

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOCAOBA JEOTERMAL ALANININ (DİKİLİ)
HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ**



Öykü BARUT

Kasım, 2018

İZMİR

KOCAOBA JEOTERMAL ALANININ (DİKİLİ) HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programı

Öykü BARUT

Kasım, 2018

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

ÖYKÜ BARUT, tarafından **PROF. DR. ÜNSAL GEMİCİ** yönetiminde hazırlanan “**KOCAOBA JEOTERMAL ALANININ (DİKİLİ) HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Ünsal GEMİCİ

Yönetici

Prof. Dr. Gökten Tarcan



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Fikret Kocaoğlu



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Öncelikle beni bilgi ve tecrübeleriyle yönlendiren ve bana emeği geçen danışman hocam Prof. Dr. Ünsal Gemici'ye çok teşekkür ederim. Arş. Gör. Dr. Toygar Akar'a bana yardımlarından ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca bana tez yazımında yardımcı olan arkadaşlarım Özge Şamlı ve Şafak Utku Sönmez'e ve her konuda yanımda olan aileme desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Öykü BARUT

KOCAOBA JEOTERMAL ALANININ (DİKİLİ) HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZ

Bu çalışma İzmir ili Kocaoba jeotermal alanının ve yakın çevresinin hidrojeolojik, hidrojeokimyasal incelemelerini kapsamaktadır. Dikili bölgesi İzmir ilinin kuzeyinde yer almaktadır.

Çalışma alanında sırasıyla Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Kozak Plüton'u, Üst Miyosen yaşlı Soma Formasyonu, Üst Miyosen- Pliyosen yaşlı Yuntdağ Volkanitleri ve Kuvaterner yaşlı Dededağ Bazaltları yer almaktadır. Bunların hepsinin üzerinde ise Alüvyon yüzlek vermektedir.

Çalışma alanında Yuntdağ Volkaniti-I ve Yuntdağ Volkaniti-II birimleri jeotermal suların hazne kaya özelliğini gösterirken, Demirtaş Piroklastikleri düşük prozite özelliğinden dolayı örtü kaya özelliğindedir. Alüvyon ise akifer özelliğindedir.

Çalışma alanından on beş adet su örneği alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır. İnceleme alanındaki sular genel olarak sodyum-bikarbonat-sülfat ve kalsiyum-magnezyum-bikarbonat su tipindedir. İnceleme alanındaki termal suların elektriksel iletkenlik değerlerine göre çoğunlukla kullanılabilir bölümde yer aldığı saptanmıştır. Kocaoba jeotermal alanındaki termal suların uygulanan kimyasal jeotermometreler ve çizilen diyagramlarda sıcak suların olgunlaşmamış (ham) sular grubuna girdikleri saptanmıştır. Uygulanan kimyasal jeotermometre bulguları ve kuyuların ölçülmüş hazne sıcaklıkları birlikte değerlendirildiğinde jeotermal suların hazne kaya sıcaklıklarının 75-150 santigrat arasında olabileceği tahmin edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kocaoba, Dikili, hidrojeoloji, hidrojeokimya, jeotermal

HYDROGEOCHEMICAL ASSESMENT OF KOCAOBA (DIKILI) GEOTHERMAL FIELD

ABSTRACT

This study contains hydrogeological, hydrogeochemical investigation of Kocaoba (Dikili) field and nearby that field. Dikili field is located at north of İzmir city. There are Upper Oligocene-Lower Miocene Kocak Granodiorite, Upper Miocene-Lower Pliocene Yuntdağ Volcanic, Quaternary Dededag Basalt and alluvium in the study area.

In the study area Yuntdag Volcanic-I and Yuntdag Volcanic-II are the reservoir of the geothermal system, Demirtas Pyroclastics has low porerity. Alluvium has characteristic of an aquifer.

Fifteen water samples were taken from the study area and cation- anion analysis were done. The examined waters are generally in the type of sodium-bicarbonate-sulfate and calcium-magnesium-bicarbonate.

