla başladığını ve yukarı doğru alt Paleozoik mika şistler, Permo-Karbonifer metakuvatsit, siyah fillit ve dark rekristalize kireçtaşları ile devam ettiğini

belirtmiştir. Bunların üzerinde Mesozoyik kalın tabakalı, rekristalize neritik kireçtaşları yer alır. Paleosen ve alt Eosen rekristalize pelajik kireçtaşları ve şist ile temsil edilmişlerdir. Yılmaz (1997) masifin yaşı ile ilgili birçok radyometrik ve paleantolojik yaşlama yapıldığını ancak masifin oluşumu ve gelişmesinin hala tartışıldığını ifade etmiştir. Alttaki gnaysların radyometrik yaşının 1.2 milyar yıldan 5-10 milyon yıla kadar değiştiği ortaya konulmuştur (Şengör ve diğ. 1984). Bununla beraber esas metamorfik fazın en Geç Kretase ile Erken Miyosen arasında meydana geldiği sanılmaktadır (Yılmaz 1997). Okay, (1989) ise Likya Napları'nın Menderes Masifi'nin şisti üzerinde tektonik dokanak ile oturduğunu ve Likya Napları'nın yerleşim yaşının Orta Eosen olduğunu belirtmiştir. Eosen yaşlı Barrowiyen tipi bölgesel metamorfizma Menderes Masifi'ni etkilemiştir ve bu metamorfizmanın masifin kompresyonal rejim etkisinde Likya Napları'nın altında kalması sonucunda meydana geldiği tahmin edilmektedir. Bölgesel metamorfizmanın yaşı Şengör ve diğ. (1984) tarafından  $35\pm 5$  olarak bulunmuştur. Okay (1989) Likya Napları'nın bazı kesimlerinde bu metamorfizmadan etkilendiğini belirtmiştir. Yılmaz (1997) ise Likya Nap yerleşimi sırasında ve sonrasında bu iki sistemin birbirinden ayrıldığını, Menderes Masifi'nin reijyonel metamorfizma geçirmesine karşılık Toros Sistemi'nin sedimenter özelliğini koruduğunu belirtmiştir. Bu metamorfizmayı masifin erken Miyosen' deki termal domlaşması takip etmiştir. Daha sonra bu dom parçalanarak masif ve çevresinde bölgesel genişlemeye sebep olmuştur (Seyitoğlu ve Scott 1991, 1992, Yılmaz, 1997). Şengör ve Yılmaz (1981) Menderes ve Toros içindeki Mesozoyik stratigrafik özelliklere bakarak Menderes Masifi'nin Toros Sistemi sınırında olduğunu belirtmişlerdir. Menderes Masifi bölgenin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle otokton olarak yorumlanmaktadır.

#### **2.4.2 Neojen**

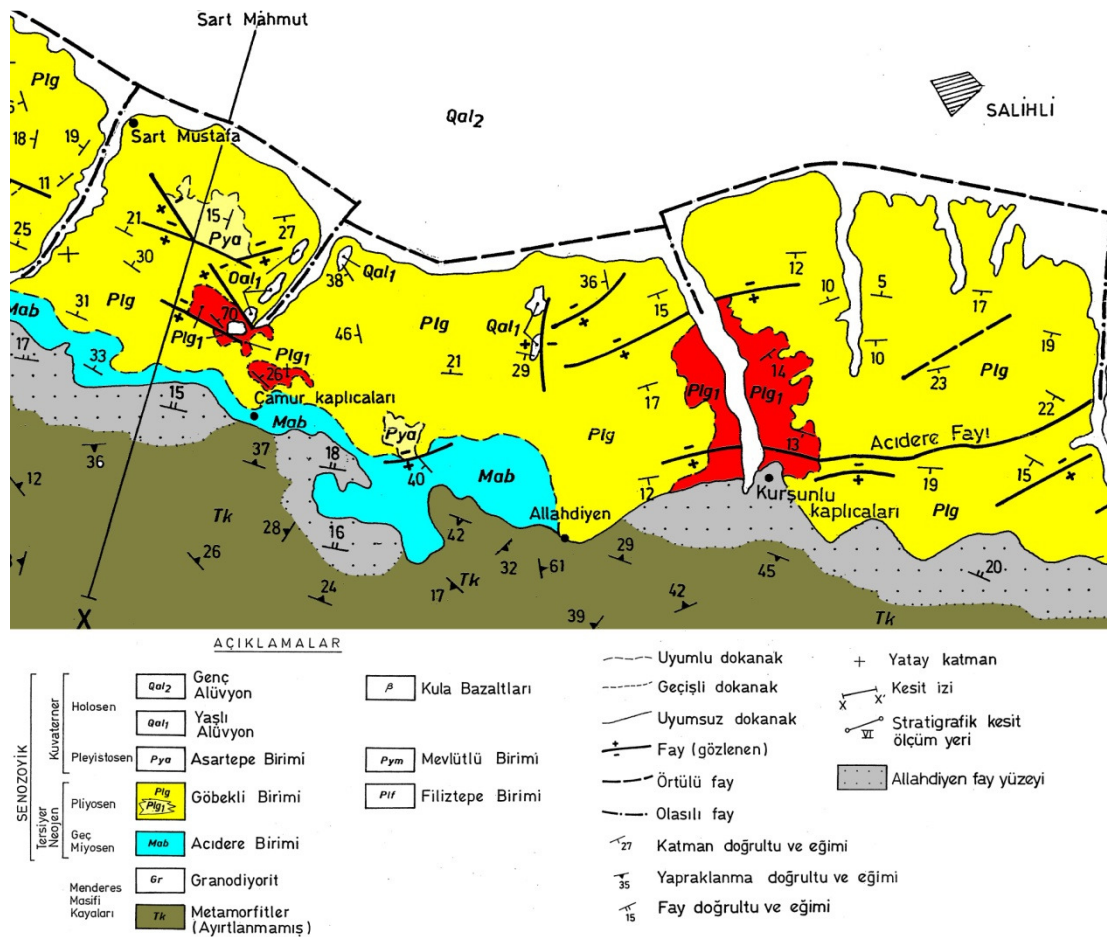
Güney kesimde kalınlığı 2000 m'yi bulan tortullar Salihli grubu; kuzeyde kalınlığı 400 m'yi geçmeyen tortullar ise, adala grubu olarak adlandırılmıştır. Salihli grubu alttan üste doğru Acidere, Göbekli ve Asartepe formasyonlarından, Adala grubu da Filiztepe ve Mevlütlü formasyonlarından oluşur. Acidere formasyonu başlıca, çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve kiltası - çamurtaşından yapıldır. Tabanda

baskın olan ince taneli kırıntılılar, az oranda CaCO<sub>3</sub>'lü çamurtaşı ve kireçtaşı ara katkıdır. Bu kireçtaşlarında tatlı su algleri ve bir ostrakod olan *Cyprinotus* sp. gözlenmiştir (Yrd. Doç. Dr. N. Doruk, 1990 sözlü açıklama-Emre, 1996). Üst düzeylerde ise çakıltaşı – kumtaşı ardalanması baskındır. Genelde alt düzeylerdeki çakıl boyutları üst düzeylerdekilere göre oldukça küçüktür. Çakıltaşlarının öğeleri çokluk sırasına göre şist, fillit, metakuvarsit ve granodiyorit çakıllarından oluşur. Kısmen yuvarlaklaşmış iş küt köşeli kuvarsit çakıllarının, köşeli şist çakılları ile birlikte bulunması; kuvarsit çakıllarının ikinci kez işlenmiş olduğunu belirtir. Grabenin güney kenarındaki Erken Miyosen yaşlı (United Nations, 1974; Hetzel ve diğ., 1995) granodiyoritlerden türemiş olan çakıllar tane bileşenlerinin % 5'ini oluşturur. Örgülü akarsu ortamında oluşan göbekli formasyonu, başlıca, değişik renklerde çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ardalanmaları ve bunların ara katkılarından yapıldır. Çakıltaşları, şist, fillit, metakuvarsit, granodiyorit çakıllarının yanı sıra, ender olarak, kataklastik - milonitik zondan türeme köşeli çakıllar içerir. Birimin özellikle üst düzeylerinde, çamurtaşı, kıltaşı ve siltaşı ara katmanları yer alır. Dasiyen yaşına karşılık gelen, *Gyraulus arminiensis jekelius*, *Melanopsis (melanopsis) cf. bergeroni stefanescu*, *Melanopsis (melanopsis) decollata stoliczka*, *pyrgula dacica jekelius*, *Theodoxus (calvertia) quadrifasciatus (bielz)*, *Bulimus (Bulimus) Croaticus (pilar)*, *Pyrgula sp.*, *pseudamnicola sp.* ve *union sp.* türleri saptanmıştır (Prof. Dr. G. Taner, 1985, yazılı açıklama-Emre, 1996).

Asartepe formasyonu başlıca, kumtaşı ara katman ve ara katkıları içeren çakıltaşlarından yapıldır. Ortaç, kötü katmanlanmalı olan çakıltaşları, genellikle, iri çakıllı, gevşek çimentolu, az pekleşmiş ve az dayanımlıdır. Tane boyları, çok ince kumdan çok kaba kuma kadar değişen kumtaşı düzeylerinde, yer yer oluksal ve düzlemsel çapraz katmanlar gelişmiştir.

Grabenin kuzey kenarında yer alan Filiztepe formasyonu kireçtaşlarından yapıldır. Oldukça iyi pekleşmiş dayanımlı, orta - kalın katmanlı, yer yer bol erime boşluklu olan kireçtaşları, yaygın olarak saz fosilleri ve yer yer gastropod fosilleri içerir. Bu gastropod fosillerinin "büyük olasılıkla Pliyosen yaşında" olduğunu belirtilmiştir (Prof. Dr. G. Taner, 1987, yazılı açıklama-Emre, 1996). Tabanda bazen ince çakıltaşı düzeyi ile başlayan kireçtaşları, çoğu kez kalınlığı 40-50 cm'yi

aşmayan taban regoliti üzerine oturur. Mevlütlü formasyonu, çakıltaşı, çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından yapıldır. Az pekleşmiş ve az dayanımlı olan bu düzeyler, ender olarak ince kireçtaşı mercekleri içerir. Tabanda baskın olan çakıltaşları, üst kesimlere doğru yerini kumtaşı ve çamurtaşlarına bırakır. Kumtaşları az dayanımlı, ince orta ve kalın katmanlıdır. Oluksal ve düzlemsel çapraz katmanlanmalar, yük kalıpları, tane derecelenmesi, çakıltaşı kanal dolguları ve çamur topları gözlenir.

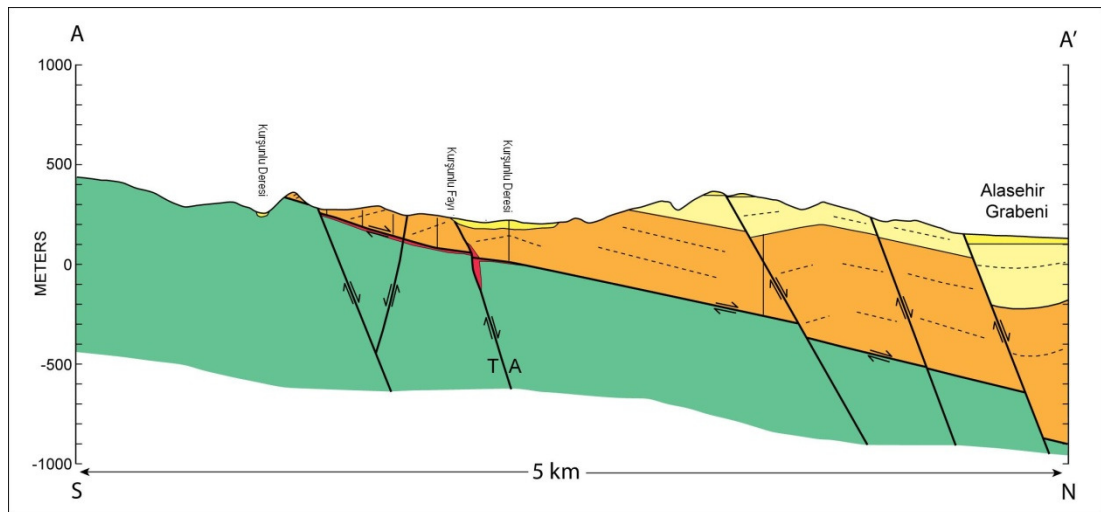


Şekil 2.3: Kurşunlu ve çevresinin jeoloji haritası (Emre, 1990).

## 2.5 Tektonizma

Gediz Grabeni Manisa'dan Pamukkale'ye kadar uzanan yaklaşık 200 km uzunluğunda bir yapıdır. Grabenin ana fayı güney kenarı boyunca uzanır, kuzeyde ise yer yer bu fayın antitetik bileşeni yer alır. Graben içinde oluşan M=6.5 büyüklüğündeki 28 Mart 1969 Alaşehir Depremi ve 36 km uzunlukta ve K 70°-80° B doğrultulu yüzey kırıkları oluşturmuş ve bu yüzey kırıkları üzerinde 3-13 cm düşey atım ölçülmüştür (Arpat ve Bingöl, 1969; Ergin ve diğ., 1971). Bu deprem sonrası grabenin kuzeyinde yeralan bölgede yoğun bir artçı deprem aktivitesi gözlenmiştir. Grabenin sismik aktivitesi ve depremleri Eyidoğan ve Jackson (1985) tarafından çalışılmıştır.

Gediz Grabeni'nin Neojen çökellerini metamorfik temelden (Menderes Masifi) ayıran ana fay, güney sınır fayı (Seyitoğlu ve Scott, 1996) ya da Karadut Fayı (Emre, 1996) olarak adlandırılmaktadır. Grabenin iç kesimlerine doğru bir yarı-parael fay, Neojen-Kuvaterner çökellerini sınırlamaktadır (Seyitoğlu ve Scott, 1996). Gediz Grabeni'nin güney kenarını ve Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey kenarını oluşturan Bozdağ Horstu'nun kenarlarındaki genişleme türü fay sistemlerine göre her iki havza, asimetric yarı-graben olarak tanımlanmaktadır (Karamandere ve Yılmaz, 1982; Roberts, 1988; Patton, 1992; Emre, 1996). Birçok uygarlığın üzerinde geliştiği Batı Anadolu, tarihsel dönemlerde de birçok yıkıcı depremlerin etkisinde kalmıştır.



Şekil 3.2 Kurşunlu JTA'nın şematik jeoloji kesiti (Faults ve diğer.).

## **BÖLÜM ÜÇ**

### **HİDROJEOLJİ**

Bu bölümde, çalışma alanı ve çevresinin hidrojeolojik özellikleri, kaynak ve kuyuların konumları, özellikleri ve su örnekleme noktalarının konumları ile ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanlarında yer alan sondajlar örneklenerak değerlendirilmiştir.

#### **3.1 Giriş**

Ülkemiz jeotermal kaynaklar açısından zengin ve buna elverişli jeoloji ortamlarına sahiptir. Jeotermal sistemler, yerkabuğunun üst kesimlerinde ısı akısının yüksek, yeraltı suyunun derinlere süzülüp ısıdıktan sonra yeniden yükselebileceği geçirimli zonların bulunduğu ve jeotermal akışkanların konveksiyon ile dolaşıp ısı biriktirebileceği kapanların oluşabildiği kesimlerinde gelişmektedir. Batı Anadolu'da Ege Bölgesi'ndeki yaygın faylanma, ısı akısının göreceli olarak yüksek olduğu bölgeler yaratmıştır. Gediz Grabeni boyunca özellikle grabenin güney kanadında jeotermal çıkışlar gözlenmektedir. Turgutlu'dan Kula'ya kadar çeşitli doğal jeotermal çıkışları ve jeotermal kuyular bulunmaktadır.

