

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ILICABAŞI JEOTERMAL ALANININ (AYDIN)
HİDROJEOLOJİSİ

Özay YURTTAŞ

Aralık, 2008
İZMİR

**ILICABAŞI JEOTERMAL ALANININ (AYDIN)
HİDROJEOLJİSİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı**

Özay YURTTAŞ

Aralık, 2008

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖZAY YURTTAŞ, tarafından DOÇ. DR. ÜNSAL GEMİCİ yönetiminde hazırlanan “İLİCABAŞI JEOTERMAL ALANININ (AYDIN) HİDROJEOLOJİSİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ünsal GEMİCİ

Danışman

Prof. Dr. Gültekin TARCAN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mahmut G. DRAHOR

Jüri Üyesi

Prof.Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez Çalışmamı yöneten ve yönlendiren Doç. Dr. Ünsal GEMİCİ'ye, görüşlerinden ve yayınlarından yararlandığım Prof. Dr. Gültekin TARCAN'a, laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Cihan GÜNEŐ'e, arazi çalışmalarım sırasında bana çok fazla yardımı olan Bilgisayar Teknolojileri öğretmeni arkadaşım Orhan TUTAK'a verdiği teknik destekten dolayı ve bana destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

ILICABAŞI JEOTERMAL ALANININ (AYDIN) HİDROJEOLJİSİ

ÖZ

Aydın – Denizli Karayolu üzerinde Aydın Merkez’de yaklaşık 6 km uzaklıktaki İmamköy’ü de içine alan çalışma alanı Neojen ve Paleozoyik yaşlı birimler bulunmaktadır. İnceleme alanındaki en yaşlı kayalar Paleozoyik yaşlı Metamorfik kayalar (gnays, şist, mermerler, metakuvarsit) oluşturur. Temel Kayalar üzerinde ise uyumsuz olarak kıltaşı, kumtaşı ve çakıltaşı ardalanmasından oluşan ve birbiri ile geçiş gösteren Senozoyik yaşlı kırıntılı tortullar yer alır. Bu birimlerin üstünde Kuvaterner yaşlı alüvyonlar gelmektedir.

İnceleme alanında 3 sıra halinde bulunan faylar KB – GD, D – B ve KD – GB uzanımlıdır. Sahada mevcut olan jeotermal akışkanlar, bu birimlerin oluşturduğu stratigrafik istifte fay boyunca yükselerek yüzeylemektedir. Yüzeiden derinlere doğru süzülen meteorik sular bu hareket esnasında henüz sıcaklıklarını kaybetmemiş volkanik kayalardan geçerken ısınırlar.

İnceleme alanından alınan sıcak ve soğuk su örnekleri üzerinde jeokimyasal deneyler yapılmış olup, suların içerdikleri anyonlar, katyonlar ve eser elementler tespit edilmiştir. Yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmelere göre, sıcak suların, Na-HCO₃-SO₄ ve Ca- Na- MgSO₄-HCO₃’lü ve soğuk suların çoğunluğunun Ca-Mg-SO₄-HCO₃’lü sular sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Yöredeki sıcak sular kaynak ve sondajlardan elde edilmekte olup yüzey sıcaklıkları 34-44 °C arasında değişmektedir. Soğuk suların sıcaklığı ise, ortalama 21 °C’dir. Çeşitli jeotermometre teknikleri ve bunların uygulanabilirlikleri incelenerek, sistemin hazne kaya sıcaklığı 125-150 °C olarak tahmin edilmiştir. Sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan silis-entalpi karışım modeli diyagramı kullanılarak, modeli karışım öncesi buhar ve ısı kaybının olmaması ve karışım öncesi buhar kaybının olması durumunda akifer sıcaklığı tahmin edilebilmektedir. Bu diyagrama göre akifer sıcaklığının 230-270 °C arasında olabileceği sonucu çıkarılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aydın-İlicabaşı, Jeotermal Enerji, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya

HYDROGEOLOGY OF ILICABAŞI GEOTHERMAL FIELD (AYDIN)

ABSTRACT

Some lithological units, ranging from Paleozoic to Quaternary age, crop out in the water reservoir. These are overlain by these rocks are gneisses, schists, metaquartzites and marbles. These rocks are covered with Neogene aged sedimentary rocks, pebble stones, sandstones, claystones, by an unconformable contact. The study area plain cover completely by Quaternary Alluvium.

Analyses of waters sampled of study area and some of data from deep wells drilled by MTA in Aydın-İlicabaşı geothermal fields were used for this study to evaluate the physical and chemical properties of geothermal fluids. The water temperatures of hot springs vary between 34 – 44⁰C. Electrical conductivity values for thermal springs were in between 3000 µmho/cm and 1771 µmho/cm for hot waters of deep well. Electrical conductivity values of cold groundwaters were about 1281 – 1639 µmho/cm. pH values of hot and cold waters are between 6.09 – 6.76 and 6.38 – 7.58, respectively.

According to doing hydrogeochemical estimates, hot waters are the origin of Na-HCO₃-SO₄ and Ca- Na- MgSO₄-HCO₃, most of cold groundwaters are Ca-Mg-SO₄-HCO₃.

The Enthalpy – Silica mixing model is based on heat and silica balance and used to evaluate the mixing ratio of cold and hot water components of mixed waters and the reservoir temperatures. The reservoir temperatures were found between 230-270⁰C. According to the result of SiO₂ geothermometres, the reservoir temperatures are 40-120⁰C.

Keywords: Aydın-İlicabaşı, Geothermal Energy, Hydrogeology, Hydrogeochemistry

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 Çalışma Alanının Yeri.....	1
1.3 Çalışmada Uygulanan Yöntemler.....	1
1.4 Morfoloji.....	4
1.5 İklim ve Bitki Örtüsü.....	4
BÖLÜM İKİ – JEOLJİ.....	7
2.1 Jeolojik Tarihçe.....	7
2.2 Stratigrafi.....	10
2.2.1 Paleozoyik Yaşlı Kayaçlar.....	12
2.2.2 Senozoyik Yaşlı Kayaçlar.....	13
2.2.3 Kuvaterner Yaşlı Kayaçlar.....	14
2.3 YAPISAL JEOLJİ.....	15
2.3.1 Aydın Fayı.....	15
2.3.2. Domalan Fayı.....	15
2.3.3 İmamköy Fayı.....	16

BÖLÜM ÜÇ – HİDROJEOLOJİ.....	18
3.1 Su Noktaları.....	18
3.1.1 Akarsular, Yeraltı ve Sıcak Su Kaynakları.....	18
3.1.2 Sondaj Kuyuları.....	19
3.2 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	21
3.2.2 Gnays Birimi.....	23
3.2.2 Şist Birimi.....	23
3.2.3 Mermer Birimi.....	23
3.2.4 Çakıltası, Kumtaşı, Kıltaşı Birimleri.....	23
3.2.5 Alüvyon.....	24
3.3 Jeotermal Alanların Yeri ve Oluşum Özellikleri.....	24
3.4 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri	32
3.4.1 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Sulardaki Çözünmüş Başlıca	
İyonlar.....	34
3.4.1.1 Kalsiyum (Ca^{++}).....	34
3.4.1.2 Magnezyum (Mg^{++}).....	35
3.4.1.3 Sodyum (Na^{+}) ve Potasyum (K^{+}).....	35
3.4.1.4 Klorür (Cl^{-}).....	36
3.4.1.5 Bikarbonat (HCO_3^{-}).....	36
3.4.1.6 Sülfat (SO_4^{-}).....	36
3.4.2 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Mineralli Sularla Soğuk Sularda Çözünmüş	
İkincil İyonlar.....	38
3.4.2.1 Demir (Fe).....	40
3.4.2.2 Bor (B)	40
3.4.3 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Sularda Bulunan Üçüncül	
İyonlar.....	41
3.4.3.1 Alüminyum (Al).....	41
3.4.3.2 Lityum (Li).....	42
3.4.4 Sıcak ve Mineralli Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması.....	42
3.4.4.1 Suların Sertliği.....	47
3.4.4.2 Suların PH Değerleri.....	47

3.4.4.3 Suların Elektriksel İletkenlik Değerleri.....	48
3.4.4.4 Sıcak Sulara Ait İyonlar Arası ilişkiler.....	49
3.4.5 Sıcak ve Soğuk Yeraltı Sularının İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri.....	53
3.4.6. İnceleme Alanında Bulunan Sıcak ve Soğuk Yeraltı Sularının Doygunluk İndisleri.....	59
3.4.6.1 Kimyasal Denge ve İyonlaşma Gücü Kavramı.....	60
3.4.6.2 İyon Etkinliği ve İyon Etkinlik Katsayısı.....	61
3.4.6.3 Kalsit, Dolomit ve Jips'in Çözünürlüğü.....	62
3.4.6.4 Kalsit, Dolomit ve Jips için doygunluk indeksi değerleri(SI_{kalsit} , $SI_{dolomit}$ ve SI_{jips}).....	64
3.4.6.5 İnceleme Alanında Yer alan Sıcak ve Mineralli Sularla Soğuk Sularının doygunluk indeksi değerleri.....	65
3.5 Jeotermometre Uygulamaları.....	80
3.5.1 Kimyasal Jeotermometreler.....	81
3.5.1.1 Kalitatif Jeotermometreler.....	81
3.5.1.2 Kantitatif Jeotermometreler.....	81
3.5.2 Çözünürlüğe Dayalı Jeotermometreler.....	82
3.5.2.1 Silis Jeotermometreleri.....	82
3.5.3 İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler.....	85
3.5.3.1 Na/K Jeotermometreleri.....	86
3.5.3.2 Na/Li, K/Mg, Li/Mg ve Li Jeotermometreleri.....	89
3.5.4 Karışım Modelleri.....	92
3.5.4.1 Entalpi – Silis Karışım Modeli.....	92
3.5.5 Jeotermometre Uygulanabilirliği.....	94
BÖLÜM DÖRT – JEOTERMAL ENERJİ.....	100
4.1 Jeotermal Enerji; Tanımı, Oluşumu ve Türkiyedeki Yayılımı.....	100
4.2 Jeotermal Suların Sınıflandırılması.....	101
4.2.1 Jeotermal Suların Sıcaklıklarına Göre Sınıflaması.....	102
4.3 Jeotermal Suların Kullanım Alanları.....	104

4.4 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Mineralli Suların Korunması.....	105
4.4.1 Giriş.....	105
4.4.2 Koruma Alanları	106
4.4.2.1 Birinci Derece Koruma Alanları.....	107
4.4.2.2 İkinci Derece Koruma Alanları.....	108
4.4.2.3 Üçüncü Derece Koruma Alanları.....	109
BÖLÜM BEŞ – SONUÇ VE ÖNERİLER.....	110
KAYNAKÇA.....	113
EKLER.....	118

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tez kapsamında, Ilıcabaşı Jeotermal Alanının (AYDIN) Hidrojeolojisi belirleme çalışması yapılmıştır. Buna göre çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların kökeni, yeraltı suları ile ilişkileri, karışım oranları, hidrojeokimyasal özellikleri, kullanılabilirlikleri, akifer sıcaklıkları ve potansiyellerinin tespiti bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

1.2 Çalışma Alanının Yeri

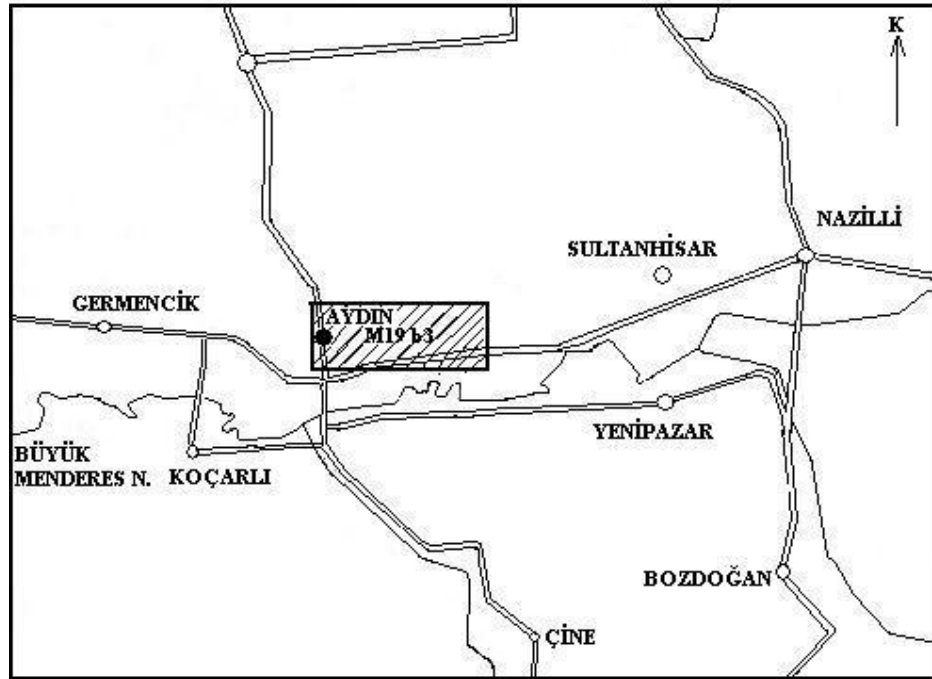
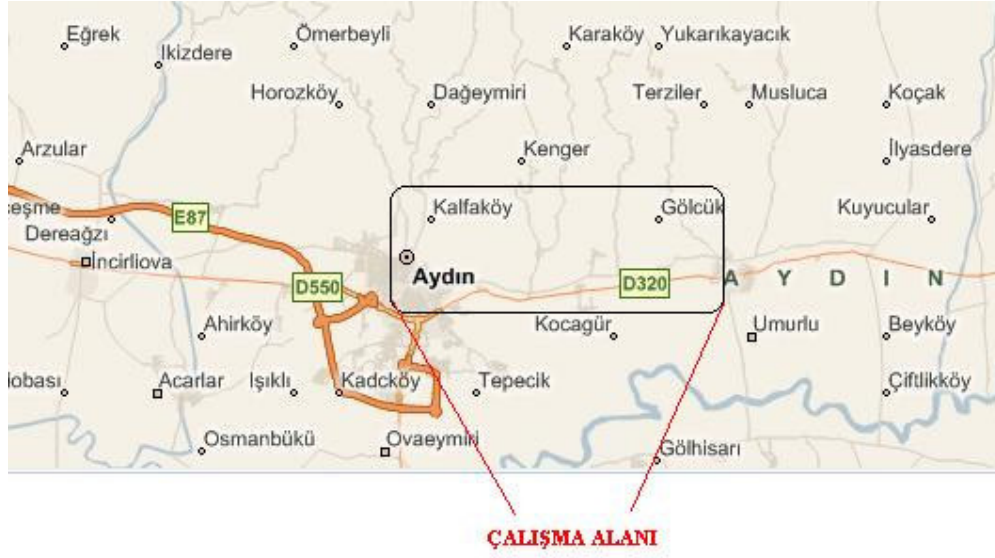
Çalışma sahası Aydın – Denizli karayolu üzerinde olup, Aydın merkez Ilıcabaşı mahallesinden başlayarak, Aydın – Denizli karayolu üzerinde İmamköy mevki 6 km kadardır. Çalışma alanı Aydın M19 – b3 paftası üzerinde olup 75 – 83 doğu boylamı, 89 – 93 kuzey enleminde bulunmaktadır. Çalışma alanının yer bulduru haritası şekil - 1.1'de sunulmuştur.

1.3 Çalışmada Uygulanan Yöntemler

Belirlenen sıcak ve soğuk su alanlarından örnekleme amacıyla araziye çıkılarak, örneklenen suların kimyasal analizleri yapılmıştır. Bu amaçla arazi çalışması, toplanan verilerin yazılımları ve programlar aracılığıyla verilerin yorumlanması tamamlanmıştır. Eh, sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Kimyasal bileşenler için (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO₄, HCO₃ – alkalinite, CO₃, SiO₂, Al, Fe) 2'şer adet örneklenecek analizleri laboratuvarında yapılmıştır. Örneklenen sular D.E.Ü. Jeoloji Mühendisliği Jeokimya Laboratuvarı'nda TSE 266 (1997) göre analizi yapılmıştır ve çıkan sonuçlara göre de gerekli diyagramlar ve çizelgeler hazırlanmıştır. Laboratuar çalışmalarında katyonlar için atomik absorpsiyon; alkalinite – karbonat – bikarbonat ve klorür anyonları için titrasyon, sülfat için

gravimetrik ve Si, Li, Fe, Al, B analizleri için Atomik Absorpsiyon Spectrometre yöntemleri kullanılmıştır.

Analizi yapılan su örnekleri, hidrojeokimyasal programlar (Aquachem – Calmbach, 1997; Hydrowin-Calmbach, 1995 ve Phreeqi (Parkhurst & Appela,1999)) ile değerlendirilerek yorumlanmıştır. Bu programlar yardımıyla çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların jeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Excel, Word ve Corel paket programları da raporun yazımında, şekil ve grafiklerin çizilmesinde kullanılmıştır.



Ölçek
0 4km

Şekil 1.1 Çalışma alanının yer buldurular haritası

1.4 Morfoloji

Paleozoyik kayaçları içerisinde, kuvarsit şistler ve mermerler mostra oluştururlar. Gnays ve şistler ise daha yumuşak bir morfoloji sergilerler. Ancak mermerler karstik karakterdedir.

Pliyosen kayaçları gevşek tutturulmuş konglomeratik olduklarından çok dalgalı morfoloji oluştururlar.

Çalışma alanının ortasında ise E – W uzanımlı Menderes nehrinin oluşturduğu alüvyonlar bulunur. Yağışlara bağımlı olarak kış aylarında debi de artma olurken, yazın azalma görülür (Yılmazer, 1980).

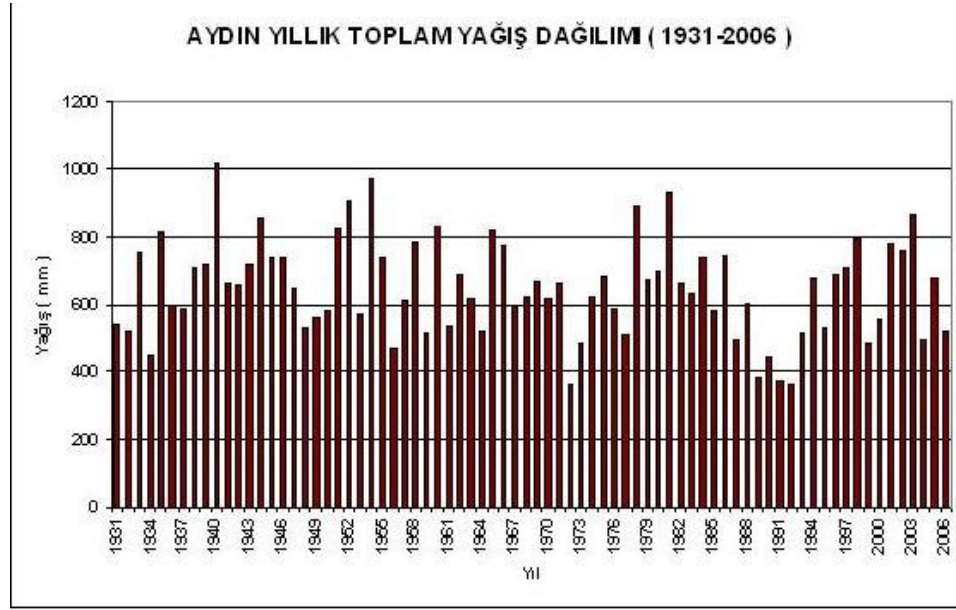
1.5 İklim ve Bitki Örtüsü

Aydın İlinde Akdeniz iklimi hakimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. Ege kıyılarının yükselti dizilerinin doğu batı yönünde uzanışı deniz etkisinin Bölgenin iç kesimlerine kadar girmesini sağlamaktadır. Aydındaki dağ sıralarının yükselti ve uzanışı ile düzlük araziler arasındaki ısı ve yağış farklılıkları da görülmektedir. Ortalama yıllık yağış 630 mm (1971-2007)'dir (Tablo 1.1).

Tablo 1.1 Aydın ilinin 1971-2007 yılları arasındaki yağış miktarının aylara dağılışı (Aydın Meteoroloji İstasyonu)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Toplam
2002	63,5	45,1	65	101,8	6,1	5,3	39,3	0,7	56	91,8	114,5	169,6	758,8
2003	102,8	181	35,3	82	109	6,7	12,6	4,2		135,7	63,5	131,6	864,4
2004	236,6	34,3	4,2	56,9	6,6	0,6			7,3	0,2	74,7	73,3	494,7
2005	62,2	155,7	92,6	39,8	61,1	7,9	9,3	12,6	0,5	39,2	160,4	38,2	679,5
2006	90,6	109,1	115,7	19,5	0,7	0	4,4	0	13,6	81,7	76,7	6	518
2007	29,4	30,6	26,4	16,4	44,3	9,4				117,8	160,4	183,8	618,5
1971-2007	204,4	170,3	129,7	89,6	32,9	18,2	12,4	34,4	100,1	212,5	255,4	1430,5	631,4

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinde yayınlanan verilerine göre Aydın ilinin 1971 – 2000 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktarı 602 mm olup, 1931 – 2006 yılları arasındaki grafik gösterimi şekil 1.2 şöyledir;



Şekil 1.2 Aydın ilinin 1931 – 2006 yılları arasındaki yıllık toplam yağış miktar dağılımı grafiği

BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ

2.1 Jeolojik Tarihçe

Menderes Masifinin ilksel kumlu, kalkerli sedimanları muhtemel alt Paleozoik'te çökelmişlerdir. Bu sedimentler daha sonra Hersinyen orojenezile metamorfize olmuşlardır (Yılmaz, 1980).

Menderes Masifinin muhtemelen Alt Paleozoik'te çökelen birimlerinden sonra masifte yükselme, alçalma, kıvrımlanma, kırılma hareketleri olmuştur. Ayrıca erozyonda meydana gelmiştir.

Çalışma alanında bu aşamadan sonra Neojen çökelleri dolmaya başlamıştır. Dolan bu çökeller sonucu yer yer çökmeler hatta faylanmalar bile oluşmaya başlamıştır ki bu aşamalarda Alpin hareketleri etkin olmuştur.

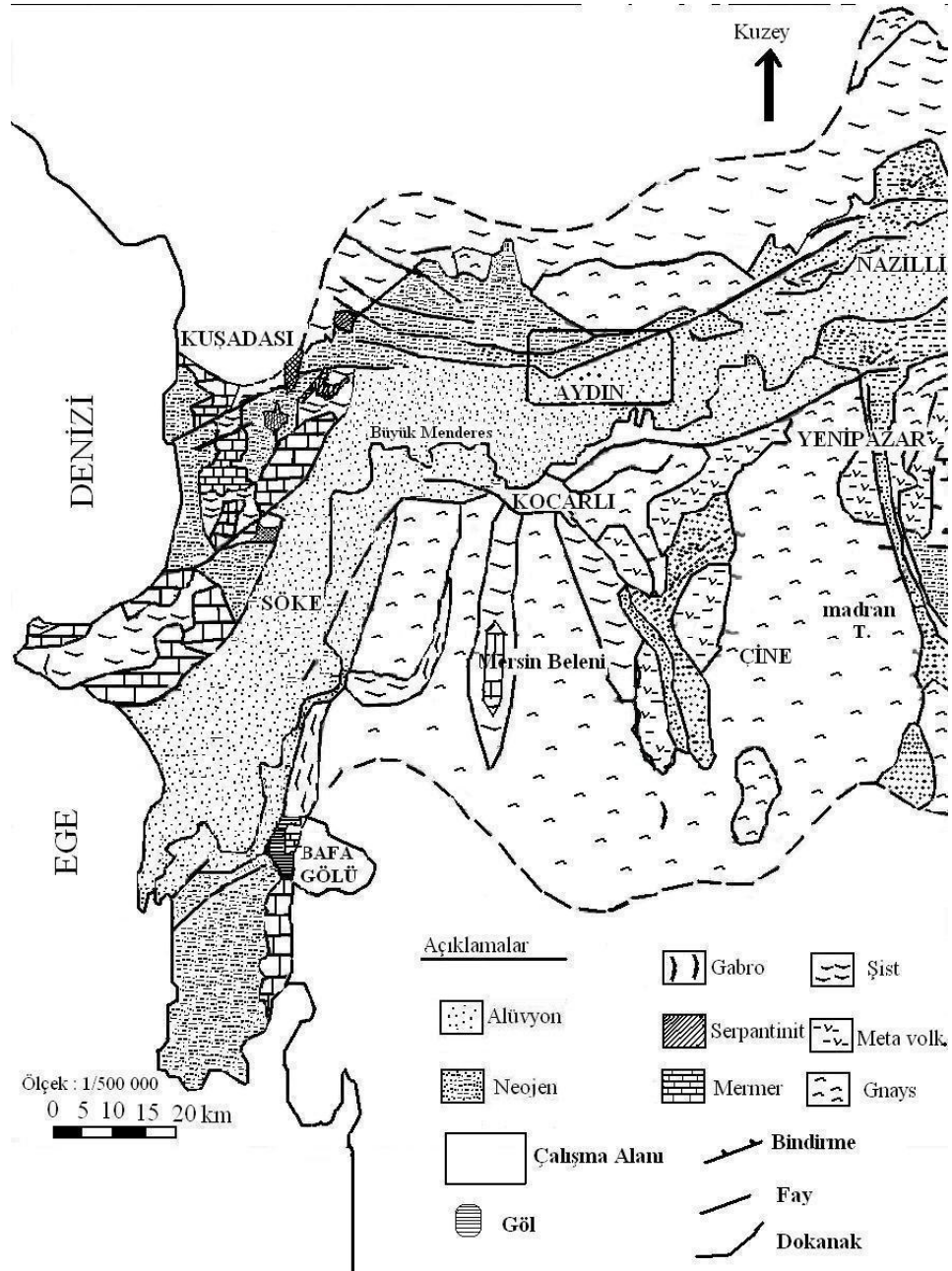
Bölgede, (Masifte ve Neojende) birçok faylar görülmektedir. Bunlardan bir kısmı Neojen tabakalarını kesen büyük faylardır. Bu faylar Neojen esnasında ve Neojenden sonra görülen Alpin hareketlerle ilgili olarak oluşmuşlardır.

Neojen formasyonlarında ve küçük vadi alüvyonlarında görülen hareketler, taraçaların var oluşu, Alpin hareketlerinin halen devam etmekte olduklarını gösterir.

Genel olarak bölge Hersinyen ve Alpin orojenezinden etkilenmiştir. Epirojenik hareketlerle graben teşekkül etmeye, eski masiflerde yükselmeye başlamıştır.

Olayları daha geniş olarak değerlendirecek olursak, Neojen çökelleri Aydın yöresinde Aydın yakınlarındaki Ilıcabaşı mevki ve çevresinde en kalındır. Aydın'dan doğu ve batı yönüne gidildiğinde çökellerde incelme olur (Yılmaz, 1980).

Yer kabuğundaki alçalma yükselme hareketleri halen devam etmektedir. Masif bir taraftan yükselmekte,buna bağımlı olarak graben çökmektedir. Taraçaların ve alüvyon yelpazelerinin oluşumu bu hareketlerin sonucudur (Yılmaz, 1980).



Şekil 2.1 Aydın İli'nin genişletilmiş jeolojik haritası (Sarıkaya, 1994'te değiştirilerek)

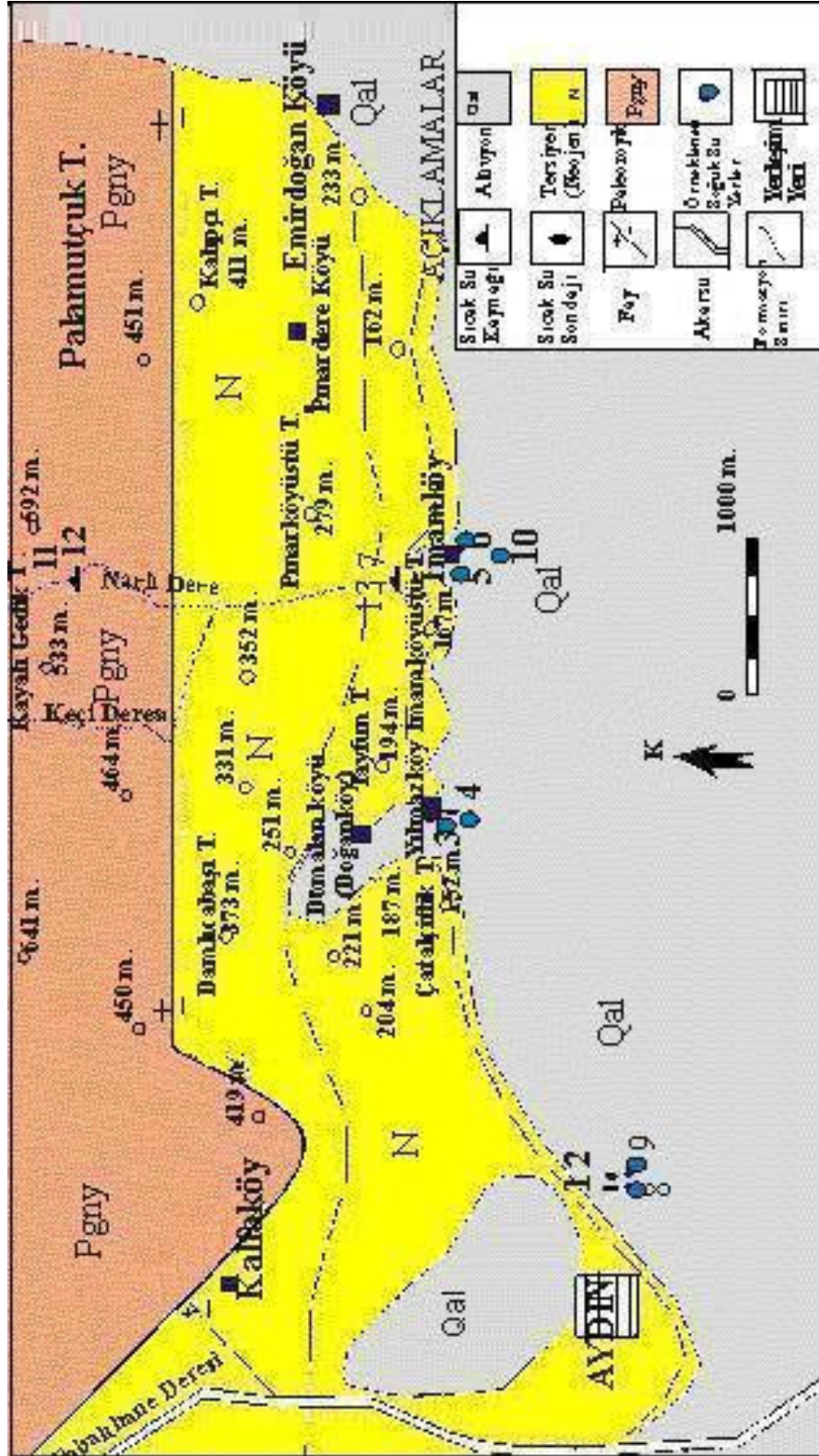
2.2 Stratigrafi

Menderes grabeninin bir kısmını içine alan çalışma alanının en yaşlı kayaçları masifin karakteristik kayaçları olan gnays, şist ve kuvarsitlerdir. Bunların üzerinde yer yer de üst seviyelere doğru şistlerin arasında bulunan mermerler gelir (Yılmaz, 1980).

Yörede Paleozoyik'ten sonra gelen kayaçlar Neojen'e ait kumlu, killi, marnlı konglomeratik kayaçlarla bunların içinde yer alan çok ince kömürlerdir.

Paleozoyik'in üzerine diskordan olarak gelen bu kayaçların, Paleozoyik'le olan sınırları faylıdır. Buna mukabil bazı yerlerde Paleozoik üzerinde Neojen birimlerine de rastlanabilmektedir.

Bölgede Hersinyen ve Alpin orojenezleri etkili olduğundan, tektonizma oldukça yoğundur (Yılmaz,1980).



Şekil 2.3 İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası ve örnek noktalarının yerleri (Erişen ve diğ., 1996'dan değiştirilerek)

2.2.1 Paleozoyik Yaşlı Kayaçlar

Çalışma alanında Paleozoyik yaşlı kayalar Metamorfik kayalardır. Gnays, şist, mermerler ve metakuvarsit birimlerinden oluşmaktadır. Mermerler, buradaki birimlerin üzerinde yer yer üst seviyelere doğru şistlerin arasında bulunur (Yılmaz, 1980).

Metamorfitler Menderes masifinin temelini oluşturan kayaçlardır. Çok eski olan bu kayaçlar Hersinyen ve Alpin orojenezlerinin çeşitli safhalarından etkilenmişlerdir. Bu itibarla kıvrımlı, kırıklı yapılar gösterirler.

Metamorfitler Menderes masifinde gnayslar, kuvars – şistler, mikaşistler ve Mermerlerden ibarettir. Bu kayaçlar arasında yanal ve dikey geçişlerin olduğu gözlenmiştir (Yılmaz, 1980).

Gnayslar, Menderes masifinin çekirdek zonunu oluştururlar. Gnayslar iri gözlü olup feldispatları iridir. Ayrıca kuvars ve mika içerirler. İzlenen numunelerde dış dış kenetlenmeler gösteren kuvars, serisitleşme ve kil mineralleşmesi göstermektedir.

Masifin Metamorfizma neticesinde kristalin oluşumu Hersinyen orojenezile başlatıp, Hersinyen orojenezile bitirir (Yılmaz, 1980).

Şistler geniş yayılım gösterirler, Gnayslardan şistlere tedrici geçiş vardır. Şistler tek tip kayaçlardan ibaret değildir. Şist serisi arasında yer yer kuvarsit ve mermer intraklasları bulunur. Yer yer de kuvars damarıyla kesilmiştir. Şistler altında yüzeye yakın bir granit plütonu olabilir ve ısı gelimi de granite bağlı apofizler yoluyla olabilir. Şistler pek çok yerde, üzerine gelen mermerlerde aralanmalı şeklindedir.

Kuvarsitler, masifin çok yerinde geniş yayımlı kuvarsitlere rastlanabilmektedir. İnce damarlı ve küçük, büyüklü mercekler olarak bulunurlar. Bunlar çok açık sert, keskin keseli ve kırıklıdır, içlerinde mika pulları vardır.

Mermerler şistlerin üzerine gelirler. Yer yer masif görünümlü olan mermerler, fazla kırıklı erime boşluklarıdır. Şistlerden mermerlere geçiş uyumludur (Yılmaz, 1980).



Şekil 2.4 İmamköy kuzeyindeki gnayslı Paleozoyik kayaç birimi örneği

2.2.2 Senozoyik Yaşlı Kayaçlar

Paleozoyik yaşlı kayalar üzerine uyumsuz olarak kiltası, kumtaşı, çakıltaşı ardalanmasından oluşan ve birbiri ile geçiş gösteren senozoyik yaşlı kırıntılı tortullar yer alır. Yanal ve düşey yönde geçişlidir (Khayat, 1988).

Kristalen serinin üzerine Üst Miyosen'in kumlu killi, kömürlü birimi diskordans olarak gelir. Karasal ve gölsel olan bu birimde kırmızı şarabi renk hakimdir. Miyosenden sonra yörede bir çökme boşluğu olmuş, daha sonra Pliyosen birimleri açısız uyumsuzlukla Miyosen üzerine gelmiştir ve ince bir örtüye sahiptir. Pliyosen birimleri gevşek tutturulmuş, iri bloku, çakıllı, konglomeratik ve kumtaşıdır. Pliyosen, Miyosen olmayan yerlerde ise daha kalın olarak bulunur. Akarsu göl ortamında oluşan Pliyosen birimleri sarımsı renk hakim olmakla birlikte yer yer

kırmızımsı renklerde görülebilmektedir. Çoğu yerde tabakalanma izlemek mümkün değildir (Khayat, 1988).

Çakıltaşları çapraz tabakalanmalı, ortaç pekişmiş, gnays, şist kuvarsit ve mermerden oluşan taneler içermektedir.

Kumtaşları, orta taneli, dayanımlı ve iyi katmanlıdır.