When the examined hot waters were classified according to the Electrical Conductivity, it was seen that they were genearly classified as ‘appropriate for irrigation purpose. Thermal waters in the study area were subjected to geothermometer analysis and it was seen that the hot waters were classified as “immature” waters. When all geothermometer results and available reservoir tempatures measuerd in the wells are considered together, It is estimated that geothermal waters’ reservoir rock tempature ranges between 75-150 centigrade.

Keywords: Kocaoba, Dikili, hydrogeology, hydrogeochemistry, geotermal

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	ix
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışma Alanının Yeri.....	1
1.2 Çalışmanın amacı	1
1.3 Önceki Çalışmalar	2
1.4 Materyal ve Yöntem.....	3
BÖLÜM İKİ – GENEL JEOLojİ	5
2.1 Bölgesel Jeoloji	5
2.1.1 I Yuntdağ Volkanitleri.....	8
2.1.2 Demirtaş Piroklastik Kayaları.....	8
2.1.3 II Yuntdağ Volkanitleri.....	8
2.1.4 III Yuntdağ Volkanitleri	8
2.2 Jeolojik Yapı ve Faylar	10
BÖLÜM ÜÇ - HİDROJEOLojİ.....	12
3.1 Kayaçların Hidrojeolojik özellikleri	12
3.1.1 Yuntdag Volkaniti-I.....	12

3.1.2 Demirtaş Piroklastikleri	12
3.1.3 Yuntdag Volkaniti-II	12
3.1.4 Yuntdag Volkaniti-III	12
3.1.5 Alüvyon	13
3.2 Dikili - Bergama Jeotermal Alanları	13

BÖLÜM DÖRT - HİDROJEOKİMYA 14

4.1 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş Birincil (Majör) İyonlar	15
4.2 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş İkincil (Minör) İyonlar	16
4.2.1 Lityum (Li^+)	16
4.2.2 Bor (B^{+3})	16
4.2.3 Stronsiyum (Sr^{+2})	17
4.2.4 Demir (Fe^{+3})	17
4.2.5 Alüminyum (Al)	17
4.2.6 Arsenik (As)	18
4.3 Temel Jeokimyasal Hesaplamalar	18
4.4 Suların Sınıflandırılması	20
4.4.1 Hidrokimyasal Fasiyes Kavramı	20
4.4.2 Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)	21
4.4.3 Elektriksel İletkenlik	22
4.4.4 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagrama Göre Suların Sınıflandırılması ...	24
4.4.5 Piper Üçgen Sınıflaması	27
4.4.6 Durov Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması	29
4.4.7 Suların Sertliği	30
4.5 Mineral Doygunluk İndeksleri	31
4.6 Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri	35

4.6.1 İçme Sularının Özellikleri	35
4.6.2 Sulama Sularının Özellikleri.....	38
4.7 Jeotermal Sistemlerde Hazne Sıcaklıklarının Saptanması	46
4.7.1 Kimyasal Jeotermometreler	46
4.7.2 Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler	48
4.7.3 İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler	48
4.7.4 Jeotermometre Hesaplamaları	49
4.7.5 Jeotermometre Uygulanabilirliği	52
4.7.6 Karışım Modelleri	54
BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası	1
Şekil 1.2 B-4 Dübek Jeotermal Kuyusu	4
Şekil 2.1 Çalışma alanının bulunduğu Kocaoba Dikili alanına ait Jeoloji Haritası	7
Şekil 2.2 Çalışma alanının bulunduğu Kocaoba Dikili ve Bergama Bölgesine ait stratigrafik kolon kesit	9
Şekil 2.3 Dikili Bölgesi'ne ait yapısal jeoloji haritası	11
Şekil 4.1 Su noktalarının konumlarının koordinatlarına göre belirlenen yerleri	14
Şekil 4.2 Çalışma alanına ait örneklerin Schoeller yarı logaritmik diyagramındaki yeri	26
Şekil 4.3 Piper şeması	28
Şekil 4.4 Çalışma alanına ait Piper diyagramı	29
Şekil 4.5 Çalışma Alanına ait Durov Diyagramı	30
Şekil 4.6 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan su örneklerinin Wilcox diyagramı .	42
Şekil 4.7 Çalışma alanına ait örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı.	44
Şekil 4.8 Su örneklerine ait örneklerin Giggenbach Üçgen Diyagramı.....	52
Şekil 4.9 Çalışma alanına ait silis-entalpi karışım modeli	54
Şekil 4.10 B-4 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı.....	56
Şekil 4.11 B-5 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı.....	57
Şekil 4.12 B-6 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı.....	58
Şekil 4.13 DÇI-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı.....	58
Şekil 4.14 BK-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı	59
Şekil 4.15 DB-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı	60
Şekil 4.16 NK-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı.....	61
Şekil 4.17 DZ-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı	62
Şekil 4.18 DK-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı.....	63