Jeotermal sistemin oluşabilmesi için, akışkanların yer kabuğunun içinde dolaşabilmesi gerekir. Bu dolaşım, kaya ortamında akışkan dolaşımına elveren bir geçirimliliğin varlığını gerektirir. Bu ise, çalışma alanının bulunduğu çevrede çoğunlukla ikincil çatlak geçirimliliği ile sağlanır. Yerkabuğunun uzak ya da yakın geçmişinde etkisi altında kaldığı tektonik gerilmelerle oluşan her türlü yapısal süreksizlik, eklem, dilinim, yapraklanma, tabaka, makaslama, fay, sürüklenme, düzlem ve zonlarının oluşturduğu birbiri ile ilintili ağlar bu geçirimliliğe olanak sağlar. Bunların tanınması, rezervuarın bilinmesi, üretken zonların yer ve özelliklerinin doğru biçimde belirlenebilmesi ve kaynağın doğru modellenmesi açısından yaşamsal önem taşır (Öngür, 2005).

Derinlik ve metamorfik kayalarda birincil gözeneklilik varsa da çok azdır. Bu birimlerde yeraltı suyu dolaşımı, çatlaklanma, faylanma veya bozuşma yolu ile



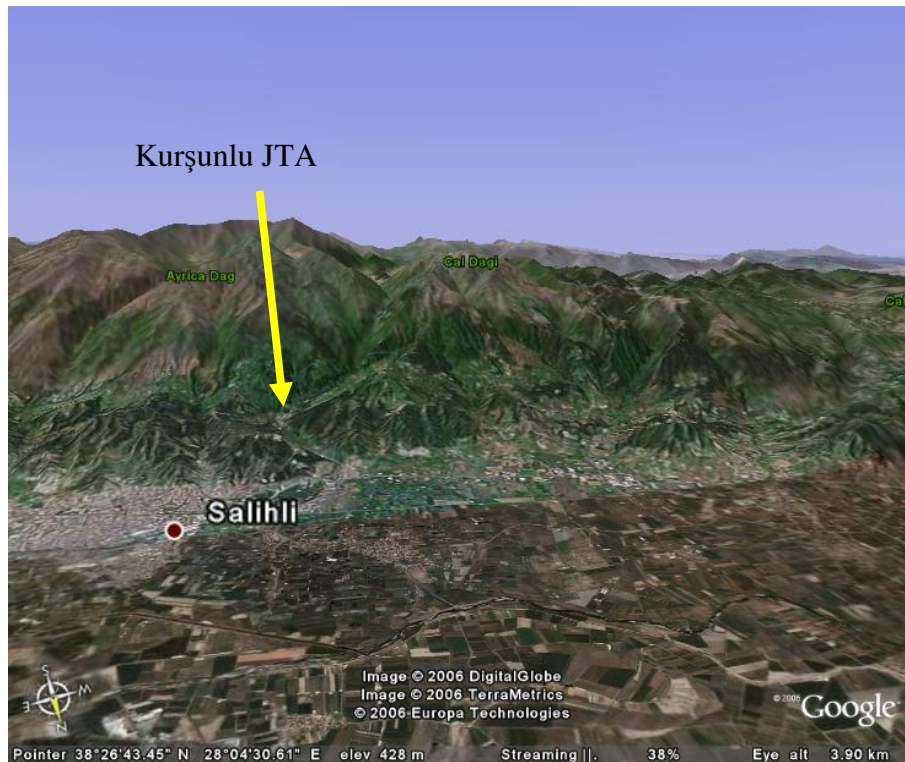
gelişmiş açıklıkların bulunmasına bağlıdır. Çatlaklar; tektonik hareketler, örtü kayanın aşınmasından dolayı basınç azalması, kaya kütlelerinin soğuması sırasında büzülmesi ve bölgesel tektonik gerilmelerin neden olduğu basma ve çekme kuvvetleri ile gelişebilmektedir (Fetter, 2001). Metamorfik kayalar jeotermal sistemlerin oluşumları açısından, ülkemizde önemli bir yere sahiptir. Metamorfik kuşakların, başka yerlere göre iki kata kadar daha yüksek ısı akısına sahip olduğu bilinmektedir (Fetter, 2001). Öngür (2005), göreceli olarak genç, örneğin Tersiyer'de oluşan metamorfizma ortamları, yüksek ısı akısı barındırmaktadır ve metamorfizma sonrasında bu masifler hızla yükselmesine bağlı olarak aşınma ve sıyrılma faylarıyla tüketildikleri için daha derinlerdeki daha sıcak kesimleri yeterince soğuyamadan yüzeye yaklaşarak ısı gradyanının yükselmesini oluşturduğunu belirtmektedir. Bu tür kaya ortamları ilksel olarak yeterince geçirimli olmamakla birlikte, masifin yükselmesine eşlik eden sıyrılma fay zonları ve oluşan graben fayları boyunca oldukça yüksek ikincil geçirimlilik kazanarak da jeotermal sistemlerin gelişmesine olanak sağlarlar (Güneş, 2006).

Karbonat kayalarda ise katmanlanma düzlemleri, kırık ve çatlaklar geçirgenliği yükseltebilir. Kireçtaşları asidik suda çözünebilir. Jeotermal suların genellikle kabondiyoksitçe zengin olması suların yüksek miktarda karbonat çözmesinde etkili olabilmektedir. Karbonat kayaların çözünme mekanizmaları küçük çatlakları genişleterek daha büyük çatlakları oluşturmaya uygundur. Karbonat akiferlerindeki ikincil geçirgenlik; katmanlanma düzlemleri, kırıklar ve fayların çözünme yoluyla genişlemesi sonucu oluşur (Ford ve Ewers, 1978). Çözünme miktarı, sistemde hareket halindeki yeraltı suyunun miktarına ve (özellikle mevcut karbonat kayaca göre) doygunluk derecesine bağlıdır ancak, akış hızından hemen hemen bağımsızdır (Palmer, 1984). Karbonat kayalar yüksek geçirimliliği bulunan verimli akiferlerdir (Güneş, 2006).

Akışkanların derinlere inip hızla yükselebilecekleri büyük fayların varlığı, özellikle farklı dönemlerde oluşmuş, farklı yönlenmeli fayların kesiştiği zonlar, dolaşıma büyük kolaylık sağlar. Bazen bu farklı kırık sistemlerinden biri yüzeyde izlenemeyebilir, gizli de kalabilir. Ancak, bölgesel jeoloji bilgileri ve özellikle de jeofizik ölçülerle bunların varlık, duruş ve yerleri öngörülebilir. Metamorfik



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



Şekil 3.1 Kurşunlu Jeotermal Alanı'nın konumu (GoogleEarth).

### 3.2 Jeotermal Sistem Modeli:

Kurşunlu Jeotermal Alanı (JTA) Salihli İlçesi'nin yaklaşık 4 km GB'sında Bozdağ'ın eteklerinde yer almaktadır. Kurşunlu Mevkii'nde doğal sıcak su kaynakları kaplıca amaçlı kullanılmış ilk kuyu 1979 yılında MTA tarafından açılmıştır.

Jeotermal suyun kaynağı Bozdağ'a düşen meteorik suyun büyük olasılıkla 1500-2000 m derinlere kadar süzülükten sonra Yenipazar Fayı ile hızla birkaç yüz metre derine kadar yükselen bölümünün Caferbeyli Köşeler çizgisinde Karadut Sıyrılma Fayı'na ulaştıktan sonra güneye doğru yayılıp Çamur Hamamı ya da Kurşunlu gibi ikincil haznelere ulaştığı söylenebilir. Akışkanın muhtemel sığ bileşeni de Kurşunlu Deresi'nde akan yüzey suyu ile yakındaki kireçtaşı yüzeylemelerinden ve Neojen örtüsünden gelen yeraltı suyundan oluştuğu düşünülmektedir.

Kurşunlu'da yer alan jeotermal kuyularında gerçekleştirilen kuyu bitirme testlerinde hidrolik iletkenliği oldukça yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Özel bir test yapılmamış olmakla birlikte kuyular arasında girişim etkisinin yüksek olduğu üretim sırasında gözlenmektedir.

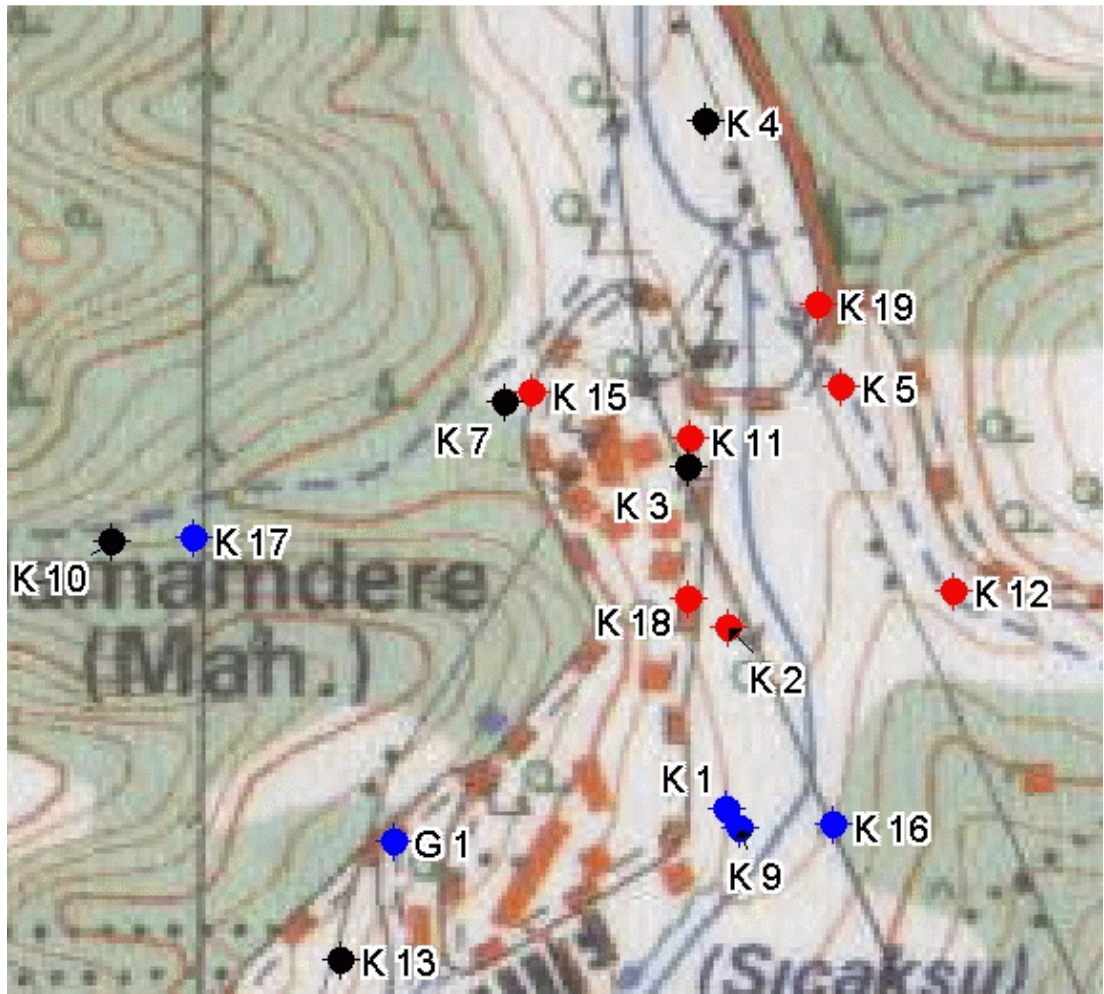
### 3.3 Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Yenipazar Fayı ile hızla birkaç yüz metre derine kadar yükselen jeotermal akışkanın Caferbeyli Köşeler çizgisinde Karadut Sıyrılma Fayı'na ulaştıktan sonra güneye doğru yayılıp Trablı, Çamur Hamamı ya da Kurşunlu gibi ikincil haznelere ulaştığı söylenebilir.

Kurşunlu jeotermal rezervuarı, metamorfik temelin, Karadut Sıyrılma Fayı'nın üzerinde kaymış olan düşen bloğunda yer alan kristalize kireçtaşları-mermerlerde yerleşmiştir. Bu mermerlerin de kırıklı ve erime boşluklu kesimlerinin detachman fayı çevresindeki aşırı paralanmış yerleri rezervuar ortamı oluşturmuştur.

Bu rezervuar yapısal konuma bağlı olarak 40-160 m arasında değişen derinliklerde bulunmakta ve tahminen 10-20cm genişliğinde çatlak-erime boşluğu şeklinde bulunmaktadır.

Bugüne değin erişilebilen en büyük rezervuar sıcaklığı 120°C yakınındadır. Sistemdeki akışkanın derin bileşeninin sıcaklığının da jeotermometreler yardımıyla 160°C'ı aşmadığı anlaşılmaktadır. Akışkanda çözülmüş CO<sub>2</sub> oranı azdır. Akışkan Na-HCO<sub>3</sub> bileşimlidir. Bor miktarı çevre için sakınca yaratacak denli yüksektir.



Şekil 3.3 Kurşunlu JTA'nında bulunan jeotermal kuyuların konumları.

## **BÖLÜM DÖRT**

### **HİDROJEOKİMYA**

#### **4.1 Giriş**

Bu bölümde, çalışma alanındaki suların analizlerinden elde edilen jeokimyasal ve fiziksel verilerin doğruluğu ve suların kimyasal özelliklerine göre sınıflanması ile ilgili bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında; arazide, DEÜ Jeoloji Mühendisliği-Jeokimya Laboratuvarı'nda ve Uluslararası Kanada ACME laboratuvarlarında analizlenen sulardan elde edilen veriler yeni ölçüm ve analiz metotlarından da faydalanılmıştır. Çalışmada verilerin değerlendirilmesinde Microsoft Excel ve Phreeqci (Parkhurst ve Appelo, 1999) programlarından ve kitap, tez, makale ve seminer notlarından faydalanılmıştır.

#### **4.3 Suların Sınıflandırılması**

İnceleme alanı içerisindeki termal sular, mevcut kimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde, IAH (Uluslararası Hidrojeologlar Birliği) sınıflamasına göre Na-HCO<sub>3</sub> tipindedir.

Kuyulardan boşalan akışkanla birlikte gaz da gelmektedir. Bu gazın baskın olarak CO<sub>2</sub> olduğu bilinmektedir. K5, K12 ve G2 kuyularında dikkati çekecek kadar gaz boşaldığı bildirilmektedir. G2 kuyu başında bu durum gözlenebilmektedir de. Öte yandan, G2 kuyusu çevresinde hafif, K10 ve K17 kuyuları çevresinde şiddetli olmak üzere H<sub>2</sub>S kokusunun duyulması da dikkat çekicidir.