Kıltaşları orta dayanımlı ve ince katmanlıdır. Çeşitli bitki kalıntıları içerirler.

Miyosen kayaları Aydın'ın kuzeyindeki Kalfaköy civarında iyi görünürler, bunlar konlomera, kumtaşı ve kıltaşlarından ibaret olup kırmızı şarabi renklerde dir.



Şekil 2.5 Çalışma alanındaki killi, kumlu senozoyik kayaç birimleri

2.2.3 Kuvaterner Yaşlı Kayaçlar (Alüvyon – Qal)

Alüvyonlar çalışma sahasında düz bir topoğrafya sunarlar ve Büyük Menderes ovasını meydana getirirler. Kuvaterner Aydın civarında gözlemlenen eski alüvyonlar

ve geniş yayılımı olan genç alüvyon oluşuklardan ibarettir. Kuvaternerlerde, taraçalar, yamaç molozları, alüvyon yelpazeleri bulunmaktadır. Bunların dağılımı graben boyunca olmaktadır. Bu birimler en üstte gelmektedir (Khayat, 1988).

Aydın şehrinin hemen kuzeyinde olan D – B doğrultusunda uzanan yüksek ve üzeri düz tepeler, taraçalardır. Kum, kil, çakıllardan ibaret olup, 100 m kadar kalınlıkları vardır. Çakılları, mikaşist, gnays, mermer ve Miyosen, Pliyosen konglomera ve kum taşlarının parçalarından ibarettir.

Alüvyonlar en genç oluşuklardır. Bugünkü Büyük Menderes ovasının getirip biriktirdiği kumlar, killer, alüvyon olarak adlandırdığımız en genç birimi oluştururlar (Khayat, 1988).

2.3 Yapısal Jeoloji

Çalışma alanında tektonik yönden oldukça aktif olan bölgede çalışma alanının genel tektonik uzanımları NW – SE, E – W, NE – SW'dir. Önemli faylar Aydın fayı, Domalan fayı ve İmamköy fayı'dır (Yılmaz, 1980).

2.3.1 Aydın Fayı

Aydın'ın kuzey kesiminden başlayıp, Aydın'dan itibaren NE – NW'ya doğru uzanarak çalışma alanı dışında da devam eden bir faydır. Bu fay, Paleozoyik ile Neojen çökelleri arasındaki sınırı da oluşturur. Eğim atımlı normal bir fay olup, eğim yönü güneye doğrudur. Fayın kuzeyi horst durumunda, güneyi ise Menderes Grabenidir. Aydın fayı bazı yerlerde kesikliğe uğramakta ve tekrar devam etmektedir (Yılmaz, 1980).

2.3.2 Domalan Fayı

Aydın'ın kuzey doğusunda Domalan (Doğan köy) köyünden geçtiği için bu isim verilmiştir. Pliyosen içinde E – W doğrultusunda uzanan bu fay güneye eğimli olup

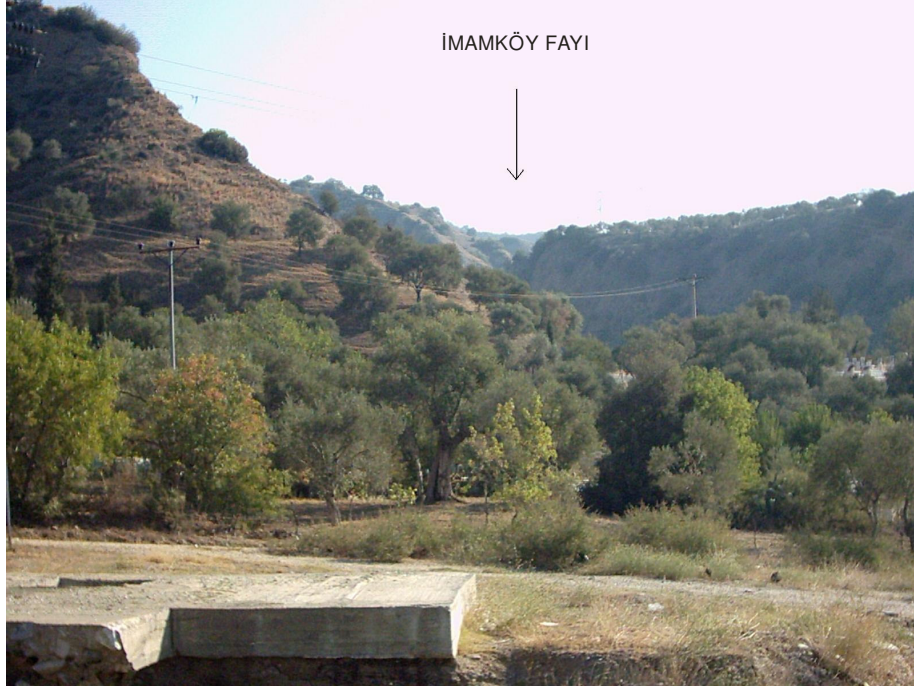
takriben Aydın ana fayına paralel basamak bir faydır. Bu fay Aydın'ın kuzeyindeki taraçaların (eski alüvyonların) kuzey sınırını oluşturur, fazlaca atımı yoktur. Domalan köyünün (Doğanköy) doğusunda faya bağlı olarak sıcak su çıkışı vardır (Yılmaz, 1980).



Şekil 2.6 Domalan (Doğanköy) civarından geçen Domalan Fayı

2.3.3 İmamköy Fayı

Bu fay Aydın'ın doğusundaki İmamköy'den geçtiği için İmamköy fayı olarak isimlendirilmiştir. Fay İmamköy'den batıya doğru devam ederek, Yılmazköy'den geçerek Aydın Ilıcabaşısına doğru bir yay çizer. Aydın Ilıcası, bu fayla da ilişkilidir (Yılmaz, 1980).



Şekil 2.7 İmamköy'den Yılmazköy'e uzanan İmamköy Fayı

BÖLÜM ÜÇ

HİDROJEOLOJİ

Bölgede, önceki yıllarda yapılan çalışmalar ve sondajlardan elde edilen verilere göre, sahanın hidrojeolojik durumu belirlenmiştir. İnceleme alanındaki su noktalarının yerleri Şekil 2.2'deki jeoloji haritasına işlenmiştir.

3.1 Su Noktaları

3.1.1 Akarsular, Yeraltı ve Sıcak Su Kaynakları

Çalışma sahasında düzenli olarak su taşıyan su kanalları, şehir içinde Aydın'ın kuzey doğusunda Kalfaköy civarından geçerek Ilıcabaşı mahallesi yakınlarından Büyük Menderes nehrine dökülür. Çalışma sahasında İmamköy'ün kuzeyinde İmamköy kuzey Ilıca kaynağı yakınlarından doğan Narlı Dere, İmamköy I. Ilıca kaynağı yakınlarına kadar devam ettiği görülmektedir. Sahada yeraltı suları, geçirimli ve gözenekli formasyonlar içinde akifer oluştururlar. Sahada temel birimler üzerinde yer alan Neojen ve Alüvyon birimleri, yeraltı suları için akifer niteliğindedirler. Yöredeki yeraltısuları, kırıklar boyunca yükselen jeotermal akışkanlarla karıştığından, sıcak suların soğumalarına sebep olurlar.

Yöredeki sıcak sular, daha önce bahsedilen litolojik birimlerden geçerek farklı üç fay hattı boyunca yüzeylenmektedir. Bunlardan İmamköy fayının devamı olarak Ilıcabaşı mevkiine doğru devam ederek Ayter kuyularına, Aydın fayı ise Aydın'ın kuzey doğusunda İmamköy Ilıca kuzey kaynağını, İmamköy I. Ilıca kaynağının yakınlarından ise Domalan fayı geçmekte ve buralarda yüzeylenen jeotermal akışkanlarda oluşan yüksek karışım nedeni ile sıcaklıklar düşük olup 30-45 °C arasında değişmektedir.



Şekil 2.8 İmamköy Ilıca kuzey kaynağı yakınlarından doğan Narlı Dere'den bir görünüm

3.1.2 Sondaj Kuyuları

Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü tarafından üç adet sondaj açılmıştır. Bunların ikisi Aydın-Ilıcabaşı mahallesinde olup, yaklaşık 100'er metre aralıktadır. Yöredeki diğer bir sondaj kuyusu da Yılmazköy araştırma kuyusu olup, bu kuyunun verileri gizli olarak kayıt altına alındığından dolayı bu kuyuya ait verilere ulaşılamamıştır. Bu sondajlardan ancak 2 tanesine ait kolon kesitler ve kimyasal analiz sonuçları MTA'dan temin edilebilmiştir.

Yörede MTA'nın açmış olduğu bu sıcak su kuyularından başka İmamköy'ün merkez yakınlarında 1. Ilıca kaynağı diğeri ise 1. Ilıca kaynağından 2 – 3 km. kuzeyinde İmamköy Ilıca kuzey kaynağı bulunmaktadır.



Şekil 2.9 Aydın Ilıcabaşı mevki MTA'nın açtığı Ayter 1 kuyusu



Şekil 2.10 Aydın İmamköy 1. Ilıca kaynağından gelen sondaj kuyusuyla oluşturulmuş küçük gölet

3.2 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Çalışma alanında su akımı kuzey'den güney'e ve doğu'dan batı'ya doğrudur. Buna bağımlı olarak da beslenme yönü de kuzey'den ve doğu'dan olmaktadır.

Çalışma sahasının kuzeyinde Menderes Masifine ait temelin devamlı yükselmesi sonucunda, doğu-batı doğrultulu basamak faylar gelişmiştir. Bu graben faylarından çok derine inenler yükselimle yüzeye yaklaşan litosferin üst kısımlarından ısı taşıyarak hazne kayayı ısıtırlar. Bölgede gabro stokları, granit, pegmatit ve gnays dayklarının bulunması, derinde yüzeye yakın yerlerde ısını kaybetmemiş asit magmatik kayaçların bulunduğunu göstermektedir (2001, Kara ve diğerleri).

Bölgede sıcak suyun yerleşebileceği uygun rezervuar kayaçlar gnays ve mermerlerdir. Bunun dışında Neojen'in kumlu, çakıllı seviyeleri de sığ rezervuarı

oluştururlar. Faylar boyunca yükselen sıcak sular hazne kaya olan mermer ve gnayslar içerisinde depolanırlar. Daha sonra sıcak suların bir kısmı faylarla yüzeye kadar ulaşmakta, bir kısmı da Neojen ve Kuvaterner'in kumlu, çakıllı seviyelerinde depolanarak zayıf noktalardan bazen kaynak olarak çıkmaktadır (2001, Kara ve diğerleri).

Jeofizik çalışmalarında, Aydın-Yılmazköy sondajının 2-3 km. güneyinde, grabenin orta bölümünde, temel yükselimi ve düşük rezistiviteli bir alan görülmüştür. Jeotermal alanlarda, sıcaklık, gözeneklik, akışkanın tuzluluğu, kil ve zeolit içeriği, çevre kayalara oranla fazladır bu nedenle, elektriksel direnç genellikle düşüktür . Bu kısım Jeotermal açıdan önemli olup, yüksek ısı kaynağı bu alanda bulunabilir. Benzer durum Karaman ve diğerleri (1988) tarafından yapılan çalışmada, Aydın-Salavatlı sahasında görülmüş, grabenin orta bölümünde en yüksek ısının bulunabileceği belirtilmiştir (2001, Kara ve diğerleri).

Aydın Fayı yörenin en etkin ve en önemli fayıdır. Derinliği fazla olduğundan, yer kabuğunda normalin üzerinde bulunan ısıyı, çok kolay bir şekilde üst seviyelere taşıyabilir. Aydın fayı boyunca oluşan sıcak sular üst seviyelere doğru geldiğinde, tekrar diğer kırıklar ve faylar vasıtasıyla, fayın güney kısımlarında bulunan ve su tutan kayaların içine yayılır (Yılmaz, 1986).

Bölgenin en güneyindeki İmamköy fayı da sıcak suyu taşıyan bir faydır, bu fayda Aydın fayı ile bağlantılıdır. Eski Ilıca kaynağının ve bugünkü sondajlardan alınan sıcak suyun beslenmesi İmamköy fayı vasıtasıyla olmaktadır. Bu fay boyunca oluşup gelen sıcak sular, fayın güneyindeki su tutma özelliği bulunan kayalarının içerisinde girer ve bu sıcaklık suyun akış yönüne bağlı olarak kuzey'den güney'e doğru faydan uzaklaştıkça tedrici bir şekilde azalarak devam eder (Yılmaz, 1986).

Çalışma sahasında görülen kaya birimlerinin su muhtevisine göre aşağıdaki gibi incelenmiştir.

3.2.1 Gnays Birimi

Genel olarak geçirimsiz olmakla birlikte çok fazla çatlaklı olması nedeniyle akifer özelliği taşımaktadır. Bu birimdeki suların karakterinin oldukça iyi olması ve içme suyu özelliği taşıması nedeniyle bu birimlerden içme suyu temin edilmektedir (Khayat,1988).

3.2.2 Şist Birimi

Menderes Masifi'nin gnayslarla birlikte çekirdeğini oluşturan şistler, geçirimsiz kaya özelliği taşımaktadırlar. Ancak eklemli ve çatlaklı olan şistler eklem ve çatlakları boyunca su geçirimsizliğini sağlarlar (Khayat, 1988).

3.2.3 Mermer Birimi

Hazne kaya özelliği taşımakla birlikte, jeotermal kaynakların kökenini oluştururlar. Akifer özelliği taşıyan bu birimin geçirimsiz şistlerle olan dokanağı kaynakları belirler. Mermer birimi içerisinde erime çatlakları, mağaralar ve karstik boşluklar görülmektedir (Khayat, 1988).

3.2.4 Çakıltası, Kumtaşı, Kiltası Birimleri

Çakıltası birimi gevşek tutturulmuş, ortaç pekleşmiş özelliği ile akifer karakteri taşımaktadır. Kumtaşı, kiltası ve silttaşı ile ardalanma göstermesi özelliği ile akifer olma özelliği daha zayıftır. Kiltası ise geçirimsiz özelliği ile çakıltası ve kumtaşı arasında geçirimsiz örtü kaya durumundadır (Khayat, 1988).

3.2.5 Alüvyon

Çalışma sahasındaki akifer özelliği taşıyan en önemli birimdir. Sulama sularının büyük bir bölümü alüvyondan temin edilmektedir. AYDIN XXI. Bölge Müdürlüğü'nün açmış olduğu kuyulardan 15-35 l/s olduğu görülmektedir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Alüvyonda DSİ'nin açmış olduğu sondaj kuyularının verileri (DSİ, 2008)

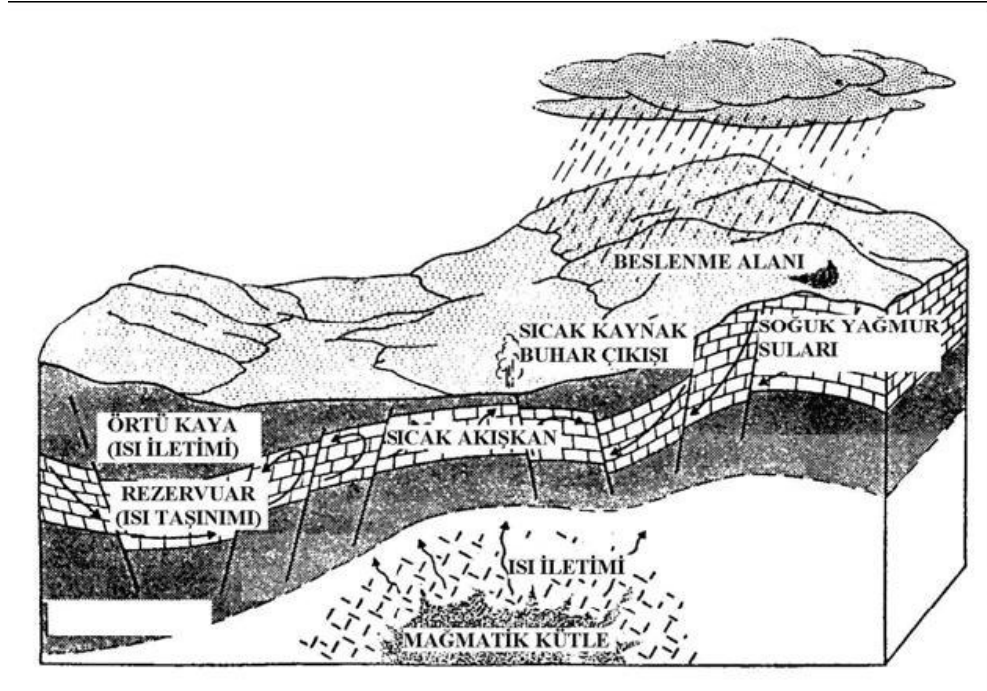
MEVKİİ	DERİNLİK (m)	DEBİ (l/s)	pH	Ec	SERTLİK(Fr)
Aydın Merkez Testaş	100	33,04	6,5	1700	98
Aydın İmamköy araştırma	80	15	7,3	770	45
Aydın Ilıcabaşı 1	110	14,17	8,7	2800	58
Aydın Ilıcabaşı 2	200	10	6,9	1418	59

3.3 Jeotermal Alanların Yeri ve Oluşum Özellikleri

Menderes Masifi metamorfik kayalarından olan gnays ve kuvars şist gibi kırıklı kayalar ile karstik mermerler ile bazı alanlarda Neojen yaşlı çakıltaşları jeotermal sistemlerin haznesini oluştururlar. Neojen yaşlı kıltaşı ve çamurtaşı gibi geçirimsiz kayalar da örtü kaya özelliğindedir. Graben tektoniğine bağlı olarak yüzeye yaklaşmış magma ısı kaynağını oluşturur.

Batı Anadolu'da açılma tektoniğine bağlı olarak gelişen ve derinlere kadar etkili olan kırık zonları ile sınırlandırılmış bulunan grabenler içinde tektonik yer yer volkanik faaliyetlere bağlı jeotermal sistemler oluşmuştur. Derinlere kadar inen kırık zonlarının bulunduğu graben sistemlerinde yüksek entalpili alanlar gelişmiştir.

Büyük Menderes Grabeni'ndeki jeotermal alanlar devirli jeotermal sistem özelliğindedir. Bu Jeotermal sistemlerde meteorik sular fay hatları ve tektonik kırıklar boyunca yeraltına süzülürler. Süzülen bu sular, graben tektoniğine bağlı olarak yüzeye yaklaşan magma tarafından ısıtılır. Sıvılarda yoğunluk farkından dolayı ortaya çıkan konveksiyon ısı akımları ile ısınan sular tektonik hatlar boyunca tekrar yükselerek, yeryüzüne ulaşırlar (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 İdeal Bir Jeotermal Rezervuarın Şematik Gösterimi (Dickson Ve Fanelli'den, 1995 Uyarlanmıştır)

İnceleme alanında 5 adet sıcak su noktası bulunmaktadır. Ayter-1, Ayter-2, İmamköy kuzey Ilıca kaynağı, İmamköy 1. Ilıca kaynağı ve Yılmazköy ve araştırma kuyusudur.

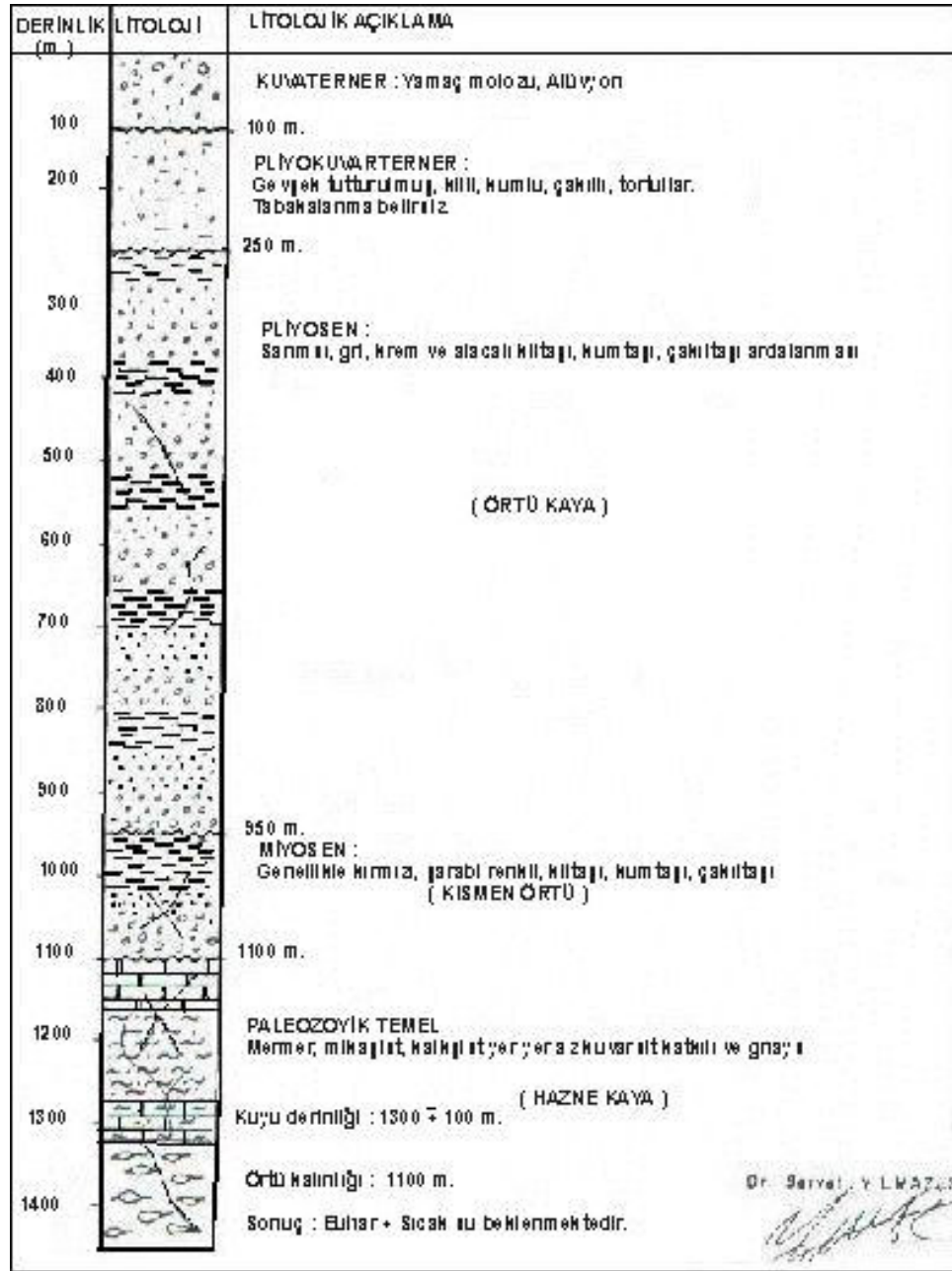
İmamköy 1. Ilıca kaynağı, Aydın İli'nin 6 km. doğusunda ve İmamköy'ün yaklaşık 1 km. kadar kuzeyindedir. Neojen'den çıkan kaynağın sıcaklığı 34°C ve debisi 2 l/s'dir. Bu kaynak 1968 yılında açılan bir sondaj sonrasında ortaya çıkmıştır. Fay zonundan boşalan bir kaynak olması metamorfik temele yakın yüzeylenmesi ve sahanın üst boşalım bölgesinde yer alan kaynağın metamorfiklerden gelen soğuk su karışım olması nedeniyle düşük ısılarla sahiptir. İmamköy araştırma kuyusunda 1300 m.'de 160°C sıcaklık ölçülmüştür Şekil 2.12'de İmamköy sondaj logu verilmiştir.

İmamköy Ilıcası kuzey kaynağı, 1 Ilıca kaynağından yaklaşık olarak 2-3 km. kuzeyindedir. Kaynağı bilinmemekle birlikte eski dönemlerden kalma kalıntı yapı gözlenmektedir. (Şekil 2.13 ve Şekil 2.14) Paleozoyik birimlerin olduğu bölgede,

Kaynağın eski çıkış gözeleri ile alterasyon ürünleri çevrede görülebilmektedir (Şekil 2.15).

Ayter-1 kuyusu, Aydın Ilıcabaşı'nda MTA tarafından 1989 yılında sıcak su sondaj kuyusu açılmıştır. Delinen ilk sondajda 417 m'de 84,5 °C sıcaklık ölçülmüştür. Ayter-1 kuyusunda yoğun gaz gelişi ve birikimi kuyu ağzında yüksek basınç meydana getirmektedir. Bu basınç 15- 20 atm arasında olup debisi 5 – 7 l/s arasındadır. Gayzer tipinde sıcak su buhar, gaz tipinde üretim yapılmaktadır.

Ayter-2 kuyusu, Aydın Ilıcabaşı'nda MTA tarafından 1989 yılında sıcak su sondaj kuyusu açılmıştır. Delinen ilk sondajda 355 m.'de 101,5 °C sıcaklık ve 2 l/s debi ölçülmüştür. Ayter-2 kuyusunda yoğun gaz gelişi ve birikimi kuyu ağzında yüksek basınç meydana getirmektedir. Bu basınç 15- 20 atm arasındadır. Gayzer tipinde sıcak su buhar, gaz tipinde üretim yapılmaktadır. Şekil 2.16'te Ayter-2 sondaj logu verilmiştir.



Şekil 2.12 Aydın İmamköy araştırma kuyusuna ait sondaj logu (Tıkr, 2000)



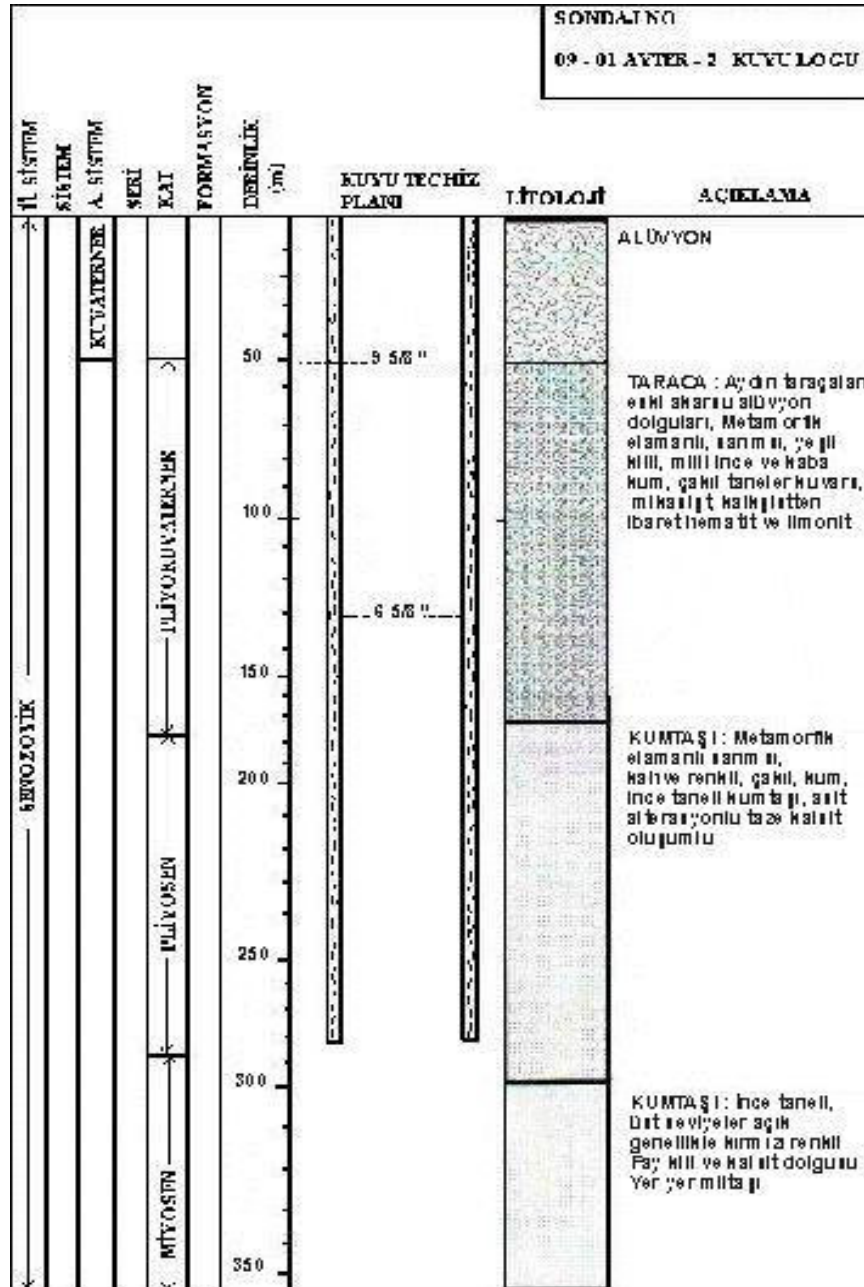
Şekil 2.13 İmamköy Ilıca kuzey kaynağından bir görünüm



Şekil 2.14 İmamköy Ilıca kuzey kaynağının içten kubbemsi yapı görüntüsü



Şekil 2.15 İmamköy Ilca kuzey kaynağının yakınlarındaki çıkış gözelerinden bir görünüm



Şekil 2.16 Aydın Ilıcabaşı mevkii Ayter-2 sondaj kuyusuna ait sondaj logu (MTA Envanteri, 2004)

3.4 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri

Çalışma sahasında yer alan sıcak ve mineralli sularla soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya çıkarılması amacıyla örneklenen suların kimyasal analizleri yapılmıştır. Kimyasal analizlerde suların pH ve EC değerleri suların birincil, ikincil ve üçüncül iyonları saptanmıştır. Suların kimyasal analizleri Tablo 3.2’de sunulmuştur. Suların gerek fiziksel ve kimyasal hesaplamalar sonucu elde edilen verilerle, gerekse grafikler yardımıyla inceleme alanındaki sıcak ve soğuk sular incelenmiştir. Piper üçgen diyagramı, Scholler yarı Logaritmik diyagramı, ABD Tuzluluk laboratuvarı diyagramı, Wilcox diyagramı, üçgen diyagramlar bu çalışmada kullanılmıştır. Ayrıca sıcak ve soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerinin saptanmasında Hydrowin ve Aquachem bilgisayar programları kullanılmıştır. Ayrıca doygunluk indeksi grafikleri excel programından oluşturulmuştur. Yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmelerde, suda çözülmüş başlıca iyonlardan her birinin litrede miligram (mg/L) olarak analiz edilen derişimleri kullanılarak, anyon ve katyon yüzdeleri (mek/L), iyon etkinlik katsayıları (F), iyon etkinlikleri (AC) hesaplanmıştır. Hidrojeokimyasal hesaplamalar karşılaştırılabilme kolaylığı açısından gerçekleştirilmiş olup tablolardaki hesaplamalarda kullanılan bağıntılar şöyledir.

Suların kimyasal analizlerinde yapılabilecek hatalar (e), anyon katyon dengesinden $E = [(\sum \text{Katyon} - \sum \text{Anyon}) / \sum \text{İyon}] \cdot 100$ (mek/L) bağıntısıyla hesaplanabilir. Hata yüzdesinin genellikle %5’ten düşük olması istenir. Analiz yapımı sırasında ortaya çıkan hatalar dışındaki %5’ten yüksek hata suda analiz edilmemiş iyon türlerinden bazılarının yüksek derişimde olabileceği şeklinde yorumlanmalıdır (Ford ve Williams, 1989).

Tablo 3.2 İnceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk suların kimyasal ve bazı fiziksel özellikleri (değerler mg/l; TÇK=toplam çözülmüş katı; EC=elektriksel iletkenlik (µs/cm); SAR=sodyum adsorpsiyon oranı; Fo=köpürme katsayısı; S=sondaj kuyusu; K=kaynak)

Örnek No ve Tipi	Tarih	Sıcaklık (°C)	pH	EC	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	SAR	Sertlik (Fr)	Fo	Fasiyes Tipi
1 S	28.10.2007	38	6,73	7320	3023	53	57,3	15,2	241	5397	2321	92,8	20,53	8258	Na-HCO ₃ -SO ₄
2 S	28.10.2007	44	6,76	5025	1879	26	108	39,2	244	3640	1066	39,3	43,16	5119	Na-HCO ₃ -SO ₄
3 S	28.10.2007	21,6	7,2	1639	24,7	4,57	124	142	40,8	1039	332	0,3	89,39	75,8	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
4 S	28.10.2007	22	7,58	7580	18,7	3,2	84,1	106	38,3	717,4	245	0,3	64,42	56,9	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
5 S	28.10.2007	19,5	6,72	1296	33	3,37	114	72,2	40,8	693	243	0,6	58,13	95,8	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
6 S	28.10.2007	21,8	6,38	1281	47,7	5,75	114	49	33,3	722,2	181	0,9	48,48	140	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
7 K	28.10.2007	34	6,09	1771	99,3	6,03	155	73,5	33,3	1010	313	1,6	68,77	280	Ca-Na-Mg-SO ₄ -HCO ₃
8 S		70	7	8366	36,6	5,08	78,2	142	24,8	433,8	43,7	0,5	78	109	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
9 S	11.08.1976	34,8	6,5	6000	82	8,8	119	56	24	696	116	1,5	52,72	239	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
10 S	21.10.1989	21,6	7,3	770	14,5	11,5	80,2	60,2	35,4	52,5	22,8	0,2	44,76	62,1	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
11 K	13.12.2000	37	6,43	1709	23	33	164	143	20	1016	228	0,3	99,66	128	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
12 K	06.09.1971	37	6,56	1700	22,6	17,2	162	69,7	0,02	0,29	610	0,3	69,19	95,2	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
13 K	06.09.1971	35	6,72	1008	20,7	5,77	112	90,2	25	488	252	0,3	65,01	67,3	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃

3.4.1 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Sulardaki Çözünmüş Başlıca İyonlar

İnceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk yeraltı sularının iyon derişimleri suyun kökeni, akifer sistemleri, karışım oranları hakkında bilgi verebilmektedir. Bu nedenle, su örneklerinin başlıca iyonlarının en yüksek ve en düşük değerleri ile ortalama ve standart sapma değerleri verilerek irdelenmiştir. Hesaplamalar Hydrowin bilgisayar programı yardımı ile yapılarak elde edilen değerler Tablo 3.1'de sunulmuştur.

3.4.1.1 Kalsiyum (Ca^{++})

Kalsiyum yeraltı sularına kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, flüorit gibi silikatlı olmayan minerallerin ve albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerdeki kalsiyumun çözünmesi ile karışabilir (Erguvanlı & Yüzer, 1973). Hareketli ve hafif tuzlu sularda genellikle bol miktarlarda bulunur. Suyun pH değeri suyun içersindeki kalsiyum iyonlarının miktarlarını ve çökelimini doğrudan etkiler. PH değeri artarsa CO_3/HCO_3 oranı büyür ve kalsit çökelimi gözlenir. Soğuk yeraltı sularında kalsiyum değeri 10-100 mg/L arasındadır. Kalsiyum, sodyum değeri yüzdesini azalttığından sulama sularında önemli olan sodyum yüzdesi değerini düşürür. Karbondioksitin ortamdaki uzaklaşması kalsit çökelimine neden olur. Bu nedenle yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde kalsiyum içeriği genelde düşük değerlerdedir.

Çalışma alanındaki örneklenen soğuk suların kalsiyum miktarı oranı, 109 mg/L'dir, örneklenen sıcak suların kalsiyum miktarı oranı ise, 106 mg/L'dir.

3.4.1.2 Magnezyum (Mg^{++})

Yeraltı sularına magnezyum iyonu dolomit, evaporit, magmatik kaya minerallerinden (olivin, biyotit, hornblend, ojit) ve serpantinleşme sonucu açığa çıkan magnezyum karbonatın çözünmesi ile karışır. Yeraltı sularında magnezyum değeri 1-40 mg/L arasında değişmektedir ve genelde kalsiyum miktarından daha

azdır. Ultrabazik kayalardan gelen sularda ise magnezyum iyonu değeri kalsiyum iyonu değerinden daha fazla olabilmektedir. Çok yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde magnezyumun ikincil alterasyon minerallerinden illit, montmorillonit ve özellikle klorit tarafından soğrulması nedeniyle magnezyum miktarı çok düşük değerlere inebilmektedir (0,1 mg/L gibi). Sıcak sulardaki daha yüksek magnezyum içerikleri ise sıcak suların soğuk sularla karışımından veya yan kayaç ile reaksiyonundan kaynaklanmaktadır.