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 4.1 Çalışma alanındaki kuyulardan alınan su örneklerine ait koordinat ve konum bilgileri	15
Tablo 4.2 İnceleme alanından alınan su örneklerine ait birincil iyonlar.....	16
Tablo 4.3 İnceleme alanından alınan su örneklerine ait ikincil iyonlar	18
Tablo 4.4 İnceleme alanından alınan su örneklerine ait kimyasal hesaplamalar	19
Tablo 4.5 İnceleme alanına ait Suların Fasiyes Sınıflaması	20
Tablo 4.6 İnceleme alanından alınan örneklerin pH değerleri.....	21
Tablo 4.7 Su derişimlerine göre EC değerleri.....	22
Tablo 4.8 Elektriksel iletkenlik sınıflaması	23
Tablo 4.9 Çalışma alanındaki suların EC değerlerine göre sınıflandırılması	23
Tablo 4.10 Çalışma alanına ait örneklerin anyon ve katyon miktarlarına göre sınıflandırılması.....	24
Tablo 4.11 Fransız Sertliği.....	30
Tablo 4.12 Çalışma alanına ait suların Fransız Sertlik Sınıflaması	31
Tablo 4.13 Bergama ve çevresinden alınan su örneklerinin mineral doygunluk özellikleri.....	32
Tablo 4.14 Kocaoba (Dikili) ve çevresinden alınan su örneklerinin mineral doygunluk özellikleri	33
Tablo 4.15 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan su örneklerinin sıcaklıkları	36
Tablo 4.16 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan arsenik değerleri	36
Tablo 4.17 Arsenik Tehlikesi için Uygulanacak Yöntemler.....	37
Tablo 4.18 SAR'a göre suların sınıflaması	38
Tablo 4.19 Çalışma alanındaki ait kuyulardan alınan su örneklerinin SAR'a göre sınıflaması	39
Tablo 4.20 Sulama sularının Wilcox 'a göre sınıflaması.....	40
Tablo 4.21 Sulama sularının Wilcox sınıflamasında bor miktarına göre sınıflaması	40