Aksoy (2004) K7 kuyu testi verilerinden sudaki gaz içeriğinin 400–500 ppm, K5 kuyusu suyunda ise 100–350 ppm arasında olduğunu hesaplamıştır. Derişimi çok yüksek olmasa da bu gazın sudan kuyu içinde ayrılmaya başlaması akışın iki fazlı olması, pompa verimlerinin düşmesi ve kabuklanmanın kuyu içinde başlamasına neden olduğundan bunun kuyu içinde oluşması istenmemektedir.

Tablo 5.1 Kuyulardan alınan numunelerin analiz değerleri

Numune	pH	Sıcaklık	Alkalinite	As	B	Ba	Br	Ca	Cl	Cs	Fe	K
<b>K-11 İnhibitörsüz</b>	7.3	55	1244.7	1617.9	36268	98.82	231	86808	68	347.34	229	51334
K-11 İnhibitörlü	7.44	60.2	1326.5	1824.6	37314	133.31	234	89715	69	345.85	543	54164
<b>K-2 İnhibitörsüz</b>	7.64	59.3	1153.2	2512.6	38350	122.31	226	62937	71	318.79	312	53872
K-2 İnhibitörlü	7.23	65.3	1294.6	2317	38937	109.87	207	64343	72	262.12	181	54472
<b>K-5 İnhibitörsüz</b>	7.83	42.6	1141	1125.4	34044	101.7	217	104325	65	298.93	18	47904
K-5 İnhibitörlü	7.4	57.2	1245.7	1196.3	35259	95.16	196	106121	67	281.34	<10	50270
<b>K-19 İnhibitörsüz</b>	7.34	35.1	1183.7	1587.1	34183	90.95	215	97918	65	274.36	149	47678
K-19 İnhibitörlü	7.6	47.8	1161.9	1509.9	33549	94.4	193	99385	64	244.01	221	48026
<b>K-12 İnhibitörsüz</b>	7.69	51.1	1088.1	3455.5	35879	124.46	180	84648	63	324.09	144	52128
K-12 İnhibitörlü	7.84	55.4	1206.9	1627.6	37282	99.16	201	90916	69	282.21	93	53537
<b>K-15 İnhibitörsüz</b>	7.66	63.5	1060.5	1726.1	44405	98.59	234	69819	81	368.31	114	62851
K-15 İnhibitörlü	7.94	53.3	1195.9	2256.7	43474	105.06	237	69641	78	391.05	282	63180
Numune	Li	Mg	Mn	Na	Ni	P	Rb	S	Sb	Si	Sr	
<b>K-11 İnhibitörsüz</b>	3265	16468	883.08	359521	72.1	392	342	52	2513.2	87222	1149.23	
K-11 İnhibitörlü	3307	16590	29.04	385936	145	831	348	52	2244.9	91706	1253.2	
<b>K-2 İnhibitörsüz</b>	3377	13440	22.76	391568	101	664	330	46	154.45	86579	1212.34	
K-2 İnhibitörlü	3543	13495	15.59	400981	15.4	1472	301	45	93.16	85714	1083.24	
<b>K-5 İnhibitörsüz</b>	2877	18097	29.08	341247	13	233	304	46	126.99	84155	1165.87	
K-5 İnhibitörlü	3109	19148	31.96	355190	2.4	706	295	47	11.89	84010	1120.48	
<b>K-19 İnhibitörsüz</b>	2968	17423	25.57	340241	48	356	292	48	26.47	82723	1124.85	
K-19 İnhibitörlü	2972	17459	31.72	349264	113	337	271	47	20.36	81970	1058.11	
<b>K-12 İnhibitörsüz</b>	3224	16050	25.13	379400	97.5	563	317	44	89.28	85952	1167.49	
K-12 İnhibitörlü	3233	16499	24.72	382421	18	632	302	48	48.89	89322	1104.96	
<b>K-15 İnhibitörsüz</b>	4024	12794	26.64	443258	34.7	568	385	52	3554.4	106777	1103.41	
K-15 İnhibitörlü	3965	12826	29.23	447690	254	863	410	52	3882	107896	1154.83	

Tablo 5.1’de örneklenen sulardan elde edilen veriler kısa olarak sunulmuştur. Çalışma kapsamında Kurşunlu Jeotermal Alanı’nda üretim yapan K11, K2, K5, K12, K19, K15 kuyularından inhibitör enjeksiyonu yapılırken ve inhibitör enjeksiyonu kesildikten 1 saat sonra iki defa örnekleme yapılmıştır.

Kuyulardan alınan inhibitörlü ve inhibitörsüz numunelerin analizler karşılaştırıldığında genel olarak inhibitörlü numunelerde  $\text{HCO}_3$ , Ca, Cl, K, Mg ve özellikle P derişimlerinde artış gözlenmiştir.

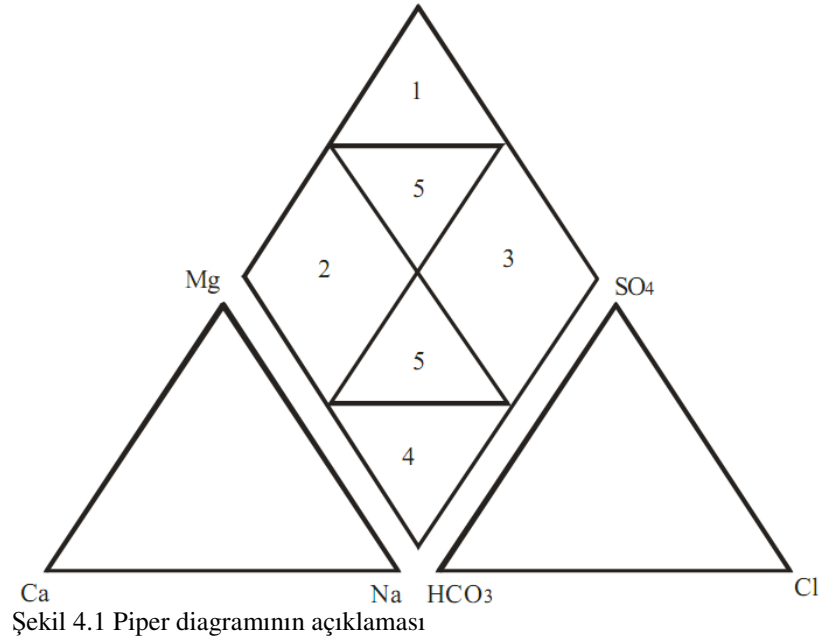
Örneklerin analizlerin  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , pH, sıcaklık ve Eh gibi parametreleri arazide bizzat ölçülmüş, diğer element analizleri Acme Analytical Laboratories Ltd. (Vancouver) tarafından yapılmıştır.

Buna karşın yöredeki suların benzer bileşimlere sahip oldukları görülmektedir. Egemen bileşim alkali-bikarbonatlı sulardır. Sularda  $\text{Na}+\text{K}$  ve  $\text{HCO}_3$  baskındır.

Sığ derinliklerde yüzey suları ile bir miktar karışma olsa da yüzeye çıkarken önemli bir jeokimyasal değişim olmadığı açıktır (Tarcan ve diğer., 2000). Ca ile  $\text{HCO}_3$  arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı ve su kimyasının silikatlı kaya/su arasındaki iyon değişimi ile şekillendiği sonucuna varmaktadır.

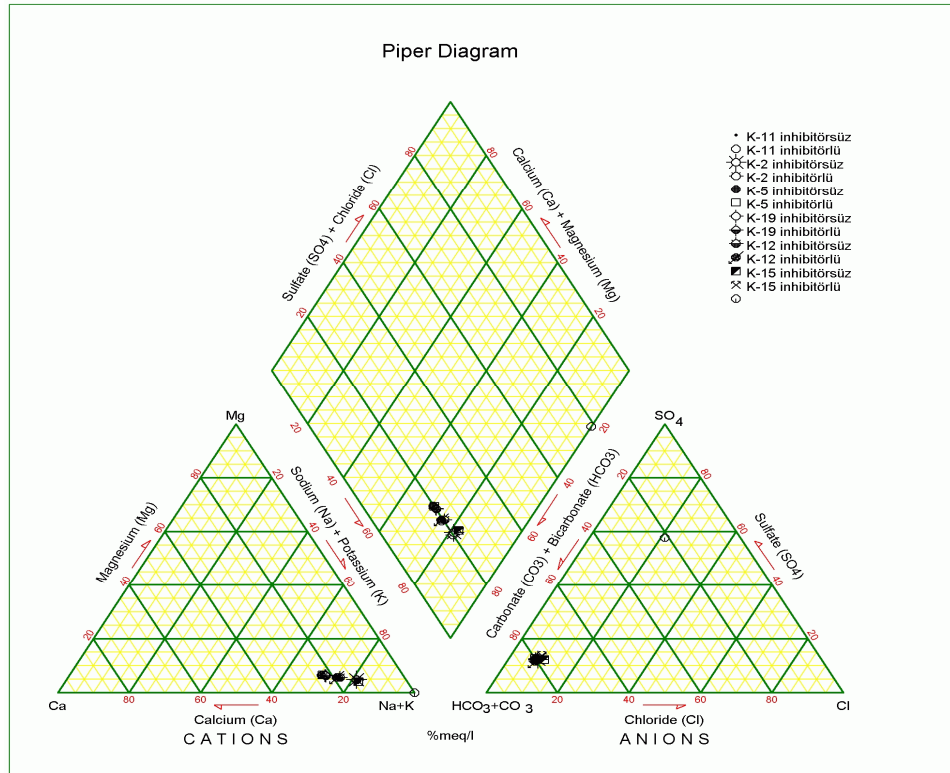
Sondaj kuyularından boşalan sudaki B miktarı 33-44 mg/l, arasında değişmektedir. Suların B açısından çok zengin olduğu ve sulamada kullanılacak yüzey sularının kirletilmemesi açısından önemlidir.

Tarcan ve diğ., 2000’de çeşitli jeotermometreler ile hesaplanan hazne sıcaklıkları 150-230°C arasında bulunmuştur. Ancak, Giggenbach Üçgeni’nde bu suların olgunlaşmamış sular olduğu görülmektedir. Bu nedenle katyon jeotermometre bulguları pek güvenli değildir. Entalpi-Klorür karışım modeli ile bulunan hazne sıcaklıkları 194-288°C ve entalpi-silis karışım modeli ile bulunanlar ise 187-227°C arasında değişmektedir. Bu yöntemlerle, çıkan suyun kaynaklarda % 27-56’sının, sondajlarda ise % 45-90’ının derin kökenli sıcak su, kalanının ise sığ soğuk yeraltı suyu olduğu hesaplanmıştır (Öngür, 2007).



Numaralanmış bölgelerin hangi anlama geldikleri aşağıda açıklanmıştır:

1. Bölgede karbonat olmayan sertliği %50 den fazla olan sular
2. Bölgede  $\text{CO}_3$  sertliği %50'den fazla olan sular
3. Bölgede karbonat alkalileri %50 den fazla olan sular ( $\text{NaHCO}_3$  sular)
4. Bölgede, karbonat olmayan alkalitesi %50 den fazla olan sulardır. Deniz suyu, acı sular ve bir kısım jeotermal sular bu alanda yer alırlar.
5. Karışık sulardır.





İnceleme alanındaki sulara ait Piper Diyagramı Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu diyagrama göre, inceleme alanındaki sıcak ve mineralli sular, karbonat alkalileri %50 den fazla olan sular sınıfına girmektedir. Bu sular,  $\text{NaHCO}_3$  lü sulardır. Doğada az bulunan ya da çok yumuşak sulardır.

#### 4.4 Suların Elektriksel İletkenlik ( EC ) Değerleri

Elektriksel iletkenlik cisimlerin elektriği iletme özelliği olup  $1\text{cm}^3$  suyun elektriksel iletkenliğine özgül elektriksel iletkenlik denir. Özgül elektriksel iletkenlik micromho/cm olarak ifade edilir. Suyun özgül iletkenliği iyon cinsine, derişimine ve sıcaklığına bağılı olarak değişir.

İnceleme alanındaki sıcak sularda EC değerleri dūşüktür. Aşadı verilen EC sınıflamasına göre Őüpheli sular sınıfına girmektedir. EC değerleri 2010-2370 mikromho/cm arasında değişmektedir. Suların elektriksel iletkenlik değerleri çözünmüş madde miktarları ile doğrudan ilişkilidir. İyon derişimi arttıkça EC değeri de artmaktadır.

Tablo 4.1 Sulama sularının özgül elektriksel iletkenlik değerine göre sınıflandırılması (ErguvanlıveYüzer,1973).

EC(mikromho/cm)	Sınıf
<250	Çok iyi
250-750	İyi
750-2000	Kullanılabilir
2000-3000	Şüpheli
>3000	Kullanılmaz

Tablo 4.2 Jeotermal kuyulardan alınan numunelerin elektiriksel iletkenlikleri ve toplam çözünmüş madde miktarları.

Numune	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	Çöz.Mad	Numune	EC ( $\mu\text{S/cm}$ )	Çöz.Mad
K-11 İnhibitörsüz	2200.00	1410	K-19 İnhibitörsüz	2010.00	1290
K-11 İnhibitörlü	2170.00	1390	K-19 İnhibitörlü	2040.00	1310
K-2 İnhibitörsüz	2200.00	1410	K-12 İnhibitörsüz	2160.00	1320
K-2 İnhibitörlü	2110.00	1350	K-12 İnhibitörlü	2140.00	1370
K-5 İnhibitörsüz	2070.00	1320	K-15 İnhibitörsüz	2330.00	1490
K-5 İnhibitörlü	2080.00	1330	K-15 İnhibitörlü	2370.00	1520



## BÖLÜM BEŞ

### SULARIN KABUKLAŞMA ÖZELLİKLERİ

#### 5.1 Giriş

Jeotermal akışkanlar, kullanım sırasında termodinamik davranışlarıyla metal yüzeylere etki ederek, kabuklaşma ve korozyon sorunlarına neden olan çözünmüş gaz ve katı maddeler içermektedir. Bu akışkanların kimyasal bileşimleri çok değişik katı eriyik içeren sıcak sulardan oluştuğu için, kabuklaşma ve korozyon için tek bir çözüm bulmak oldukça güçtür. Bununla birlikte, jeotermal akışkanların kimyasal bileşimleri ve buna bağlı olarak kabuklaşma ve korozyon sorunları çok değişik olsa da bazı genel ilke ve öneriler verilebilir.

Kabuklaşma, jeotermal kaynaklardan yararlanma sırasında oluşan en önemli sorunlardan birisidir. Silis ve silikat, karbonat, sülfat ve kükürt genel olarak kabul edilen esas kabuklaşma türleridir. Jeotermal akışkanlar genelde silis, kalsit, sülfat ile doymuş haldedirler. Sıcaklık ve basınç değişiklikleri denge halindeki bu doymuş çözeltinin kabuklaşma eğilimini artırır.

Kalsiyum karbonatın çözünürlüğü, sıcaklık, kalsiyum iyon oranı ve akışkan içinde çözünmüş diğer elementlere bağlıdır. Karbonat iyon oranı ise karbonat ve bikarbonat iyonlarının dağılımını kontrol eden akışkanın pH'sine bağlıdır. Çoğu jeotermal akışkanın pH'si karbondioksit kısmi basıncı ile kontrol edilir. Karbondioksit çıkışı akışkanın pH'sinin artmasına, dolayısı ile kalsiyum karbonatın çökmesine neden olur. Kalsiyum karbonatın akışkan içindeki çözünürlüğü azalan sıcaklık ile artar.