Çalışma alanındaki örneklenen soğuk suların magnezyum miktarı oranı, 92 mg/L'dir, örneklenen sıcak suların magnezyum miktarı oranı ise, 42 mg/L'dir.

3.4.1.3 Sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+)

Sodyum yeraltı sularına plajiyoklasların, evaporitik minerallerin (halit vb.) ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışır. Ayrıca kıyı akiferlerinde yeraltı sularına deniz suyundan sodyum ve potasyum karışmaktadır. Sıcak sularda Na ve K içerikleri sıcaklığa bağlı olarak gelişen mineral su dengesine bağlıdır. Bu oran Na/K jeotermometrelerinin geliştirilmesinde temel olmaktadır. Jeotermal sistemlerde başlıca katyonlardan biridir ve miktarı 200-2000 mg/L arasında değişir. Düşük Na/K oranı yüzeye hızlı bir şekilde ulaşan sıcak sularda gözlenir. Yüksek Na/K oranı ise yatay bir hareketin yüzeye yakın kesimlerindeki reaksiyonların ve kondaktif soğumanın etkisindedir.

Çalışma alanındaki örneklenen soğuk suların sodyum miktarı oranı, 39 mg/L'dir ve potasyum miktarı oranları ise, 5 mg/L'dir. Örneklenen sıcak suların sodyum miktarı oranı ise, 1667 mg/L'dir ve potasyum miktarı oranı ise, 28mg/L'dir.

Sonuç olarak, Na^+ ve K^+ iyonlarının miktarlarının sıcak ve soğuk yeraltı suları arasında büyük farklılıklar gözlenmektedir.

3.4.1.4 Klorür (Cl^-)

Yeraltı sularındaki klorür deniz suyundan, evaporitlerden, yağmur ve kar suyu ile atmosferden gelmektedir. Genel olarak magmatik kayalardan doğan sulara taşınan klorür önemsizdir. Klorür tuzlarının büyük kaynağı evaporitlerdir.

Deniz suları da yeraltı sularına klorür veren en büyük kaynaklardan biridir. Yağmur sularında klorür miktarı 1-25 mg/L olup bu değer deniz sularında 20000 mg/L ye ulaşır. Deniz suyu karışımly sıcak ve mineralli sular dışındaki sulardaki yüksek klorür içeriği sıcak akışkanın derinden geldiğini göstermektedir. Düşük klorür oranı ise bu sulara soğuk yeraltı suları karışmasından ileri gelmektedir.

Çalışma alanındaki örneklenen soğuk suların klorür miktarları oranı 38 mg/L'dir, çalışma alanındaki örneklenen sıcak suların klorür miktarları oranı ise, 173 mg/L'dir.

3.4.1.5 Bikarbonat (HCO_3^-)

Yeraltı sularındaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki karbondioksitten ve karbonatlı kayaların erimesinden oluşmaktadır (Erguvanly & Yüzer, 1973). Doğal sulardaki bikarbonat miktarı suyun pH ve CO_2 değerine bağlıdır. PH'ın 6-10 arasında olması durumunda bikarbonat baskın iyon olup daha düşük pH değerlerinde karbonik asit (H_2CO_3) egemen iyondur. Daha yüksek pH değerlerinde ise karbonat baskın olarak gözlenir.

Çalışma alanındaki örneklenen soğuk suların bikarbonat miktarları oranı, 793 mg/L'dir, çalışma alanındaki örneklenen sıcak suların bikarbonat miktarları oranları ise, 3349 mg/L'dir.

3.4.1.6 Sülfat (SO_4^{2-})

Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritlerden ileri gelmektedir. içme sularındaki sülfat miktarı 25-250 mg/L arasındadır. Derin kökenli

jeotermal sularda sülfat içerikleri genelde düşük olup 50 mg/L'den azdır. Hidrojen sülfürün oksidasyonu sonucunda artış gözlenebilmektedir.

Çalışma alanında örneklenen soğuk suların sülfat miktarları oranı, 250 mg/L'dir, çalışma alanındaki örneklenen sıcak suların sülfat miktarları oranı ise, 1233 mg/L'dir.

Tablo 3.2.1 İnceleme alanında (28.10.2007) örneklenen sıcak sondaj sularının bazı özelliklerine ait istatistiksel değerleri (mg/L)

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
K⁺	6,03	52,73	28,26	23,43
Mg⁺⁺	15,15	73,49	42,62	29,31
Ca⁺⁺	57,31	154,51	106,71	48,62
Na⁺	99,29	3023,1	1667,09	1473,36
Cl⁻	33,33	244,27	172,96	120,93
SO₄⁼	312,9	2320,53	1233,24	1014,17
HCO₃⁻	1010,16	4909	3186,54	1988,66
pH	6,09	6,76	6,4	6,43

Tablo 3.2.2 İnceleme alanında (28.10.2007) örneklenen soğuk adi kuyu sularının ve yüzey sularının bazı özelliklerine göre istatistiksel değerleri (mg/L)

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma
K⁺	3,21	5,76	4,23	1,18
Mg⁺⁺	48,97	142,28	92,26	40,64
Ca⁺⁺	84,14	123,79	108,88	17,15
Na⁺	18,71	47,7	31,03	12,56
Cl⁻	33,33	40,8	38,31	3,52
SO₄⁼	180,8	332	250,05	62,165
HCO₃⁻	692,96	1039,44	793	164,79
pH	6,38	7,58	6,75	6,75

3.4.2 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Mineralli Sularla Soğuk Sularda Çözünmüş İkincil İyonlar

Eser element tayinine yönelik kimyasal analizlerde suların Al, Fe, Li, B ve Si içerikleri saptanmıştır. Tablo 3.3’de inceleme alanında yer alan bazı sıcak ve soğuk yeraltı sularına ait eser element değerleri verilmiştir. Başlıca iyonlarda olduğu gibi yeraltı sularının ikincil iyonları da suların kökeni, hidrojeokimyasal evrimleri ve kullanılabilirlikleri hakkında bilgi vermektedir.

TS 266 (1997)’ye göre yeraltı suları için belirlenen özellikler Tablo 3.4’de sunulmuştur.

Tablo 3.3 İnceleme alanındaki sulara bulunan eser elementler; (1, 2 ve 7 nolu örnekler) sıcak ve mineralli sular (değerler mg/L).

Örnek No ve Tipi	Tarih	Li	Al	Fe	Si	B
1 S	28.10.2007	4,97	1,07	0,90	34,30	55,25
2 S	28.10.2007	4,88	0,74	1,64	31,41	48,38
3 S	28.10.2007	0,07	0,44	0,99	14,50	2,42
4 S	28.10.2007	0,03	0,56	1,21	12,64	2,02
5 S	28.10.2007	>0.001	0,47	2,49	16,71	1,67
6 S	28.10.2007	0,03	0,70	1,51	21,56	4,43
7 K	28.10.2007	0,00	0,66	3,70	37,73	3,83

Tablo 3.4 TS 266 (1997) standartlarına göre içme ve kullanma sularının (A) ve Birleşik Devletler Halk Sağlığı Merkezi İçme Suyu Standartları (B)

	Tavsiye Edilen Değer	Maksimum Değer
(A) (TS 266)		
Fizikokimyasal Özellikler		
Sıcaklık(°C)	12	25
PH	6,5-8,5	6,5-9,2
İletkenlik(µmho/cm)	400	2000
Klorür (mg/L)	25	600
Sülfat (mg/L)	25	250
Kalsiyum (mg/L)	100	200
Magnezyum (mg/L)	30	50
Sodyum (mg/L)	20	175
Potasyum (mg/L)	10	12
Alüminyum (mg/L)	0,05	0,2
Kurutma Kalıntısı (mg/L)		1500
Suda Fazla Miktarda Bulunması İstenmeyen İkincil İyonlar		
Nitratlar (mg/L)		
Nitritler (mg/L)		
Bor (mg/L)	1	2
Demir (mg/L)	0,05	0,2
Mangan (mg/L)	0,02	0,05
Bakır (mg/L)	0,1-3	3
Çinko (mg/L)	0,1-5	5
Askıda Madde (mg/L)		1
Baryum (mg/L)	0,1	0,3
Gümüş (mg/L)		0,01
Toksik Maddeler		
Arsenik (mg/L)		0,05
Kadmiyum (mg/L)		0,005
Siyaniür (mg/L)		0,05
Krom (mg/L)		0,05
Civa (mg/L)		0,001
Nikel (mg/L)		0,05
Kurşun (mg/L)		0,05
Antimon (mg/L)		0,01
Selenyum (mg/L)		0,01

Tablo 3.4 Devam Ediyor...

(B)		
Flor (mg/L)		1
Kurşun (mg/L)		0,1
Selenyum (mg/L)		0,05
Krom (mg/L)		0,05
Arsenik (mg/L)		0,05
Demir (mg/L) +Mangan (mg/L)		0,3
Magnezyum (mg/L)		125
Klorür (mg/L)		250
Sülfat (mg/L)		250
Bakır (mg/L)		3
Çinko (mg/L)		15
Buharlaşma Kalıntısı (mg/L)	500	1000

3.4.2.1 Demir (Fe)

Demir, özellikle, piroksen, amfibol, magnetit, pirit, biyotit ve granat gibi demirli minerallerin bozunumundan ortaya çıkar. Karbonlu kayalardan gelen sulara fazla miktarlarda demir iyonları izlenebilir. Kireçtaşı ve dolomitten gelen sular pH'ı 7'den fazla olduğundan çok fazla demir iyonları içerir. Sudaki tuzluluk ve asitlik arttıkça demir iyonlarının miktarı da artar.

Çalışma alanında örneklenen soğuk suların demir miktarlarının oranı, 1,55 mg/L'dir. İçme ve kullanma suları (TS 266) standartlarına göre suda bulunan demir iyonu değerinin 0,05-0,2 arasında olması önerilir. Çalışma alanında örneklenen sıcak suların demir miktarları oranı ise, 2,08 mg/L'dir. Tablo 3.4'de içme ve kullanma sularına ait TS 266 standartları sunulmuştur.

3.4.2.2 Bor (B)

Suyun pH'ına bağlı olarak, borun bulunuş şekli değişir. Asitli sulara (pH 6'dan az) ortoborik asit egemendir. Nötür ve alkali (pH 11'den yukarı) doğal sulara tetrapenta-hekza ve diğer poliboratlar gözlenir. Alkali metal boratlar fazla, geri kalan boratlar suda çok az çözünürler. Süperjenlerde (tuz göllerinde), boratların çökmesi kalsiyum ve magnezyum etkisindedir. Sıcaklığın yükselmesi ile boratların

çözünürlükleri artar. Bu nedenle bor, hidrotermal ortamlarda hızlı, süperjenlerde (tuz göllerinde) yavaş göç eder. Borik asit, sıcak sularda çok, soğuk sularda az çözünür.

Derin yeraltı sularında yüzlerce mg/L, bazı durumlarda 1 mg/L den fazla bor bulunabilir. Bor tipik halojen elementtir, buharlaşma ile yığılır, özellikle, sodalı (alkali) ortamlarda göçü hızlıdır. Çünkü, borun çökmesini etkileyen kalsiyum ve magnezyum, sodalı sularda çok az bulunur. kurak iklimlerdeki akarsularda bor miktarı, nemli iklimlere oranla daha fazladır. Yağışsız yörelerdeki sularda bor $1E-5$ - $9E-5$ g/L arasındadır.

Çalışma alanındaki örneklenen soğuk suların bor miktarları oranları 2,6 mg/L'dir, sıcak sularda ise, 36 mg/L'dir. Bor miktarının sıcak sularda fazla olmasının nedeni de sıcak sularda borik asit çözünümünün hızlı olmasıdır.

3.4.3 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Sularda Bulunan Üçüncül İyonlar

Yeraltı sularında, genellikle az izlenen üçüncül elementler, alüminyum dışında, yerkabuğunda fazla bulunmazlar. Ancak bunların bazıları yaşam için gereklidir. Örneğin, iyot, bakır vb. canlı hücrelerinde az miktarda gözlenir. Ancak, bitki ve hayvanların gelişmesi, çoğalması üzerinde etkileri büyüktür. Birçok üçüncül elementlerin fazla zehirleyici özelliğe sahip olmaları nedeniyle, içme ve kullanma sularında miktarlarının denetlenmesi zorunludur (Şahinci, 1986).

3.4.3.1 Alüminyum (Al)

Yeraltı sularında doğal süzülme nedeniyle, alüminyum oldukça azdır. Alüminyum, yerkabuğunda önemli miktarda bulunmasına karşın (%8,6), az çözünmesi nedeniyle, yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. Alüminyum pH= 5-9 arasında sularda 1 ppm'den azdır. Genellikle yeraltı sularında 0,005-0,3 ppm arasında alüminyum izlenir, asit sularda, bu değer 100 ppm'e erişebilir. Alüminyumun suda bulunuşu, özellikle suyun kökenine ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şahinci, 1986).

Çalışma alanındaki örneklenen soğuk suların alüminyum miktarlarının oranları, 0,54 mg/L'dir, sıcak sularının alüminyum miktarlarının oranları ise, 0,82 mg/L'dir. TS 266 standartlarına göre, suda bulunacak alüminyum iyonu değerinin 0,05-0,2 arasında olması istenmektedir.

3.4.3.2 Lityum (Li)

Maden ve kaplıca sularında genelde az bulunur. Çalışma alanındaki örneklenen sıcak ve mineralli sulardaki lityum miktarları oranı, 4,89 mg/L'dir, soğuk sularının lityum miktarları oranları ise, 0,03 mg/L'dir. Lityum'un yerin derinliklerinden yüzeye doğru derişim miktarının yükseliş belirgin değildir ve fazla bulunması zehirliyi etkilediğinden fazla bulunması istenmez.

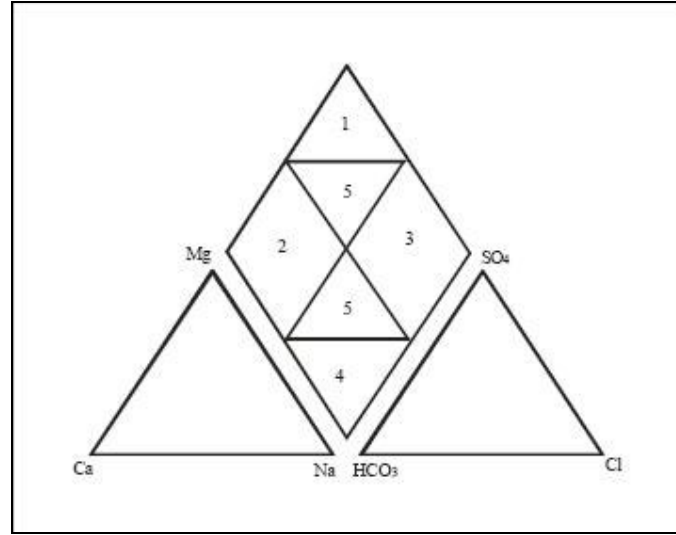
3.4.4 Sıcak ve Mineralli Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması

Yöredeki sıcak ve mineralli suların hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanındaki kaynaklardan ve MTA'nın açmış olduğu sondajlardan su örnekleri alınmıştır. Ayrıca İmamköy 1. ve 2.(kuzey) Ilıca kaynağı için MTA tarafından yapılan analizlerden ve İmamköy kuzey Ilıca kaynağı için (Candaş, 1990) verisinden de yararlanılmıştır. Örneklenen yeraltı sularının kimyasal analiz değerleri kullanılarak sıcak suların sınıflaması, fasiyes tipleri, doygunluk değerleri ve kullanılabilirlikleri belirlenmiştir.

Piper (üçgen) ve Scholler (yarı logaritmik) diyagramları gerek iyonların topluca ek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardandır.

Piper diyagramı: Anyon ve katyonların (% mek/L cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin

görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 3.1 Piper Üçgen Diyagramı

Eşkenar dörtgendeki numaralanmış bölgelerin hangi anlama geldikleri aşağıda açıklanmıştır (Şekil 3.1).

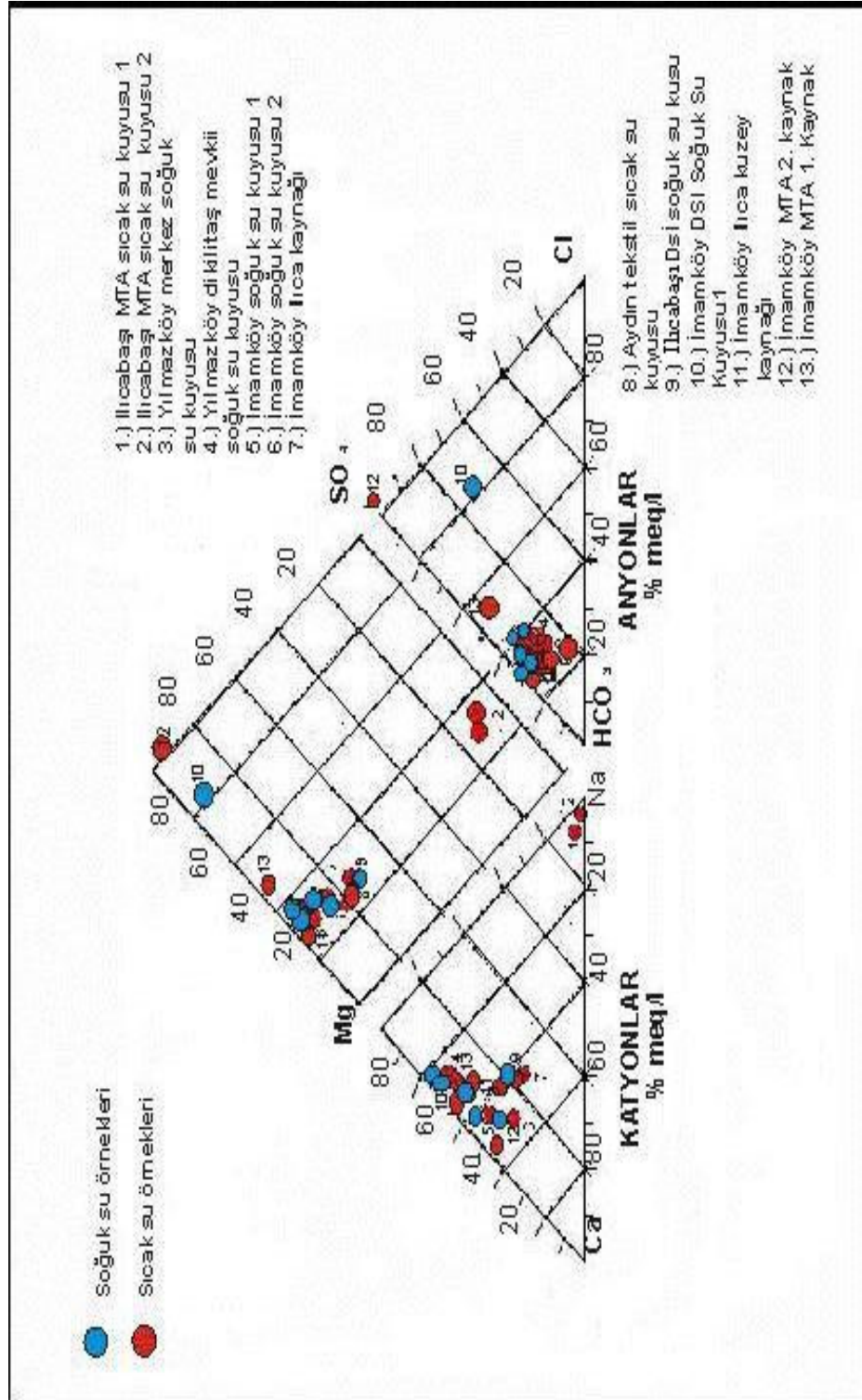
1. Bölgede karbonat olmayan sertliği %50 den fazla olan sular
2. Bölgede CO_3 sertliği %50'den fazla olan sular
3. Bölgede karbonat alkalileri %50 den fazla olan sular (NaHCO_3 sulardır. Doğada az bulunan yada çok yumuşak sulardır).
4. Bölgede, karbonat olmayan alkalitesi %50 den fazla olan sulardır. Deniz suyu, acı sular ve bir kısım jeotermal sular bu alanda yer alırlar.
5. Karışık sulardır.

Suları isimlendirmek, birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimleri araştırmak ve kökeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların hidrojeokimyasal fasiyes tipinin belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyes kavramı, suların içerdikleri başlıca iyonların oranlarına

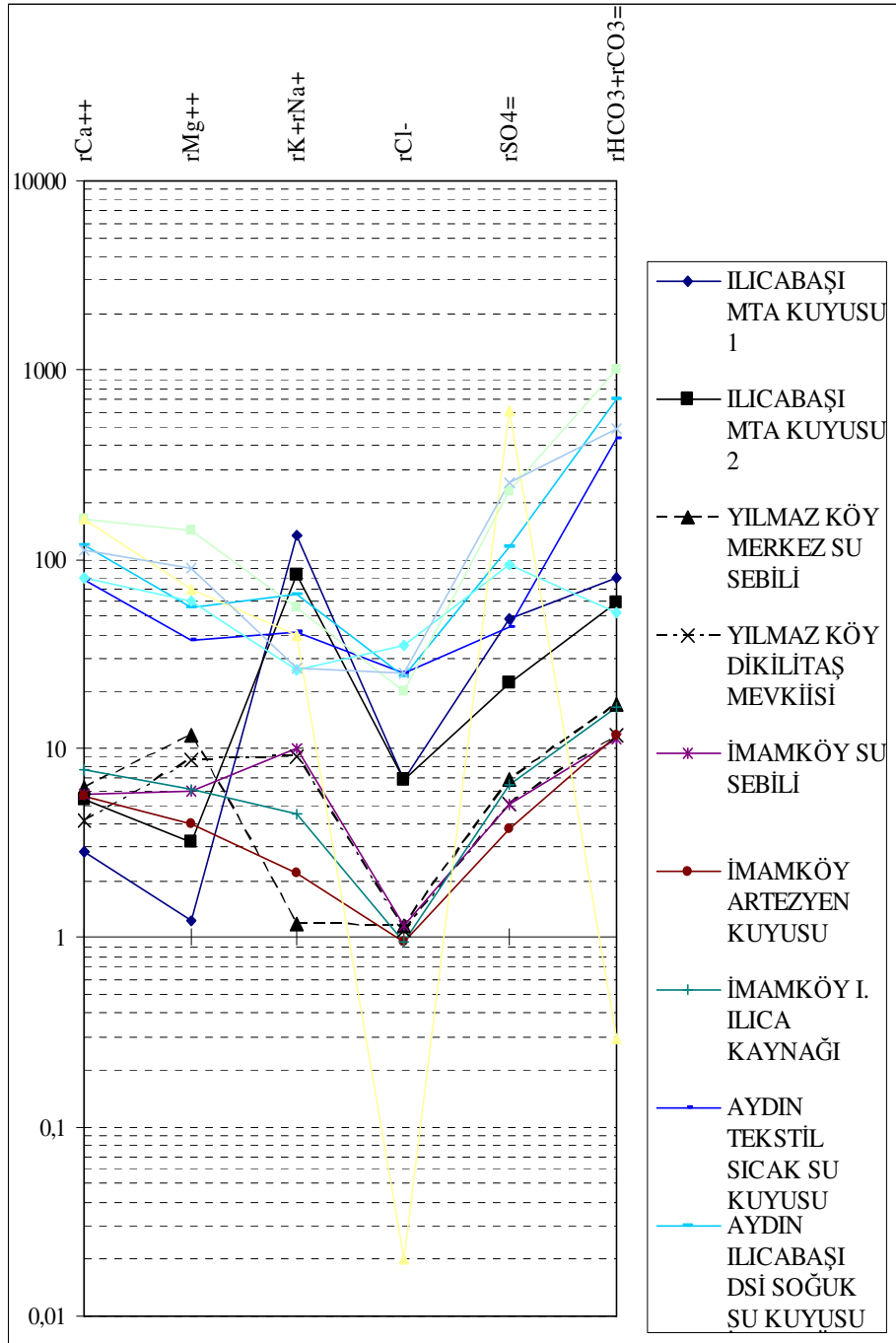
dayalı olarak sınıflandırılması esasına dayanmaktadır. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/L cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir.

İnceleme alanındaki sulara ait Piper diyagramı Şekil 3.2'de verilmiştir. Bu diyagrama göre, inceleme alanındaki Ayter-1 ve Ayter-2 kuyularındaki sıcak ve mineralli sular, karbonat olmayan alkalitesi %50'den fazla olan sulardır. Deniz suyu, acı sular ve bir kısım jeotermal sular bu alanda yer alırlar. İmamköy Ilıca kaynağındaki sıcak ve mineralli sular ile inceleme alanındaki soğuk sular, CO₃ sertliği %50'den fazla olan sulardır.

Schoeller diyagramı: Bu diyagramda yatay eksene belirli aralıklar ile iyonlar sıralanır. Düşey eksen logaritmik ölçeklidir. Bir su örneği, bu diyagramda gösterilirken, her iyonun mek/l değeri, kendine ait logaritmik eksende işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir. Birleştirilen noktalar, kırık çizgileri oluşturmakta ve bu çizgiler bir su örneğini temsil etmektedir. Schoeller diyagramında benzer kökenli, aynı akifere ve beslenme alanına sahip sular benzer dağılım gösterirler. İnceleme alanına ait suların schoeller diyagramında yorumlanması Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Schoeller diyagramına göre inceleme alanında iki grup gözleniyor. Bu gruplar, sıcak ve mineralli sular ve soğuk sulardır. İki grup arasında çok fazla bir değişiklik yok ancak sıcak sularla soğuk suların karışımından söz edebiliriz. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflamasında ise suda çözülmüş başlıca anyon ve katyonlardan ayrı ayrı olmak üzere mek/L olarak %20'den fazla çözülmüş bulunan iyonlar su tipini belirtmektedir (Başkan&Canik, 1983). Bu çalışmada hidrokimyasal fasiyes kavramı AIH sınıflamasına göre uyarlanarak kullanılmıştır. Bu sınıflamaya göre inceleme alanında, Aydın – Ilıcabaşı mevki Ayter-1 ve Ayter-2 sondaj kuyularının sıcak suları, Na-HCO₃-SO₄'lü, İmamköy Ilıca kaynak sularında ise, Ca-Na-Mg-SO₄-HCO₃'lü sular sınıfına girmekte olup, inceleme alanındaki soğuk sular ise, Ca-Mg-SO₄-HCO₃'lü sular sınıfındadır.



Şekil 3.2 İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sular ile soğuk su örneklerinin Piper Üçgen diyagramındaki görünüşleri



Şekil 3.3 İnceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk su örneklerinin Yarı Logaritmik Schoeller diyagramındaki görünüşleri

3.4.4.1 Suların sertliği

Suların sertliği su içinde çözünmüş halde bulunan kalsiyum ve magnezyum bileşiklerinden meydana gelmektedir. kalsiyum ve magnezyum bikarbonatların neden olduğu sertlik geçici sertliktir ve kaynatılarak giderilebilmektedir. Kalsiyum ve magnezyumun sülfat, klorür ve nitrat gibi diğer tuzlarından ileri gelen sertlik ise kaynatılarak giderilmez ve kalıcı sertlik adını alır. Suların sertliğinin belirlenmesi için Alman, İngiliz, Fransız sertliği gibi çeşitli sınıflamalar bulunmaktadır. Bu çalışmada yöredeki suların sertlikleri Fransız sertliği sınıflamasına göre belirlenmiştir. Geçici ve kalıcı sertliğin toplamı suyun toplam sertliğini verir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$\text{Toplam sertlik} = 5 \times (r\text{Ca}^{++} + r\text{Mg}^{++}) \quad (r = \text{mek/L})$$

Tablo 3.5 Suların sertliklerine göre sınıflandırılması

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

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların sertlik değerleri, oldukça sert ve sert sular sınıfına girmektedir.

3.4.4.2 Suların pH Değerleri

Su içerisindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunu 10 tabanına göre negatif logaritması pH olarak tanımlanmaktadır. pH değeri 7'nin altında olan sular asit özellik kazanırken pH değeri 7'nin üstündeki sular ise bazik karakter kazanırlar

(Erguvanlı & Yüzer, 1973). Soğuk yeraltı sularının pH değerleri 4-9 arasındadır. Jeotermal suların pH değerleri kaynamaya bağlı olarak değişiklik sunar. Karbondioksitin ortamdan uzaklaşması akışkanın daha alkali olmasına neden olur. PH akışkanın tuzluluk ve sıcaklığından da etkilenmektedir (Nicholson, 1993). Yöredeki sıcak suların pH değerleri genelde 6,09 ile 6,76 arasında değişmektedir.

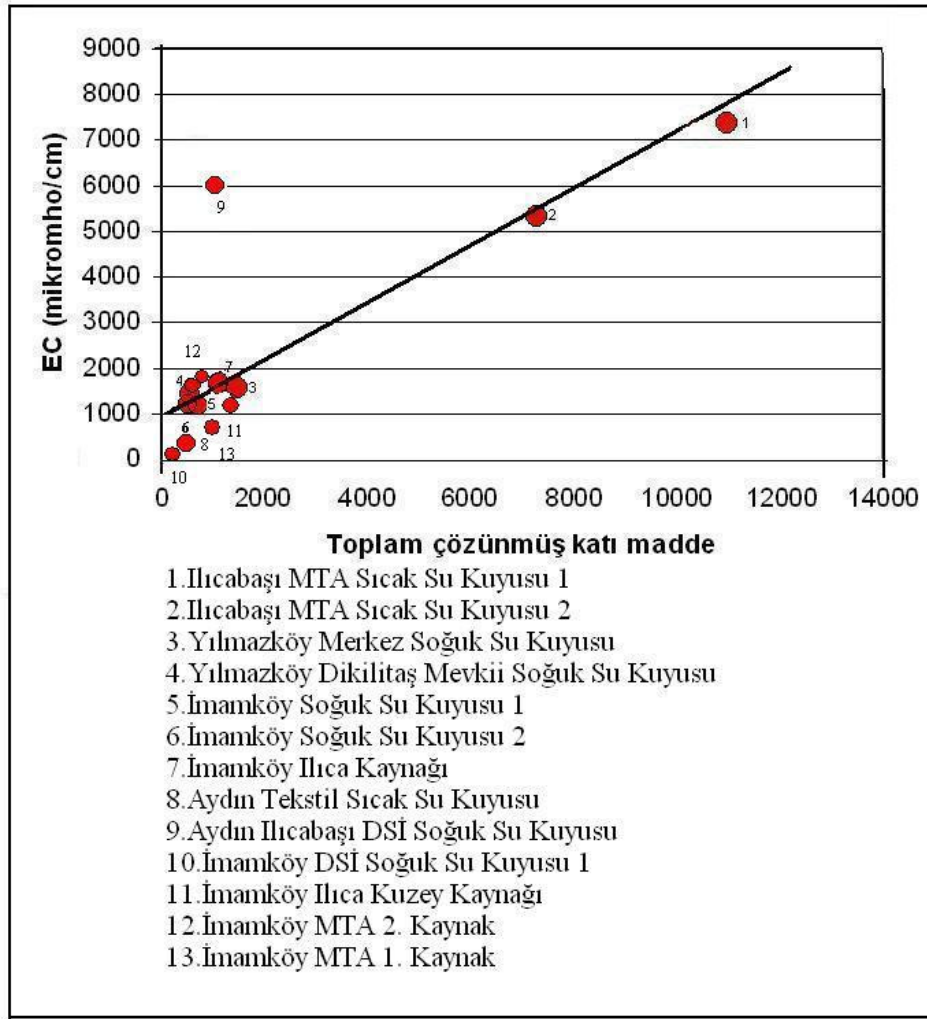
3.4.4.3 Suların Elektriksel İletkenlik (EC) Değerleri

Elektriksel iletkenlik cisimlerin elektriği iletme özelliği olup 1 cm³ suyun elektriksel iletkenliğine özgül elektriksel iletkenlik denir. Özgül elektriksel iletkenlik mikromho/cm olarak ifade edilir. Suyun özgül iletkenliği iyon cinsine, derişimine ve sıcaklığına bağlı olarak değişir.

Tablo 3.6 Suların özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması (Erguvanlı & Yüzer, 1973).

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

İnceleme alanındaki sıcak sulardan Aydın – Ilıcabaşı Ayter-1 ve Ayter-2 sondaj kuyularındaki sıcak suların EC değerleri 3000'nin üzerinde olup, kullanılamaz sular sınıfından olup, İmamköy Ilıca kaynağındaki sıcak suların EC değerleri ise kullanılabilir sular sınıfındadır.