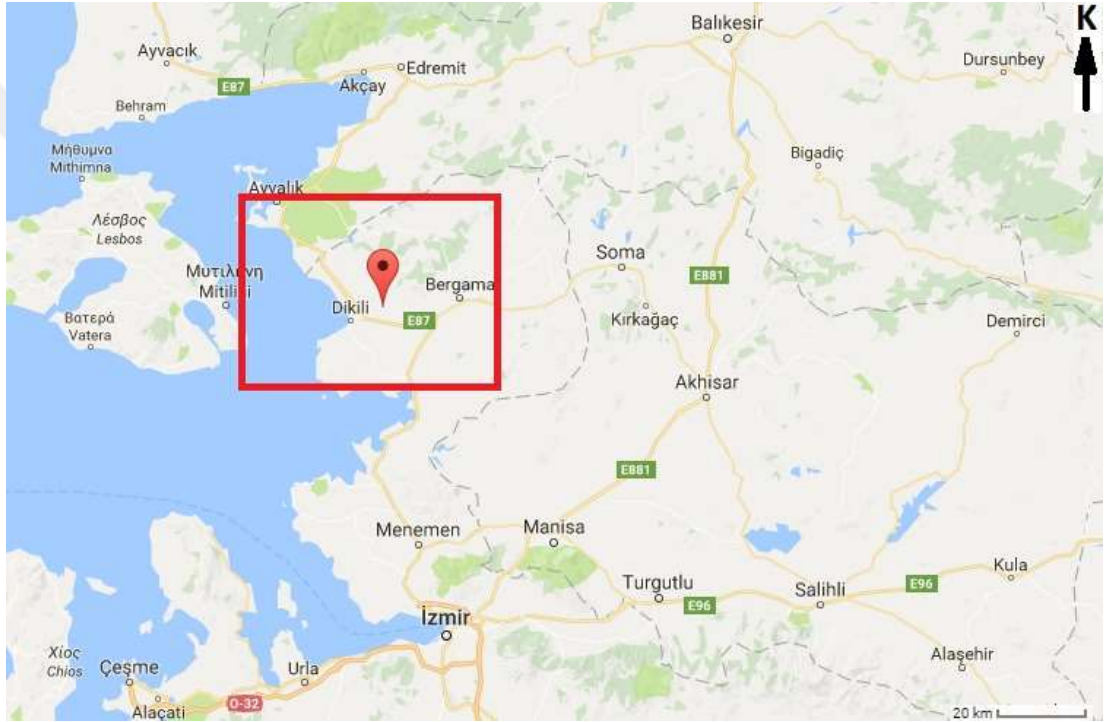
Tablo 4.22 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan su örneklerinin rCl-, rSO4-2 ve B değerleri.....	41
Tablo 4.23 İnceleme alanına ait kuyulardan alınan su örneklerinin %Na ve EC değerleri.....	42
Tablo 4.24 Jeotermometre hesaplarında kullanılan bağıntılar	49
Tablo 4.25 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan su örnekleri ile yapılan jeotermometre hesapları	51
Tablo 4.26 Çalışma alanındaki suların Silis jeotermometresine göre en yüksek ve en düşük sıcaklıkları.....	52
Tablo 4.27 Çalışma alanındaki ait kuyulardan alınan su örneklerinin Na/Ka kimyasal jeotermometresine göre en yüksek ve en düşük sıcaklıkları.....	52

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışma Alanının Yeri

Çalışma alanı, Batı Anadolu'da İzmir İl'ine yaklaşık 100 km Kocaoba (Dikili) ve Bergama bölgesinde J18d4 - J18d3 ve J17c1-J17c2-J17c3 paftaları ile 4323516-4341721 kuzey paralelleri ve 483.978-513496 doğu meridyenleri arasındadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası (Google Maps, 2018)

1.2 Çalışmanın amacı

Bu çalışmada, Kocaoba (Dikili) ve çevresindeki (Bergama) yeraltı sularının hidrojeolojik özellikleri ve mevcut kimyasal analizleri derlenerek hidrojeokimyasal değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada yeraltı suyu taşıyan birimlerin hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir.

Alandaki sıcak su noktalarının hazne kaya sıcaklıkları, yapılan jeotermometre hesapları kullanılarak belirlenmiş ve çeşitli yöntemlerle tahmin edilmiştir.

Hesaplanan kimyasal analizler kullanılarak inceleme alanı içerisinde yer alan suların kimyasal özellikleri, suların kökenleri, tarım alanında kullanılabilirlikleri, içme suyu özellikleri ve sertlik gibi çeşitli alanlarda kullanılabilme özellikleri saptanmıştır.

1.3 Önceki Çalışmalar

Filiz, Tarcan ve Irmak (1995), Bergama'ya ait güzellik ılıcasının oluşumunda Yuntdağ volkanitleri aktif kayaç niteliğinde olduğunu belirtmişlerdir. Ilıca yağış sularının yeraltına süzöldükten sonra burada ısınıp çeşitli elementleri de bünyesine katarak kırık ve çatlaklar aracılığı ile tekrar yüzeylenmesi şeklinde açıklanabilen devirli sistem özelliğindedir.