Silikat temelli kabuklaşma aynı zamanda demir ve alüminyum da içerir. Demir ve alüminyumca zengin silis kabuklaşması içeren pek çok jeotermal kaynaklar literatürde verilmiştir. Bununla beraber, saf amorf silis, demir silikat ve alüminyum silikat kabuklaşması akışkanı asitleme işlemi ile önlenir. Akışkanın pH'si arttıkça silis temelli kabuk oluşturma reaksiyonu azalır. Akışkanın pH'si hidroklorik, sülfürik veya karbosilik asitlerle 5 in altına veya 9'un üzerine çıkarılması alüminyum-silika

kabuklaşmasını önler. Ancak bu işlem sırasında korozyona karşı önlemler alınmalıdır. Akışkanın pH'sinin düşük olması (<4), yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde kullanılan boru ve diğer donanımlar için oldukça korrosif bir ortam yaratacağından bu tür sistemlerdeki borularda korozyon dayanımı yüksek alaşım malzemeler kullanılmalıdır.

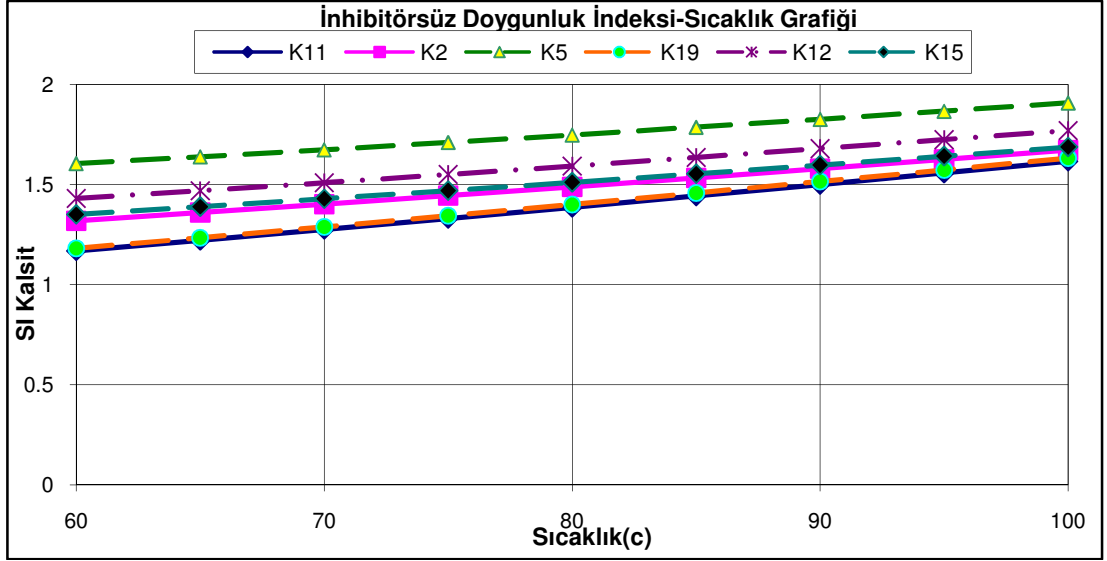
Bazı organik ve asidik kabuk önleyiciler kabuklaşmanın oluşmasını engeller. Örneğin, sülfür asitleri,  $H_2SO_3$ , tuzlu su asitleme proseslerinde silika kabuklaşmasını önlemede başarı ile kullanılmaktadır. Bu asitin zayıf olması, sülfürik asit,  $H_2SO_4$ , veya hidroklorik asit, HCl, gibi kuvvetli asitlere oranla daha az korrosiftir. Ayrıca, jeotermal sistemlerde oluşan kabuklaşma doğrudan kimyasal işlem veya mekanik, hidrolik veya mekanik/hidrolik yöntemlerle uzaklaştırılabilir.

Analiz sonuçları Phreeqc bilgisayar programı ile irdelenmiş, bazı kabuk yapıcı minerallerin doygunluk indeksleri saptanmaya çalışılmıştır.

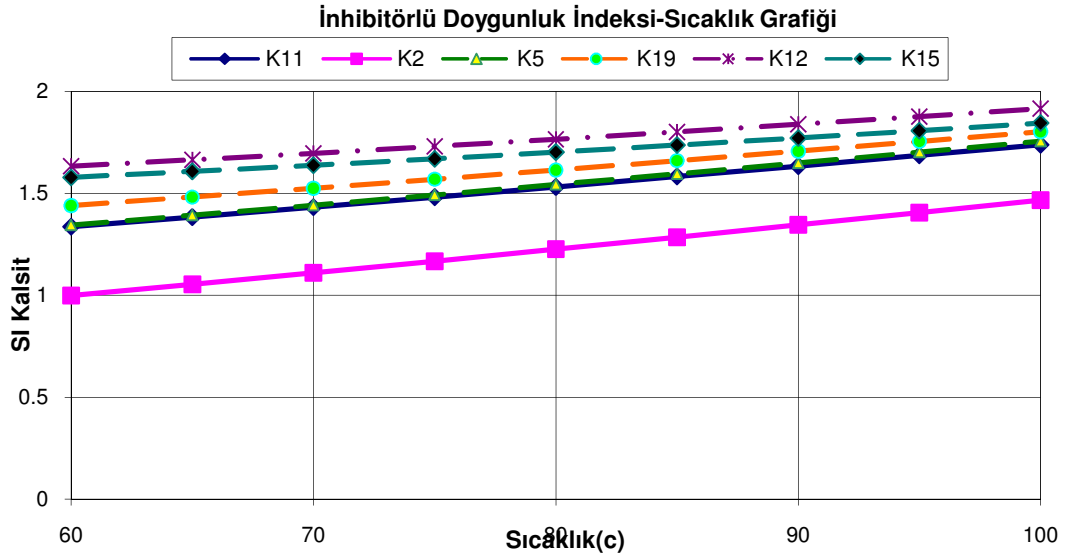
Tablo 5.1: Phreeqc ile hesaplanan doygunluk indeksleri.

Numune:	pH	Sıcaklık	Kalsit	Aragonit	Hematit	SiO2(amorf)
<b>K-11 İnhibitörsüz</b>	7.3	55	1.1165	0.9719	14.6898	-0.3963
K-11 İnhibitörlü	7.44	60.2	1.3379	1.1934	16.0429	-0.4174
<b>K-2 İnhibitörsüz</b>	7.64	59.3	1.313	1.1685	15.6719	-0.4391
K-2 İnhibitörlü	7.23	65.3	1.0574	0.9129	15.0063	-0.4823
<b>K-5 İnhibitörsüz</b>	7.83	42.6	1.4953	1.3505	12.1445	-0.3088
K-5 İnhibitörlü	7.4	57.2	1.317	1.1725	10.3265	-0.4314
<b>K-19 İnhibitörsüz</b>	7.34	35.1	0.9345	0.7894	12.9061	-0.2343
K-19 İnhibitörlü	7.6	47.8	1.3386	1.194	14.5947	-0.365
<b>K-12 İnhibitörsüz</b>	7.69	51.1	1.3639	1.2193	14.4904	-0.3754
K-12 İnhibitörlü	7.84	55.4	1.6052	1.4607	14.4217	-0.3991
<b>K-15 İnhibitörsüz</b>	7.66	63.5	1.3778	1.2333	15.0706	-0.3812
K-15 İnhibitörlü	7.94	53.3	1.5399	1.3954	15.2598	-0.3033

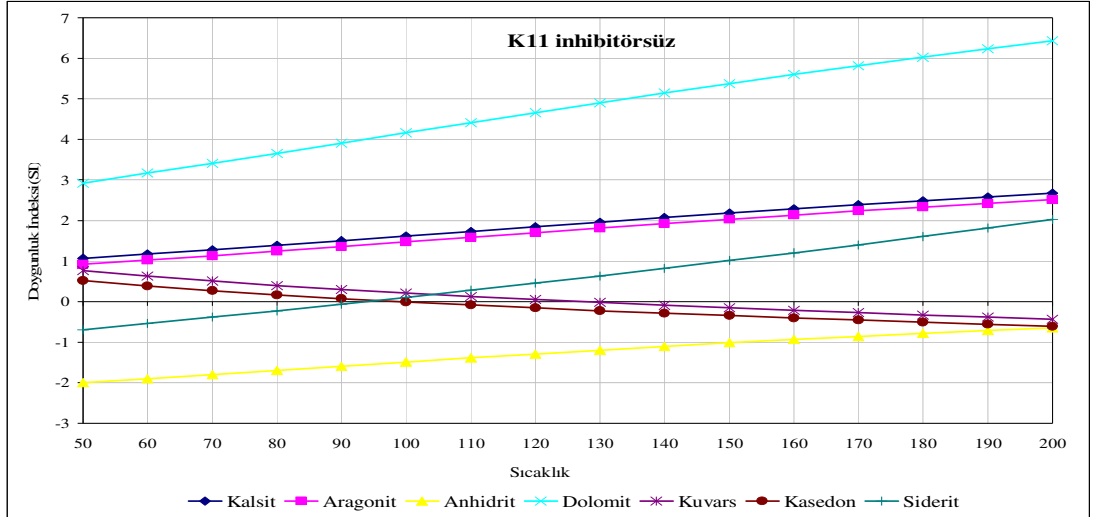
Tablo 5.1'de Kurşunlu bölgesinden alınan İnhibitörlü ve İnhibitörsüz su numunelerinin analizleri phreeqc programı kullanılarak hesaplanan kalsit, aragonit, hematit ve amorf silis için doygunluk indeksleri (Saturation Index SI) sunulmuştur. Suların tamamı kalsit, aragonit ve hematite doymuş olup amorf silise doymuş değildir. Tablo 5.2'de suların analiz değerleri verilmiştir.



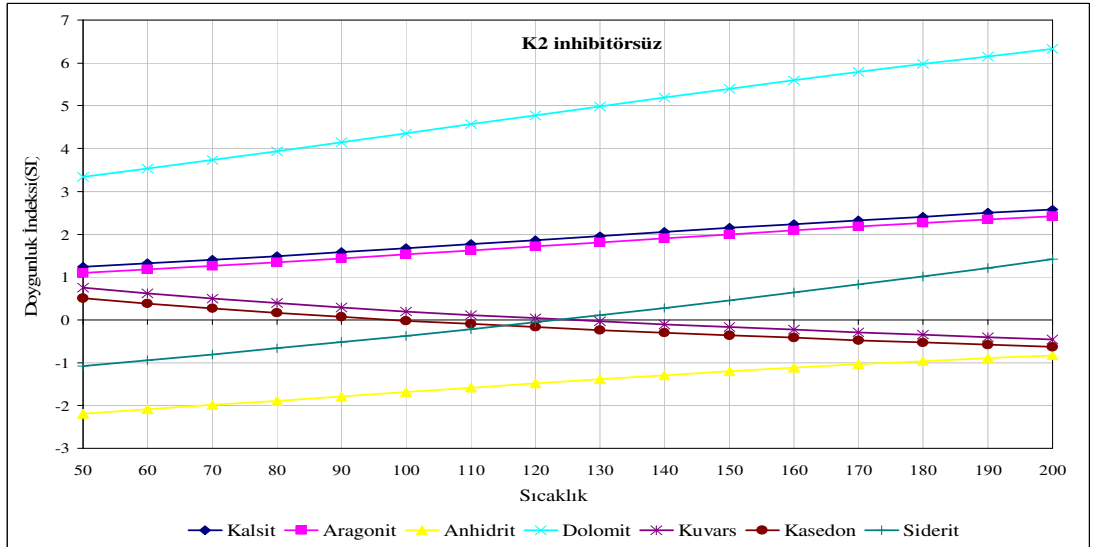
Şekil 5.1 İnhibitörsüz numunelerin kalsit için sıcaklık-doygunluk indeksi grafiği



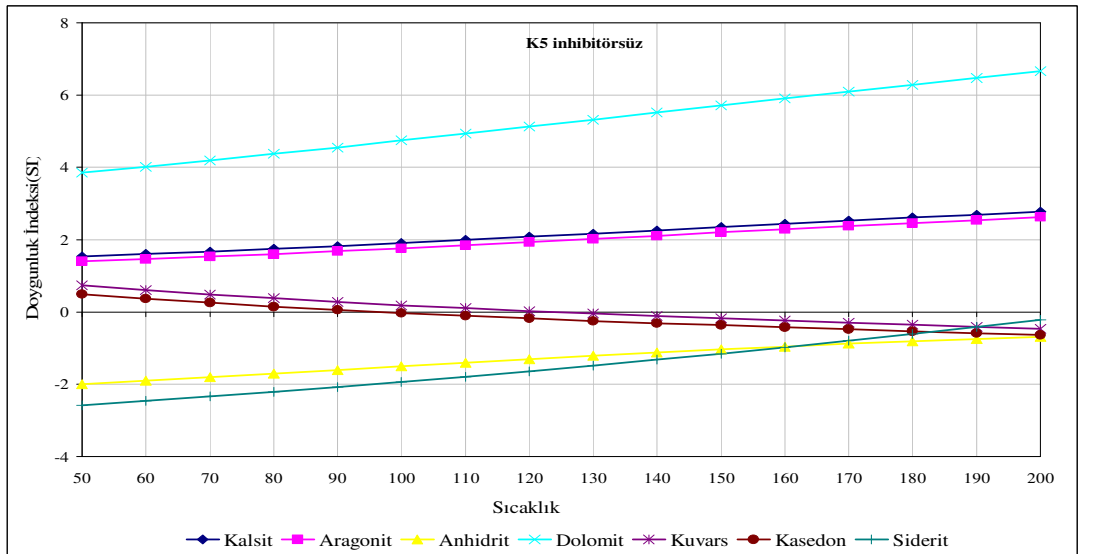
Şekil 5.2 İnhibitörlü numunelerin kalsit için sıcaklık-doygunluk indeksi grafiği



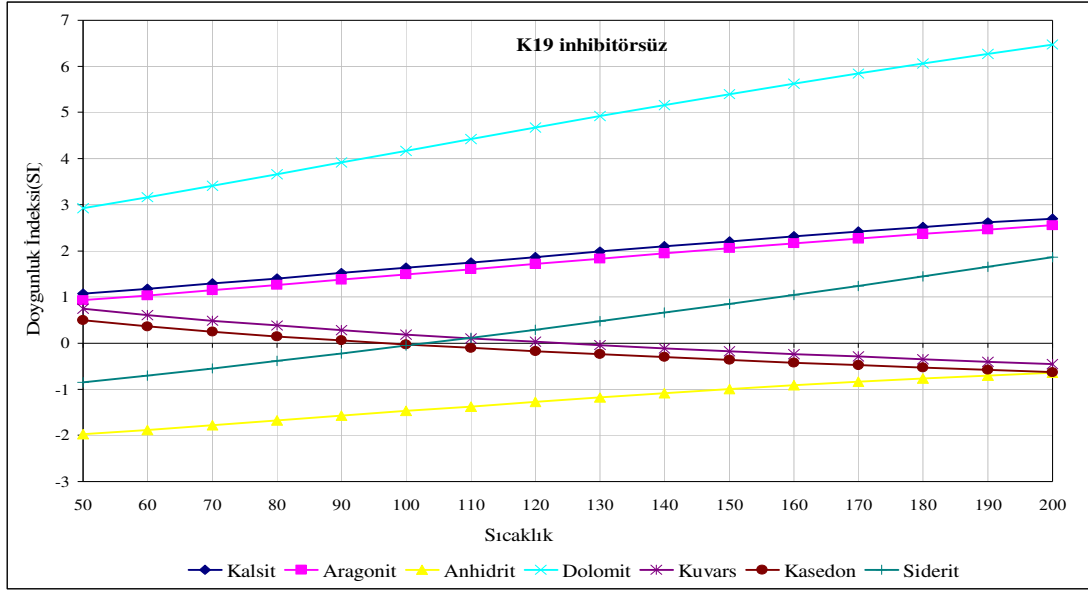
Şekil 5.3 K11 inhibitörsüz numunenin kabuklaşma oluşturan minerallerce doygunluk indeksleri.