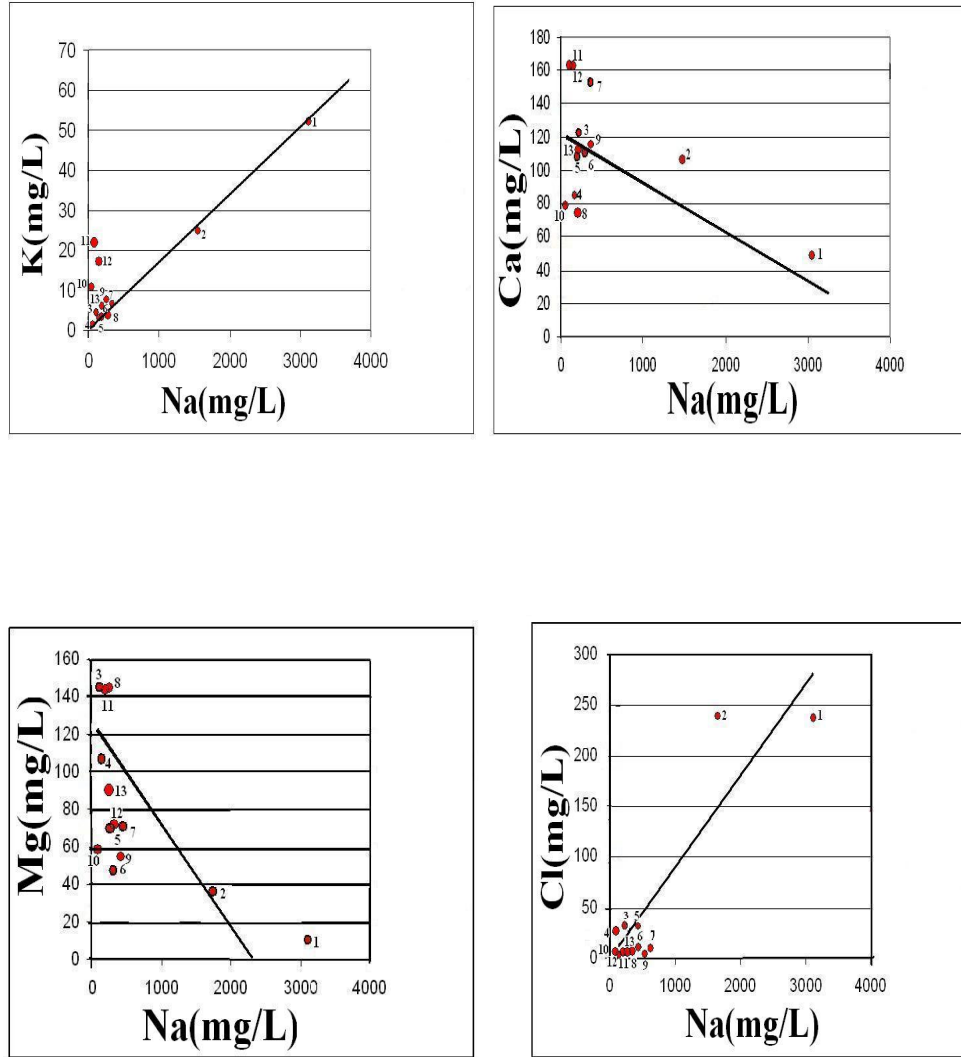


Şekil 3.4 İnceleme alanındaki suların EC ile toplam çözünmüş madde arasındaki ilişkisi

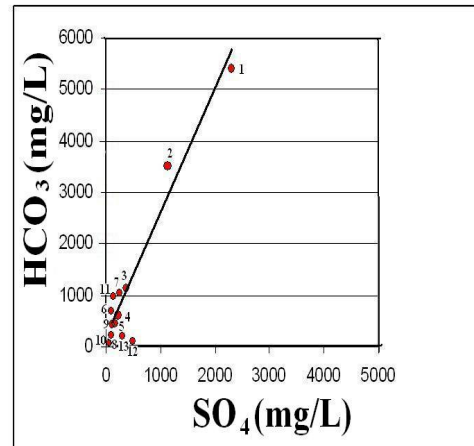
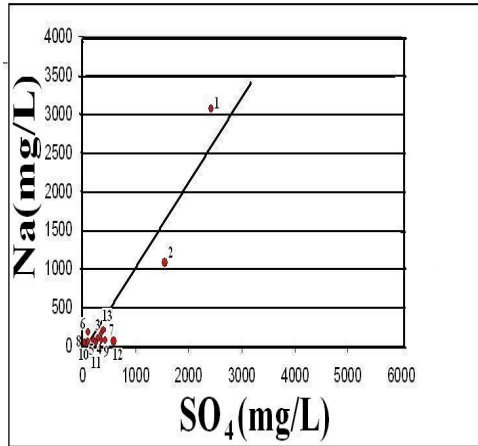
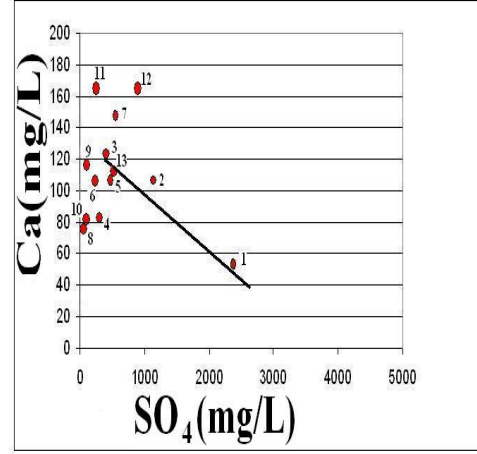
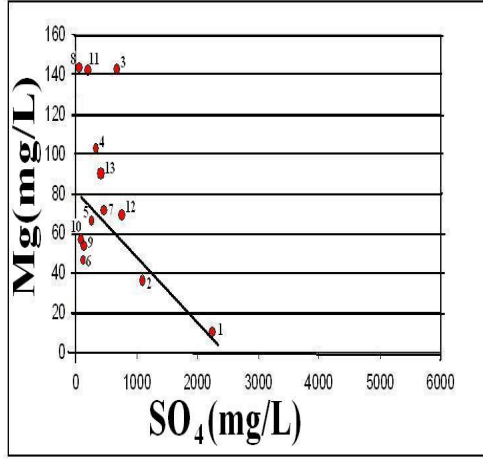
3.4.3.4 Sıcak Sulara Ait İyonlar Arası İlişkiler

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların birbirleri ile olan ilişkilerini belirleme aşamasında, suların başlıca iyonları (Na, K, Ca, Mg, HCO₃, Cl, SO₄), elektriksel iletkenlik değerleri ve çözünmüş madde miktarlarından yararlanılmıştır. İyonlar arası ilişkiler Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7'deki grafiklerde gösterilmiştir. Hesaplamalarda iyonların mg/L değerleri kullanılmıştır. Şekildeki iyonlar arası ilişkiler Excel programında en küçük kareler yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

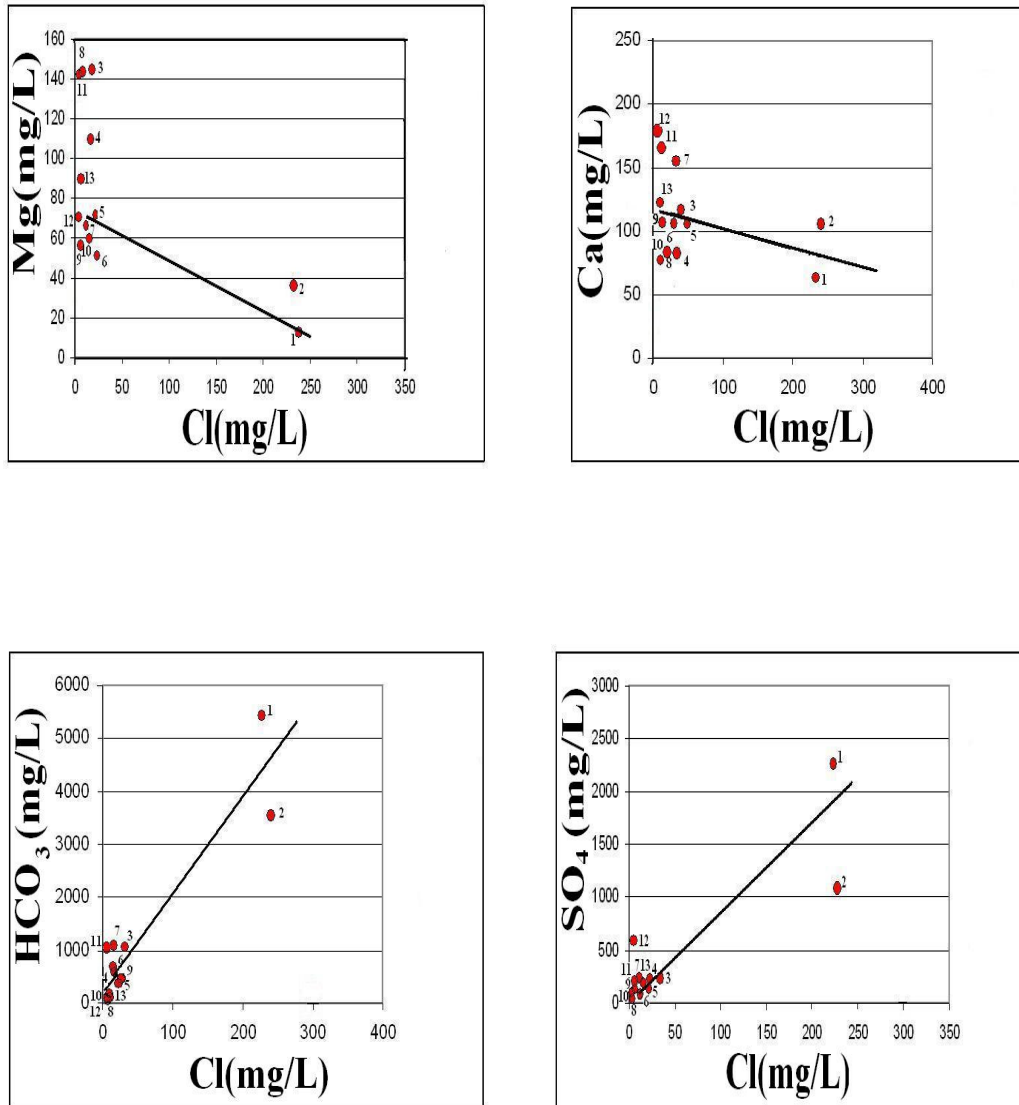
Grafikler incelendiğinde Cl, Na ve SO₄'ün iyonlarda artması ile azalan, değişik bağıntılar sunduğu gözlenmiştir. Mg, Ca iyonları azalan ve HCO₃ ise iyonları ile artan bağıntılar sunduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.5 İnceleme alanındaki bazı sıcak suların Na ile K, Ca, Mg ve Cl iyonları arasındaki ilişkiler.



Şekil 3.6 İnceleme alanındaki bazı sıcak suların SO₄ ile Mg, Ca, Na ve HCO₃ iyonları arasındaki ilişkiler.



Şekil 3.7 İnceleme alanındaki sıcak suların Cl ile Mg, Ca, HCO₃ ve SO₄ iyonları arasındaki ilişkiler.

3.4.5 Sıcak ve Soğuk Yeraltı Sularının İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri

Yöredeki yeraltı sularının içme ve kullanıma uygunluğu suların EC, SAR, Sodyum yüzdesi, Çözünmüş madde miktarı, köpürme katsayıları (Fo) ve bazı diyagramlar yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

$$\% rNa = [(rNa+rK) \times 100 / (rNa+rK+rCa+rMg)]$$

SAR = $rNa / [(rCa^{++}+rMg^{++}) / 2]^{0.5}$ bağıntısı ile bulunur. r = mek/L'dir. Tablo 3.7'deki gibi sınıflanır.

Tablo 3.7 Suların Sodyum Adsorpsiyon Oranı'na (SAR) göre Sınıflaması (Şahinci, 1991a)

SAR	Sınıf
<10	Çok iyi özellikte sulama suları
10 – 18	İyi özellikte sulama suları
18 – 26	Kullanılabilir özellikte sulama suları
>26	Kullanılmaz özellikte sulama suları

Tablo 3.7'ye göre inceleme alanındaki soğuk sular, çok iyi özellikte sulama suları sınıfına girmektedir. Aydın Ilıcabaşı, Ayter-1 ve Ayter-2 sondaj kuyularındaki sıcak sular, 26'dan büyük olup, kullanılmaz özellikte sulama suları özelliği taşımaktadır. İmamköy Ilıca kaynaklarının sıcak suları ise, çok iyi özellikte sulama suları sınıfına girmektedir.

Suların kaynarken köpürme katsayısı (Fo) = $62 rNa^{+} + 78 rK^{+}$ (r = mek/L) bağıntısıyla bulunur ve sular köpürme katsayısı değerine göre Tablo 3.8'deki gibi sınıflanır.

Tablo 3.8 Suların Köpürme Katsayısı Değerine (Fo) göre Sınıflaması (Şahinci, 1991a).

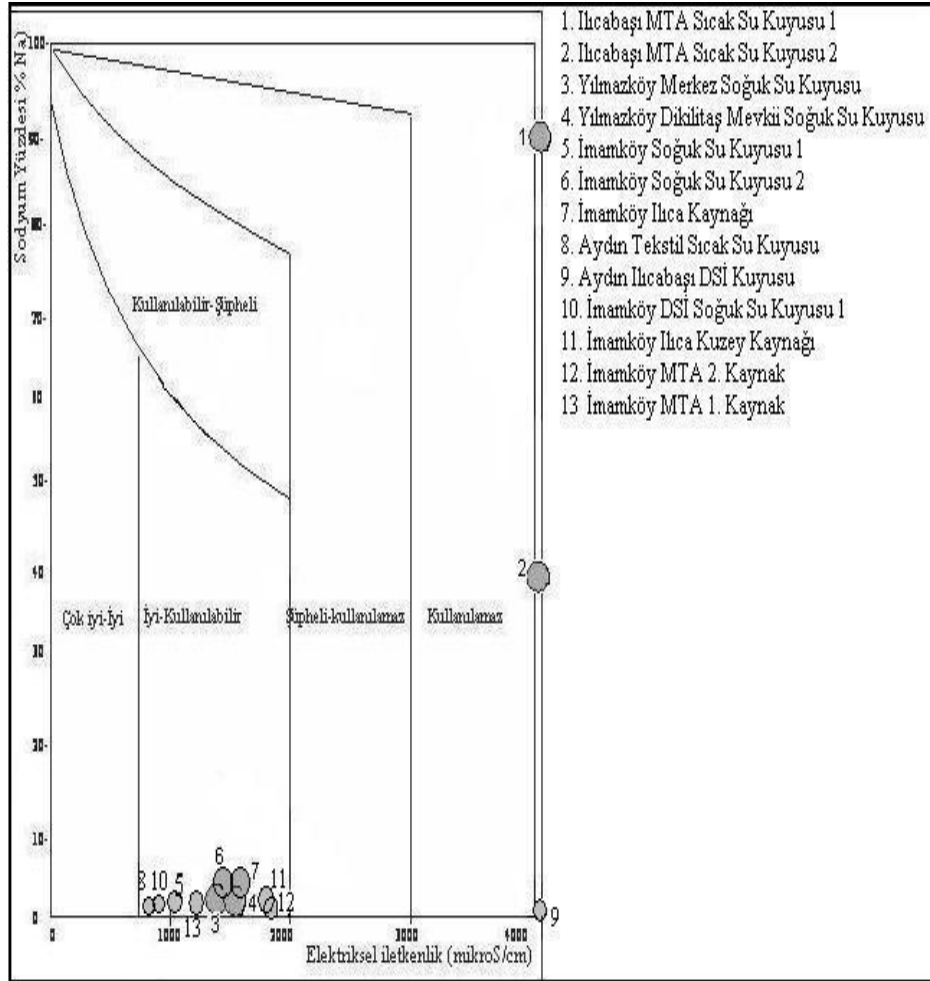
Fo	Sınıf
<60	Kaynarken köpürmeyen su
60 – 200	Kaynarken köpüren su
> 200	Kaynarken çok köpüren su

Tablo 3.8'ye göre inceleme alanındaki soğuk sular, kaynarken köpüren su, sıcak sular ise kaynarken çok köpüren sular sınıfına girmektedir.

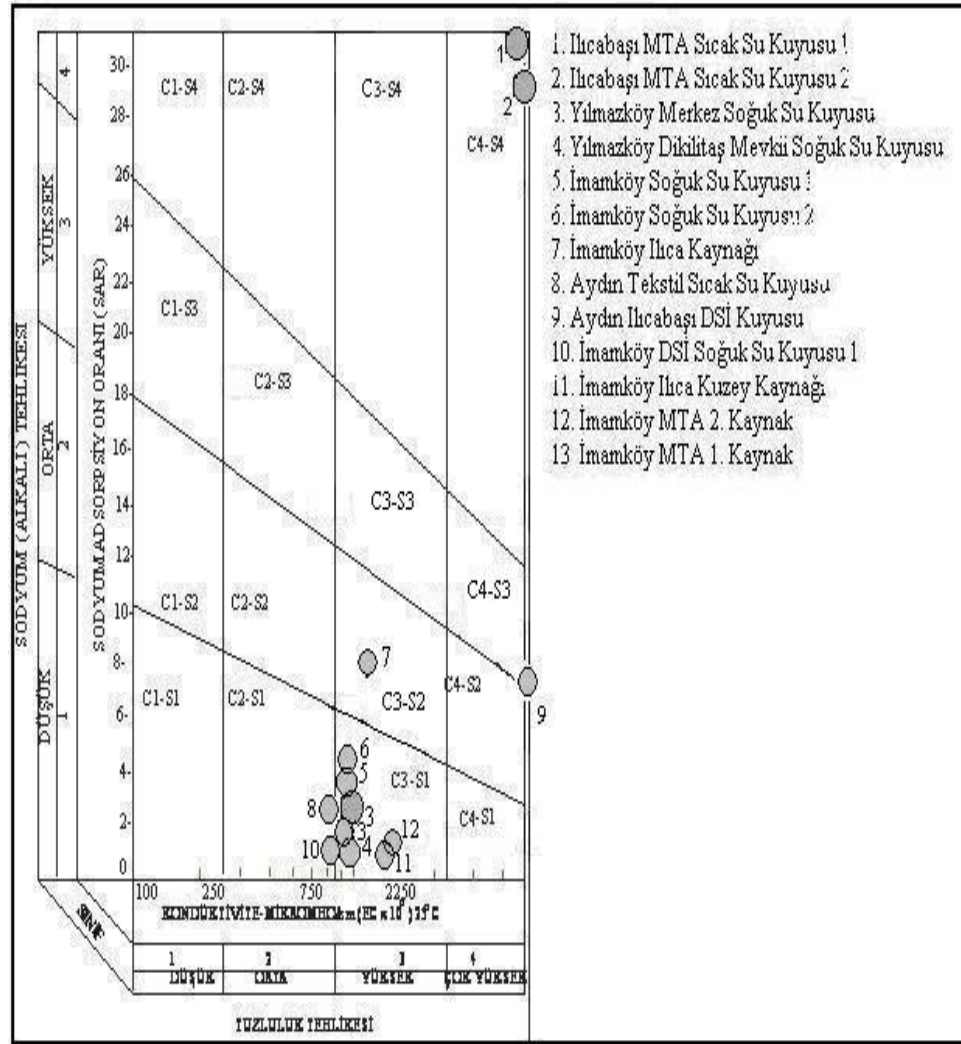
Kimi alanlarda sulama suyuna gereksinme duyulursa kullanılacak suyun sulamaya uygunluğu yapılacak kimya analizlerinin diyagramlara taşınmasıyla ortaya konabilir. Bu konuda kullanılan diyagramlardan birisi de Wilcox diyagramıdır. Suların elektriksel iletkenlik ve sodyum yüzdesi (%) değerleri bu diyagram üzerine taşınarak sulama suları doğrudan yorumlanabilir (Canik, 1998) Şekil 3.8'de inceleme alanındaki sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların Wilcox diyagramında gösterimi verilmiştir. Wilcox diyagramına göre, inceleme alanındaki soğuk sular genel olarak iyi – kullanılabilir sular sınıfında olup, sıcak sular ise 1 ve 2 nolu örneklerdeki Ayter-1 ve Ayter-2 sondaj kuyularındaki sıcak sular kullanılamaz sular sınıfında, 7, 11, 12, 13 nolu örneklerdeki İmamköy Ilıca kaynaklarının sıcak suları ise, iyi – kullanılabilir sular sınıfında yer almaktadır.

Sodyum iyonu yüzdesi (% Na) ve Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) sulama suları sınıflamasında kullanılan önemli bir özelliktir. Sulama suları sınıflandırılmasında en çok ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı kullanılır. Bu Diyagram için suyun 25 °C deki kondüktivitesi ve sodyum adsorpsiyon oranının bilinmesine gerek vardır. İnceleme alanındaki suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre diyagram üzerindeki gösterimi Şekil 3.19'de verilmiştir. Tablo 3.9'de suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması verilmiştir. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre, inceleme alanındaki soğuk sular genel olarak C2-S1 (Orta tuzlulukta ve az sodyumlu su) grubunda ve C3-S1 (Fazla tuzlu ve az sodyumlu su) grubundadır. İnceleme alanındaki sıcak sulardan, 1 ve 2 nolu örnekler Ayter-1 ve Ayter-2 sondaj kuyularının sıcak suları C4-S4 (Çok fazla tuzlu ve çok fazla

sodyumlu su) grubunda olup, 7, 11, 12, 13 nolu örnekler ise İmamköy Ilıca kaynaklarının sıcak suları ise C3-S2 (Fazla tuzlu ve orta derece sodyumlu su) ve C3-S1 (Fazla tuzlu ve az sodyumlu su) grubundadır.



Şekil 3.8 İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların Wilcox diyagramında gösterimi.



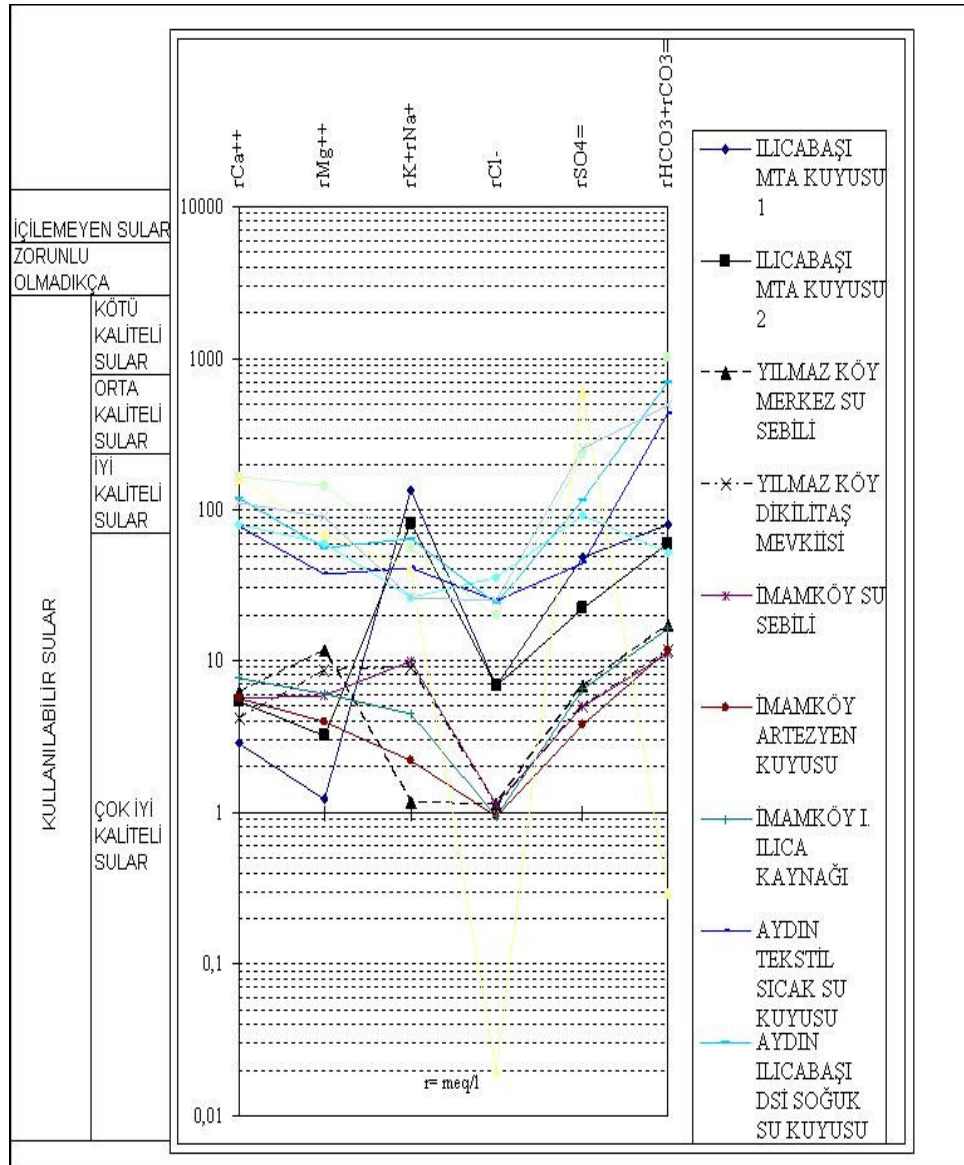
Şekil 3.9 İnceleme alanındaki suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre diyagram üzerindeki gösterimi (ABD Tuzluluk Diyagramı)

Tablo 3.9 Suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması

Tuzluluğa Göre Alt Sınıflar	C₁	Az tuzlu su. Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir.
	C₂	Orta tuzlulukta su. Orta derecede tuza ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılmaz
	C₃	Fazla tuzlu su. Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.
	C₄	Çok fazla tuzlu su. Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenaj yapılmış olanlarda bazı bitkiler yetiştirilebilir.
Sodyum Miktarına Göre Alt Sınıflar	S₁	Az sodyumlu su. Sodyuma karşı duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygun.
	S₂	Orta derecede sodyumlu su. Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun.
	S₃	Fazla sodyumlu su. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir.
	S₄	Çok fazla sodyumlu su. Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılmaz

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların H. Schoeller diyagramına göre kullanılabilirlik ve içilebilirlik durumu Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bu diyagrama göre, genel olarak inceleme alanındaki sıcak ve mineralli sular için çok iyi kaliteli sular, soğuk sular için ise iyi kalitesi sular olarak yorumlama yapılabilir.

H. Schoeller'e göre suların içilebilirlik diyagramı :



Şekil 3.10 İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların H. Schoeller diyagramına göre içilebilirlik ve kullanılabilirlik durumu.

3.4.6 İnceleme Alanında Bulunan Sıcak ve Mineralli Sularla Soğuk Yeraltı Sularının Doygunluk İndeksleri

Suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökellerin önceden tahmin edilmesi üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir. Bu nedenle özellikle sıcak ve mineralli suların kabuklaşma ve korozyon özelliklerinin tahmini ekonomik önem taşımaktadır. Bu çalışmada en çok rastlanılan çökel minerallerinin doygunluk bağıntıları sunulmuştur. Hesaplamalarda Aquachem bilgisayar programı kullanılmıştır. Ayrıca, 25 °C ve 1 atm koşullarındaki hesaplamalar Excel bilgisayar programında yapılmıştır. Analizi yapılan su örnekleri, hidrojeokimyasal programlar (Aquachem-Calmbach, 1997) ile değerlendirilerek yorumlanmıştır. Bu programlar yardımıyla çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların leokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Excel, Word ve Corel paket programları da raporun yazımında, şekil ve grafiklerin çizilmesinde kullanılmıştır.

En çok gözlenen çökel ürünleri olması nedeniyle yapılan kalsit, dolomit ve jips doygunluk indeksi hesaplamalarının yorumunda SI (Doygunluk İndeksi) 0'dan küçükse mineral çözünür, büyükse çökelir ve bu değer 0 ise su ilgili minerale doygundur.

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

$$SI = \log \frac{IAP}{K_{eq}}$$

SI, doygunluk indeksi

IAP, iyon etkinliği

K_{eq} , tepkime denge sabiti

Çözeltideki mineralin elde edilen doygunluk indeksi değeri (SI).

SI > 0 ise mineral çökler.

SI = 0 ise mineral dengededir.

SI < 0 ise mineral çözünür.

3.4.6.1 Kimyasal Denge ve İyonlaşma Gücü Kavramı

Kimyasal Denge; Denge de bulunan bir kimyasal sistemde tepkime ürünlerinin iyon etkinlik çarpımının, tepkimeye giren maddelerin iyon etkinlik çarpımına oranı sabittir.

Yukarıda belirtilen kütle korunumu yasasına göre,
bB + cC = dD + eE bağıntısı aşağıdaki şekilde yazılır.

$$K_{eq} = \frac{(D)^d (E)^e}{(B)^b (C)^c}$$

Bağıntıda K_{eq} , kimyasal denge sabiti (termodinamik denge sabiti, parantezler de aktiviteleri göstermektedirler).

Kimyasal tepkimelerin denge sabitleri bilinirse, çözünmüş iyonların çökmesi, iyon değişimi, kimyasal bozunum şekilleri önceden tahmin edilebilir (Şahinci, 1991a).

İyonlaşma Gücü; İyonlaşma gücü (I) iyonların her birinin stokiyometrik molaritesinin (C) yarısı ile iyon değeri (z) karesi çarpımına eşittir.

$$I = 0.5 (C_1 z_1^2 + \dots + C_n z_n^2) = 0.5 \sum C_i z_i^2$$

3.4.6.2 İyon Etkinliği ve İyon Etkinlik Katsayısı

Su içerisindeki iyonlara bağlı olarak zayıf bir iletkendir. Farklı yüklerdeki bazı iyonlar birleşerek daha düşük veya sıfır yüklü iyon çiftleri oluştururlar. Bunlar daha sonra gelişecek olan kimyasal reaksiyonlarda fazla etkili olmazlar. Bu nedenle bir çözeltide yer alan etkin iyonların derişimi (Ca^{++} gibi) toplam iyon derişiminden azdır. Serbest iyonların oranı etkinlik olarak belirlenir. İyonlaşma 0'dan 0,1'e doğru artarken etkisi azalır. Ancak çoğu iyon için iyonlaşma gücü 0,12'den 1'e doğru artarken etkinlik de artar (Ford & Williams, 1989).

İyon etkinlik katsayısının (f_i) hesaplanmasında, iyonlaşma gücünün değerine bağlı olarak farklılık sunmaktadırlar.

İyonlaşma gücü ($I \leq 0,1$) ise iyon etkinlik katsayısının hesaplanmasında aşağıdaki Debye-hückel bağıntısı kullanılır.

$$\text{Log}f_i = \frac{-Az_i^2 \sqrt{I}}{1 + B (r_0) \sqrt{I}}$$

r_0 = suda çözülmüş iyonların boyutlarına bağlı bir parametre

A ve B sıcaklık ve basınca bağlı sabitlerdir.

$$A = 1.823 \times 10^6 (DT)^{1.5}$$

$$B = 50.3 (DT)^{0.5}$$

D çözeltinin dielektrik sabiti, T mutlak sıcaklık ($^{\circ}K$)

İyonlaşma gücünün (I) 0,1'den büyük fakat 0,5'ten küçük olması durumunda önerilmektedir.

$$\text{Log}f_i = -Az_i^2 \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0,2I \right)$$

3.4.6.3 Kalsit, Dolomit ve Jips'in Çözünürlüğü

Doğadaki mevcut karbonun %99'unun karbonat minerallerinde yer aldığı düşünülmektedir. Bu minerallerin en önemlisi kalsit (CaCO_3) ve dolomittir [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]. Yeraltı suları yeraltındaki hareketleri boyunca akiferi oluşturan kayaların litolojik özelliklerine bağlı olarak az veya çok karbonat mineralleri ile temas halindedir. Kireçtaşı ve dolomitin yaygın olduğu alanlarda pH değeri 6.5 – 8.9 arasında değişir (Ford ve Williams, 1989). Bu aralıkta HCO_3^- baskın iyon olup CO_3^{2-} ihmal edilebilir boyuttadır. $\text{pH}=0-5$ arasında, suda H_2CO_3^* egemen; $\text{pH}=5$ 'ten itibaren HCO_3^- artar ve $\text{pH}=8$ 'de en yüksek değerine ulaşır. CO_3^{2-} $\text{pH}=8,2$ 'den itibaren artmaya başlar ve $\text{pH}=10,3$ 'ten itibaren baskın iyon olur.

Çalışmada kullanılan bazı mineraller için doygunluk indeksi sonuç eşitlikleri aşağıdadır.

$$SI_c = \log [(a\text{Ca}^{++}) (a\text{HCO}_3^-) K_2/K_c \cdot 10^{-\text{pH}}] \quad (\text{Kalsit doygunluk indeksi})$$

$$SI_D = \log [(a\text{Ca}^{++}) (a\text{Mg}^{++}) (a\text{HCO}_3^-)^2 (K_2)^2 / K_D \cdot 10^{-2\text{pH}}]^{0.5} \quad (\text{Dolomit doygunluk indeksi})$$

$$SI_j = \log [(a\text{Ca}^{++}) (a\text{SO}_4^{--}) / K_j] \quad (\text{Jips doygunluk indeksi})$$

$$-\log P_{\text{CO}_2} = \log [(10^{-\text{pH}}) (a\text{HCO}_3^-) / (K_1) (K_{\text{CO}_2})] \quad (\text{CO}_2 \text{ kısmi basıncı (atm)})$$

Yukarıdaki bağıntılarda kullanılan termodinamik denge sabiti değeri (K) aşağıdadır (Bağıntılarda () iyon etkinliğini belirtir.)

$$(\text{H}^+) (\text{HCO}_3^-) / (\text{H}_2\text{CO}_3) = K_1 = 10^{-6.4} \quad (\text{Karbonik asit için})$$

$$(\text{H}^+) (\text{CO}_3^{2-}) / (\text{HCO}_3^-) = K_2 = 10^{-10.3} \quad (\text{Bikarbonat için})$$

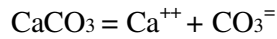
$$(\text{Ca}^{++}) (\text{CO}_3^{2-}) / (\text{CaCO}_3) = K_C = 10^{-8.4} \quad (\text{Kalsit için})$$

$$(\text{Ca}^{++}) (\text{Mg}^{++}) (\text{CO}_3^{2-})^2 / [\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2] = K_D = 10^{-17} \quad (\text{Dolomit için})$$

$$(\text{Ca}^{++}) (\text{SO}_4^{--}) / (\text{CaSO}_4) = K_J = 10^{-4.6} \quad (\text{Jips için})$$

$$(\text{H}_2\text{CO}_3) / p_{\text{CO}_2} = K_{\text{CO}_2} = 10^{-1.46} \quad (\text{Karbon dioksit için})$$

Kalsit için çözünme reaksiyonu;



$$K_{\text{kalsit veya aragonit}} = (\text{Ca}^{++}) (\text{CO}_3^{\ominus})$$

Yukarıdaki bağıntılar kullanılarak kalsit için doygunluk indeksi değeri (SI);

$$SI_{\text{kalsit}} = \text{Log} \frac{(\text{Ca}) (\text{CO}_3)}{K_{\text{eq}}}$$

Bağıntıda (CO_3) değerinin ölçülmesi zor olduğundan CO_3 değerinin saptanması için daha önceden bilinen ve ölçülebilir parametreler kullanılır. $(\text{Ca}^{++}) (\text{CO}_3^{\ominus}) / (\text{CaCO}_3) = K_c$ bağıntısındaki (CO_3) değeri $(\text{H}^+) (\text{CO}_3^{\ominus}) / (\text{HCO}_3^-) = K_2$ bağıntısına konulursa;

$$IAP_{\text{kalsit}} = (\text{Ca}^{++}) (\text{HCO}_3^-) K_2 / 10^{-\text{pH}} \quad \text{halini alır.}$$

Karbonat çözünürlüğü ile ilgili diğer bir parametre ise CO_2 kısmi basıncıdır.

$$PCO_2 = \frac{(\text{HCO}_3^-) (\text{H}^+)}{(K_1) (K_{\text{CO}_2})}$$

Veya;

$$\text{LogpCO}_2 = \text{log} (\text{HCO}_3^-) - \text{pH} + \text{pK}_{\text{CO}_2} + \text{pK}_1$$

Hesaplanan suda çözülmüş CO_2 gazı kısmi basıncı atmosferdeki CO_2 kısmi basıncından büyük ise, suda karbonat çökebilir. Ancak bu her zaman geçerli değildir. Suda çözülmüş CO_2 kısmi basıncı atmosferdekinden küçük ise sudaki CO_2 kısmi basıncını dengelemek için atmosferden suya CO_2 gazı geçeceğinden su karbonatı çözüdürür (Şahinci, 1991a).

3.4.6.4 Kalsit, dolomit ve jips için doyumluk indeksi değeri (SI_{kalsit} , $SI_{dolomit}$ ve SI_{jips})

Kalsit için çözünme tepkimesi;

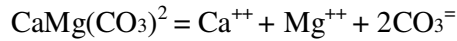


$$K_{kalsit} \text{ veya aragonit} = (Ca^{++}) (CO_3^{-})$$

$$SI_{kalsit} = \text{Log} \frac{(Ca) (CO_3)}{K_{eq}}$$

$$SI_{kalsit} = \log(Ca^{++}) + \log(HCO_3) + pH - pK_2 + pK_c$$

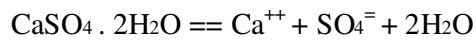
Dolomit için çözünme tepkimesi;



$$K_{dolomit} = (Ca^{++}) (Mg^{++}) (CO_3^{-})^2$$

$$SI_{dolomit} = \log(Ca^{++}) + \log(Mg^{++}) + 2\log(HCO_3) + 2pH - 2pK_2 + pK_D$$

Jips için çözünme tepkimesi;



$$K_{jips} = \frac{(Ca) (SO_4)}{(CaSO_4)_{katı}}$$

$$SI_{jips} = \log(Ca^{++}) + \log(SO_4^{-}) + pK_{jips}$$

3.4.6.5 İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sularla soğuk yeraltı sularının doygunluk indeksi değerleri

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli sularla yeraltı sularının çeşitli minerallerce doygunluk indeksi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda yukarıda verilen temel bağıntılar kullanılmıştır.

Sıcak ve mineralli yeraltı sularının doygunluk indeksi değerlerinin hesaplanmasında yüzeyde ölçülen pH ve sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır. Hesaplamalar aquachem bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Analiz edilen su örneklerinin başlıca iyon değerleri ile bazı örneklerin eser element değerleri kullanılarak aquachem programı ile oluşabilecek bozuşma minerallerinin doygunluk indeksi değerleri saptanmıştır. Tablo 3.10, 3.11, 3.12 ve 3.13’de yüzeydeki sıcak ve mineralli suların oluşturabilecekleri alterasyon mineralleri ile bu minerallerin doygunluk indeksi değerleri hidrojeokimyasal programlar (Aquachem-Calmbach, 1997) ile hesaplanarak sunulmuştur. Tabloda IAP=iyon etkinlik ürünü, KT=ölçülen sıcaklık için ilgili minerallerin denge sabiti değerleri, SI ise doygunluk indeksi değeridir ve $AP = KT$ ile bulunur. Şekil 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14’de inceleme alanındaki sıcak ve soğuk sular için çıkış sıcaklıkları ve doygunluk indeksi grafikleri verilmiştir.