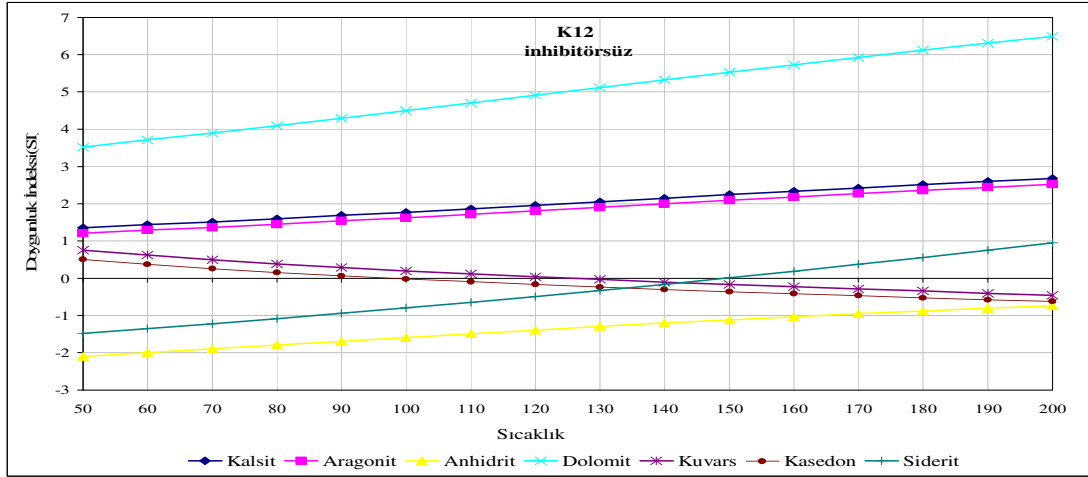
Şekil 5.4 K2 inhibitörsüz numunenin kabuklaşma oluşturan minerallerce doygunluk indeksleri.



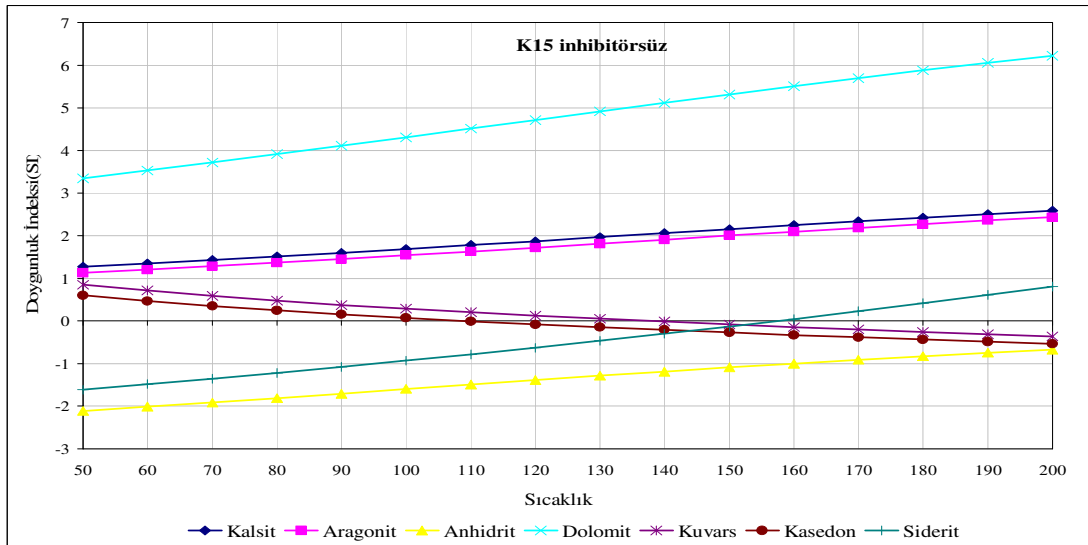
Şekil 5.5 K5 inhibitörsüz numunenin kabuklaşma oluşturan minerallerce doygunluk indeksleri.



Şekil 5.6 K19 inhibitörsüz numunenin kabuklaşma oluşturan minerallerce doygunluk indeksleri.



Şekil 5.7 K12 inhibitörsüz numunenin kabuklaşma oluşturan minerallerce doygunluk indeksleri.



Şekil 5.8 K15 inhibitörsüz numunenin kabuklaşma oluşturan minerallerce doygunluk indeksleri.

Ayrıca şekil 5.3-5.12 kadar kuyulardan alınan İnhibitörsüz numunlerin çeşitli kabuk yapıcı mineraller için sıcaklığa karşı doygunluk indeksleri incelenmiştir. Suların hepsinde kalsit, aragonit, kalsedon, kuvars ve dolomit mineralleri genel olarak doygun, siderit ve anhidrit çözüldürücü niteliktedir.

Tablo 5.2’de kuyulardan alınan numunelerin phreeqc programı kullanılarak suların çökeltebilecekleri kalsit miktarları mol/lit olarak elde edilmiştir. Çöken kalsit miktarının tesbiti için phreeqc programında kalsit dengede tutulmuştur. Phreeqc ile çalışmalarda lnl.dat veritabanı kullanılmıştır. Hesaplamalarda mol/lit değerleri mmol/lit’ye çevrilmiş, çökelen kalsit miktarını bulabilmek için CaCO<sub>3</sub>’ün molekül ağırlığı olan 100.087 ile çarpılmıştır. Kuyuların her birinin debileri ile çöken kalsit miktarını çarpıp çökme hızı ve günde çökelen kalsit miktarları bulunmuştur. Mekanik kuyu temizleme işlemlerinden gözlemlenen kabuklaşmanın kuyunun yüzeyden itibaren yaklaşık olarak 40m’lik bir kısımda olduğu varsayılmıştır. Kuyuların üretim borularının çapları ile 40m’lik kısmın hacmi hesaplanmıştır. Buradan kalsitin yoğunluğu 2.7gr/cm<sup>3</sup> alınarak kuyunun hacminin dolması için gerekli kalsit miktarı ve kaç günde dolacağı hesaplanmıştır. Elde edilen değerler üretim aşamasındaki gözlenen kabuklaşma hızlarına yaklaşık olarak uymaktadır.

Tablo 5.2 Phreeç ile çöken kalsit miktarı ve kuyunun tamamen tıkanması için geçecek sürelerin hesaplanması.

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

## 5.2 Kabuklaşma Oluşumu

Kabuklaşma oluşumuna neden olan tam mekanizma hakkında çok az şey bilinmekle birlikte, esas olarak üç ortam arasında ayırım yapılabilir:

- a) Tek fazlı bir akışkandan kalan çökeltiler (geri dönüş boru hatları),
- b) Fıskıran akışkandan kalan çökeltiler (kuyular, ayırıcılar, iki fazlı boru hatları)
- c) Buhar taşınması sonucunda kalan çökeltiler (türbinler, buhar boru hatları).

Belirtilen bu çökelti türlerinden 1. ve 3. türdekiler anlaşılması en kolay olanlardır, fakat birçok kabuklaşma sorunu 2. tür çökeltilerden kaynaklanmaktadır.

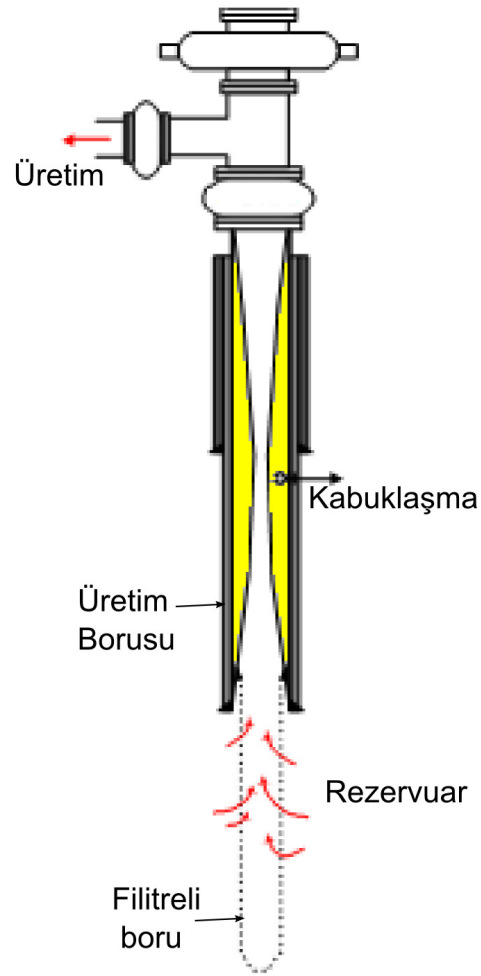
a) Tek fazlı bir akışkandan katı maddelerin çökertilmesi uzun yıllardan günümüze kadar araştırılmıştır. Akışkan bulunduğu faza göre aşırı doymuş halde bulunduğu çökeltir. Çekirdekleşme ve birikimin kinetiği; aşırı doygunluk derecesine, basınca, sıcaklığa ve bazı elementlerin bulunmasından kaynaklanan katalitik ve tutucu etkilere bağlıdır.

b) Fıskıran akışkandan kalan çökeltiler, kabuklaşmanın esas nedeni olmasına karşın bu durumdaki mekanizma çok az anlaşılmaktadır. Fıskırma, basınç düşmesiyle veya türbülanslı akış nedeniyle başlar ve kalsit kabuklaşmasına neden olur. Fıskırma aşağıdaki mekanizmalardan birisi aracılığı ile aşırı doygunluğu artırır:

- Sıvı fazdan buhar kaybı, çözünen maddeleri derişimini attırır,
- Genleşme sırasındaki sıcaklık düşüşü ve
- CO<sub>2</sub> veya H<sub>2</sub>S gibi kararlı gazların kaybı, pH'ı artırır.



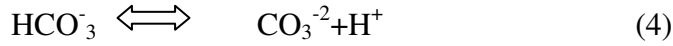
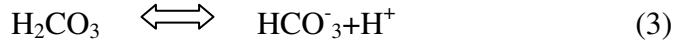
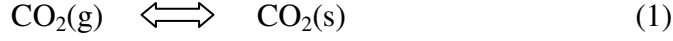
c) Buhar taşınmasından oluşan birikintiler, türbinler ve buharla temas halinde olan diğer birimlerde kabuklaşmaya neden olur. Bu tür kabuklaşma tamamen buharlaşmaya bağlı olduğundan, halit gibi bazı minerallere rastlanabilir.



Şekil 5. 9 Kabuklaşmanın kuyuda yerleşimi(Dünya, 2003).

### 5.2.1 Kalsiyum Karbonat Kabuklaşması

Kalsiyum karbonat çökmesini açıklamak için sudaki karbonat bileşenlerinin davranışlarının bilinmesi gerekir. Genellikle sulu çözeltilerin karbonat sistemleri



şeklinde iyonlara ayrışırlar.

Sistemi oluşturan ana bileşen  $\text{CO}_2$  olduğu için tümü  $\text{CO}_2$  bileşenleri olarak adlandırılır. Görüldüğü gibi suda çözünen  $\text{CO}_2$  karbonik asidi oluşturarak çözeltiliye asidik yapı kazandırmaktadır. Henry Yasası'na göre suda çözünen gaz kısmi basıncıyla doğru orantılı olduğu için  $\text{CO}_2$ 'in kısmi basıncı çözeltilinin pH'ı üzerinde etkin parametre olacaktır. Denklem 3 ve 4'deki tepkimelerde çözeltiliye hem  $\text{H}^+$  iyonu hem de karbonat iyonları verildiği için bu sistem aynı zamanda çözeltilinin bir tampon çözeltilisi gibi davranmasını sağlar.

$\text{CaCO}_3$  çözeltili dengesi ise



şeklinde çözeltilinin bulunduğu koşullara göre gerçekleşir.

Karbonatların çökeliminde doğal olarak en etkin parametre pH'dır. pH'ın yüksek olması çözeltilerdeki karbonat iyonlarının derişimini artıracak için çökelmeyi artırır. Çözünmüş karbondioksit veya karbondioksitin kısmi basıncı çözeltilerde karbonik asit oluşmasına neden olduğu için pH değerini düşürmekte dolayısıyla  $\text{CaCO}_3$  'un çökmesini önlemektedir. Sıcaklık arttıkça çökme eğilimi artmakta buna karşılık kısmi basınç arttıkça çökme eğilimi azalmaktadır. Artan sıcaklık  $\text{CO}_2$ 'in kısmi basıncının çökme eğilimi üzerindeki etkisini azaltmaktadır.



Şekil 5.10 Borularda oluşan kabuklaşma (www.geokem.co.nz)

Çözeltide bulunan diğer iyonlar yani çözeltinin iyonlaşma gücü (ionic strength) çözünürlüğü artırıcı yönde etki etmektedir.

Çökelmeyi etkileyen diğer faktörler kinetik ve hidrodinamik faktörlerdir. Bunlar özellikle termodinamik denge sağlandıktan sonra etkili olurlar. Çökeltilerin bir yerde tutunması, kristal şeklinde büyümesi vs. kinetik etkilere; akışın laminar ve türbülanslı olması veya akışın faz davranışı hidrodinamik etkilere girer. Örneğin  $\text{CaCO}_3$  çökmesi akışın türbülanslı olduğu yerlerde daha fazla gözlenmektedir.

Jeotermal akışkanın kabuklaşma ve korozyona eğilimi pek çok yöntemle belirlenebilir ve uygun malzeme seçimi buna göre yapılır. Çünkü kabuklaşma ve korozyon birbirinden ayrılamaz olaylardır. Bir pilot tesiste jeotermal veya  $\text{CO}_2$  ile  $\text{CaCO}_3$  ile doymuş saf su kullanılarak kabuk oluşum modellenmesi yapılabilir. Korozyon potansiyeli ölçüm yöntemi ile korozyon kaybı ölçümü veya Tafel modeli ile korozyon hızı ölçümü yöntemleri kullanılan metalik malzemelerin korozyon eğilimleri belirlenebilir.

### 5.2.2 Silikat Kabuklaşması

$\text{CaCO}_3$  kabuklaşması orta sıcaklıktaki jeotermal kaynaklarda, üretim kuyularında ve yüksek sıcaklık altında çalışan ekipmanlarda oluşmasına karşın, silis kabuklaşması yüksek sıcaklıktaki kaynaklarda, özellikle geri dönüş hatlarında, ayırıcılarda ve bazen de kuyularda oluşur.

Silisin sulu çözeltilerdeki davranışları ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Jeotermal uygulamalarda önemli olan silis şekilleri, kuvars ve amorf silistir. Genellikle jeotermal kaynaklarda akışkanın kuvars ile akışkan sıcaklığında dengede olduğu varsayılır. Jeotermal uygulamalar için, akışkan içerisinde erimiş olan kuvars miktarı sıcaklıkla artar ve derişimle azalır.  $\text{pH} < 8$  durumunda, kuvars çözünürlüğünün  $\text{pH}$ 'dan bağımsız olduğu dikkate alınabilir.

Soğutulduğu zaman jeotermal akışkan, kuvars bakımından doymuş duruma gelir. Bununla birlikte, kuvarsın kinetiği çok yavaştır ve düşük sıcaklıklardaki silis birikimi, belirli sıcaklıktaki çözünürlüğü kuvarsdan daha fazla olan amorf silis dengesiyle kontrol edilir. Bu nedenle silis birikimi, amorf silis dengesi için gerekli doymuşluk sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda oluşur. Amorf silis çözünürlüğü sıcaklıkla artar, derişimle azalır ve  $\text{pH}$  ile belirgin bir şekilde artar. Amorf silis birikimlerinin oluşma hızı, silisin polimerleşme hızıyla kontrol edilir. Silisin polimerleşme hızı, doymuşluk derecesi ve sıcaklığa bağlıdır. Tepkimeler, klorür ve hidroksitlerle katalizlenen zincirleme tepkimeler şeklinde olabilir ve bu durumda sodyum, potasyum ve sülfat iyonlarının çok az etkisi vardır.

Ortam sıcaklıklarında kabuklaşma oranı çok yavaş olduğundan, kabuklaşmanın oluştuğu bölge aşırı doymuş akışkanın tutunma süresine bağlıdır. Çalışmalar asitleşmenin çökme hızını yavaşlattığını göstermiştir.

### 5.3 Kabuklaşmanın Engellenmesi ve Temizliği

#### 5.3.1 Kalsiyum Karbonat Kabuklaşmasının Önlenmesi

##### 5.3.1.1 Karbondioksit Kısmi Basıncının Kontrolü

Jeotermal akışkanın basıncı ve sıcaklığı, jeotermal kuyudan doğal akışla iletim yerine akışkanın pompalanarak iletilmesiyle kolay bir şekilde düzenlenebilir. Kuyu içi pompası kullanılarak, kuyu içinde fişkırtma sonucunda oluşan basınç ve sıcaklık düşmesi önlenir. Mekanik bir kuyu içi pompası yardımıyla, üretilen akışkan tek fazlı sistem olarak sürdürülebilir. Böylece,  $\text{CaCO}_3$  gibi "basınca duyarlı" kabuklaşma oluşumu önlenir ve  $\text{BaSO}_4$  gibi "sıcaklığa duyarlı" kabuklaşma oluşumu da geciktirilebilir. Bu tip pompaların kullanımı akışkan sıcaklığı ile sınırlı olduğundan, yaklaşık 190 °C'nin üzerindeki kuyularda bu pompaların çalışabileceği garanti edilmemektedir.

Kabuklaşmanın önlenmesinde diğer önemli bir yöntem de, üretilen  $\text{CO}_2$ 'in bir kısmının tekrardan üretim kuyusuna geri gönderilerek, yüksek  $\text{CO}_2$  kısmi basıncının yapay olarak sürdürülmesidir. Bu yöntemle yapılan denemeler ABD'de başarıyla sonuçlanmıştır, ancak sadece düşük  $\text{CO}_2$  içeren akışkanlar için geçerlidir.

##### 5.3.1.2 Akışkan Ph'nın Düzenlenmesi

Kabuklaşmanın önlenmesi için diğer bir yöntem de, jeotermal akışkanın kimyasal bileşimini özellikle pH'ını düzenlemektir. Akışkanın pH'ını  $\text{CaCO}_3$  kabuklaşmasının oluşmayacağı bir değere düşürmek için akışkana HCl eklenmesi teknik olarak mümkün olmakla birlikte, ekonomik bir uygulama değildir. pH'daki çok az bir düşüş için çok miktarda asit eklemek gerekir. İtalya, Torre Alfina'da yapılan denemeler,  $\text{CaCO}_3$  kabuklaşmasını önlemek için litre başına 0.1 N 200 cm<sup>3</sup> HCl gerekli olduğunu göstermiştir.

### 5.3.1.3 Önleyici Kimyasal Katkı Maddeler (İnhibitör) Kullanmak

İnhibitör uygulaması daha güvenli bir teknik olduğu için kullanımını gittikçe artmaktadır. İnhibitörler, kuyunun kabuklaşması esnasında meydana gelen, düşük akışın neden olduğu gelir kaybını azaltırlar.

*İnhibitör Çeşitleri.*  $\text{CaCO}_3$  jeotermal kuyularda görülen en yaygın kabuklaşma biçimidir. Kalsiyum karbonat kabuklaşması iki mekanizma ile kontrol edilebilir. Bunlar, stabilizasyon (duraylılaştırma) ve dağıtımdır. Stabilizasyon mekanizmasının amacı, büyüyen kristalin morfolojisine etki ederek,  $\text{CaCO}_3$  'ün çözünürlüğünü arttırmaktır. Örneğin, bir kristal sabit bir hızla çözünüyor ve sonra tekrar oluşuyorsa, kristalin yapısına ve çözünürlük hızına etki eden herhangi bir müdahale kristalin büyüme hızına etki edecek ve sonuçta çökme gecikecektir.

Dağıtma mekanizması ise, kristalin oluşmasına izin verir ama kristallerin bir araya gelerek büyümelerine engel olur. Bu da elektriksel itme mekanizması ile sağlanır. Oluşan molekül ve etrafında delokalize bir elektrik alan yaratıldığında, bu alan  $\text{CaCO}_3$  arasındaki çekim kuvvetlerini minimuma indirerek molekülün büyümesini sınıflandırır.

Organofosfanat bileşikleri, polimer ve polifosfanatlar gibi çeşitli kimyasal maddeler, kristalin yapısını ve kalsiyum karbonatın çözünürlüğünü modifiye edebilirler. Fakat, bu üç kimyasal maddenin de fonksiyonları farklı farklıdır. Bu tür uygulamalar için, yüksek sıcaklıkta kabuk kontrolünü içeren, bir program gerekmektedir.

Organofosfat bileşikleri,  $\text{CaCO}_3$  kristallerini modifiye veya stabilize etme yeteneği açısından mükemmel inhibitörlerdir. Fakat bu bileşikler yüksek sıcaklıkta fosfonata indirgenirler. Fosfonat ta kalsiyum ile birleşerek kalsiyum fosfonat kabuklaşmasına neden olur. Eklenen organofosfonat kabuklaşmayı kontrol etmekten çok, problemleri çoğaltır. Vetter (1979), Imperial County, Kaliforniya'da bulunan East Mesa jeotermal alanında,  $\text{CaCO}_3$  kabuklaşmasını kontrol amacıyla organofosfat kullanımının, yalancı kabuklaşmaya (pseudo scaling) neden olduğunu belirtmiştir.

Bu sebeple, reenjeksiyon tabakalarında tıkanmalara neden olabilmelerinden dolayı organofosfatların kullanımı sınırlıdır. Ancak, bu sınır sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir.

Polimerler, kristalin büyümesine karşı, stabilizasyon mekanizması ile etki gösterirler. Kristalin büyümesi çok özel geometrik yapıya bağlı olduğu için,  $\text{CaCO}_3$ 'ün yapısında meydana gelen bükülme ve modifikasyon kristalin büyümesini önler. Kabuklaşmanın önlenmesinde bu prensipten faydalanılmaktadır. Bu polimerin aktivitesi, birincil olarak molekül ağırlığına ve molekül ağırlığının dağılımına bağlıdır. İkincil olarak da, moleküldeki fonksiyonel grupların sayısına bağlıdır. Bu yüzden, sadece çok özel molekül ağırlığına sahip polimerler kabuklaşma kontrolünde başarılı olabildikleri için, polimerizasyon teknolojisi sürekli izlenmelidir.

Tablo 5.4  $\text{CaCO}_3$  kabuklaşmasını önleyici katkı maddeleri (Corsi ve ark., 1985)

<b>Katkı Maddeleri</b>	<b>Kimyasal Yapısı</b>
Dequest 2060	Organik fosfanik asit
Dequest 2066	Organik fosfanik asit
Ecostabil 4001	Organik fosfanik asit
Ecostabil 4004	Organik fosfanik asit
Ecostabil EP/85	Organik fosfanik asit
Ecopol4014	Poliakrilat
Ecopol 4022	Poliakrilat
Nadar 4053	Organik fosfanik asit
Nadar 4054	Organik fosfanik asit
Flocon 247	Polikarboksilik asit
Chelone DPNA	Organik fosfanik asit
Sequion 40 Na 32	Organik fosfanik asit
Procedor ST90	Karışık

Tablo 5.5 Kurşunlu jeotermal kuyularında kullanılan bazı inhibitörler

<b>Ticari İsmi</b>	<b>İçerik</b>	<b>pH</b>
Mexel Geoform 700C	polyaminophosphonate	7,5
Fanquest HEDP 60	Etidronic Acid	<2
P3 ferrofos 8402	Phosphonic Acid	2,5
WET-Treat 1039	Fosfonat ve polikarboksilat	<2

Kimyasal katkı maddeleri kullanılarak günümüze kadar yapılan çalışmalardan belirlenen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

-Ergimiş tuzlar ve bazı eser elementlerin (Mn, Fe, As) bulunması ürün etkinliğini etkilememektedir.

- Kimyasal katkı maddesi, çekirdekleşmenin başlamış olduğu iki fazlı bir akışkana eklendiğinde etkili olmaktadır.

-Fosfanatların etkinliği, 180-200 °C'ye kadar sürmektedir. Bazı sonuçlar 210 °C'den sonra bozulma olduğunu göstermiştir ve bu nedenle katkı maddesinden aynı etkinin sağlanması için iki misli derişim kullanılmalıdır.

-Kimyasal katkı maddelerinin etkinliği bir kaç saat sürebilir, bu nedenle geri besleme sorun oluşmaksızın devam edebilir.



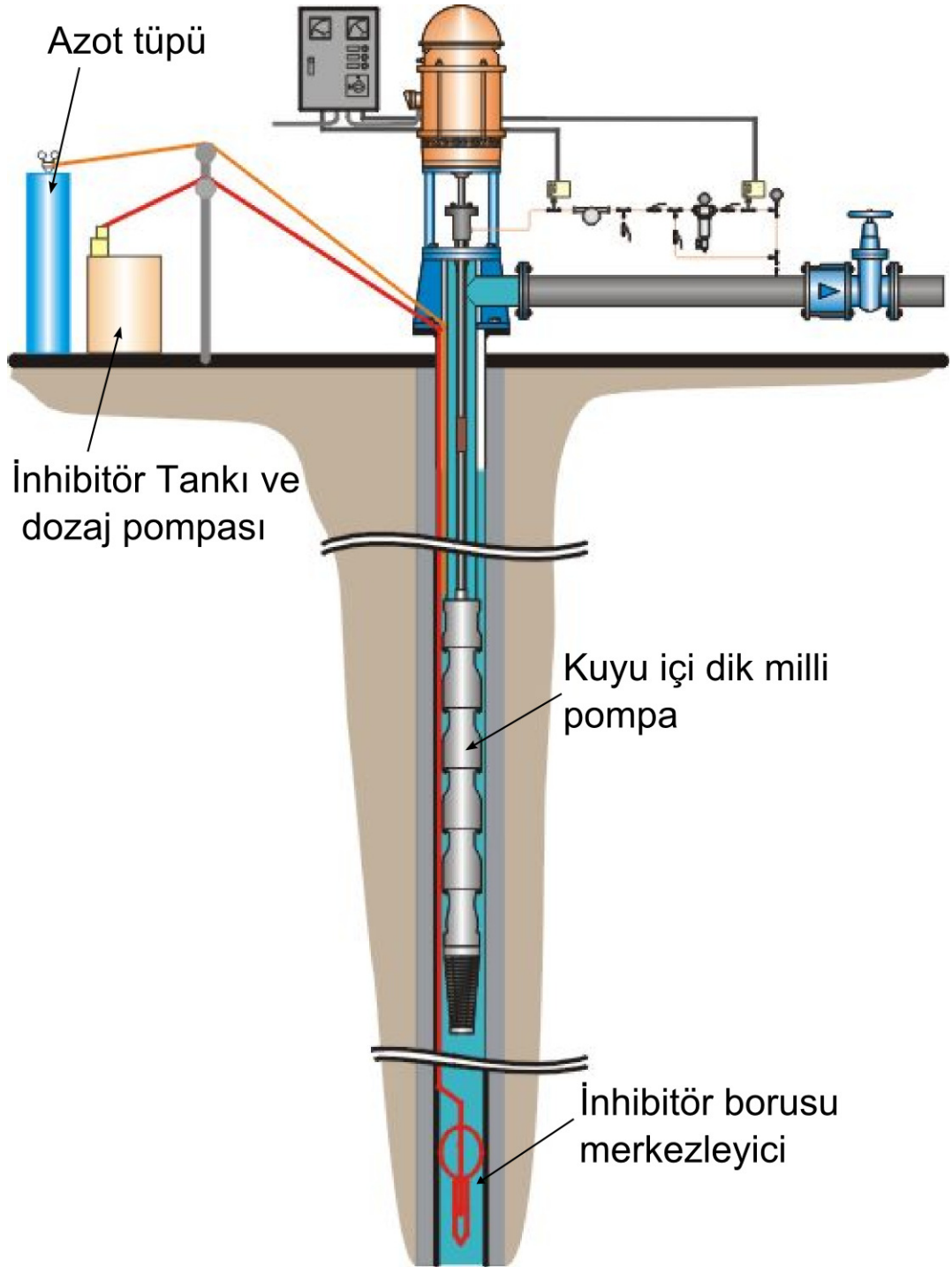
Şekil 5.11 İnhibitör dozaj pompası ve inhibitör tankı



*İnhibitör ve Seviye Boruları.* Akıtma başlığının yanında kuyu içine uzanan iki adet ince boru bulunmaktadır. 316 paslanmaz çelikten dikişsiz çelik çekme borular kalın etli Ø8mm iç çapı yaklaşık 4.5 mm olan makaraya sarılı olarak gelen borulardır. Bu boruların birinden pompanın çok altındaki bir seviyeye (pompanın yaklaşık 50m altına) kuyu ekseninde merkezlenmiş bir difüzörden inhibitör enjekte edilmelidir. Bu sayede enjekte edilen inhibitör yeterince karışarak pompaya girecek ve istenen sonuç elde edilecektir. İkinci borudan ise kuyu içindeki statik seviyeler devamlı kontrol edilerek kayıtları tutulmalıdır. Azotla annülüsü basınçlandırılan kuyularda her iki görev uygun bir manifold sayesinde tek inhibitör borusu ile de yapılabilir(Aksoy, 2007).



Şekil 5.12 İnhibitör dozaj sistemi ve kuyu başı donanımı



Şekil 5.13 İnhibitör Dozaj Sistemi ve kuyu başı donanımı

### 5.3.2 Silis Kabuklaşmasının Önlenmesi

Silis kabuklaşmasının oluşumu dikkate alındığında, kabuklaşma oranını azaltmak veya ortadan kaldırmak için esas olarak çözeltinin pH'ını değiştirmek yeterli olmaktadır. Bu yöntem, jeotermal akışkana HCl veya NaOH eklenerek Meksika ve ABD'de denenmiştir. Her iki durumda da ümit verici sonuçlar elde edilmiş olmakla birlikte, kullanılan kimyasalların fiyatları çok yüksek olduğundan bu konuda yeni yaklaşımların denenmesi gereklidir.