Bu hesaplamalarda sıcak sular için kaynak çıkış sıcaklıkları 34 – 47 °C, soğuk sular için ise 20 – 22 °C sıcaklıklar dikkate alınmıştır.

Grafikler incelendiğinde, inceleme alanındaki sıcak sular için (1, 2, 7, 11, 12, 13 nolu örnekler) Anhidrit, Jips, gibi mineraller tüm su noktalarında doygunluk indisi değerleri sıfırın altında olup doygunluk altı değerler verir, dolayısı ile su bu mineralleri çözüdürücü özelliktedir. Kalsit, Dolomit, Albit, Ca – Montmorillonit, Fe(OH)₃(a), K – Feldispat, Kalsedon, Kaolinit, Kuvars, Siderit, gibi mineraller sıcak ve mineralli sularda doygunluk üstü değerler verir, bu nedenle su bu mineralleri çöktürücü özelliktedir. İnceleme alanındaki tüm sıcak ve mineralli suların doygunluk indeksi değerlerinin jips ve anhidrit için eksi değerlerde olması bu suların çürütücü

bir etkiye sahip olduklarını göstermektedir. Bu durum sondaj borularının zamanla kullanılamaz hale gelmesine neden olabilmektedir. Kalsit, aragonit ve dolomitin doygunluk indisi değerlerinin doygunluk üstü değerler vermesi su bu mineralleri çöktürücü özellikte olup, bu suların kullanımı esnasında kabuklaşma sorunu olabileceği dikkate alınmalıdır.

Tablo 3.10 İnceleme alanındaki sıcak suların mineral doygunluk indeksi değerleri (Sıcaklıklar yüzeyde ölçülmüş değerlerdir).

SUNOKTASI: 1 (38 °C)	SI	log IAP	log KT	MİNERAL
Al(OH)3(a)	1.73	11.72	9.99	Al(OH)3
Albite	4.60	8.76	4.17	NaAlSi3O8
Alunite	9.54	6.60	-2.94	KAl3(SO4)2(OH)6
Anhydrite	-1.48	-5.92	-4.44	CaSO4
Anorthite	4.37	27.77	23.39	CaAl2Si2O8
Aragonite	0.17	-8.26	-8.43	CaCO3
Ca-Montmorillonite	11.51	18.08	6.57	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	0.31	-8.26	-8.56	CaCO3
Chalcedony	0.43	-2.98	-3.41	SiO2
CO2(g)	-0.40	-18.54	-18.14	CO2
Fe(OH)3(a)	3.18	20.79	17.61	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-58.68	-94.40	-35.72	FeS
Gibbsite	4.31	11.72	7.41	Al(OH)3
Goethite	9.07	20.79	11.72	FeOOH
Gypsum	-1.33	-5.93	-4.59	CaSO4·2H2O
H2(g)	-21.96	-22.00	-0.04	H2
H2S(g)	-64.42	-104.20	-39.78	H2S
Hematite	21.10	41.59	20.49	Fe2O3
Jarosite-K	5.82	33.82	28.00	KFe3(SO4)2(OH)6
K-feldspar	4.89	6.63	1.75	KAlSi3O8
K-mica	19.19	30.08	10.88	KAl3Si3O10(OH)2
Kaolinite	11.13	17.48	6.35	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-57.94	-94.40	-36.46	FeS
Melanterite	-4.35	-6.42	-2.07	FeSO4·7H2O
O2(g)	-34.94	44.00	78.94	O2
Pyrite	-94.85	-176.60	-81.75	FeS2
Quartz	0.82	-2.98	-3.80	SiO2
Siderite	2.22	-8.74	-10.97	FeCO3
SiO2(a)	-0.37	-2.98	-2.61	SiO2
Sulfur	-48.15	-82.20	-34.05	S

Tablo 3.11 İnceleme alanındaki sıcak suların mineral doygunluk indeksi değerler (Sıcaklıklar yüzeyde ölçülmüş değerlerdir).

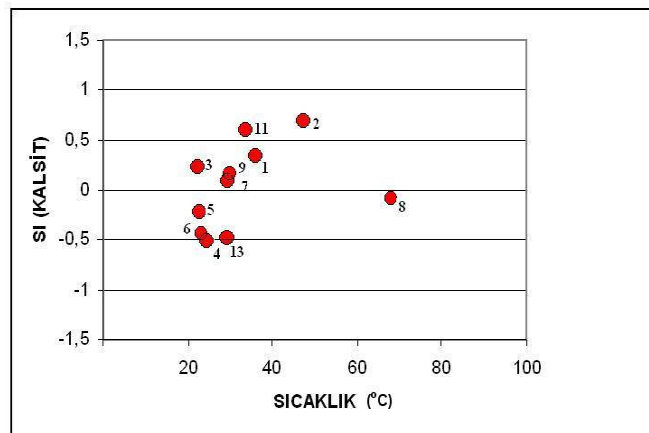
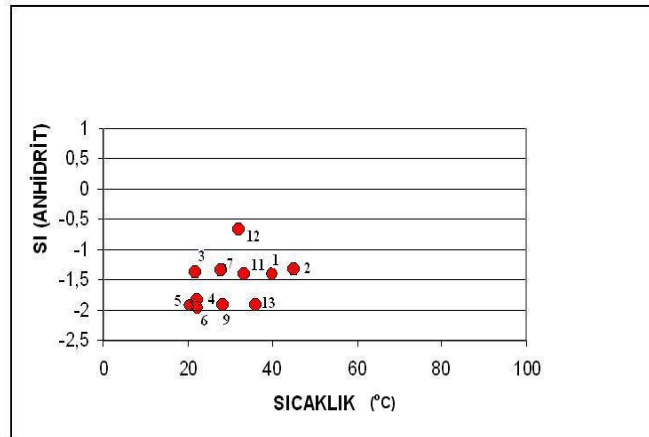
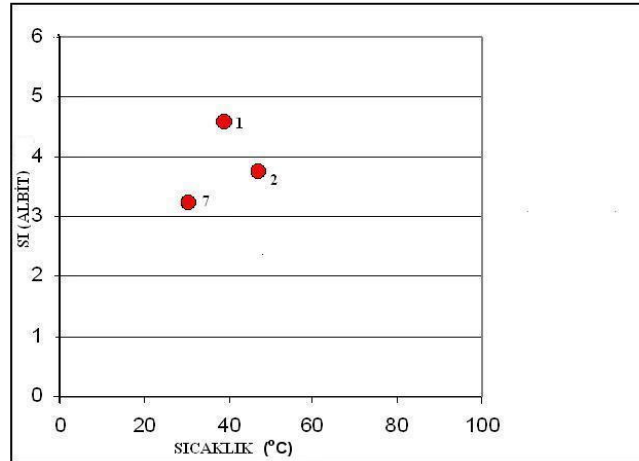
SU NOKTASI : 2 (47 °C)				
MİNERAL	SI	log IAP	log KT	
Al(OH)3(a)	1.36	11.00	9.64	Al(OH)3
Albite	3.88	7.83	3.95	NaAlSi3O8
Anhydrite	-1.31	-5.80	-4.49	CaSO4
Anorthite	4.28	26.72	22.43	CaAl2Si2O8
Aragonite	0.54	-7.94	-8.48	CaCO3
Ca-Montmorillonite	10.39	16.44	6.05	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	0.67	-7.94	-8.61	CaCO3
Chalcedony	0.36	-2.99	-3.34	SiO2
Chlorite(14A)	3.13	64.86	61.73	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-4.87	25.12	29.98	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-0.47	-18.62	-18.15	CO2
Dolomite	1.31	-16.20	-17.50	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	3.49	20.97	17.49	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-59.58	-94.50	-34.92	FeS
Gibbsite	3.89	11.00	7.11	Al(OH)3
Goethite	9.38	20.98	11.59	FeOOH
Gypsum	-1.19	-5.80	-4.61	CaSO4:2H2O
H2(g)	-21.94	-22.00	-0.06	H2
H2S(g)	-65.51	-104.48	-38.97	H2S
Hematite	22.13	41.95	19.83	Fe2O3
Kaolinite	10.15	16.03	5.88	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-58.84	-94.50	-35.66	FeS
Melanterite	-4.51	-6.51	-2.01	FeSO4:7H2O
O2(g)	-33.12	44.00	77.12	O2
Pyrite	-96.98	-176.98	-80.00	FeS2
Quartz	0.73	-2.99	-3.72	SiO2
Sepiolite	-3.53	11.76	15.29	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Sepiolite(d)	-6.90	11.76	18.66	Mg2Si3O7.5OH:3H2O
Siderite	2.35	-8.65	-11.00	FeCO3
SiO2(a)	-0.42	-2.99	-2.56	SiO2
Sulfur	-49.17	-82.48	-33.31	S
Talc	-0.22	19.14	19.36	Mg3Si4O10(OH)2

Tablo 3.12 İnceleme alanındaki sıcak suların mineral doygunluk indeksi değerleri (Sıcaklıklar yüzeyde ölçülmüş değerlerdir).

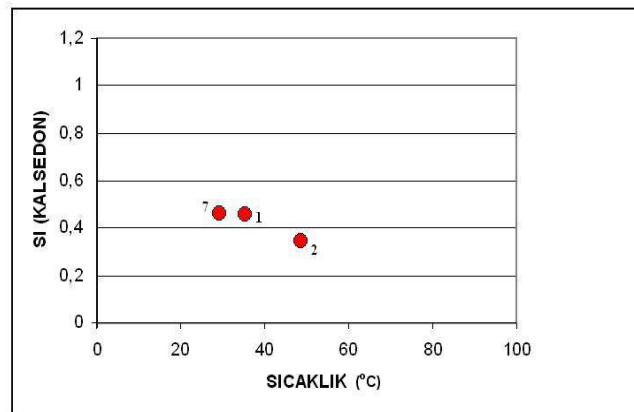
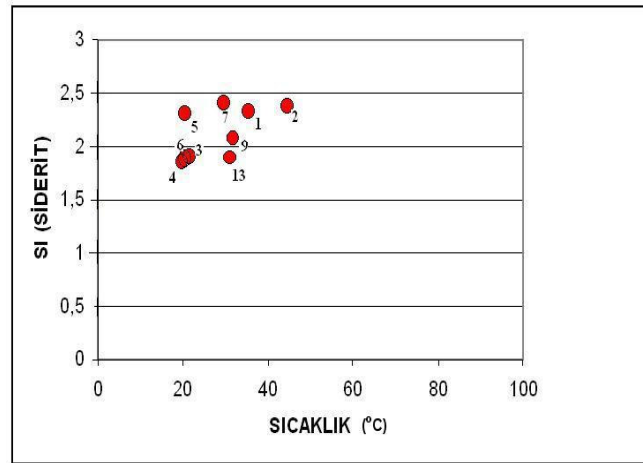
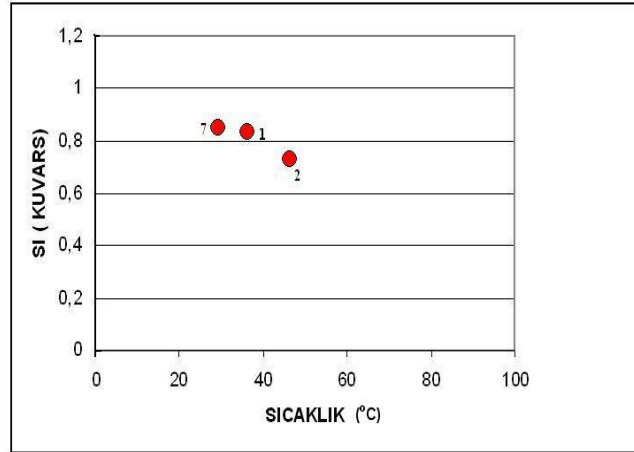
SU NOKTASI: 7 (34°C)				
MİNERAL	SI	log IAP	log KT	
Al(OH)3(a)	1.74	11.97	10.23	Al(OH)3
Albite	3.20	7.51	4.31	NaAlSi3O8
Anhydrite	-1.42	-5.83	-4.41	CaSO4
Anorthite	5.04	29.09	24.05	CaAl2Si2O8
Aragonite	-0.05	-8.45	-8.40	CaCO3
Ca-Montmorillonite	11.80	18.73	6.93	Ca0.165Al2.33Si3.67O10(OH)2
Calcite	0.09	-8.45	-8.54	CaCO3
Chalcedony	0.45	-3.00	-3.45	SiO2
Chlorite(14A)	5.51	70.64	65.13	Mg5Al2Si3O10(OH)8
Chrysotile	-3.70	27.42	31.12	Mg3Si2O5(OH)4
CO2(g)	-1.46	-19.60	-18.14	CO2
Dolomite	0.38	-16.91	-17.29	CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a)	4.38	22.08	17.70	Fe(OH)3
FeS(ppt)	-57.62	-93.89	-36.27	FeS
Gibbsite	4.35	11.97	7.62	Al(OH)3
Goethite	10.27	22.08	11.81	FeOOH
Gypsum	-1.24	-5.83	-4.59	CaSO4·2H2O
H2(g)	-21.97	-22.00	-0.03	H2
H2S(g)	-64.64	-104.97	-40.33	H2S
Hematite	23.21	44.16	20.95	Fe2O3
Kaolinite	11.27	17.95	6.68	Al2Si2O5(OH)4
Mackinawite	-56.89	-93.89	-37.01	FeS
Melanterite	-3.79	-5.89	-2.11	FeSO4·7H2O
O2(g)	-36.19	44.00	80.19	O2
Pyrite	-93.91	-176.86	-82.95	FeS2
Quartz	0.85	-3.00	-3.85	SiO2
Sepiolite	-2.24	13.29	15.53	Mg2Si3O7·5OH·3H2O
Sepiolite(d)	-5.37	13.29	18.66	Mg2Si3O7·5OH·3H2O
Siderite	2.43	-8.52	-10.94	FeCO3
SiO2(a)	-0.36	-3.00	-2.64	SiO2
Sulfur	-48.41	-82.97	-34.56	S
Talc	1.02	21.43	20.40	Mg3Si4O10(OH)2

Tablo 3.13 İnceleme alanındaki sıcak suların mineral doygunluk indeksi değerleri (Sıcaklıklar yüzeyde ölçülmüş değerlerdir).

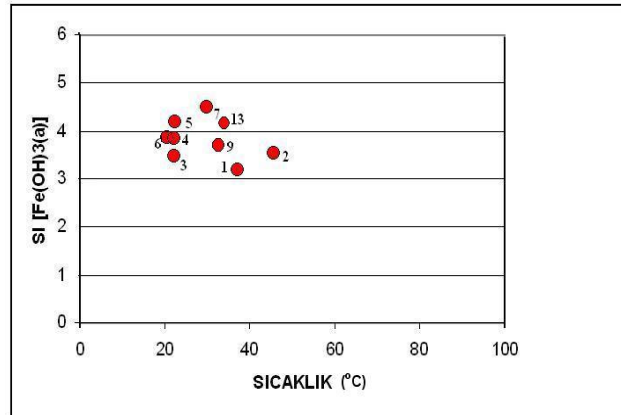
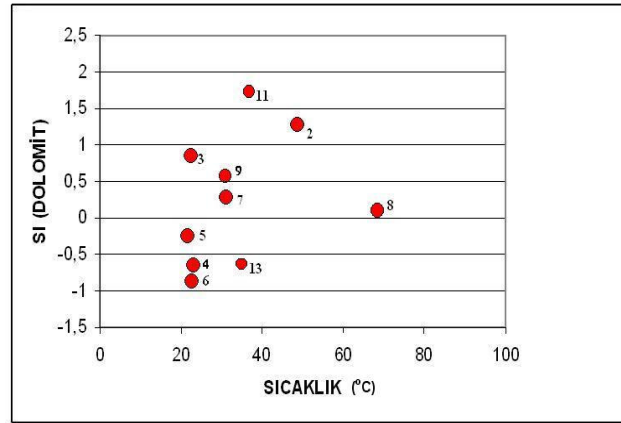
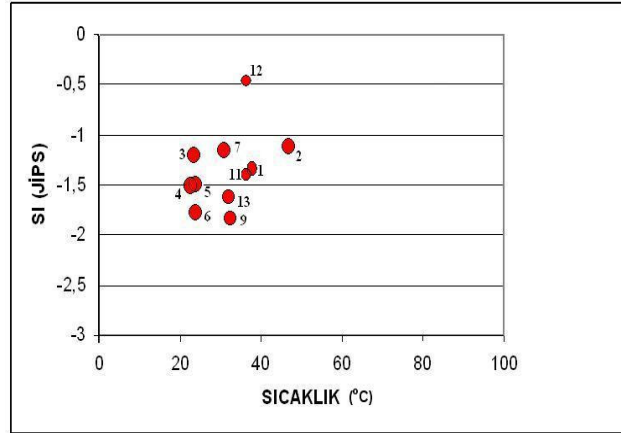
SU NOKTASI: 12 (37°C)		SI	log IAP	log KT	
MİNERAL					
Al(OH)3(a)	2.16	12.21	10.05	Al(OH)3	
Anhydrite	-0.65	-5.08	-4.43	CaSO4	
Aragonite	-255.27	-263.69	-8.42	CaCO3	
Calcite	-255.13	-263.69	-8.56	CaCO3	
CO2(g)	-257.25	-275.39	-18.14	CO2	
Dolomite	-510.41	-527.76	-17.36	CaMg(CO3)2	
Gibbsite	4.74	12.21	7.46	Al(OH)3	
Gypsum	-0.49	-5.08	-4.59	CaSO4:2H2O	
H2(g)	-21.96	-22.00	-0.04	H2	
H2S(g)	-64.87	-104.78	-39.91	H2S	
Hausmannite	-4.99	53.19	58.18	Mn3O4	
Manganite	-3.94	21.40	25.34	MnOOH	
O2(g)	-35.25	44.00	79.25	O2	
Pyrochroite	-4.80	10.40	15.20	Mn(OH)2	
Pyrolusite	-7.14	32.40	39.53	MnO2	
Rhodochrosite	-253.82	-264.99	-11.17	MnCO3	
Sulfur	-48.61	-82.78	-34.18	S	



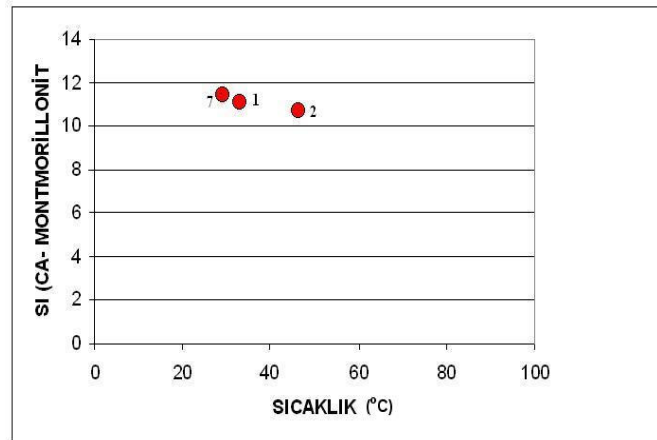
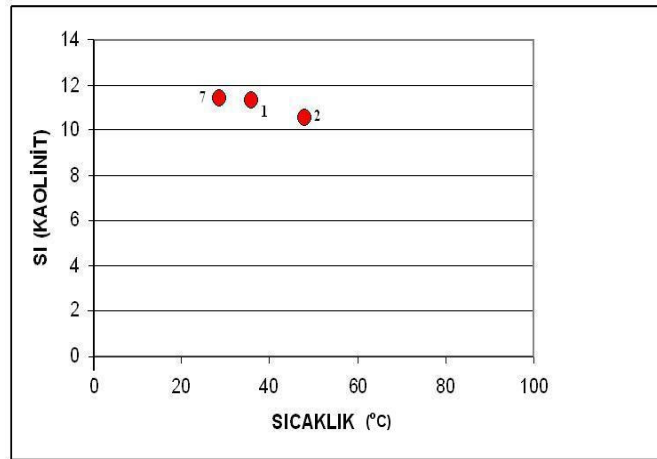
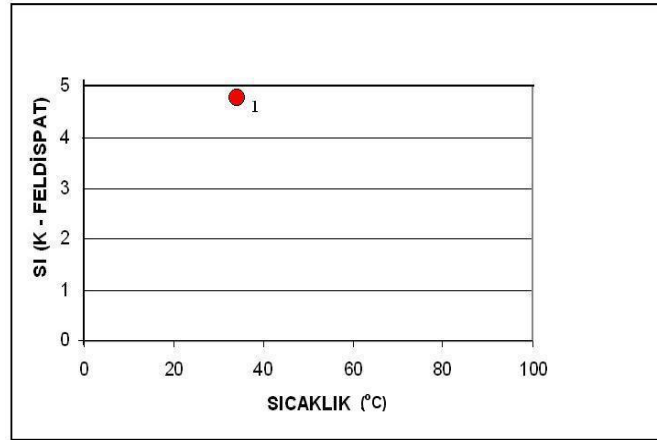
Şekil 3.11 İnceleme alanındaki sıcak suların çıkış sıcaklıkları (°C) ve doygunluk indeksi (SI) grafikleri.



Şekil 3.12 İnceleme alanındaki sıcak suların çıkış sıcaklıkları (°C) ve doygunluk indeksi (SI) grafikleri.



Şekil 3.13 İnceleme alanındaki sıcak suların çıkış sıcaklıkları (°C) ve doygunluk indeksi (SI) grafikleri.



Şekil 3.14 İnceleme alanındaki sıcak suların çıkış sıcaklıkları (°C) ve doygunluk İndeksi (SI) grafikleri.

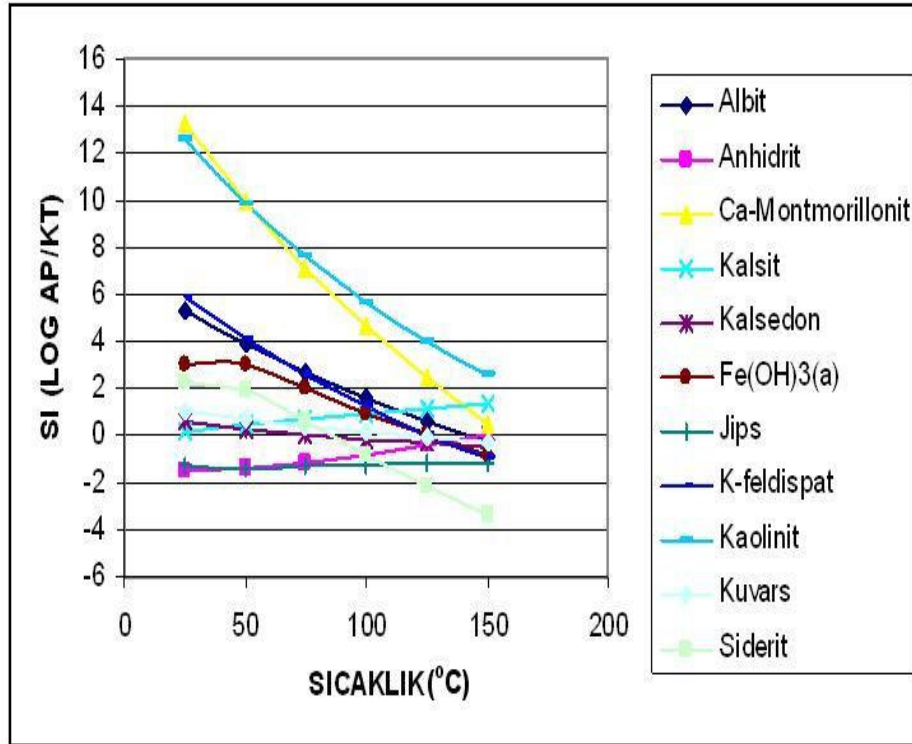
Soğuk yeraltı suları için ise hesaplamalar 25 °C ve 1 atm koşullarında değerlendirilmiştir. Tablo 3.14’de soğuk yeraltı sularında oluşabilecek olan bozuşma minerallerinin doygunluk indeksi değerleri Aquachem bilgisayar programında oluşturulmuştur. İnceleme alanındaki çeşitli yerlerden alınan gerek sondaj gerekse adi kuyulardan elde edilen soğuk yeraltı sularının doygunluk indeksi değerlerinin incelenen bozuşma minerallerinin büyük bir kısmı için eksi değerlerde oldukları görülmüştür. Soğuk yeraltı suları genel olarak ele alındıklarında kalsit, anhidrit, jips ve dolomit için doygunluk indeksi değerleri sıfırın altında olduğu görülmektedir. $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{a})$, alünit ve siderit doygunluk üstü değerler vermektedir.

Suda çözülmüş halde bulunan bozuşmuş minerallerin çözünürlükleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Dolayısı ile farklı sıcaklıklardaki sistemlerde, farklı mineraller denge halinde bulunacaktır. Minerallerin doygunluk durumu akifer sıcaklıklarının tahmininde de kullanılabilir. Termodinamik denge durumu jeotermometre uygulamalarının değişik bir yaklaşımıdır. Bozuşma minerallerinin farklı sıcaklıklardaki doygunluk indeksi değerlerinin değişimi ile ilgilidir. Eğer bir grup mineral belli sıcaklıkla yaklaşık denge halinde ise sıcak akışkanın bu minerallere doygun oldukları ve bu sıcaklığın da akifer sıcaklığı olduğu sonucu çıkartılabilir (Mutlu, 1998).

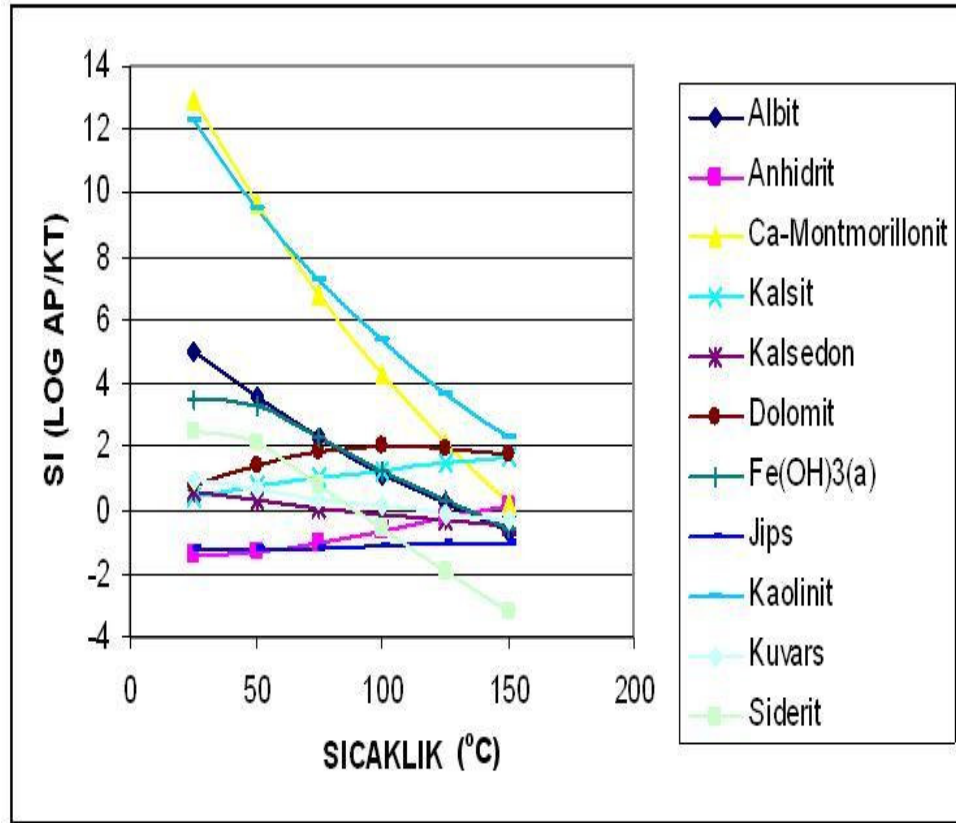
İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların doygunluk indeksi değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişiminin jeotermal sistemin haznesindeki akışkana, denge halinde ulaşmış minerallerin belirlenmesi amacıyla yapılan hesaplamalarda aquachem bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bu amaçla inceleme alanından 1, 2, 7 ve 11 nolu örneklerine ait sıcak ve mineralli suların doygunluk indeksi değerlerinin sıcaklıkla değişimi irdelenmiştir (Şekil 3.15-3.18 arasında). Hesaplamalarda yüzey pH değerleri dikkate alınmıştır.

Tablo 3.14 İnceleme alanındaki soğuk yeraltı sularının bazı minerallere ait doygunluk indeksi değerleri (mg/L).

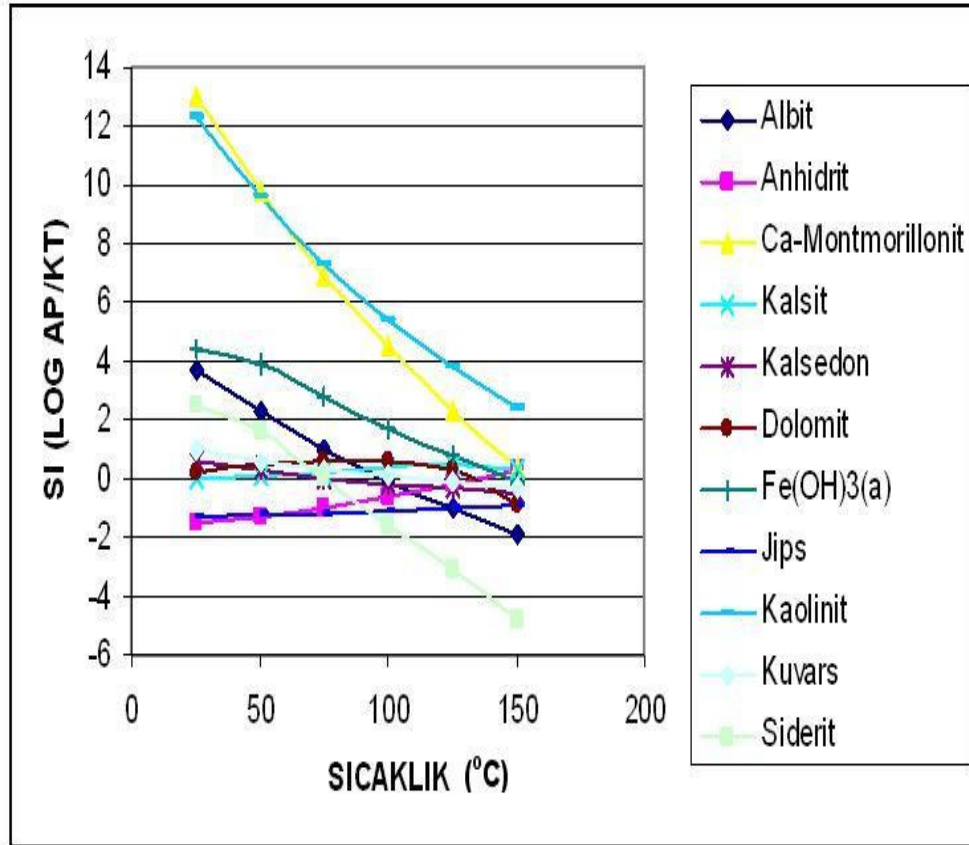
Örnek No	Kalsit	Anhidrit	Siderit	Alünit	Jips	Dolomit	Fe(OH) ₃ (a)
3	0,3	-1,46	1,99		-1,24	0,96	3,51
4	-0,47	-1,75	1,8	10,59	-1,53	-0,52	3,96
5	-0,16	-1,74	2,38	9,73	-1,52	-0,18	4,21
6	-0,43	-1,95	1,84		-1,73	-0,72	3,99



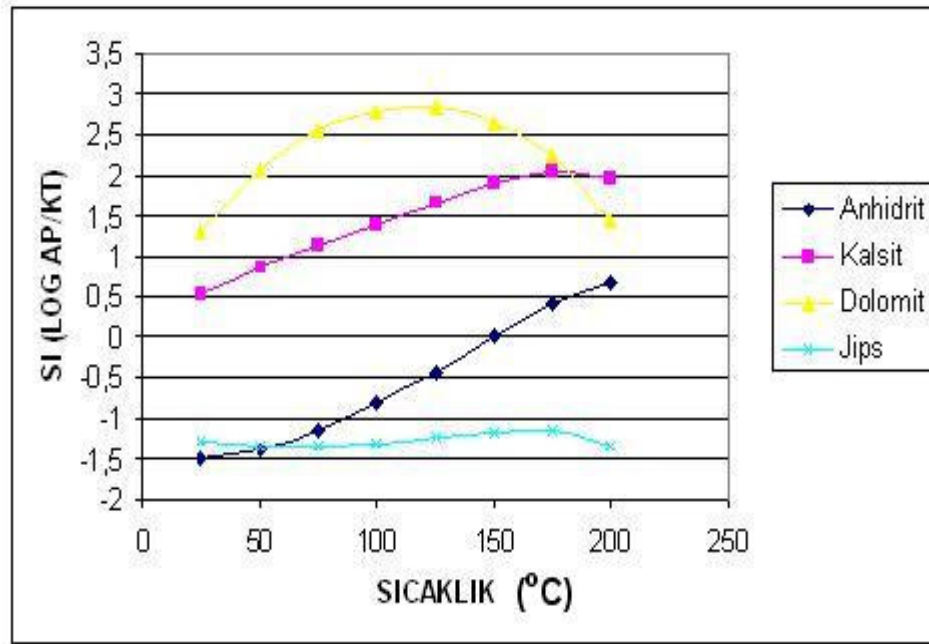
Şekil 3.15 1 nolu Ayer-1 sondaj kuyusunun sıcak suyunun bazı alterasyon mineralleri için sıcaklık (°C) ve doygunluk indeksi (SI) değerleri arasındaki değişimi.



Şekil 3.16 2 nolu Ayer-2 sondaj kuyusunun sıcak suyunun bazı alterasyon mineralleri için sıcaklık (°C) ve doygunluk indeksi(SI) değerleri arasındaki değişimi.



Şekil 3.17 İmamköy Ilıca kaynağına ait sıcak suyun bazı alterasyon mineralleri için sıcaklık (°C) ve doygunluk indeksi (SI) değerleri arasındaki değişimi.



Şekil 3.18 İmamköy Ilıca kuzey kaynağına ait (1990) sıcak suyun bazı alterasyon mineralleri için sıcaklık (°C) ve doygunluk indeksi (SI) değerleri arasındaki değişim.

Bozuşma minerallerinin sıcaklıkla değişiminin saptanmasında pH sabit tutulmuştur ve yeni sıcaklıklara göre doygunluk indeksi değerleri aquachem programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu çalışmada sıcaklığa göre değişen doygunluk indeksi (SI)-Sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur. Sıcaklık değerleri 25 °C'de bir değiştirilerek 25-200 °C arası için irdelenmiştir.

İnceleme alanındaki 1 nolu örneğe ait çeşitli bozuşma minerallerinin sıcaklıkla değişimleri incelendiğinde kuvars, ca-montmorillonit, kaolinit, albit, doygun bölgede bulunmaktadır. Minerallerin çoğunluğu belli sıcaklık ve doygunluk indeksi değerlerine gruplaşmaktadır. Grafik incelendiğinde ca-montmorillonit, kalsit, albit, $Fe(OH)_3(a)$ ve anhidrit gibi minerallerinin oluşturdukları doygunluk indeksi (SI)-Sıcaklık (°C) eğrilerinin kesişim yeri 125-175 °C sıcaklık aralığıdır. Bu nedenle akifer sıcaklığı 125-175 °C olarak tahmin edilir.

İnceleme alanındaki 2 nolu örneğe ait çeşitli bozuşma minerallerinin sıcaklıkla değişimleri incelendiğinde kaolinit, ca-montmorillonit, kalsit ve dolomit doygun bölgede bulunmaktadır. anhidrit, doygunluk değeri sıcaklıkla artarken kaolinit, ca-

montmorillonit, albit ve siderit doygunluk değeri artan sıcaklıkla azalır. Minerallerin doygunluk indeksi değerleri topluca irdelendiğinde ca-montmorillonit, anhidrit, kalsedon ve kuvars minerallerinin oluşturdukları doygunluk indeksi (SI)-Sıcaklık (°C) eğrilerinin kesişim yeri 125-150 °C sıcaklık aralığıdır. Bu nedenle akifer sıcaklığı 125-150 °C olarak tahmin edilir.

7 nolu örneğe ait çeşitli bozuşma minerallerinin sıcaklıkla değişimleri incelendiğinde kaolinit ve ca-montmorillonit minerallerinin her sıcaklık aralığında doygun oldukları görülmekle birlikte sıcaklıkla doygunluk değerleri azalmaktadır. Siderit ve albit doygunluk değeri sıcaklıkla azalmakta ve doygun olmayan bölüme geçmektedir. Anhidrit ve jips ise doygun olmayan bölümde yer alır. Anhidrit doygun olmayan bölümde bulunmasına karşın doygunluk değeri sıcaklıkla artar ve yaklaşık 150 °C'de doygunluğa erişir. Minerallerin doygunluk indeksi değerleri topluca irdelendiğinde kalsit, dolomit, albit ca-montmorillonitten oluşan bir grup mineralin oluşturdukları doygunluk indeksi (SI)-Sıcaklık eğrilerinin 125-150 °C aralığındaki bir bölgede kesiştikleri görülmektedir. Buradan sistemin bu sıcaklıkta belirtilen minerallerce doygun oldukları ve jeotermal sistemde akifer sıcaklığının 125-150 °C dolayında olabileceği sonucu çıkartılabilir.

11 nolu örneğe ait çeşitli bozuşma minerallerinin sıcaklıkla değişimleri incelendiğinde dolomit ve kalsit minerallerinin her sıcaklık aralığında doygun oldukları görülmektedir, anhidrit doygun olmayan bölümde bulunmasına karşın doygunluk değeri sıcaklıkla artar ve yaklaşık 150 °C'de doygunluğa erişir. Minerallerin doygunluk indeksi değerlerine göre doygunluk indeksi (SI)-Sıcaklık eğrileri 150-200 °C aralığında kesişmesi jeotermal sistemde akifer sıcaklığının 150-200 °C dolayında olabileceği sonucu çıkartılabilir.

Tüm su noktalarından alınan sonuçlara göre, İnceleme alanının jeotermal sisteminin akifer sıcaklığının 125-175 °C arasında olduğu sonucuna varılabilir.

3.5 Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermometreler akiferdeki akışkanın sıcaklığının tahmininde kullanılmaktadır. Bu nedenle jeotermometreler yeni sıcak ve mineralli su akiferlerinin araştırılmasında ve üretim yapılan sistemlerin takip edilmesinde büyük yararlar sağlamaktadırlar. Bu akiferlerin araştırılmasında, jeokimyanın en önemli uygulamalarından birisi kimyasal jeotermometreler kullanılarak akışkanın yeraltındaki sıcaklığının tahmin edilmesidir. Kimyasal jeotermometreler sıcaklığa bağlı su-kayaç dengesine dayalıdır. Jeotermometreler su kayaç ilişkisindeki son denge sıcaklığını verir (Nicholson, 1993). Bu nedenle jeotermometreler arasındaki farklılıklar denge reaksiyon hızlarındaki farklılıkların bir fonksiyonudur. Her bir jeotermometre için denge sıcaklığı farklıdır.

Jeotermal sistemlerin üst seviyelerinden kaynaklardan veya sığ sondaj kuyularından elde edilen sular kaynama veya kondüksiyon ile soğuyabilir. Kaynaklardan veya sığ sondajlardan elde edilen sıcak ve mineralli suların soğuma bölgesinin alt kesimlerindeki akifer sıcaklığının bulunmasında jeotermometreler yardımcı olurlar. Akiferdeki suyun yukarı çıkışı sırasında soğuk sularla karışması soğumasına neden olur (Arnorsson vd., 1983). Sıcak ve mineralli suların yeraltında yüzeye erişirken temas ettiği yani yıkadığı kayalarla ısı alışverişi, soğuk yeraltı suları ile karışımı, akifer sıcaklığının atmosferle ilişkisini kesen geçirimsiz örtü kayaların çok ince oluşu veya bulunmaması gibi nedenler suların sıcaklıklarının azalmasında başlıca etkenlerdir. Suların yeraltında geçirdiği yol ne kadar kısa ve debisi yüksek ise, o oranda akifer kaya sıcaklığına yakındır (Şahinci, 1991b).

Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklığının tahmin edilmesi sıcak ve mineralli suların uygun şekilde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklıklarının doğrudan ölçülmesi masraf ve zaman gerektirdiğinden her zaman mümkün olmamaktadır. Buna bağlı olarak gerek ekonomikliği, gerekse de kullanımdaki kolaylığı nedeni ile akifer sıcaklığının saptanması için geliştirilmiş bir çok yöntem bulunmaktadır.

3.5.1 Kimyasal Jeotermometreler

Sıcak ve mineralli suların arazide veya laboratuarda elde edilmiş kimyasal özelliklerine dayalı olan kimyasal jeotermometreler ekonomik ve pratik olmaları nedeni ile akifer sıcaklığının tahmininde en çok kullanılan jeotermometrelerdendir. Kimyasal jeotermometreler kalitatif ve kantitatif olmak üzere ikiye ayrılırlar.

3.5.1.1 Kalitatif Jeotermometreler

Kalitatif Jeotermometrelerin çoğunluğu uçucu elementlerin sıcak akışkanlarda ve zeminde görelî miktarlarına dağılımlarına veya zemin gazlarındaki oranlarına dayanır (Fournier, 1977a). Sıcak akışkanlardaki bazı element, bileşik ve oranlar akifer sıcaklığı hakkında bilgi verebilirler. Tonani (1970) yüzeye yakın kesimlerde B, NH₄, HCO₃, Hg ve HS zenginleşmesinin sıcak akışkanın derinlerde kaynamasından kaynaklanabileceğini belirtir. Mahon (1970) yüksek Cl/F ve Cl/SO₄ oranlarının yüksek akifer sıcaklıklarına karşılık geldiğini savunmuştur. Fournier&Truesdell (1970) Cl/(HCO₃+CO₃) oranının farklı sularının ayırtlanmasında belirteç olabileceğini işaret ederler. Bu oranın yüksekliği suların daha sıcak akiferlerden gelebileceğini gösterir. İz elementlerinin de çok yüksek oranlarda bulunmaları yüksek akifer sıcaklığına işaret edebilmektedir. Brondi vd. (1973) yüksek Li değerlerinin yüksek yeraltı sıcaklıklarını gösterdiğini belirtir. Bir diğer yöntem ise zemindeki Helyum içeriği ile ilgilidir. Roberts (1975) sıcaklık artışı ile helyum içeriği arasında iyi bir korelasyon olduğunu belirtmiştir.

Yüksek SiO₂ ve Na/K oranının yüksekliği akifer sıcaklığına karşılık gelir. Ayrıca, traverten çökeli mi ise düşük akifer sıcaklığına işaret eder.

3.5.1.2 Kantitatif Jeotermometreler

Kantitatif jeotermometre teknikleri yüzeyde ölçülen sıcak suların kimyasal içeriklerinin derinde maksimum sıcaklıkla kontrol edildiği esasına dayanır (Pope vd.,

1987). Kantitatif kimyasal jeotermometreler çözünlüğe ve iyon derişimine dayalı olarak geliştirilmişlerdir.

Kantitatif kimyasal jeotermometrelerin kullanılmasında bazı varsayımlar göz önünde bulundurulur. Bunlardan bazıları şunlardır;

- Sıcak sulardaki kimyasal maddelerin oluşması için gerekli kimyasal tepkimeler, akifer-su arasında gerçekleşmektedir.
- Sıcaklık saptanmasında gerekli maddelerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi hazne kayada boldur.
- Akifer sıcaklığında kaya-su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.
- Akiferden yüzeye erişen sıcak suyun, soğuma sonucunda kimyasal yapısı değişmez veya yeni bir kimyasal denge gerçekleşmez.
- Akiferden gelen sıcak suların, soğuk yeraltı ve yüzey suları ile bir karışımı söz konusu değildir.

Bu varsayımların ilk üçü SiO₂ ve Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılır. Son iki varsayım tam olarak gerçeği yansıtmaz. Çünkü akiferden yüzeye doğru gelen sıcak suyun soğuması veya soğuk suların karışımı ile kimyasal yapısı değişebilir. Kantitatif kimyasal jeotermometreler çözünlüğe, iyon derişimine ve iyon etkinliğine bağlı olmak üzere üçe ayrılır (Tarcan, 2003).

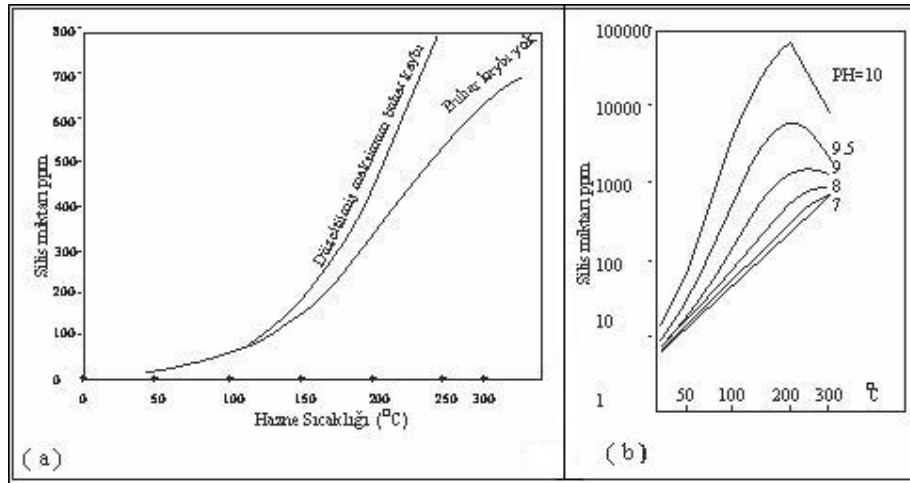
3.5.2 Çözünlüğe Dayalı Jeotermometreler

3.5.2.1 Silis Jeotermometreleri

Minerallerin çözünlükleri sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olarak değişir. Ancak silis dışında minerallerin çözünlükleri jeotermometre olarak kullanılmaz.

Doğal sularda yer alan silis molekül oluşumu veya uçucu maddelerin ortamdaki ayrılması gibi nedenlerden etkilenmez (Fournier, 1977a).

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



Şekil 3.22 Sıcaklık (a) ve pH değerine (b) bağlı olarak kuvarsın çözünürlüğü

Silis Jeotermometrelerinin üst sınırı 250°C 'dir. Bu sıcaklığın üzerinde silis hızla çökelir ve yüzeye ulaşan akışkanın silis değeri akiferdekinden farklılık gösterir. Jeotermometre iyon içeriklerinin oranlarından çok miktarlarıyla ilgilidir ve kaynama gibi fiziksel olaylara bağlıdır. Silis konsantrasyonu artan basınç ve sıcaklıkla artar. Sıcak akışkanın yüzeye yakın asidik sularla karışması sonucu yüzeye çıkan sıcak ve mineralli sudaki silis konsantrasyonu akifer koşullarını yansıtmaz ve jeotermometre yanıltıcı sonuçlar verir (Nicholson, 1993). Silis jeotermometreleri iyonların oranına değil salt silis içeriğine bağlı olarak oluşturulduğundan alkali jeotermometrelere oranla kaynama ve seyrelmeden daha çok etkilenirler.

Silis jeotermometre bağıntıları, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kaya sıcaklığına veya suyun yükselirken soğumasına bağlı olarak hazırlanmıştır. Silis çözünürlüğüne pH ancak 9.5 üzerinde etkindir. İyonlaşma gücünün silis çözünürlüğüne etkisi yoktur (Şahinci, 1991b). Bu çalışmada kullanılan silis jeotermometre bağıntıları Tablo 3.15’de sunulmuştur.

Tablo 3.15 Bu çalışmada uygulanan silis jeotermometre bağıntıları (tüm derişimler mg/L, *=mol/L)

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

Yörede yer alan sıcak ve mineralli sulara (Tablo 3.15’de) silis jeotermometre bağıntıları uygulanmış ve sonuçları Tablo 3.16’de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara bakıldığında kuvars jeotermometrelerinden bazı su noktaları için, amorf silis ve B kristobalit eksi değerler veya ölçülen kaynak ve sondaj sıcaklığından düşük değerler verdikleri gözlenmiştir. Diğer silis jeotermometrelerinden ise, 40-120 °C

arasında değişen akifer sıcaklıkları elde edilmiştir. İnceleme alanının jeotermal sisteminin akifer sıcaklığının silis jeotermometrelerine göre 50-150 °C olabileceği sonucu çıkmaktadır.

Tablo 3.16 İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sulara ait silis jeotermometre sonuçları (tüm derişimler mg/L, *=mol/L)

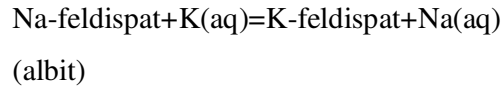
Örnek No ve Adı	1	2	3	4	5	6	7
Jeotermometre Adı							
1-SiO ₂ (Amorf silis)	1,84	-2,24	-32,97	-38,14	-28,31	18,22	5,7
2-SiO ₂ (Alfa Kristobalit)	69,52	64,88	29,55	23,54	34,96	46,59	73,89
3-SiO ₂ (B Kristobalit)	21,76	17,36	-15,7	-21,26	-10,68	0,17	25,91
4-SiO ₂ (Kalsedon)	91,74	86,64	47,99	41,43	53,89	66,6	96,54
5-SiO ₂ (Kuars)	120,15	115,47	79,34	73,1	84,93	96,89	124,54
6-SiO ₂ (Buhar kaybı)	118,29	114,29	82,99	77,5	87,89	98,3	122,02
7-SiO ₂ (kalsedon, kondaktif soğuma)	91,65	86,91	50,71	44,52	56,27	68,22	96,1
8-SiO ₂ (Kuars,buhar kaybı)	93,41	89,2	56,57	50,91	61,63	72,44	97,36
9- SiO ₂ (Kuars,buhar kaybı)	87,85	82,8	44,56	38,08	50,4	62,98	92,6
10-SiO ₂ (Kuars,buhar kaybı)	109,97	104,97	66,84	60,32	72,7	85,28	114,65
11-SiO ₂ (Kuars,buhar kaybı)	117,13	113,1	81,52	75,99	86,46	96,96	120,9
12-SiO ₂ (Kalsedon)*	-901,7	-916,4	-1078,9	1120,4	1046,1	986,9	-888,8

3.5.3 İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler

İyon değişim denge sabitleri sıcaklığın etkisindedir. Suda iyon değişimine uğrayan birçok mineral bulunur ve bunlardan yararlanılarak bir çok ampirik jeotermometre geliştirilmiştir. İyon değişimi ve bozuşma reaksiyonlarında denge sabitleri sıcaklığa bağlıdır. Bu türdeki reaksiyonlarda çözünmüş katı madde oranları değişen sıcaklığa bağlı olarak değişiklik gösterir (Fournier, 1977a). Sıcaklığa bağlı olarak gelişen su-mineral dengeleri kullanılarak akifer sıcaklığının tahminine yönelik çeşitli jeotermometreler geliştirilmiştir (Gemici, 1999).

3.5.3.1 Na/K jeotermometreleri

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



Bağıntının denge sabiti aşağıdaki gibi yazılabilir.

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

Bağıntıda (a) iyon etkinliğini tanımlar. Katıların tanım gereği iyon etkinlikleri bire eşittir. Seyreltik çözeltilerde Na ve K iyon etkinlikleri analiz sonucu saptanan mol/L değerine eşit kabul edilebilir. Bu durumda yukarıdaki bağıntı;

$$K_a = \text{Na/K (mol/L)} \text{ olarak yazılır.}$$

Ancak sıcaklığın yükselmesi Na ve K iyonlarının etkinliklerini değiştirir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, $\log(\sqrt{\text{Ca/Na}})$ değerinin 0,5'ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350 °C sıcaklıktaki bir akiferden gelen sularda daha iyi sonuçlar vermektedir (Tarcan, G. 2003). $\log(\text{Na/K}) - 1/T$ değerleri grafikte yaklaşık bir doğru verir (Şahinci, 1991b). Bu reaksiyonlardan yararlanarak çeşitli araştırmacılar tarafından farklı Na/K jeotermometre bağıntıları geliştirilmiştir (Tablo 3.17). Tablo 3.18'de inceleme alanına ait suların Na/K jeotermometre sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.17 Bu çalışmada uygulanan Na/K kimyasal jeotermometre bağıntıları (Tüm derişimler mg/L, *=mol/L).

Jeotermometre Adı	Bağıntı	Kaynak	
13-Na/K	$t=933/(0.933+\log(\text{Na/K}))-273.15$	Arnorsson, 1983	25-250
14-Na/K	$t=1319/(1,699+\log(\text{Na/K}))-273,15$	Arnorsson, 1983	250-350
15-Na/K	$t=777/(0.70+\log(\text{Na/K}))-273.15$	Fournier&Truesdell, 1973	100-275
16-Na/K	$t=855.6/(0.857+\log(\text{Na/K}))-273.15$	Truesdell, 1976	100-275
17-Na/K	$t=1217/(1.483+\log(\text{Na/K}))-273.15$	Fournier, 1979	100-300
18-Na/K*	$t=908/(0.692-\log(\text{Na/K}))-273.15$	Arnorsson, 1983	25-250
19-Na/K	$t=1180/(1.32+\log(\text{Na/K}))-273.15$	Fournier&Potter, 1979	
20-Na/K	$t=883/(0.78+\log(\text{Na/K}))-273.15$	Tonani, 1980	25-250
21-Na/K	$t=1178/(1.47+\log(\text{Na/K}))-273.15$	Nieva&Nieva, 1987	
22-Na/K	$t=1390/(1.75+\log(\text{Na/K}))-273.15$	Giggenbach, 1988	

Tablo 3.18 Bu çalışmada uygulanan Na/K kimyasal jeotermometre sonuçları (tüm derişimler mg/L, *=mol/L)

Örnek No ve Adı Jeotermometre Adı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
13-Na/K	73,51	61,08	286,89	275,94	211,96	230,77	160,88	248,07	217,3	629,46	928,84	613,56	354,04
14-Na/K	108,35	97,61	269,21	261,9	217,31	230,77	179,24	242,89	221,17	459,76	582,11	452,29	312,14
15-Na/K	42,9	30,54	269,09	256,8	186,54	206,93	132,25	225,88	192,31	697,29	1157	675,33	346,18
16-Na/K	53,98	41,93	264,98	253,96	190,02	208,74	139,46	226,03	195,33	620,27	948,76	603,3	332,98
17-Na/K	102,3	91,06	276,05	267,94	218,91	233,62	177,66	246,93	223,11	495,32	644,5	486,43	324,13
18-Na/K*	-1125	-1051,5	-22451	-12514	-3317	-4282	-2003	-5775	-3547	1262	796,61	1312	6334
19-Na/K	110,16	98,09	301,63	292,48	237,61	253,99	192,04	268,87	242,28	557,44	741,28	546,75	356,32
20-Na/K	74,7	61,51	310,48	297,94	225,64	246,72	169,1	266,24	231,61	729,5	1143	708,83	388,48
21-Na/K	91,73	80,76	261,59	253,64	205,66	220,05	165,32	233,08	209,77	476,85	623,89	468,1	308,7
22-Na/K	123,04	112,05	286,67	279,28	234,1	247,74	195,4	260,03	238,01	477,93	599,3	470,48	330

Na/K oranına bağılı olarak elde edilen jeotermometreler genellikle akifer sıcaklığı 200 °C'nin üzerinde olan sahalarn incelenmesinde faydalıdır. Genellikle 180-350 °C arasında olumlu sonuçlar veren Na/K jeotermometreleri özellikle 120 °C altına yanlış sonuçlar verebilmektedir. Bu düşük sıcaklıklarda Na ve K iyonları killi minerallerden etkilenerek iyon değişimi reaksiyonlarını kontrol edemezler. Buna bağılı olarak jeotermometre hesaplamaları sonucunda gerçek akifer sıcaklığının üzerinde değerler elde edilir (Gemici, Ü.,1999). Tablo 3.18'de Na/K jeotermometreleinden elde edilen akifer sıcaklıkları verilmiştir. Suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre 30 °C'den 300 °C'ye ulaşan çok çeşitli akifer sıcaklık değerleri yanında 18 nolu jeotermometre hesaplamasına göre çok 2000 gibi çok yüksek sıcaklık değerleri de elde edilmiştir. Elde edilen akifer sıcaklıklarının çok yüksek değerlerde olması, inceleme alanı için sağlıklı sonuçlar vermediğinin göstergesidir. Bu nedenle yorumlamalarda çok fazla dikkate alınmamıştır.

3.5.3.2 Na/Li, K/Mg, Li/Mg, Li jeotermometreleri

Na/Li jeotermometrelerinde sıcak ve mineralli akışkanların kimyasal analizlerinde bulunan iyon değerleri yerine bu iyonların iyon etkinlikleri kullanılır ve hesaplanan molal konsantrasyon değerleri dikkate alınır. Ellis&Wilson (1960) ve Koga (1970) Na/Li oranının düşüklüğü yüksek entalpili jeotermal alanlara karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Foulliac&Michard (1981) jeotermal alanlarda Na ve Li içeriklerinin sıcaklıkla değişimi ve su-kayaç reaksiyonlarını incelemişlerdir ve sıcak akışkandaki Cl içeriğine bağılı olarak Na/Li jeotermometreleri geliştirilmişlerdir. Lityum minerallerinin doğada az rastlanır olmasından dolayı lityumun denge reaksiyonu sonucu sıcak akışkana girmesi genelde beklenmez. Ancak sıcak akışkandaki lityumun zenginleşmesi iyon değişimi ile açıklanabilir. Minissale&Duchi (1988) karbonat kayaçların oluşturduğu jeotermal sistemlerde Na/Li jeotermometreleri uygun olduklarını belirtirler. Na/Li jeotemometreleri gerek sedimanter gerekse de volkanik kayaçlardan oluşan akiferlerde düşük ve yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde olumlu sonuçlar verebilmektedir.

Düşük sıcaklıklarda magnezyum iyon alışverişi hızlı olduğundan K/Mg ve Li/Mg oranları sıcak akışkanın yüzeye çıkmadan önceki son kayaç-su ilişkisini gösterir. Sıcak sulara sıcaklık arttıkça Mg değeri azalacağından yüksek Mg değerleri sıcak ve mineralli suyun yukarı çıkarken yüzeye yakın kesimlerindeki su-kayaç dengesine bağlanabilir. K/Mg jeotermometresi Giggenbach (1988) tarafından önerilmiştir (Tablo 3.19). Bu Jeotermometre daha çok Na ve Ca'nın yeterince hızlı denge haline ulaşmadığı düşük sıcaklıklı deniz suyu kökenli jeotermal sistemlerde başarılıdır. Tablo 3.20'da İnceleme alanındaki sulara ait Na/Li, K/Mg, Li/Mg ve Li kimyasal jeotermometre sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.19 Bu çalışmada uygulanan Na/Li, K/Mg, Li/Mg ve Li kimyasal jeotermometre bağıntıları (tüm derişimler mg/L, *=mol/L)

Jeotermometre Adı	Bağıntı	Kaynak	
23-Li*	$t=2258/(1.44-\log Li)-273.15$	Foulliac&Michard, 1981	
24-Na/Li* (Cl<11000 ppm)	$t=1000/(\log(Na/Li)-0.38)-273.15$	Foulliac&Michard, 1981	
25-Na/Li* (Cl>11000 ppm)	$t=1195/(\log(Na/Li)+0.13)-273.15$	Foulliac&Michard, 1981	
26-Mg/Li	$t=1900/(4.67+\log(\sqrt{Mg/Li}))-273.15$	Kharaka&Mariner, 1989	0-350
27-K/Mg	$t=4410/(13.95-\log(K2/Mg))-273.15$	Giggenbach vd.,1983	
28-Na/Li	$t=1590/(\log(Na/Li)+0.779)-273.15$	Kharaka&Mariner, 1989	0-350
29-Li/Mg	$t=1590/(\log(Na/Li)+0.779)-273.15$	Kharaka&Mariner, 1989	

Tablo 3.20. Bu çalışmada uygulanan Na/Li, K/Mg, Li/Mg ve Li kimyasal jeotermometre sonuçları (tüm derişimler mg/L, *=mol/L,)

Örnek No ve Adı Jeotermometre Adı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
23-Li*	2763,96	2730	589	503,19		473,29	235,41						
24-Na/Li* (Cl<11000 ppm)	142,84	180,25	183	150,48		73,64	-56,56						
25-Na/Li* (Cl>11000 ppm)	136,95	166,9	169	143,15		78,99	-40,07						
26-Mg/Li	143,18	124,47	1,14	-7,43		-5,54	-52,03						
27-K/Mg	48,22	44,98	43,5	43,72		44,58	44,04	27	46,2	50,92	64,31	57,82	33,47
28-Na/Li	173,11	199,42	201	178,62		120,16	2,13						
29-Li/Mg	5114	-12863	-896	-859,17		-910,17	-662,17						

3.5.4 Karışım Modelleri

Birçok alandaki jeotermal sular yüzeye erişirken belli oranlarda soğuk sularla karışarak, sıcaklıkları yeraltı sıcaklıklarından daha düşük değerlerle yüzeyler. Bu karışım ayrıca sıcak suyun kimyasal yapısında değişiklikler oluşturur. Bu karışım sonucunda mineral dengesi gerçekleşmez veya kısmen-tam olabilir. Bu durum yan kayacın litolojisi, akışkanın debisi, sıcaklığı, yüzeye çıkış hızı gibi etkenlere göre değişebilir. Eğer kimyasal denge durumuna karışım sonrası ulaşırsa jeotermometrelerden elde edilen sonuçlar derindeki akifer sıcaklığı değil, karışım sıcaklığını verir.

Karışım sonucu sıcak suyun kimyasal özelliklerindeki ve sıcaklığındaki değişiklikler kullanılarak, jeotermal sistemin hazne kaya sıcaklığının ve karışım oranlarının saptandığı çeşitli karışım modelleri geliştirilmiştir.

Fournier&Truesdell (1974) karışım sularındaki sıcak su bileşeninin karışım sularındaki sıcak su bileşeninin karışım öncesi sıcaklığının tahmininde kullanılan iki model geliştirmişlerdir. 1. Model sıcak akışkandaki silis miktarı ve sıcaklık ilişkisine dayalı olarak geliştirilmiştir. 2. Model ise sıcaklık ve klorür içeriğine bağlı olarak geliştirilmiştir (Gemici, 1999). Bu çalışma kapsamında 1. Model kullanılmıştır.

3.5.4.1 Entalpi-Silis Karışım Modeli

Entalpi silis diyagramları karışık sıcak ve mineralli suların akifer sıcaklığının sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak tahmininde kullanılan bir tekniktir. Modelin başarılı olabilmesi üç temel varsayıma dayanır.

- i) Karışım sonrası sıcaklık kaybı yoktur,
- ii) Kuvarsin çözünürlüğü akiferdeki akışkanın silis içeriğini kontrol eder,

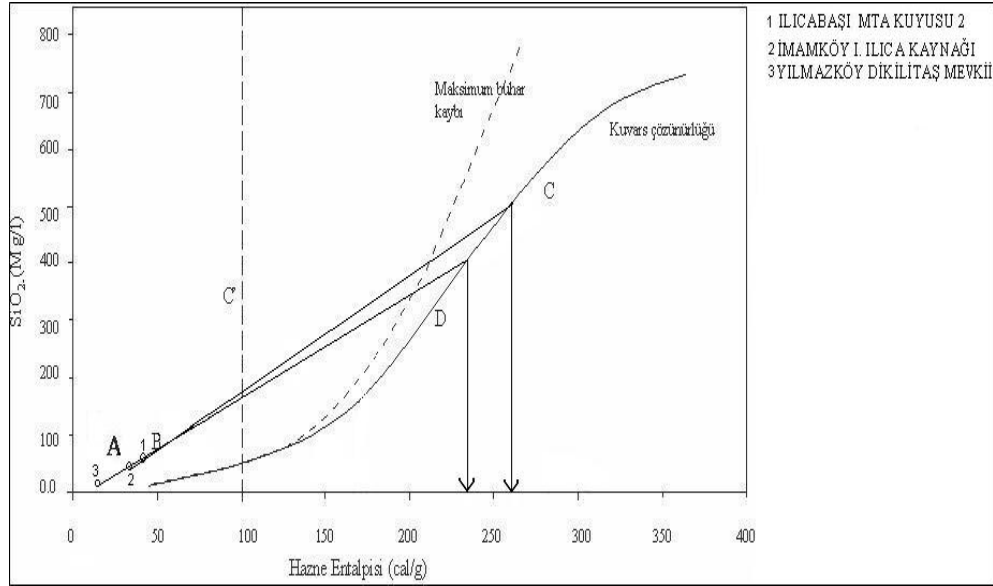
- iii) Akışkan akiferden ayrıldıktan ve soğuk su ile karışım gerçekleştikten sonra silis çökelimi veya çözülmesi yoktur.

İkinci varsayım derinlerdeki jeotermal akışkanın kuvarsa doygun olmasından dolayı her zaman için geçerlidir. Çok yüksek sıcaklıklı sistemlerde kuvarsin hızla çökmesinden dolayı üçüncü varsayımın yerine gelmemesinden dolayı hatalar olabilmektedir (Nicholson, 1993). Sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan silis-entalpi karışım modeli diyagramı kullanılarak modeli karışım öncesi buhar ve ısı kaybının olmaması ve karışım öncesi buhar kaybının olması (adyabatik soğuma) durumunda akifer sıcaklığı tahmin edilebilmektedir.

Diyagrama öncelikle lokal meteorik suların silis ve entalpi değerleri A noktası olarak işaretlenir. Diyagrama inceleme alanındaki sıcak suların silis değerleri ve ölçülen sıcaklıkları işaretlenerek elde edilen noktalar (B noktası) A noktası ile birleştirilerek bu doğru uzatılır ve kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktadan (C noktası) yatay eksene dikme inilmek suretiyle dikmenin yatay ekseni kestiği nokta olan akifer kaya sıcaklıkları elde edilir. C noktası karışım suyundaki sıcak ve mineralli suyun karışımdan önceki entalpi ve silis değerini vermektedir. Buraya kadar anlatılan işlem karışımdan önce sıcaklık-buhar kaybının olmadığı koşulları yansıtır. Karışımdan önce buhar kaybı (adyabatik soğuma) durumunda ise diyagramda kesikli çizgi ile gösterilen maksimum buhar kaybı eğrisi dikkate alınmalıdır. Meteorik sularla sıcak ve mineralli suların entalpi ve silis değerleri yukarıda bahsedildiği gibi grafiğe işaretlenerek A ve B noktaları bulunur. A ve B noktalarını birleştiren çizgi karışım öncesi buhar kaybının olduğu varsayılan 100°C çizgisine kadar uzatılarak (C noktası) birleştirilir. C noktasından yatay eksene paralel çizilen çizgi maksimum buhar kaybına birleştirilerek D noktası bulunur. Bu noktanın düşey izdüşümü karışım öncesi akifer sıcaklığını, yatay izdüşümü ise sıcak akışkanın başlangıç silis değerini verir (Gemici, 1999).

Yöredeki sıcak ve mineralli suların akifer sıcaklığının ve soğuk yeraltı suları ile karışım oranlarının bulunması amacıyla Şekil 3.23'deki Silis-Entalpi diyagramında

incelenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi akifer sıcaklığının 230-270 °C arasında olabileceği sonucu çıkmaktadır.



Şekil 3.23 İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların Entalpi-Silis diyagramı

Silis-Entalpi diyagramı sıcak ve mineralli su karışım oranlarının belirlenmesinde de kullanılır. Diyagramda AB/AC/ oranı karışım suyundaki sıcak ve mineralli su oranını vermektedir. Bu yolla elde edilen karışım oranları Tablo 3.17’de verilmiştir.

3.5.5 Jeotermometre Uygulanabilirliği

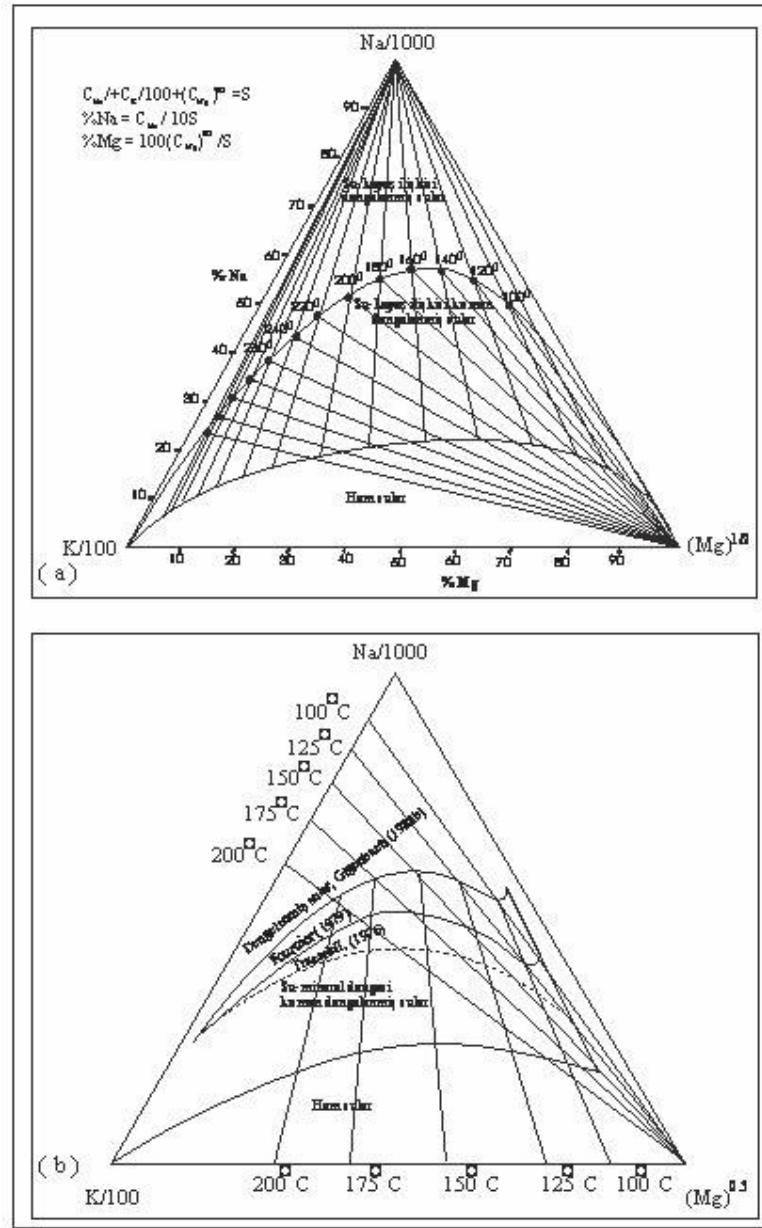
Bu çalışmada Aydın – Ilıcabaşı ve İmamköy Ilıca kaynağı jeotermal sisteminin akifer sıcaklığının bulunması için çeşitli jeotermometreler uygulanmıştır. Elde edilen verilerin doğrulukları çeşitli yöntemlerle irdelenmiştir. Özellikle grafiksel yöntemler kullanılarak uygun jeotermometrelerin ve daha gerçekçi sonuçların bulunması amaçlanmıştır.

Tablo 3.18 ve 3.20’de görüldüğü gibi farklı jeotermometre uygulamaları farklı sonuçlar vermektedir. Çünkü, her jeotermometre belirgin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal koşullar için geçerlidir. Bu koşulların gerçekleşmediği durumlarda jeotermometrelerden elde edilen değerler sağlıklı sonuçlar olmayacaktır. Bazı

jeotermometre sonuçlarında olanaksız sonuçlar elde edilmektedir. Bazı değerlerin eksi, bazı değerlerin ise yüzeyde ölçülen sıcaklıktan daha düşük değerler vermesi, bu kimyasal jeotermometre uygulamaları için uygun hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal koşulların tam olarak gerçekleşmediğini göstermektedir. Bu nedenle jeotermometre sonuçlarını değerlendirirken oldukça dikkatli olunması gerekmektedir.