Basınç, sıcaklık ve akış hızı düzenlenerek ekipman içerisinde oluşan silis kabuklarını hareket ettirme olanağı vardır, ancak bu uygulamalar kabuklaşma sorununu tamamen ortadan kaldırmamaktadır.

### 5.3.3 Kabuklaşmanın Önlenmesi İçin Diğer Yöntemler

Kabuklaşma sorununu gidermek için kimyasal katkı maddelerinin etkili olmadığı durumlarda, farklı yöntemler denenebilir. Kabuklaşma oluşumunu önlemek yerine, üretim kuyuları başında ve enjeksiyon kuyuları arasında sıcaklığı ve basıncı dikkatli bir şekilde kademeli olarak azaltarak özel olarak tasarlanmış bir ekipman içerisinde kabuk birikimine olanak sağlanabilir. Bu yöntem için, toplam basınç ve istenilen basınç düşmesine bağlı olarak bir çok ekipman kullanılabilir. Örneğin, kabuklaşma fışkırtma tankında (flash-tank) oluşuyorsa özel bir fışkırtma kristallendirici kullanılabilir

Bu kristallendiricinin çalışma ilkesi, çözeltinin kabuklaşmaya uygun olmayan ortamdan kabuklaşma için uygun olan ortama ani olarak gönderilmesi ve tankın iç duvarları yerine yeterli miktarda eklenen kristal çekirdeği üzerinde katı maddelerin çökmesinin sağlanmasıdır. Bu nedenle, sıvı içerisindeki duvarlar üzerinde katı madde birikiminin önlenmesi için eklenen çekirdeklerle geniş bir yüzey alanı oluşturulmalıdır. Duvarlar üzerindeki kabuklaşma, duvar tarafından oluşturulan değişik bir çekirdekten veya eklenen çekirdeklerden bazılarının duvarlara yapışmasından kaynaklanabilir.

Bununla birlikte, bu yaklaşım akışkan geri dönüş borularında sıcaklık azalmasından kaynaklanan silis parçacıklarına bir çözüm sağlamamaktadır. Bu gibi durumlarda; birikintilerin yüzdürülmesi, filtrasyon veya siklonla ayırma gibi geleneksel su arıtma yöntemleri uygulanabilir. Jeotermal uygulamalardaki yüksek akış hızları, bu yöntemlerin kullanılmasında arıtma tesislerinin büyüklüğü bakımından bazı sorunlar yaratabilir.

### 5.3.4 Kuyularda Kabuklaşmanın Temizlenmesi

#### 5.3.4.1 Mekanik Temizleme

Kuyu içinde oluşan kabuklaşma kuyudan akışkan üretimini azaltabilir veya tamamen durdurabilir. Bu durumda kuyu içindeki kabuklaşmanın temizlenmesi için sondaj makinesi ile mekanik temizleme işlemi uygulanması gerekir.

Mekanik temizlik işlemi bir sondaj makinesinin matkap ile kabukları kırması ile gerçekleştirilir. Bu işlem esnasında kuyu artezyenik ise üretim halinde olabilir veya sondaj çamuru yapılarak dolaşım ile gerçekleştirilebilir.



Şekil 5.14 K2 Kuyusunda mekanik temizleme ve asitleme işlemi

#### 5.3.4.2 Asitleme İşlemi:

Asitleme işlemi için Hidroklorik asit (HCl) kullanılır. Yalnız pompa filtre ve boru gibi metal aksama tesiri önlenmesi bakımından koruyucu ile kullanılır. Şayet kuyudaki kabuklaşma karbonat kabuklanması ise hidroklorik (HCl) asit vermek suretiyle çok iyi netice alınır asitin eritip kopardığı maddeler pompaj vasıtasıyla kuyudan tamamen atılmak suretiyle kuyu temizlenir. En iyi netice alabilmek için her şeyi en iyi şekilde yapmak lâzımdır. Bunun için gerek ön inkişaf ve gerekse asitlemeden sonra yapılacak kuyu temizliğinin çok iyi yapılması lâzımdır.

Hidroklorik asit demir ve manganez hidroksit ile demir ve manganez hidroksit ile demir ve mangan oksitler içinde oldukça eritici bir özelliğe sahiptir. Bilhassa demir hidroksitlerin temizlenmesinde kullanılan asitin kuvveti başlangıç ile sonradan yapılacak pompaj zamanına kadar aynı tutulmalıdır bu iş, için stabilizer olarak Roşel tuzları muvaffakiyetle kullanılmaktadır. Piyasada hidroklorik asit 3 ayrı asit derecesinde bulunur en iyi netice derecesi en kuvvetli olanı kullanmakta elde edilir en tesirlisi % 27,99 asit derecesinde olanıdır. Bu genellikle 6 kg.lık şişelerde veya plastik kaplar içerisinde satılmaktadır. Asitin kuyu içerisindeki ishale aksamına vana, boru, filtre vb tesir etmemesi için koruyucu kullanılır bu da genellikle knoks jelatin ile karıştırılır. Kuyuda kullanılacak asit yukarıda da söylendiği gibi en yüksek dereceli olması daima tercihtir. Kullanılacak miktar ise kuyuda filtre içinde bulunan su miktarının hacim olarak 1 ½ veya 2 misli asit kullanılır. Bu hesaplanan miktar asit kuyuya filtre tabanından başlanmak üzere yavaş yavaş filtre tavanına yükseltilen 3/4" ve 1' inçlik asitleme borusu ile teşhiz içinden verilir. Asit sudan daha ağır olduğundan filtre içinde suyun yerini asit alır. Fakat bu esnada da su ile karışan asit derişik hale gelmiştir bu esnada sondaj makinesinden istifade ederek asit karıştırılır karıştırma işleminin hemen başlaması lazımdır. Asit tij içerisinde verilirse borunun indirilip çıkarılması karıştırma gibi işlerde büyük kolaylık sağlanmış olur. Karıştırma en az 2 veya 3 saat yapılmalıdır. Sonra pompalama veya bailer'le temizleme yapılmalıdır. Temizleme işlemi yeterli derecede temiz su gelmeye başlayıncaya kadar devam etmelidir. Bu pompaj neticesinde yapılan ilk asit işleminin kuyu verimine tesirinin ne olduğu görülür buna göre işleme 2 veya 3 sefer daha devam edilir her seferde bir önceki seferden daha fazla bir süre filtre içindeki asidin

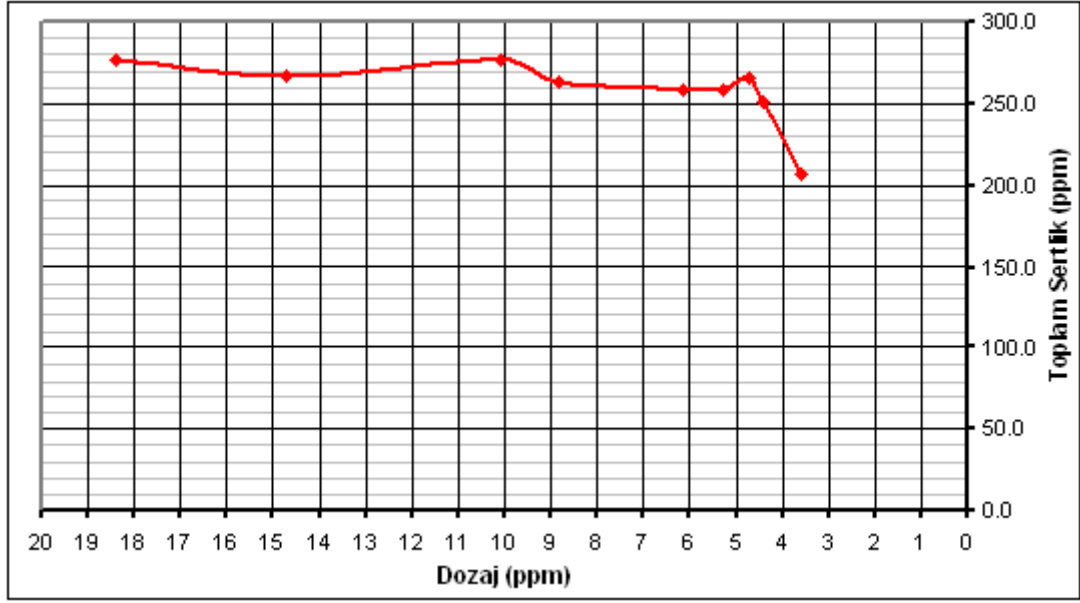
karıştırılması lâzımdır. En iyi varyasyon ise bir asitleme bir klorinleme ardalı olarak yapılması ile elde edilir asit kalsiyum ve magnezyum karbonatı çözer ise demir bakterilerini temizler.

#### **5.4 İnhibitör Testleri:**

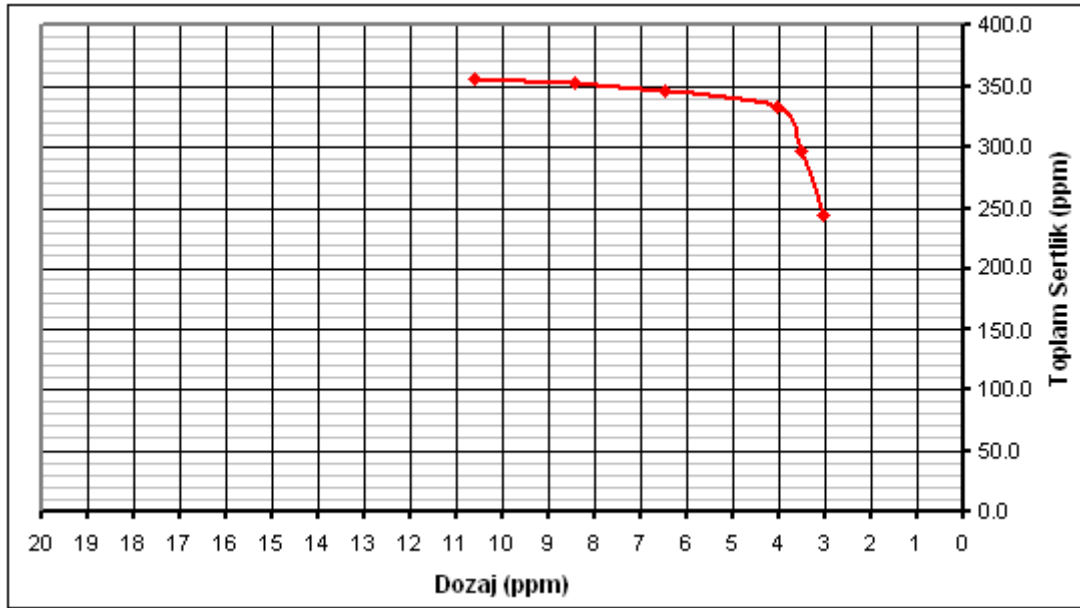
Kurşunlu kuyularda inhibitör dozaj miktarlarının tesbit edilmesi amacıyla bazı testler gerçekleştirilmiştir. Bu testlerdeki ana amaç her kuyu için verilen inhibitör dozajına karşılık toplam sertlik değerlerini saptamaktır. İnhibitörün görevi jeotermal suyun kuyudan yukarıya taşınması esnasında kabuklaşma oluşturan mineralleri askıda tutarak kuyu cidarlarına ve borulara yapışmasını, çökmesini engellemektir. Testler tahmini olarak kuyuya en yüksek inhibitör derişimini sağlayacak şekilde inhibitör enjeksiyonu ile başlar. Kuyuya yaklaşık 1 saat boyunca aynı derişimde inhibitör basıldıktan sonra sıcak sudan numune alınarak toplam sertlik ve fosfat analizi yapılır. İnhibitör enjeksiyon debisi yani konsantrasyonu düşürülerek bu işleme devam edilir. Elde edilen değerler toplam sertlik – fosfat derişimi olarak grafiğe döküldüğünde bir noktadan sonra fosfat derişiminin azalması ile toplam sertliğin düşmeye başladığı gözlenir.

Yüksek derişimde inhibitör tüm kabuklaştırıcı elementleri bağlar ve artan fosfat suda kalır. Toplam sertliğin düşmesi inhibitörün sudaki tüm kabuk yapıcı elementleri bağlayamadığı, dolayısıyla elementlerin kuyu içinde çökeldeği anlamını taşır. İnhibitör derişimi düştükçe toplam sertlik de düşmeye devam eder. Bu kırılma noktası minimum inhibitör dozaj miktarı olarak kayıt edilir (Şekil 5.15 ve Şekil 5.16).

Jeotermal kuyu işletmelerinde inhibitör miktarları üretime bağlı olarak çok büyük miktarlara ulaşabilir ve ekonomik açıdan işletmeye bir yük oluşturur. İşletmelerin en ekonomik ve güvenli çözümü geliştirmeleri gerekmektedir. İşletmenin faaliyetlerini aksatmadan inhibitör dozajlarını minimum seviyede tutmak önemlidir. Dozaj miktarları test ile belirlenen derişimlerden her zaman bir miktar yüksek tutulur. Böylece kuyu kimyasında veya debisinde, meydana gelebilecek değişimlere karşı tolerans verilir.



Şekil 5.15 K11 kuyusunda gerçekleştirilen inhibitör test grafiği



Şekil 5.16 K5 kuyusunda gerçekleştirilen inhibitör test grafiği

Şekil 5.9'da görüldüğü gibi K11 kuyusunda inhibitör dozajı yaklaşık 4.7–5 ppm civarına düştüğünde toplam sertlik düşüşe geçmiştir. Bu kuyu için inhibitör dozaj miktarı 7 ppm olarak ayarlanmıştır.

Şekil 5.10'da K5 kuyusunda inhibitör dozajı 4 ppm'e düştüğünde toplam sertlik düşmüştür. Bu kuyu için inhibitör dozaj miktarı 6 ppm olarak belirlenmiştir.



Kuyulardan alınan inhibitörlü ve inhibitörsüz numunelerin analizler karşılaştırıldığında genel olarak inhibitörlü numunelerde  $\text{HCO}_3$ , Ca, Cl, K, Mg ve özellikle P derişimlerinde artış gözlenmiştir. Ancak doğal olarak analizlerin bağlanmış kabuk yapıcı mineralleri de bağlanmamış olanlarla birlikte içerdiği için suyun kabuklaşma potansiyeli konusunda hesaplamalarda ayırt edici bir veri saptanması mümkün olmamıştır. Phreeqc türleştirme programı ile kabuk yapıcı minerallerin doygunluk indeksleri tüm sularda doğal olarak aşırı doygun olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5,5’de Kurşunlu jeotermal kuyularında maksimum üretim miktarları ve bu kuyulara yapılmış olan inhibitör enjeksiyonlarının değerleri verilmiş, dozaj miktarları debiye göre ppm olarak hesaplanmış ve basılan inhibitör miktarlarının sağlanması yapılmıştır.

Tablo 5.5 Kurşunlu jeotermal kuyularındaki üretim miktarı ve ortalama inhibitör dozaj miktarları.