Jeotermometrelerin uygulanmasında aşağıda belirtilen bazı temel varsayımların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. 1) Kimyasal reaksiyonlar sıcaklık denetimlidir., 2) Jeotermometre uygulamalarında kullanılan maddeler akifer kayada mevcuttur, 3) Akifer kayadaki mineraller ile akışkan arasındaki kimyasal denge tamamlanmıştır, 4) Sıcak suyun yüzeye çıkışı sırasında kimyasal yapısında meydana gelebilecek değişiklikler ihmal edilebilir boyutlardadır, 5) Yükselen sıcak sular soğuk yeraltı suları ile karışmamaktadır (White, 1970).

Bu jeotermometrelerin geçerliliği pek çok değişik araştırmacı tarafından ele alınmıştır. Giggenbach (1988) tarafından Na-K-Mg üçgen diyagramı akifer sıcaklığının tahmini ve sıcak ve mineralli suların akiferi oluşturan kayalar ile kimyasal dengeye ulaşıp ulaşmadıklarının belirlenmesi dolayısıyla katyon jeotermometrelerin uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla geliştirilmiştir (Şekil3.24a). Fournier (1990) kayaç ile tam denge ve kısmen denge halindeki suları ayıran çizginin bu çizginin oluşturulmasında kullanılan Na/K jeotermometre bağıntısına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur (Şekil 3.24b).



Şekil 3.24 Hazne kaya sıcaklığının ve suların jeotermometre uygulamalarına uygunluklarının saptanabilmesi için kullanılan üçgen diyagramlar. a) Giggenbach (1988) ve b) Fournier (1990) tarafından farklı jeotermometre bağıntılarına göre geliştirilen diyagram (Nicholson, 1993).

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

olmadığını araştırmıştır. Giggenbach (1988) bu çalışmasında Na, K ve Mg iyonlarının mg/L değerlerini ele alarak, suları başlıca iki grupta toplamıştır. Bunlar sırasıyla; I) Su kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu ve II) Su-kayaç ilişkisindeki kimyasal dengenin sağlanmamış olduğu sulardır (ham sulardır). I bölgesinde yer alan sulara Na-K-Mg jeotermometrelerinin sağlıklı sonuçlar verebileceği belirtilmektedir. Diyagramın ham veya olgunlaşmamış su kesimindeki (II bölgesindeki) örneklerde su ve kayaç arasındaki denge sağlanmamış olduğundan bu bölgede yer alan sulara jeotermometre uygulamaları akifer sıcaklığının bulunmasında sağlıklı sonuçlar vermeyecektir. Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları (ham suları) birbirinden ayıran eğri olgunlaşma indeksinin (MI=maturity index) MI=2.0 olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların birleşimiyle oluşmuştur. Olgunlaşmış sular ise su kayaç ilişkisinin kısmen ve tamamen dengede olduğu suları belirten eş kimyasal özellikteki noktaların oluşturduğu bir eğri ile ikiye ayrılmaktadır. Diyagramdaki bu bölümler K-Mg ve K-Na jeotermometre eşitlikleri (4) ve (5) ile elde edilen eş sıcaklık değerlerinin kesim noktalarının oluşturduğu eğrilerle (izoterm) birbirinden ayrılmıştır.

Jeotermal sistemlerde sodyumun düşük sıcaklıklarda bile su ile denge haline gelmesi yeterli zaman almasından yani suyun akiferde uzun zaman geçirmesinden dolayıdır. Bu nedenle denge halinin bulunmaması durumunda suyun Na içeriği de düşük olacaktır.

Aşağıda (6) nolu bağıntıda gösterilen olgunlaşma indeksine göre (MI) 2.0 değerinin altında değerler veren sular ham sular, 2.0'in üzerinde değerler veren olgunlaşma indeksine sahip sular ise kısmen veya tamamen olgunlaşmış, su-kaya ilişkisi dengede olan sulardır. Burada bahsedilen olgunlaşma su-kayaç arasındaki kimyasal dengeye karşılık gelmektedir.

$$T(^{\circ}\text{C}) = 4410/(13.95 - \log K_2/\text{Mg}) - 273.15 \text{ Giggenbach (1988) (4)}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 1319/(\log \text{Na}/\text{K} + 1.699) - 273.15 \text{ Fournier (1979) (5)}$$

$$\text{MI} = 0.315 \log(K_2/\text{Mg}) - \log(K/\text{Na}) \text{ Giggenbach (1988) (6)}$$

Değerler mg/L'dir.

Yukarıdaki bağıntılar katyon jeotermometrelerinin uygulanabilirliğini sayısal olarak gösterirler. Grafikselleştirme ise çok sayıda su örneğinin bir arada görülmesi, benzer kökenli olanların gruplanması ve hesaplamalardan sonra yorumlanmasına olanak sağlar. Bu nedenle katyon jeotermometrelerinden elde edilen sonuçların yorumlanması sıcak ve mineralli suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumlarına veya olgunlaşma indeksinin değerine bağlıdır (Gemici, 1999).

Şekil 3.25’de inceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki konumları görülmektedir. Bu suların diyagram üzerindeki konumları incelendiğinde 1 ve 2 nolu örneklerin suları yarı ham sular sınıfına girip, su kayaç ilişkisi kısmen dengelenmiş sulardır. Geri kalan tüm suların ham sular kesiminde yer aldıkları görülmektedir. Bu bölgedeki sıcak ve mineralli sular su-kayaç dengesini tamamlayamamış olan sulardır. Bu durum Tablo 3.21’de sunulan örneklere ait olgunlaşma indeksleri (MI) incelendiğinde de görülmektedir.

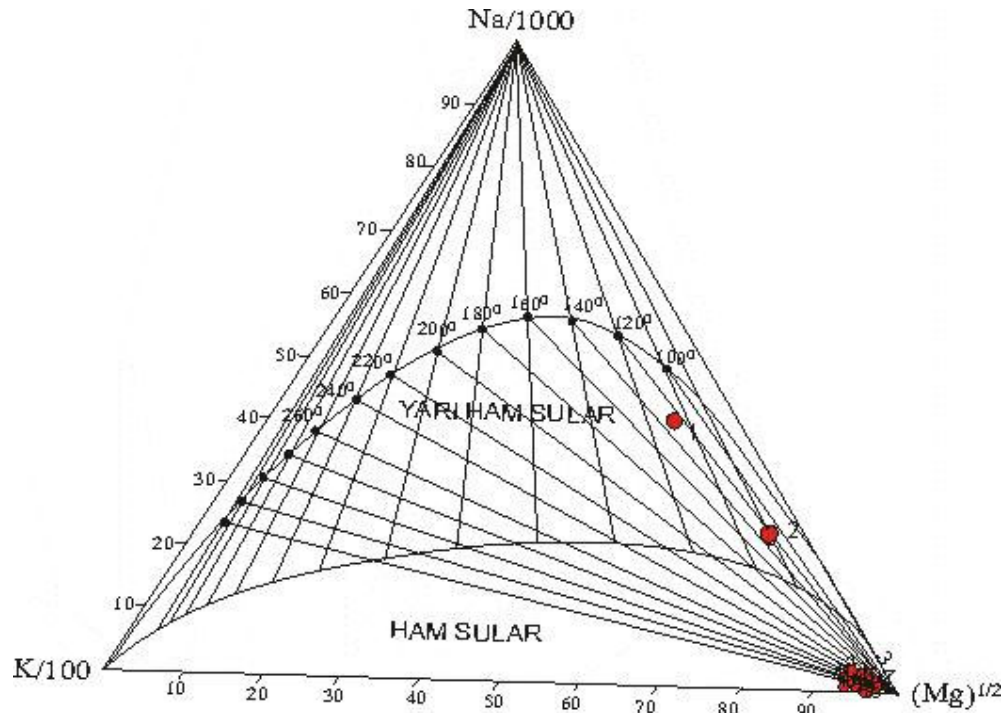
Tablo 3.21. İnceleme alanında yer alan sıcak (1, 2, 7, 11, 12, 13 nolu örnekler) ve soğuk suların olgunlaşma indeksi (MI) değerleri.

Örnek No	1	2	3	4	5	6	7
MI	1,26	0,97	-0,03	-0,07	0,05	0,23	0,28

Örnek No	8	9	10	11	12	13
MI	0,03	0,34	0,13	0,22	0,23	0,03

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların ve soğuk suların tamamının olgunlaşma indeksleri 2 değerinin altında olup, bu sular üçgen diyagramda su-kayaç dengesi olgunlaşmamış sular bölümüne karşılık gelmektedir. Olgunlaşma indeksi 2’nin altında olan sular için Na-K-Mg jeotermometrelerinin kullanılması şüpheli sonuçlar verecektir. Şekil 3.25’deki diyagrama bakıldığında 1,2 numaralı sıcak sular hariç diğer sıcak sular, soğuk sular ile diyagramda düştükleri yerlerin birbirine çok

yakın olması, sıcak suların yüzeye çıkarken soğuk yeraltı suları ile karışımından kaynaklanmaktadır. Bu sular büyük oranda soğuk yeraltı suları ile karıştıkları ve tekrar su-kayaç dengesine ulaşacak zamanı bulamadıkları için ham sular kesiminde yer alırlar. Bu nedenle katyonlara bağlı olarak oluşturulan jeotermometrelerin büyük bir kısmı jeotermal sisteminin akifer sıcaklığının saptanmasında kullanılması yanıltıcı sonuçlar verecektir ve akiferin gerçek sıcaklığını yansıtmayacaktır.



Şekil 3.25 İnceleme alanındaki sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki görünümü ve su-kayaç denge sıcaklıkları

BÖLÜM DÖRT

JEOTERMAL ENERJİ

4.1 Jeotermal Enerji; Tanımı, Oluşumu ve Türkiye’deki Yayılımı

Jeotermal enerji, yerkabuğunun sahip olduğu ısı enerjisinin yeraltındaki sulara aktarılması sonucu aşırı ısınmış akışkanın kendiliğinden yada sondajlarla yeryüzüne çıkarılarak, taşıdıkları enerjinin ekonomik kullanıma dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir.

Türkiye Alp tektonik kuşağı üzerinde bulunması nedeniyle jeotermal enerji açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkemizde, batıda graben, ortada havza rejimi, doğuda sıkışma tektoniği ve kuzeyde ise sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı ile, tektonik açıdan çok etkili bir zon üzerindedir. Bu tektonizmanın yarattığı kırık ve zayıflık kuşakları ile bu kuşaklardan kabuk içersinde sığ derinliklere ve/veya yeryüzüne kadar ulaşan mağma faaliyetleri sonucu magmatik ve volkanizma olayları gerçekleşmekte ve yer yer jeotermal anomaliler oluşarak, diğer jeolojik, meteorolojik olayların da yardımı ile jeotermal sistemler gelişmektedir. Anadolu’da levha tektoniğine, batıda açılma tektoniğine bağlı olarak gelişen ve derinlere kadar etkili olan kırık zonları ile sınırlandırılmış bulunan grabenler içinde, kuzeyde Kuzey Anadolu Fayı’na ve yer yer volkanik faaliyetlere, doğuda ise daha çok olarak volkanik faaliyetlere bağlı olarak jeotermal sistemler oluşmuştur.

Ülke genelinde jeotermal alanlar daha çok batı kesimde yer almaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklıklı jeotermal alanlarda bu bölgede bulunur. Sıcak su kaynaklarının bölgelere göre dağılımı; Ege Bölgesi %28.79, İç Anadolu Bölgesi %23.17, Doğu Anadolu Bölgesi %1.71 şeklindedir. Şekil 4.1’de Türkiye’deki önemli jeotermal alanların yayılımı verilmiştir.



Şekil 4.1 Türkiyedeki önemli jeotermal alanlarının yayılımı

Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunan Türkiye jeotermal enerji yönünden şanslı ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkemizde yapılan hidrojeolojik incelemeleri ve sondaj çalışmaları ile kaynak ve kuyulardan elde edilen jeotermal akışkanın ısıtma potansiyeli 2000Mwt, elektrik üretim potansiyeli ise 350Mwe'ye eşdeğerdir (Canik, 1998).

4.2 Jeotermal Suların Sınıflandırılması

Jeotermal sular çok çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. Bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur (Şahinci, 1991c).

- Akiferdeki akışkanın kökenine göre,
- Sistemlerin buldukları alanlara,
- Jeolojik yapıya,
- Örtü kayaya,
- Kimyasal özelliklerine,
- Sıcaklığa,
- Buhar veya sıcak su egemen oluşuna göre sınıflandırılabilir.

4.2.1 Jeotermal Suların Sıcaklıklarına Göre Sınıflaması

Sıcak sular en önemli özelliklerinden biri olan sıcaklıklarına göre, farklı araştırmacılar tarafından farklı şekillerde sınıflandırılmışlardır.

En genel haliyle sıcak sular sıcaklıklarına göre soğuk, ılık ve sıcak olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar. Ayrıca bu sınıfları birbirinden ayıran sıcaklık dereceleri konusunda kesin bir ayırım yoktur. Suların kullanım alanları farklı sınıflamaların oluşturulmasındaki en önemli etkidir.

TSE (1985) standartlarına göre jeotermal sular sıcaklıkları dikkate alınarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar.

$20^{\circ}\text{C} >$ Soğuk su

$20^{\circ}\text{C} <$ Sıcak su $< 50^{\circ}\text{C}$

$20^{\circ}\text{C} <$ epitermal su $< 34^{\circ}\text{C}$

$34^{\circ}\text{C} <$ Mesotermal su $< 40^{\circ}\text{C}$

$40^{\circ}\text{C} <$ Hipotermal su $< 50^{\circ}\text{C}$

$50^{\circ}\text{C} <$ Çok sıcak su $< 100^{\circ}\text{C}$

$100^{\circ}\text{C} <$ Gayzerler, fümeroller, buharlar

Ayrıca sıcak sular,

Düşük sıcaklıklı sahalar ($20-70^{\circ}\text{C}$),

Orta sıcaklıklı sahalar ($70-150^{\circ}\text{C}$)

Yüksek sıcaklıklı sahalar ($>150^{\circ}\text{C}$),

Olarak da sınıflandırılabilir. Düşük ve orta sıcaklıklı sahalar, bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında başta ısıtmacılık olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kağıt ve dokuma sanayiinde, dericilikte, soğuma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum, bikarbonat, ağır su, akışkandaki CO_2 'den kuru buz eldesinde) kullanılmaktadır. Ancak, orta entalpili sahalardaki akışkanlardan da elektrik üretimi için teknolojiler

geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur. Yüksek entalpili sahalardan elde edilen akışkan ise, elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da kullanılabilir (Şimşek vd., 1986).

İnceleme alanındaki sular TSE (1985) standartlarına göre değerlendirilirse, mesotermal ve hipotermal sular ile düşük sıcaklıklı sahalara adlandırılır.

AIH Sıcak ve mineralli sular komisyonunca ise 20°C'den daha fazla sıcaklıktaki sular sıcak su olarak tanımlanır. Bu suların haritalanmasında 20-35°C, 35-75°C, 75-100°C ve 100°C'den daha fazla sıcaklıktaki sular farklı olarak işaretlenmektedir (Başkan ve Canik, 1983).

Diğer bir sınıflama ise Bogomolov sınıflamasıdır. Bogomolov'a göre sıcak suların sınıflaması Tablo 4.1'de sunulmuştur (Canik, 1998).

Tablo 4.1 Sıcak suların Bogomolov'a göre sınıflaması.

Sıcaklık	Sınıf
< 20°C	Soğuk su
20°C – 37°C	Hipotermal su (=ılık su)
37°C – 42°C	Termal su (=sıcak su)
>42°C	Hipertermal su (=çok sıcak su)

İnceleme alanının jeotermal sistemindeki termal suların sıcaklıkları genellikle 35-50 °C arasında değişmektedir. Bu sular Bogomolov sınıflamasına göre Termal su (=sıcak su) ve Hipertermal su (=çok sıcak su) sınıfında yer alır.

Elektrik enerjisi üretimi gibi yüksek enerji gerektiren kullanımlarda termal suların sıcaklıklarının çok daha yüksek olması istenir. Buna bağlı olarak sınıflamayı oluşturan sıcaklık değerleri yüksektir. Tablo 4.2'de çeşitli araştırmacıların yüksek entalpili sahalara için önerdikleri farklı sınıflama tipleri sunulmuştur (Dickson&Fanelli, 1995). Bu sınıflamaya göre, yöredeki sıcak ve mineralli suların hepsi, düşük sıcaklıklı termal sular sınıfındadırlar.

Tablo 4.2 Jeotermal suların sınıflaması (°C)

Sınıf	Muffler & Cataldi, 1978	Hochstein, 1990	Benderitter&Cormy,1990	Haenel vd., 1988
Düşük entalpili sular	<90	<125	<100	<150
Orta entalpili sular	90-150	125-225	100-200	—
Yüksek entalpili sular	>150	>225	>200	>150

4.3 Jeotermal Suların Kullanım Alanları

Yakın geçmişe kadar sağlık amacıyla yararlanılan jeotermal kaynakların kullanım alanları, gelişen teknolojiye bağlı olarak günümüzde çok yaygınlaşmış ve çeşitlenmiştir. Bunların başında elektrik üretimi, endüstrideki çeşitli kullanımlar, ısıtıcılık (konut, sera) ve sağlık turizmi gelmektedir. Sıcaklığı 120 °C ve daha fazla olan akışkandan elektrik üretimi yapılabilmektedir.

Türkiye'deki jeotermal enerjinin %87'si ısıtma amaçlı olmaktadır. Türkiye jeotermal sahaların %95'i ısıtmaya uygun olan sahalardır. Jeotermal suların kullanım alanlarını belirleyen en önemli özellik akışkanın sıcaklığıdır. Sıcaklığa bağlı olarak termal suların kullanım alanları Tablo 4.3'de sunulmuştur.

Tablo 4.3 Termal suların sıcaklığına göre kullanım yerleri (Lindal, 1973)

Sıcaklık (°C)	Kullanım Alanları
180	Yüksek konsantrasyon solüsyonunun buharlaşması, Amonyak absorpsiyonu ile soğutma
170	Hidrojen sülfid yolu ile ağırsu eldesi, Diyatomitlerin kurutulması
160	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
150	Bayer 2s yoluyla alüminyum eldesi
140	Çiftlik ürünlerinin eldesi
130	Şeker endüstrisi, buz eldesi
120	Temiz su eldesi, tuzluluk oranlarının artırılması
110	Çimento kurutulması
90	Balık kurutma
80	Ev ve sera ısıtması
70	Soğutma (alt sıcaklık sınırı)
60	Kümes ve ahır ısıtma
50	Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar
40	Toprak ısıtma, kent ısıtması (alt sınırı), turistik tesisler
30	Yüzme havuzları, fermantasyon, damıtma, sağlık tesisleri
20	Balık çiftlikleri

4.4 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Mineralli Suların Korunması

4.4.1 Giriş

Sıcak su kaynaklarından sürekli ve sağlıklı biçimde şifalı su olarak yararlanabilmek için bu kaynakların özelliklerinin yapay etkilerle değişmemesi, biyolojik-kimyasal her türlü kirlenmelerle bozulmaması ve kaynakların mekanik etkilerden korunması gerekmektedir. Bu amaçla kaynakların çevresinde kaynaklardan dışa doğru 3 koruma alanı belirlenmektedir. Bu alanların belirlenmesinde en önemli etkenler, kaynak yeri ve çevresinin jeolojik-hidrojeolojik özellikleri, kaynağın kaptaj şekli, ayrıca morfoloji ve fayların konumu göz önüne alınmaktadır.

Koruma alanlarının belirlenmesinde sahalar litolojik özelliklerine göre üçe ayrılır (Demirel, 1988).

1. Olumlu özellikli sahalar: Geçirimsiz veya süzme özelliği gösteren tabakalarla örtülü akiferin bulunduğu sahalardır.
2. Akiferin az kalınlıktaki iyi temizleme özelliğindeki tabakalarla kaplı olduğu alanlardır.
3. Üzerinde temizleyici özellikte örtü bulunmayan akiferlerdir.

Tablo 4.5 Koruma alan sınırlarının kaynaklardan olan uzaklıkları

	I. Koruma Alanı	II. Koruma Alanı	III. Koruma Alanı
Olumlu özellikteki sahalalar	10-50 m	50-250 m	YAS
Orta olumlu özellikteki sahalalar	20-100 m	100-500 m	Beslenme Alanı
Olumsuz özellikteki sahalalar	100 m-YAS beslenme alanı sınırı	YAS beslenme Alan sınırı	Sınırı

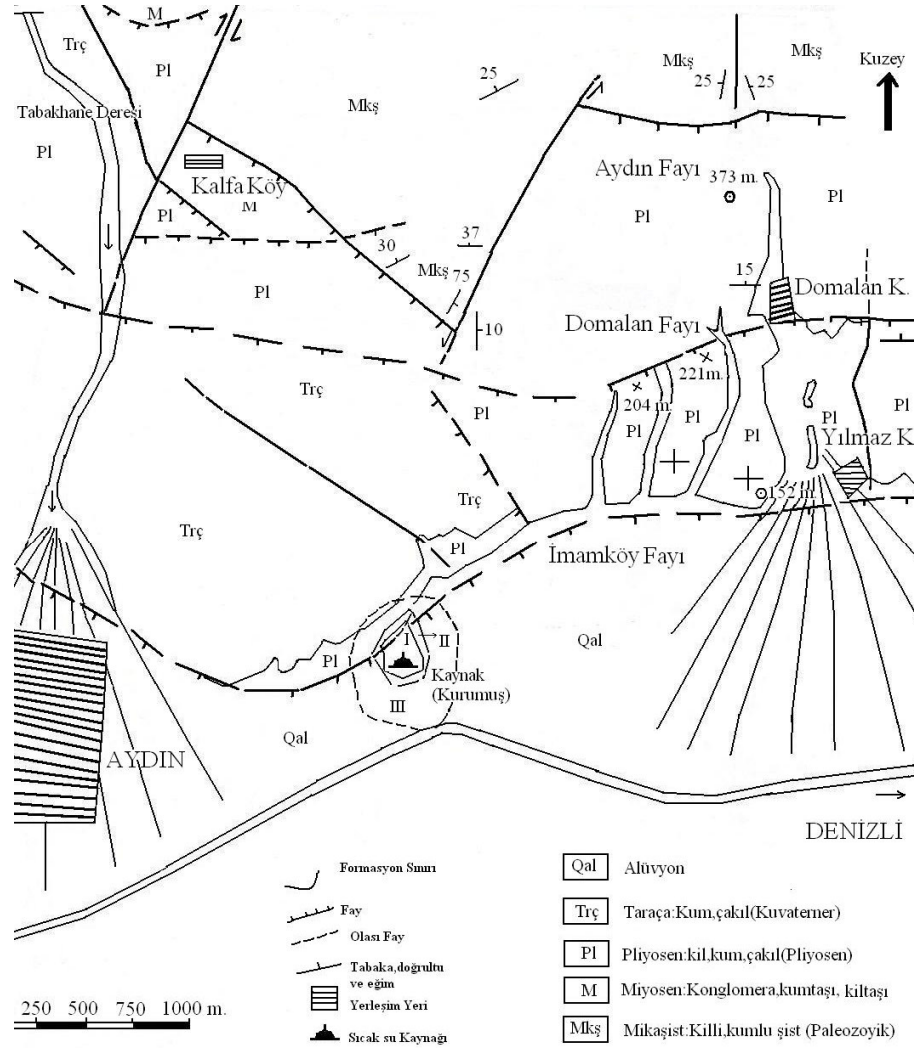
4.4.2 Koruma Alanları

Koruma alanlarının tespitinde önce yeraltı suyunun akım ve beslenme yönlerinin tayin edilmesi gerekir. Bu amaçla ayrıntılı stratigrafik ve tektonik durumun bilinmesi lazımdır. Bu itibarla ılıcabaşı yöresinde de adı geçen çalışmalar ilk etapta yapılarak korunma alanlarının çizilmesine geçilmiştir (Yılmaz, 1986).

Şekil-4.2'den görüleceği üzere, eski Aydın İlçası İmamköy fayının hemen güneyindedir. Yani sıcak sular bu faya bağlı olarak çıkmış ve daha sonra güneye doğru alüvyon ve diğer birimler içinde yayılmıştır. Zamanla kurutma kanallarının açılması, ova içerisinde sondajlarla yeraltı suyu çekiminin yapılması ve deprem gibi nedenlerle yeraltı suyu seviyesi düştüğünden sıcak su kaynağı kurumuştur.

Eski Ilıca kaynağının kurumasından sonra sıcak yeraltı suyundan istifade etmek için buraya sondajlar açılmıştır. Ancak jeolojik yapı açılan sondajlardan sonra korunma altına alınması, her türlü yüzeysel kirliliklere karşı emniyetli olması

gerekmektedir. Bu amaçla ılıcabaşı civarında üç adet korunma alanı çizilmiştir ve her bir alanda alınması gerekli önlemler belirtilmiştir (Yılmaz, 1986).



Şekil 4.2 Çalışma alanının Koruma alanlarını gösteren harita (Yılmaz, 1986)

4.4.2.1 Birinci Derece Koruma Alanları

Şekil-4.2'den görülebileceği gibi, birinci derecede korunma alanı armut biçimindedir. Birinci zon yüzeysel yağış ve atıkların toplanıp yeraltı suyuna kolayca karışarak kirlenmesine sebep olabilecek bir zondur. Tüm bu civarda ve birinci

derecedeki yeraltısuyu akımı kuzeyden güneye ve doğudan batıya doğru olduğundan birinci derecedeki korunma alanının alt sınırını kaynaklardan aşağıya, yani güneye doğru fazla uzatılmamıştır (Yılmaz, 1986).

Bu alanda alınması gerekli önlemler :

1. Bu alan çimlendirilmeli, her türlü yüzeysel kirliliğin yeraltına geçişi önlenmelidir.
2. Bu alan içerisine, sıcak su ile ilgili depo, kuyu vs. gibi yapı dışında hiçbir yapıya müsaade edilmemelidir.
3. Bu alan içerisinde her türlü kazı yapımına izin verilmemelidir.
4. Gene bu alanın ortasından Şekil-1'de görülen İmamköy fayı geçmekte olduğundan, fay yolu ile yeraltı suyuna kirliliğin ulaşması kolay olacağından, çevrede mümkün mertebe zirai ilaçlama yapılmamalıdır.
5. Bu alan içerisinde mezarlık, foseptik çukur vs. bulunmamalıdır.
6. Bu alan içerisinde halihazır bulunan binalardan, veya başka nedenlerden dolayı olabilecek ve kirlilik yapabilecek atıklar 3. zon dışına atılmalıdır.
7. Bu alan içerisine kesinlikle çöp vs. dökülmemeli ve mevcut varsa kaldırılmalıdır.

Bu alan içerisine sıcak su elde etme amaçlı veya başka nedenlerle olsun, herhangi bir sondajın yapılması gerektiği durumlarda bir jeoloji mühendisine mutlaka danışılmalıdır (Yılmaz, 1986).

4.4.2.2 İkinci Derece Koruma Alanları

Birinci zonda olduğu gibi, korunma alanı çizgisi kuzeyde kaynaktan uzakta güneyde kaynağa yakın olup, yaklaşık birinci zonun sınırlarına paralel şekilde çizilmiştir.

Bu alanda alınması gerekli önlemler :

1. Bu zon içerisinde inşaat yapımına müsaade edilebilir. Ancak, bu alana yapılacak binalardan ileri gelebilecek kirli atıklar birinci zon içerisine akıtılmadan, üçüncü zon dışına uzaklaştırılmalıdır.

2. Her türlü kazı yapımı, dinamit vs. patlatması bu alan içerisinde de yapılmamalıdır.
3. Bu alandaki çöpler 3. zon dışına taşınmalıdır. Ayrıca yeni kirlenmelere müsaade edilmemelidir.
4. Bu alan içerisine düşünülecek her türlü sondaj, kuyu vs. yapımında gene bir jeoloji mühendisine danışılmalıdır (Yılmaz, 1986).

4.4.2.3 Üçüncü Derece Koruma Alanı

Hidrolojik ve hidrojeolojik beslenme alanının tümünü kapsar. Çatlaklı kaya akiferlerinde suların yeraltında hızları değişken olup genelde fazladır. Bu nedenle alüvyoner akiferlere oranla kirlenebilirlikleri daha yüksektir. Bu tür kayalarda özellikle II. ve III. Koruma alanı sınırları aynı olup beslenme alanının tümünü kapsayabilmektedir. Bu durumun kesin olarak belirlenmesi yeraltı akım yönü ve hızının saptanması ile mümkün olabilir. Çatlaklı ve karstik kayaç akiferlerinde suyun yeraltındaki hızı yüksek olabildiğinden temizleme özelliği de artan hıza bağlı olarak azalacaktır (Gemici, 1999).

Şekillerden görüleceği gibi bu zon kabaca karemsi dairemsi bir şekildedir. Bütün yönlerdeki sınırlar aşağı yukarı sondajlardan aynı derecede uzaklıktadır. Bu alanın güney sınırı Aydın asfaltına kadar uzanmaktadır.

Bu alanda alınması gerekli önlemler şunlardır :

1. Bu alan içerisine her türlü bina vs. yapılabilir. Tek şart, bu binaların yapılmasıyla oluşabilecek her türlü kirli atıklar bu alan dışarısına atılmalıdır.
2. Bu alana yapılacak binalarda kanalizasyon şartı aranmalıdır.
3. Tarıma izin verilmekle beraber, hayvansal gübreler bu alan içerisinde tutulmalıdır.
4. Yine bu alan içerisine yapılacak sondajlarda bir jeoloji mühendisine danışmak yararlı olacaktır (Yılmaz, 1986).

BÖLÜM BES

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sular örneklenerek kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Sıcak suların 1 ve 2 nolu örnek noktalarının suları, Na-HCO₃-SO₄ , 7 nolu örnek noktasının suları ise Ca- Na- MgSO₄-HCO₃'lü sular sınıfındadırlar. Soğuk sular ise çoğunlukla Ca-Mg-SO₄-HCO₃'lü sular sınıfındadır. İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların sertlik değerleri 6,09-6,76 arasında değişmekte olup asidik karakterdedir. Yöredeki sıcak sularda elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 1 ve 2 nolu örnekler için 3000 µmho/cm üzerinde olup kullanılamaz sular sınıfındadır. 7 Nolu örnek için 1771 µmho/cm ve EC sınıflamasına göre kullanılabilir sular sınıfına girmektedir.

Çalışma alanındaki sıcak suların SAR oranına göre, Ilıcabaşı için 26'dan büyük olup kullanılamaz özellikte sulama suları özelliği taşırlar. İmamköy Ilıca kaynağının sıcak suların SAR oranına göre çok iyi özellikte sulama suları sınıfındadır. Sıcak ve mineralli sular kaynarken çok köpüren sular sınıfına girmektedir.

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların Wilcox diyagramına göre, Ilıcabaşı mevki 1 ve 2 nolu örnekler için kullanılamaz sular tipindedir. 7 Nolu İmamköy Ilıca kaynağı ise iyi kullanılabilir sular sınıfında yer alır. Wilcox diyagramına göre soğuk sular genelde iyi kullanılabilir sular tipindedir. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına göre soğuk sular genel olarak orta ve fazla tuzlulukta ve az sodyumlu su tipindedir. Sıcak ve mineralli sular ise 1 ve 2 nolu Ilıcabaşı mevki sıcak suları çok fazla tuzlu ve çok fazla sodyumlu su grubundadır. 7 Nolu İmamköy Ilıca kaynak suyu ise Fazla tuzlu ve orta derecede sodyumlu su grubuna girmektedir.

Doymunluk indeksi grafikleri incelendiğinde Anhidrit gibi mineraller tüm su noktalarında, doymunluk altı değerler vermekte olup su ile bu mineralleri çözüdürücü özelliktedir. Ca-Montmorillonit, Fe(OH)₃(a), Kalsedon, Siderit gibi mineraller sıcak sularda doymunluk üstü değerler vererek çökeltici özelliktedir. Tüm sıcak ve mineralli sular doymunluk indeksi değerlerinin Anhidrit gibi minerallerin

doygunluk indeksi değerleri için eksi değerde olması bu suların uruttucu etkiye sahip olduğunu gsterir ve buda zamanla sondaj borularını kullanılamaz hale gelmesine neden olabilmektedir. Kalsit ve Dolomit gibi minerallerin doygunluk indeksi değerlerinin doygunluk üstü değerler vermesi ile su bu mineralleri çökeltici özellikte olup, bu suların kullanımı esnasında kabuklaşma sorununa neden olabileceği dikkate alınmalıdır.

İnceleme alanından 1, 2 ve 7 nolu ait sıcak ve mineralli suların doygunluk indeksi değerlerinin sıcaklıkla değişimi grafikler yardımıyla irdelenmiştir. 1 nolu örneğe ait grafik incelendiğinde, doygunluk indeksi (SI)-sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) eğrilerinin kesişim yeri $125-175^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığıdır. Bu nedenle akifer sıcaklığı $100-150^{\circ}\text{C}$ olarak tahmin edilir. 2 nolu örneğe ait minerallerin doygunluk indeksi değerleri topluca irdelendiğinde, minerallerinin oluşturdıkları doygunluk indeksi (SI)-sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) eğrilerinin kesişim yeri $125-150^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığıdır. Bu nedenle akifer sıcaklığı $125-150^{\circ}\text{C}$ olarak tahmin edilir. 7nolu örneğe ait minerallerin doygunluk indeksi değerleri topluca irdelendiğinde, bir grup mineralin oluşturdıkları doygunluk indeksi (SI)-sıcaklık eğrilerinin $125-150^{\circ}\text{C}$ aralığındaki bir bölgede kesiştikleri görülmektedir. Buradan sistemin bu sıcaklıkta belirtilen minerallerce doygun oldukları ve jeotermal sistemde akifer sıcaklığının $125-150^{\circ}\text{C}$ dolayında olabileceği sonucu çıkartılabilir.

Silis jeotermometrelerinden $40-120^{\circ}\text{C}$ arasında değişen akifer sıcaklıkları elde edilmiştir. Çalışma alanının jeotermal sisteminin akifer sıcaklığının silis jeotermometrelerine göre $50-150^{\circ}\text{C}$ olabileceği sonucu çıkmaktadır. Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları incelenmiştir. Ancak incelemelerde su kayaç dengesinin tam olarak gerçekleşmemiş olduğundan Na/K jeotermometreleri güvenilir sonuçlar vermemiştir.

Silis-Entalpi diyagramında incelenmiştir. Şekilde görüldüğü gibi akifer sıcaklığının $230-270^{\circ}\text{C}$ arasında olabileceği sonucu çıkmaktadır.

Bütün bu jeotermometrelerin ışığında inceleme alanının jeotermal alanında hazne sıcaklığının 125-175°C arasında olabileceği tahmin edilmektedir.

Aydın – Yılmazköy sahası gerek kesilen birimleri, gerekse sıcaklık ve kimyasal analiz sonuçları bakımından Salavatlı sahasına benzemektedir. Bölgede jeotermal alanın uzunluğu 7-8 km. genişliği 2-3 km'yi bulmaktadır. Aydın'a yakın olması nedeniyle oldukça avantajlı olan bu sahadan elde edilecek jeotermal akışkan birçok alanda entegre olarak kullanılabilir. Yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalara göre, jeotermal alan, doğuda İmamköy'e, batıda Aydın –Ilıcabaşına kadar uzanmaktadır. Yaklaşık 20 km²' lik bir alan kaplayan bu bölgenin jeotermal potansiyelini belirlemek için AY1 kuyusunun doğu, batı ve güneyinde en az 3 tane daha sondaj yapılması önerilir (2001, Kara ve diğerleri).

Aydın – Yılmazköy – İmamköy sahası, hem Aydın'a yakın olması, hem de yüksek sıcaklığa sahip olması nedeniyle oldukça avantajlıdır. Buradan elde edilecek sıcak akışkan, başta elektrik üretimi olmak üzere kurutmacılık, şehir ısıtması, seracılık, termal turizm gibi birçok alanda entegre olarak kullanılabilir. Aydın ve civarının ekonomisine önemli katkı sağlayacak jeotermal enerji araştırma çalışmalarına ara vermeden hızla devam edilmelidir (2001, Kara ve diğerleri).