<b>SALİHLİ BELEDİYESİ</b>	<b>Kuyu 2</b>	<b>Kuyu 5</b>	<b>Kuyu 11</b>	<b>Kuyu 12</b>	<b>Kuyu 15</b>	<b>Kuyu 18</b>	<b>Kuyu 19</b>
<b>Debi (lt/sn)</b>	13	45	43	12	34	20	16
<b>Debi (ton/gün)</b>	1,123	3,888	3,715	1,037	2,938	1,728	1,382
<b>Sıcaklık ( C)</b>	85	73	82	76	83	92	66
<b>Dozaj Derinliği(m)</b>	52	100	120	100	120	64	110
<b>Dozaj Miktarı (cm/gün)</b>	19	19	19	14	19	18	17
<b>Dozaj Miktarı (Kg/gün)</b>	26.1	26.1	26.1	19.3	26.1	24.8	23.4
<b>Dozaj (ppm)</b>	<b>23.26</b>	<b>6.72</b>	<b>7.03</b>	<b>18.57</b>	<b>8.89</b>	<b>14.32</b>	<b>16.91</b>

Tablo 5.5’de kuyuların lt/sn cinsinden üretim miktarları jeotermal sistemden ölçülmüş, bunlar ton/gün olarak hesaplanmıştır. Ayrıca kuyu üretim sıcaklıkları, inhibitörün kuyu içinde kaç metre derine dozlandığı ve inhibitör tanklarından seviye ölçümleri sonucu ölçülen günlük inhibitör tüketimleri cm/gün olarak kayıt edilmiştir. Üretim debileri ve günlük harcanan inhibitör miktarlarından ortalama günlük dozaj miktarları ppm olarak hesaplanmıştır.



## BÖLÜM ALTI

### SONUÇLAR

Kabuklaşmanın önlenmesi için uygulanacak yöntemler, jeotermal bölgenin kendine özgü özelliklerine bağlı olarak belirlenmelidir. Jeotermal akışkanın kimyasal içeriğinin bilinmesi, bu ortamlarda kullanılacak malzemelerin nasıl davranış göstereceklerinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Bu nedenle, jeotermal kaynakların işletilmeye başlatılmadan önce kimyasal analizlerinin yapılması kullanılacak malzemelerin seçimi ve uygulamanın uzun ömürlü olması bakımından büyük önem taşır.

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sular örneklenerek kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Sıcak suların Na-HCO<sub>3</sub>'lü sular sınıfındadır.

Kuyulardan alınan inhibitörlü ve inhibitörsüz numunelerin analizler karşılaştırıldığında genel olarak inhibitörlü numunelerde HCO<sub>3</sub>, Ca, Cl, K, Mg ve özellikle P derişimlerinde artış gözlenmiştir.

İnceleme alanındaki sıcak suların pH değerleri ise 7,2-7,9 arasında değişmekte olup bazik karakterdedir. İnceleme alanındaki sıcak sularda EC değerleri düşüktür. EC sınıflamasına göre şüpheli sular sınıfına girmektedir. EC değerleri 2010-2370 mikromho/cm arasında değişmektedir.

Jeotermal kuyu işletmelerinde inhibitör miktarları üretime bağlı olarak çok büyük miktarlara ulaşabilir ve ekonomik açıdan işletmeye bir yük oluşturur. İşletmelerin en ekonomik ve tabiki güvenli çözümü geliştirmeleri gerekmektedir. İşletmenin faaliyetlerini aksatmadan inhibitör dozajlarını minimum seviyede tutmak önemlidir.

Suların tamamı dolomit, kalsit, aragonit minerallerine doygun olup, anhidrite doygun değildir. Siderit için 100°C-150°C'nin altında çözünür iken 100°C-150°C'nin üzerinde doygunluğu artmaktadır. Kalsedon ve kuvars için ise 100°C-150°C'nin altında doygun olup, 100°C-150°C'nin üzerinde ise çözünür.

Kuyularda yapılan inhibitör testinde K5 kuyusunda 6ppm, K11 kuyusunda yapılan 7ppm inhibitör dozajı optimum dozaj olarak belirlenmiştir.

Phreeqc programı kullanılarak suların çökeltebilecekleri kalsit miktarları mol/lit olarak elde edilmiş, üretim debileri ile yorumlanarak çöken kalsit miktarı, çökelme hızı ve günde çökelen kalsit miktarları bulunmuştur. Buna göre en hızlı kabuklaşma K5 kuyusunda, en yavaş K12 kuyusunda olacağı tesbit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Aksoy, N. (2004). K5 ve K7 kuyuları pompa testleri, Salihli Belediyesi özel rapor.
- Aksoy, N. (2007). *Jeotermal sahalarda kabuklaşma ve çözüm yöntemleri*, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, 143-153, İzmir, 2007.
- Alvis-Isidro R., Urbino G.A. ve Pang Z. (2000). Results of the 2000 IAEA interlaboratory comparison of geothermal water chemistry. *Report, IAEA*, 40p.
- Alvis-Isidro R., Urbino, G.A. ve Gerardo-Abaya J. (1999). 1999 İnterlaboratory comparison of geothermal water chemistry under iaea regional project RAS/8/075. *Preliminary Report, IAEA*, 39p.
- Angelier, J., Dumont, J.F., Karamanderesi, I.H., Poisson, A., Şimşek, Ş. ve Uysal, Ş., 1981, Analyses of fault mechanisms and expansion of southwestern Anatolia since the late Miocene: *Tectonophysics*, 79, 11-19.
- Armijo, R. Lyon-Caen, H., Papanastassiou, D. (1992). East-West extension and holocene normal-fault scarps in the hellenic arc. *Geology*, 20, 491-494.
- Arpat, E. ve Bingöl, E., 1969, Ege bölgesi graben sisteminin gelişimi üzerine düşünceler: *MTA Enst. Derg.*, 73,1-9.
- APHA-AWWA-WPCF. (1985). *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (Sixteenth edition), Copyright by American Public Health Association; Washington, 1269p.
- Armijo, R. Lyon-Caen, H., Papanastassiou, D. (1992). East-West extension and holocene normal-fault scarps in the hellenic arc. *Geology*, 20, 491-494.
- Back, W. (1966). Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of atlantic coastal plain. *U.S. Geol. Survey Professional paper*, 498-A, 42p.

- Badruk, M. (2001). *Jeotermal enerji uygulamalarında çevre sorunları, jeotermal enerji, doğrudan ısıtma sistemleri temelleri ve tasarımı seminer kitabı*, Editör: Prof. Dr. Macit Toksoy, 259-271, İzmir: TMMOB Makine Mühendisleri Odası, MMO Yayın No: MMO/2001/270.
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview, renewable and sustainable energy reviews, *Pergamon*, ed: 3–65.
- Başkan, M. E. ve Canik, B. (1983). IAH map of mineral and thermal waters of Turkey Aegean Region: *MTA No. 189*, Ankara, 80 p.
- Bozkurt, E. (2000). Timing of extension on the Büyük Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications, in: E. Bozkurt, J.A. Winchester, J.D.A. Piper (Eds.), *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, vol. 173, *Geological Society of London Special Publication*, 73, 385–403.
- Bozkurt, E. (2001a). Neotectonics of Turkey, a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Bozkurt, E. (2001b). Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 728-44.
- Bozkurt, E. ve Oberhänsli, R. (2001). Menderes Massif (western Turkey): Structural, metamorphic and magmatic evolution. *International Journal of Earth Sciences, Special Issue*, 89, 679-882.
- Bozkurt, E. ve Sözbilir, H. (2004). Geology of the Gediz Graben: new field evidence and tectonic significance. *Geological Magazine*, 141, 63-79.
- Doglioni, Innocenti, Manetti, Agostini, ve Savaşçın, (2003); Dumont, J.F., Uysal, Ş. ve Karamanderesi, I.H., (1979), Güney batı Anadolu'daki grabenlerin oluşumu: *MTA Enst. Derg.*, 92, 7 - 17.

- Emre, T., (1990a), *Sart Mustafa (Salihli) - Adala – Dereköy (Alaşehir) arasındaki jeolojisi ve Gediz Grabeni'nin yapısına bir yaklaşım: TÜBİTAK, TBAG - 732 / YBAG - 0001 nolu proje*, 65 s. (yayınlanmamış).
- Emre, T. and Sözbilir, H., (1995), Field Evidence for Metamorphic Core Complex, Detachment Faulting and Accomodation Faults in the Gediz and Büyük Menderes Grabens, Western Anatolia, Proc. of International Earth Sciences Colloquiou on the Aegean Region
- Emre, T., (1996a), Gediz Grabeni'nin tektonik evrimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C.39, s.2, 1-18
- Emre T., (1996b). Gediz Grabeni'nin jeolojisi ve tektonigi. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, pp.171-185.
- Erden, F., (1965), Salihli-Manisa Gravite Etüd, MTA Rap.3931
- Gülay, A., (1970), Manisa Salihli Caferbey-Köseli-Trablı-Kurşunlu-Allahdyen-Gökköy-Çamur Banyoları-Üçtepeler Yöreleri Rezistivite Raporu, MTA Rap. 4853
- Gülgör, A., (2005), Salihli Kurşunlu Jeotermal Sahası K9, K10, K11 ve K12 Kuyuları Test Raporu
- Güneş, C.,(2006). *Gediz Kaplıcaları'nın (Kütahya) Hidrojeolojik Ve Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi*, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Gürer, A., Pinçe, A., Gürer, Ö.F and İlkışık, O.M., (2002), Resistivity Distribution oin the Gediz Graben and its Implication for Crustal Structure, *Turkish J. of Earth Sci.*, vol11, 15-25
- Havur, E. ve Ünal, A., (1971), Alaşehir Salihli Bölgesinin Jeotermik Enerji Yönünden Detaylı Etüdü, MTA Rap 4678

- Hetzl, R., Passchier, C.W., Ring, U., ve Dora, O.Ö., (1995), Bivergent extension in orogenic belts: The Menderes masif (southwestern Turkey), *Geology*, v.23, no.5, 455-458
- Jackson, J. ve McKenzie, D. (1984). Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77, 185-264.
- Taymaz, T., Jackson, J., McKenzie, D., (1991). Active Tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophys. J. Inst.*, 106, 433-490.
- Jolivet, L., Famine, V., Mehl, C., Parra, T., Auburg, C., Hebert, R. and Philippot, P., (2004), Strain localization during crustal-scale boudinage to form extensional metamorphic domes in the Aegean Sea, *GSA Special Paper* 380
- Karamandere, İ.H., (1971), Turgutlu-Salihli (Manisa İli) Arası Gediz Nehri Güneyinin Jeoloji Hidrojeoloji ve Jeotermik Etüdüne Ait Rapor, MTA Rap. no 4684
- Karamandere, İ.H., (1981), Alaşehir-Turgutlu-Salihli Yöresi Jeoloji Hartası, MTA Arşivi 38417, yayınlanmamış, raporsuz
- Karamandere İ.H, Yılmaz, S, (1982), Gediz vadisinde genç tektonik olaylar ve buna bağlı jeotermal enerji olanakları, *Türkiye Jeoloji Kurultayı, bildiri özetleri*, s, 66.
- Koçyiğit, A., (1984), Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim: *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 27, 1-16.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. Ve Bozkurt, E., (1999), Evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in western Turkey, *Journal. of Geological Society London*, 156, 605–616

- McKenzie, D., (1978), Active tectonics of the Alpine - Himalayan belt: The Aegean Sea and surrounding regions: *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 55, 217 - 254.
- Okay, A., (2001), Map of Menderes Massif,  
[http://atlas.cc.itu.edu.tr/~okay/diagrams\\_%20maps/MapMenderesMassif.jpg](http://atlas.cc.itu.edu.tr/~okay/diagrams_%20maps/MapMenderesMassif.jpg),
- Okay, A., Siyako, M., Birkan, K. (1991). Geology and evolution of the Biga Peninsula, Northwest Turkey, *Bulletin of the Technical University, İstanbul*, 44, s. 155-219.
- Öngür, T. (2005). *Jeotermal Enerji seminer Kitabı*, TMMOB Makine Müh. Odası, 7. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Oda Yayın No: E/2005/393-2 ISBN 975-95-968-0, Jeotermal Sahalarda Jeolojik ve Jeofizik Arama İlke ve Staratejileri s.21-40.
- Öngür, T.(2007). Salihli Jeotermal Alanı, Salihli Belediyesi Özel Çalışma.
- Palmer, A. N. (1984). Recent trends on karst geomorphology. *Journal of Geochemical Education* 32. s.247-253.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., (1999). User's Guide to PHREEQC (Version 2.8) Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations.
- Patton, S., (1992), Active normal faulting, drainage patterns and sedimentation in southwestern Turkey, *Journal of the Geological Soc. of London*, 149, 1031-1044
- Purvis, M. ve Robertson, A.H.F. (2004). A pulsed extension model for the Neogene–Recent E–W-trending Alaşehir Graben and the NE–SW-trending Selendi and Gördes Basins, western Turkey, *Tectonophysics*, 391, 171–201.
- Roberts, S.C., (1988), *Active normal faulting in Central Greece and Western Turkey*, PhD Thesis, University of Cambridge

- Brown, K. Ve Brown J., (13 Ocak 2009), Mineral Scaling, [www.geokem.co.nz/capab\\_scaling.html](http://www.geokem.co.nz/capab_scaling.html)
- Seyitoğlu, G. ve Scott, B.C., (1991), Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey: *Geological Magazine*, 128, 155 - 166.
- Seyitoğlu, G. ve Scott, B.C., (1992), The age of the Büyük Menderes graben (West Turkey) and its tectonic implications: *Geological Magazine*, 129, 239 - 242.
- Seyitoğlu, G. ve Scott, B.C., (1996), The age of the Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications: *Geological Journal*, 31, 1-11.
- Şengör, A.M.C., (1987), Cross - faults and differential stretching of hanging walls in regions of low - angle normal faulting: examples from western Turkey, in Coward, M.P., Dewey, J.F., and Hancock, P., eds., Continental extensional tectonics: *Geological Society*, London, Special Publication, 28, 575 - 589.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., (1981), Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach: *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A.M.C, Satır, M. ve Akkök, R., (1984), Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey: Implications for tectonic evolution and evidence for Pan - African basement in Turkey: *Tectonics*, 3, 693 - 707.
- Tarcan, G., Filiz, Ş. And Gemici, Ü., (2000), Geology and Geochemistry of the Salihli Geothermal Fields, Turkey, Proc. of WGC 2000, pp 1829-1834
- Temimhan, S., (2005), *Salihli Kurşunlu Kaplıcaları ve Civarının jeotermal Potansiyelinin Araştırılması*, DEÜ fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- United Nations, (1974), Mineral exploration in two areas: Technical report 4, DP / DN / TUR -72-004/4, Turkey.



Ürgün, S., (1968), Salihli Bölgesindeki Kaplıcaların Hidrojeolojik ve Jeotermik Enerji Yönünden Etüdü, MTA Rap. 1777

Vetter O.J., Campbell D.A., (1979), Scale Inhibition in Geothermal Operations Experiments with Dequest 2060 Phosphonate in Republic's East Mesa Field, Energy Citations Database

Yağmurlu, F., (1987), Salihli güneyinde üste doğru kabalaşan neojen yaşlı alüvyonel yelpaze çökeller ve Gediz Grabeni'nin tektonosedimanter gelişimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C.30, syf. 33-40

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

Yılmaz, Y., (2002), Tectonic Evolution of Western Anatolian Extensional Province During the Neogene and Quaternary,  
[http://gsa.confex.com/gsa/2002AM/finalprogram/abstract\\_39303.htm](http://gsa.confex.com/gsa/2002AM/finalprogram/abstract_39303.htm)