KAYNAKÇA

- Arnorsson, S., (1983), *Chemical Equilibria in Icelandic Geothermal Systems*. Implications for Chemical Geothermometry Investigations. *Geothermics*, 12, 119- 128.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson E. & Svavarsson, H., (1983), *The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland*. III. Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. Vol.47, pp. 567-577. Pergamon Press. USA.
- Başkan, M.E.&Canik, B., (1983), *AİH Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası*, MTA No:189, Ankara, 80p.
- Brondi, M., Dall'aglio, M.&Vitrani, F., (1973), *Lithium as pathfinder element in the large scale hydrogeochemical exploration for hydrothermal systems* *Geothermics*, 2, 142-143.
- Canik, B., (1998), *Hidrojeoloji, Yeraltı sularının aranması, işletilmesi, kimyası*. AÜ. Fen Fak. Jeoloji Müh. Böl., Ankara.
- Calmbach, L., (1995), *Hydrowin-95 Computer Programme, Version 3.0*, Institut de Mineralogie BFSH2 1015 Lausanne.
- Calmbach, L., (1997), *AquaChem Computer Code Version 3.7.42*, Phreeqci (Parkhurst & Appela, 1999) *Waterloo Hydrogeologic*. Waterloo, ON.
- Demirel, Z., (1988), *Koruma alanlarının belirlenmesinde hidrojeoloji kriterleri*. Ulusal 1. Hidrojeoloji Semp. Ankara Üniversitesi, Fen Fak., Jeoloji Mh. Böl., Ankara.
- Dickson, M.,H.&Fanelli, M., (1995), *Geothermal Energy*. John Willey & Sons, England.
- Ergüvanlı, K.&Yüzer, E., (1973), *Yeraltı Suları Jeolojisi*, İTÜ Maden Fakültesi.

- Erişen, B., Akkuş, İ., Uygur, N., Koçak, A., (1996), , *Türkiye Jeotermal Envanteri*, MTA Genel Müd., Ankara.64-86
- Ellis, A.J.&Wilson, S.H., (1960), *The geochemistry of alkali metal ions in the Wairakei hydrothermal system*. N.Z.J. Geol. Geophys., 3, 593-617
- Ford&Williams, P.W., (1989), *Karst Geomorphology and Hydrology*. Unwin Hyman Ltd., London, 601 p.
- Fouillac, C. & Michard, G., (1981), *Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters*. Geothermics. V. 10, p.55-70
- Fournier, R. O., (1977a), *A review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems*. Proceedings of the Symp. On Geoth. Energy. Cento Scientific programme, Ankara, 133-143.
- Fournier, R. O., (1977b), *Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems*. Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy. Cento Scientific Programme, Ankara, 199-210.
- Fournier, R. O., (1979), *A Revised Equation for the Na/K Geothermometer*. Geoth. Res. Consil, Transa-c. Vol. 3 pp. 221-224.
- Fournier, R. O., (1990), *The Interpretation of Na-K-Mg Relations in Geothermal Waters*. Geoth. Res. Council Trans., 14, 1421-1425.
- Fournier, R. O., & Rowe, J.J., (1966), *Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet-steam wells*. Am. J. Sci. 246, 685-697.

- Fournier, R. O., & Truesdell, A. H., (1970), *Geochemical indicators of subsurface temperature applied to hot spring waters of Yellow tone Natinal Park, Wyoming, USA*. Geothermics 2,1, 529-535.
- Fournier, R. O., & Truesdell, A. H., (1973), *An Emprical Na-K-C Geotermometer for Natural waters*. Geochim. Et Cosmochim. Acta. V. 37 p. 1255-1275.
- Gemici, Ü., (1999), *Çeşme Yarımadası'nın Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları* D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, Aralık, İzmir.
- Giggenbach, W. F., (1988), *Geotermal Solute Eguilibria. Derivatin of Na-K-Mg Ca Geoindicators*. Geochim. Et Cosmochim. Acta. 52., 2749-2765.
- Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B. L. & Truesdell, A. H., (1983), *Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana Geothermics. v.s, p. 51-62.*
- Hydrowin, (1995), *Computer Programe-Version 3.0*, by Locas Calmbach. Institut de Mineralogie BFSH2 1015 Lausanne.
- Kara, İ., Karahan, Ç., Manav, E., Özkan, R., (2001) *Aydın-Yılmazköy Sıcak Su (AY-1) Sondajı Kuyu Bitirme Raporu*, MTA Genel Müdürlüğü, ANKARA
- KHAYAT, J.R., (1988), *Germencik-Kızılcapınar (Aydın) ve Çevresinin Hidrojeolojik İncelemesi, Sıcak ve Soğuk Suların Jeokimyasal Yorumlanması*, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İZMİR.
- Koga, A., (1970), *Geochemistry of the waters discharged from drillholes in Otake and Hatchobaru areas (Japan)*. Geothermics. Spesial issue, 22 (2), 1422-1425.
- Langmuir, D., (1971), *Geochemisry of some carbonate groud waters in Central Pennsylvania*. Geochim. Osmochim. Acta. 35.

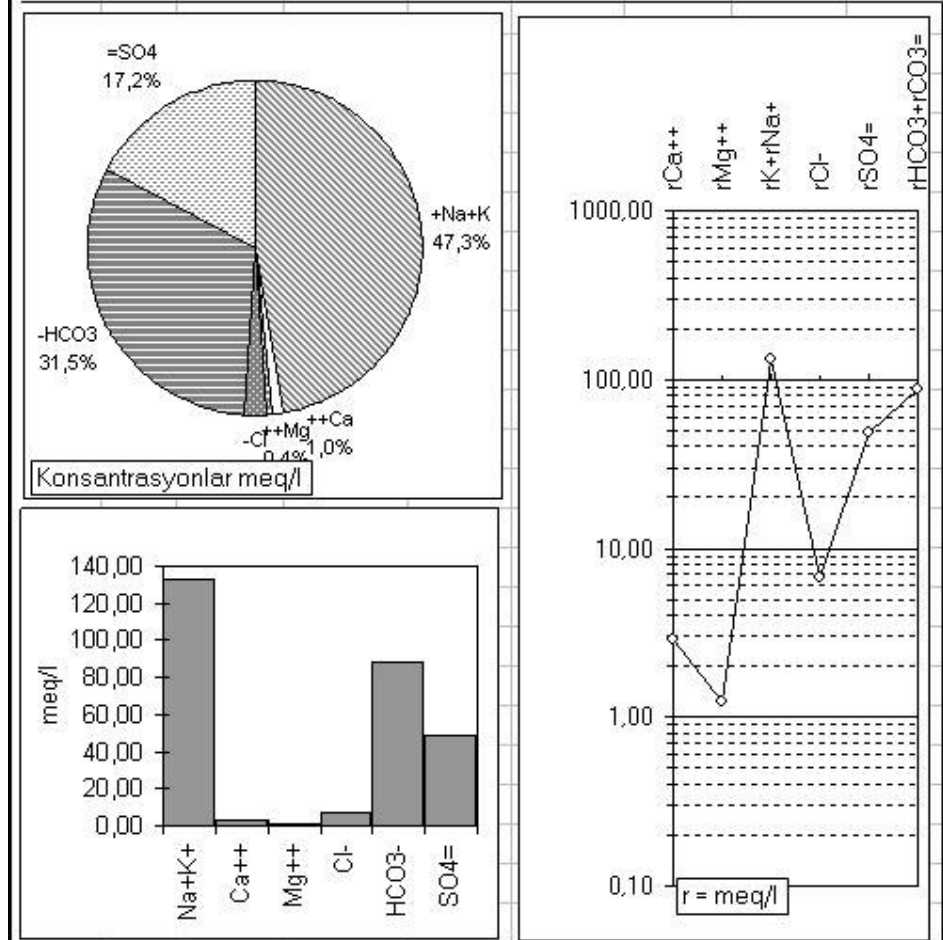
- Lindal, B., (1973), *Industrial and other applications of geothermal energy. Geothermal Energy*. UNESCO, Paris, 135-148.
- Mahon, W.A., (1966), *Silica in hot water discharged from drill holes at Wairakei*, New Zeland. N.Z.J.Sci. 9, 165-144.
- Minissale&Duchi (1988), *Geotermometry on fluids circulating in a carbonate reservoir in North-central Italy*. J. Volcanol. Geotherm. Res. 35, 237-253.
- Mufler, P. & Cataldi, R., (1978), *Methods for regional assessment of geothermal resources*, Geothermics. 7, 53-89.
- Mutlu, H., 1998, *Chemical geothermometry and fluid mineral equilibria for the Ömer-Gecek thermal waters*, Afyon area, Turkey: Journal of Volcanology and Geothermal Research. Vol. 80, no: 3-4, 303-321.
- Mufler, P. & Cataldi, R., (1978), *Methods for regional assessment of geothermal resources*, Geothermics. 7, 53-89.
- Pope, L.A., Hajash, A. & Popp, R.K., (1987), *An experimental investigation of the Quartz, Na/K, Na-K-Ca geotemometers and the effects of fluid composition*. Jour.of Volcanology and Geothermal res. 31, 151-161.
- Roberts, A.,A., (1975), *Helium surveys over known geothermal resources areas in the Imperial Valley*, California, US Geology Survey Open-File Report.
- Şahinci, A. (1991a), *Doğal Suların Jeokimyası*. Reform Matbaası, Beyler-İzmir, 548.
- Şahinci, A.,(1991b), *Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri*. Reform Matbaası, Beyler-İzmir, 548 s.

- Şahinci, A., (1991c), *Karst*, D.E.Ü. Müh. Fak. Yayınları, s:1-4 İzmir
- Şimşek, Ş., (1986), *Geothermal aActivity in Turkey. United Nations Workshop on the Development and Explotation of geothermal Energy in Devolving ountries*, Iseland, DTCD/NRED/CTB/2p 1-4.
- Şimşek, Ş., (2000), *Türkiye'deki jeotermal alanların dağılımı*.
- Tarcan, G. (2003), *Jeotermal Su Kimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar*, Yaz Okulu Ders Kitabı-JENERUM D.E.Ü.-Mühendislik Fakültesi, İzmir
Yayın No:306, s:198-245.
- Tonani, F., (1970), *Geothermical methods of exploration for geothermal energy*.
Geotermics. Special issue 2, 1, 492-515.
- TS-266, (1997), *Türk Standartları İçme Suları*. UDK 663.7.543, 32 s.
- Şimşek, Ş., Doğdu, S.M., Akan, B., & Yildirim, N.,(2000), *Chemical And Isotopic Survey of Geothermal Reservoirs In Western Anatolia Turkey*. Proceeding Word Geothermal Congress. Beppu-Kysuhi, Japan.1765-1170
- Yılmaz, S., (1980), *Aydın Yöresinin Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları*.
- Yılmaz, S., (1986), *Aydın Ilıcabaşı Koruma Alanları Raporu*.

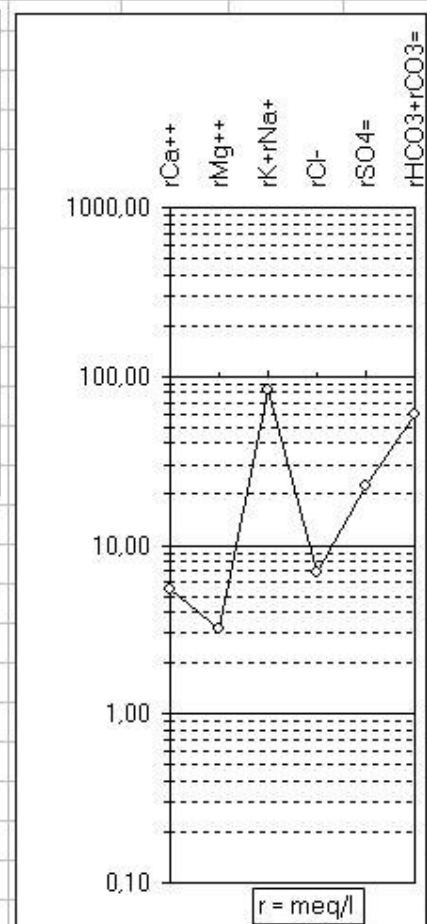
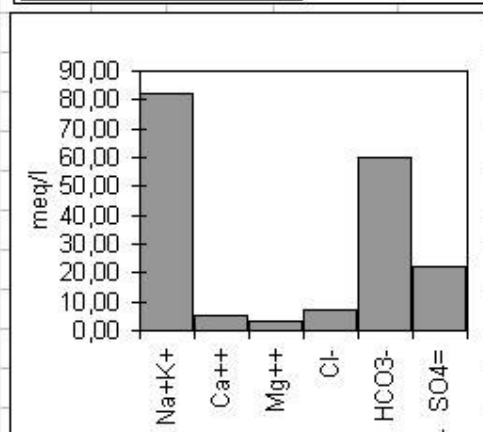
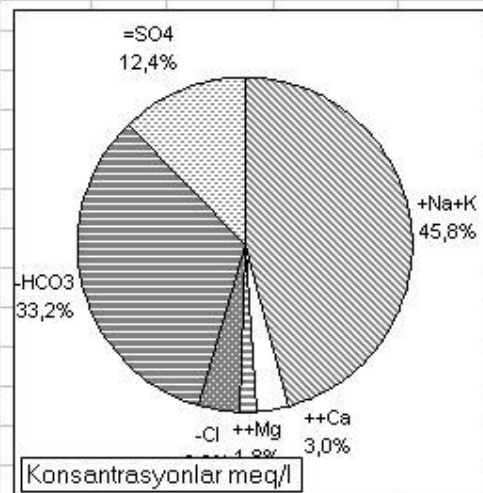
EKLER

SICAK VE SOĞUK SULARIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

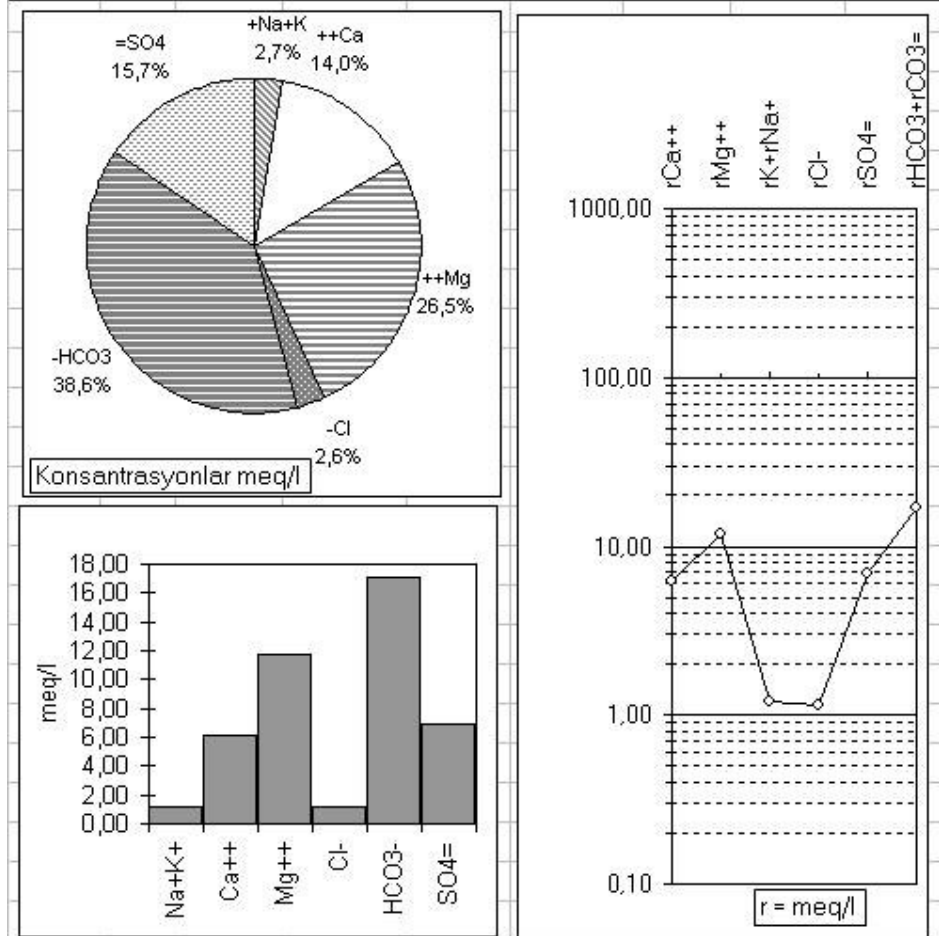
Örnek Adı :		İlçebaşı			pH(-logH)	6,73			
Lab no:	1	Sıcaklık (°C)		38	EC(µmho/cm)	7320			
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l		C (mol/l)	SCZ ²	F	AC	
Na ⁺	3023	131,50	96,02	96,0	0,13150	0,0657	0,74	0,0973	
K ⁺	53	1,35	0,99	1,7	0,00135	0,0007	0,74	0,0010	
Ca ⁺⁺	57,31	2,86	2,09	1,8	0,00143	0,0029	0,30	0,0004	
Mg ⁺⁺	15,15	1,25	0,91	0,5	0,00062	0,0012	0,30	0,0002	
Cl ⁻	241,3	6,80	4,74	3,0	0,00680	0,0034	0,74	0,0050	
HCO ₃ ⁻	5397	88,48	61,60	67,8	0,08848	0,0442	0,74	0,0655	
SO ₄ ⁼	2321	48,34	33,66	29,2	0,02417	0,0483	0,30	0,0072	
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				136,954	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)				3148,3
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				143,625	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)				7959,1
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				280,579	Toplam İyon Miktarı (mg/l)				11107,4
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,167	% e (Hata Yüzdesi)				-2,38
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				91,778	Sertlik (Fr)				20,53
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,050	rCa/rMg Oranı				2,30
Slc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0,278	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)				-0,91
SlD (Dolomit Doygunluk İndeksi)				0,198	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı				-0,05
Fo (Köpürme Katsayısı)				8258,2	Si (mg / l)				68,00
Hidrokimyasal fasiyes tipi				Na-Mg-HCO ₃	B ⁺⁺⁺ (mg / l)				



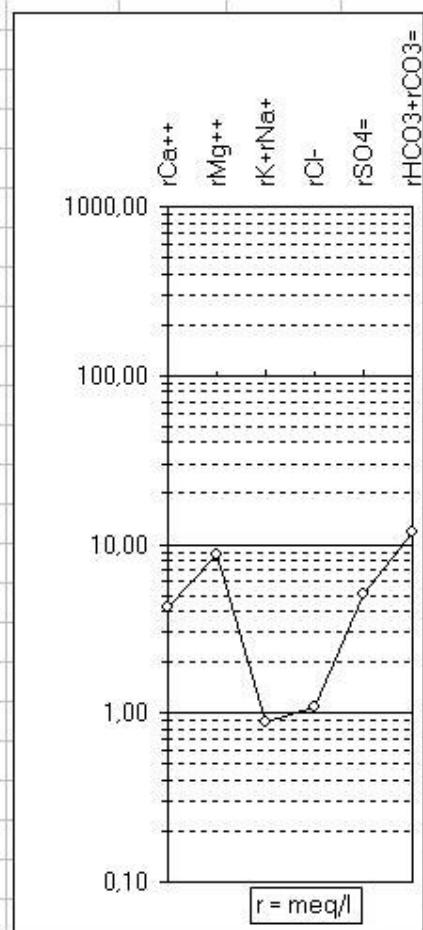
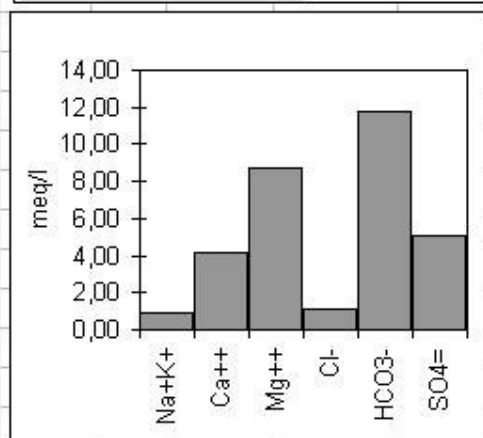
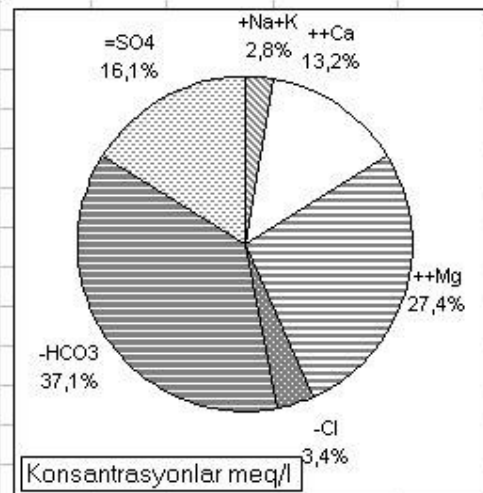
Örnek Adı : Ilıcabaşı 2					pH(-logH)			6,76
Lab no:	2	Sıcaklık (°C)			44	EC(µmho/cm)		5025
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	$\sum CZ^2$	F	AC
Na ⁺	1879	81,73	89,78	91,5	0,08173	0,0409	0,71	0,0579
K ⁺	26,03	0,67	0,73	1,3	0,00067	0,0003	0,71	0,0005
Ca ⁺⁺	108,3	5,41	5,94	5,3	0,00270	0,0054	0,25	0,0007
Mg ⁺⁺	39,23	3,23	3,54	1,9	0,00161	0,0032	0,25	0,0004
Cl ⁻	244,3	6,88	7,76	4,9	0,00688	0,0034	0,71	0,0049
HCO ₃ ⁻	3640	59,68	67,22	73,5	0,05968	0,0298	0,71	0,0423
SO ₄ ⁼	1066	22,21	25,02	21,5	0,01111	0,0222	0,25	0,0028
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				91,026	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			2052,5
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				88,780	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			4951,1
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				179,806	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			7003,5
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,105	% e (Hata Yüzdesi)			1,25
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				39,339	Sertlik (Fr)			43,16
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,084	rCa/rMg Oranı			1,68
Slc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0,320	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			-1,12
SID (Dolomit Doygunluk İndeksi)				0,308	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-0,27
Fo (Köpürme Katsayısı)				5119,1	Si (mg / l)			5,00
Hidrokimyasal fasiyes tipi Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃				B ⁺⁺⁺ (mg / l)				



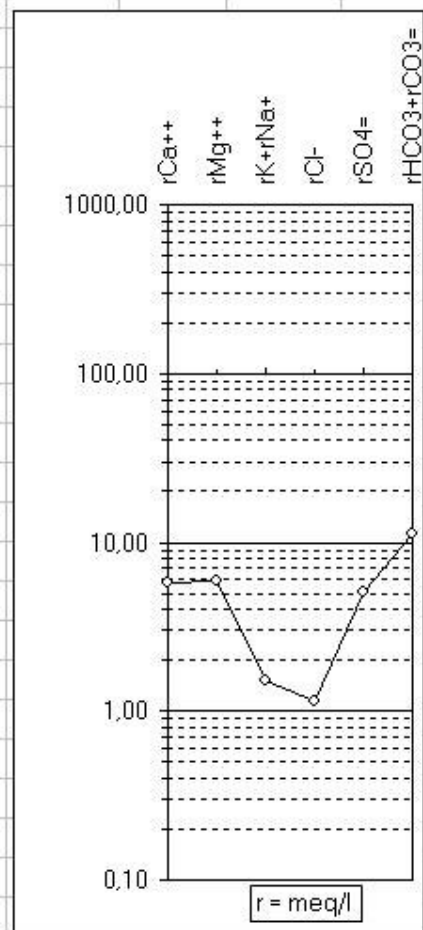
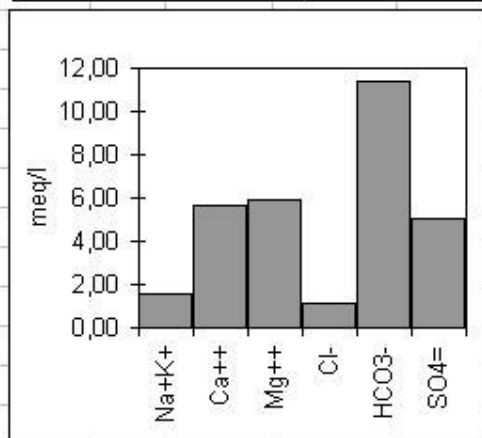
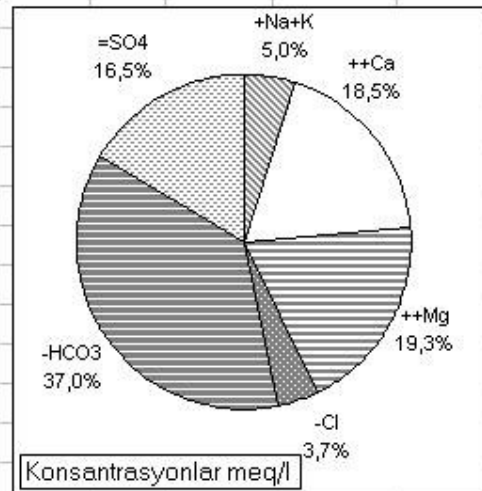
Örnek Adı : Yılmazköy su sebili					pH(-logH)			7,2
Lab no:	3	Sıcaklık (°C)			21,6	EC(µmho/cm)		1639
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	SCZ ²	F	AC
Na ⁺	24,72	1,08	5,64	8,4	0,00108	0,0005	0,81	0,0009
K ⁺	4,572	0,12	0,61	1,5	0,00012	0,0001	0,81	0,0001
Ca ⁺⁺	123,8	6,18	32,39	41,9	0,00309	0,0062	0,44	0,0014
Mg ⁺⁺	142,3	11,70	61,36	48,2	0,00585	0,0117	0,44	0,0026
Cl ⁻	40,8	1,15	4,58	2,9	0,00115	0,0006	0,81	0,0009
HCO ₃ ⁻	1039	17,04	67,87	73,6	0,01704	0,0085	0,81	0,0139
SO ₄ ⁼	332	6,92	27,55	23,5	0,00346	0,0069	0,44	0,0015
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)					19,070	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		295,4
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)					25,107	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		1412,2
Toplam İyon Miktarı (meq/l)					44,176	Toplam İyon Miktarı (mg/l)		1707,6
İyonlaşma Gücü (mol/l)					0,034	% e (Hata Yüzdesi)		-13,67
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)					0,360	Sertlik (Fr)		89,39
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı					0,048	rCa/rMg Oranı		0,53
Slc (Kalsit Doygunluk İndeksi)					0,575	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)		-1,09
SlD (Dolomit Doygunluk İndeksi)					0,814	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı		-1,20
Fo (Köpürme Katsayısı)					75,8	Si (mg / l)		5,00
Hidrokimyasal fasiyes tipi Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



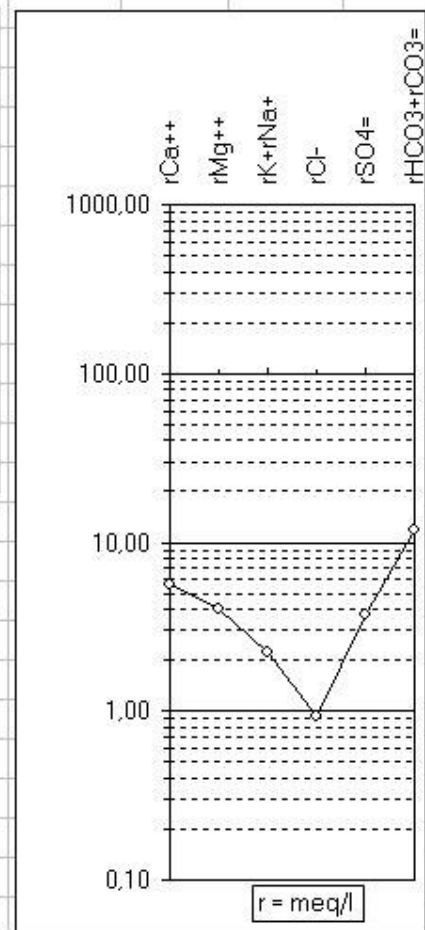
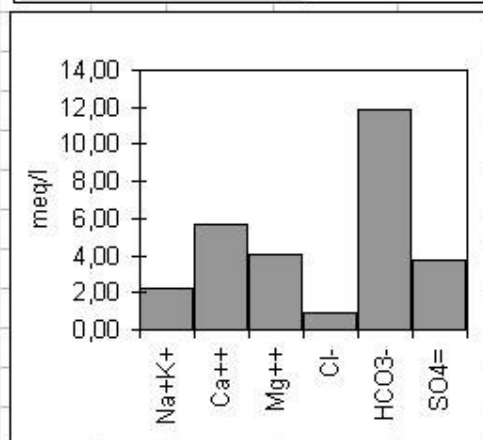
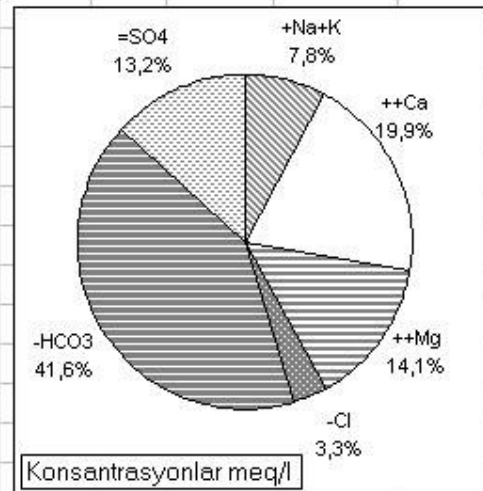
Örnek Adı : Yılmazköy dikilitaş mevki					pH(-logH)			7,58	
Lab no:	4				Sıcaklık (°C)	22		EC(µmho/cm)	1342
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	SCZ ²	F	AC	
Na ⁺	18,71	0,81	5,91	8,8	0,00081	0,0004	0,84	0,0007	
K ⁺	3,205	0,08	0,60	1,5	0,00008	0,0000	0,84	0,0001	
Ca ⁺⁺	84,14	4,20	30,47	39,8	0,00210	0,0042	0,49	0,0010	
Mg ⁺⁺	105,6	8,68	63,03	49,9	0,00434	0,0087	0,49	0,0021	
Cl ⁻	38,31	1,08	6,02	3,8	0,00108	0,0005	0,84	0,0009	
HCO ₃ ⁻	717,4	11,76	65,58	71,7	0,01176	0,0059	0,84	0,0099	
SO ₄ ⁼	244,5	5,09	28,40	24,4	0,00255	0,0051	0,49	0,0013	
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)					13,779	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		211,7	
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)					17,933	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		1000,2	
Toplam İyon Miktarı (meq/l)					31,713	Toplam İyon Miktarı (mg/l)		1211,8	
İyonlaşma Gücü (mol/l)					0,025	% e (Hata Yüzdesi)		-13,10	
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)					0,321	Sertlik (Fr)		64,42	
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı					0,064	rCa/rMg Oranı		0,48	
Slc (Kalsit Doygunluk İndeksi)					0,690	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)		-1,28	
Slđ (Dolomit Doygunluk İndeksi)					0,948	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı		-1,73	
Fo (Köpürme Katsayısı)					56,9	Si (mg / l)		5,00	
Hidrokimyasal fasiyes tipi Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)				



Örnek Adı : İnamköy Su Sebili					pH(-logH)			6,72	
Lab no:	5		Sıcaklık (°C)		19,5		EC(µmho/cm)		1296
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	SCZ ²	F	AC	
Na ⁺	33,02	1,44	10,92	14,8	0,00144	0,0007	0,84	0,0012	
K ⁺	3,377	0,09	0,66	1,5	0,00009	0,0000	0,84	0,0001	
Ca ⁺⁺	114	5,69	43,27	51,2	0,00284	0,0057	0,50	0,0014	
Mg ⁺⁺	72,19	5,94	45,15	32,4	0,00297	0,0059	0,50	0,0015	
Cl ⁻	40,8	1,15	6,54	4,2	0,00115	0,0006	0,84	0,0010	
HCO ₃ ⁻	693	11,36	64,65	71,0	0,01136	0,0057	0,84	0,0096	
SO ₄ ⁼	242,9	5,06	28,80	24,9	0,00253	0,0051	0,50	0,0013	
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)					13,149	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			222,6
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)					17,570	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			976,7
Toplam İyon Miktarı (meq/l)					30,719	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			1199,3
İyonlaşma Gücü (mol/l)					0,024	% e (Hata Yüzdesi)			-14,39
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)					0,596	Sertlik (Fr)			58,13
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı					0,070	rCa/rMg Oranı			0,96
Slc (Kalsit Doygunluk İndeksi)					-0,044	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)			-1,14
Slđ (Dolomit Doygunluk İndeksi)					0,065	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-0,88
Fo (Köpürme Katsayısı)					95,8	Si (mg / l)			5,00
Hidrokimyasal fasiyes tipi Ca-Mg-SO4-HCO3					B ⁺⁺⁺ (mg / l)				



Örnek Adı : İmamköy su kullanım artezyanı					pH(-logH)			6,38	
Lab no:	6		Sıcaklık (°C)		21,8		EC(µmho/cm)		1281
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	5CZ ²	F	AC	
Na ⁺	47,7	2,07	17,41	22,1	0,00207	0,0010	0,85	0,0018	
K ⁺	5,755	0,15	1,24	2,7	0,00015	0,0001	0,85	0,0001	
Ca ⁺⁺	113,6	5,67	47,56	52,6	0,00283	0,0057	0,52	0,0015	
Mg ⁺⁺	48,97	4,03	33,79	22,7	0,00201	0,0040	0,52	0,0011	
Cl ⁻	33,33	0,94	5,68	3,6	0,00094	0,0005	0,85	0,0008	
HCO ₃ ⁻	722,2	11,84	71,56	77,1	0,01184	0,0059	0,85	0,0101	
SO ₄ ⁼	180,8	3,77	22,76	19,3	0,00188	0,0038	0,52	0,0010	
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)					11,918	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			216,0
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)					16,546	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			936,4
Toplam İyon Miktarı (meq/l)					28,464	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			1152,4
İyonlaşma Gücü (mol/l)					0,021	% e (Hata Yüzdesi)			-16,26
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)					0,942	Sertlik (Fr)			48,48
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı					0,060	rCa/rMg Oranı			1,41
Slc (Kalsit Doygunluk İndeksi)					-0,347	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)			-1,24
SlD (Dolomit Doygunluk İndeksi)					-0,321	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-0,52
Fo (Köpürme Katsayısı)					140,2	Si (mg / l)			5,00
Hidrokimyasal fasiyes tipi Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)				



Örnek Adı : İmamköy I. Ilıca Kaynağı					pH(-logH)			6,09
Lab no:	7	Sıcaklık (°C)			34	EC(µmho/cm)		1771
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	SCZ ²	F	AC
Na ⁺	99,29	4,32	23,70	29,8	0,00432	0,0022	0,82	0,0035
K ⁺	6,03	0,15	0,85	1,8	0,00015	0,0001	0,82	0,0001
Ca ⁺⁺	154,5	7,71	42,30	46,4	0,00386	0,0077	0,46	0,0018
Mg ⁺⁺	73,49	6,04	33,16	22,0	0,00302	0,0060	0,46	0,0014
Cl ⁻	33,33	0,94	3,91	2,5	0,00094	0,0005	0,82	0,0008
HCO ₃ ⁻	1010	16,56	68,95	74,5	0,01656	0,0083	0,82	0,0136
SO ₄ ⁼	312,9	6,52	27,14	23,1	0,00326	0,0065	0,46	0,0015
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)					18,227	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		333,3
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)					24,018	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		1356,4
Toplam İyon Miktarı (meq/l)					42,245	Toplam İyon Miktarı (mg/l)		1689,7
İyonlaşma Gücü (mol/l)					0,031	% e (Hata Yüzdesi)		-13,71
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)					1,647	Sertlik (Fr)		68,77
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı					0,041	rCa/rMg Oranı		1,28
Slc (Kalsit Doygunluk İndeksi)					-0,431	Slj (Jips Doygunluk İndeksi)		-0,98
Sld (Dolomit Doygunluk İndeksi)					-0,384	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı		-0,10
Fo (Köpürme Katsayısı)					279,8	Si (mg / l)		5,00
Hidrokimyasal fasiyes tipi Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			