Ilıcının su analizlerinin sonucunda bölge sodyum bikarbonatlı maden suyu özelliğindedir. Kaplıca kaynağının kurummasının nedeni civarda aynı akiferle açılmış sondaj kuyularından yapılan bilinçsiz yeraltı suyu çekimidir. Kaplıca yakın çevresindeki sondajlardan su çekimi durması halinde akifer eski haline geri dönecektir.

Özen (2002)'e göre, Dikili Ilıcaları sıcak suları genellikle Na-HCO₃-SO₄, Kaynarca sıcak suları ise Na-SO₄-HCO₃ sular sınıfındadır. Dikili Ilıcaları soğuk suları Na-Ca-Mg-HCO₃, Kaynarca soğuk suları ise Na-Ca-SO₄ su tipinde olup, genellikle maden suyu özelliğindedirler.

Eşder (1998)'e göre, Dikili-Bergama bölgesinde Miyosen-Alt Pliyosen' de meydana gelen sıkışmayı daha sonra Üst Pliyosen K-G genişmesi takip etmiştir. Bu tektonik hareketler sonucunda Batıya doğru çatallaşan tektonik hatlarla sınırlanan Bakırçay Ovası oluşmuştur.

Dikili -Kaynarca arasında fay ve çatlak sistemlerin kontrolünde çok sayıda yüksek sıcaklıkta sıcak su kaynakları meydana gelmiştir. Bergama jeotermal sahasında ise; özellikle Bergama'nın batısında bulundan Güzellik İlçasına ait jeotermal kaynak ve Dübek Mevkiinde Dübek Jeotermal kuyusu açılmıştır.

Suların kimyasal yapılarından yararlanılarak SiO_2 termometresi ile bölgedeki Jeotermal suların rezervuar sıcaklıkları örneğin; Kaynarca için 159-170 C, Güzellik İlçası için 74-98 °C, Dübek Mevkii için 110-119 °C olarak hesaplanmıştır.

Özen ve Tarcan, (2005)'a göre Dikili bölgesi içindeki jeotermal alanlar, Kozak Bölgesi'nden yeraltına süzülen meteorik suların derinlerde ısınıp, kırık ve faylar boyunca tekrar yüzeylenmesi ile oluşan devirli sistem özelliğindeki sulardır. İlca sıcak suları genellikle Na- HCO_3 - SO_4 su tipinde olup hafif tuzlu su sınıfına girmektedirler.

1.4 Materyal ve Yöntem

Yüksek lisans tezinde ilk aşamada araziden örnekler alınmış, bu örnekler laboratuvarda incelendikten sonra yorumlanarak tez çalışması tamamlanmıştır. Arazide uygun çeşitli su kaynaklarından sıcak ve soğuk su örnekleri alınarak kaynak başında pH, EC, sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra su örneklerinden katyon olanlar pH aralığı 2-3 olacak şekilde sabitlenerek laboratuvar testlerine hazır hale getirilmişlerdir.

Analiz için kullanılacak olan sıcak ve soğuk su örneklerinin kimyasal analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya Laboratuvarı'nda ve Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Laboratuvar çalışmalarında katyonların analizi; atomik Adsorpsiyon yöntemi, ayrıca alkalinite, karbonat, bikarbonat, klorür anyonlarında yapılan uygulamalar titrasyon yöntemi ve sülfat analizi gravimetrik yöntem ile yapılmıştır.



Şekil 1.2 B-4 Dübek Jeotermal Kuyusu (Kişisel arşiv, 2014)

BÖLÜM İKİ

GENEL JEOLOJİ

2.1 Bölgesel Jeoloji

Bölgenin jeolojisinde temel kayalar, Kozak Plüton'u, I. Yuntdağ volkanitleri, Soma Formasyonu, Piroklastik kayalar, II. Yuntdağ volkanitleri, III. Yuntdağ volkanitleri ve Dededağ Bazaltları ile alüvyonlardır. Çalışma alanına ait jeoloji haritası Şekil 2.1'de verilmiştir.

Çamoba ve Kınık Formasyonlarını kireçtaşları ve silt taşları oluşturur. Tersiyer öncesinde oluşmuş bu temel kayalar Kozak Dağı çevresinde yer almakta ve Dikili-Bergama Grabeni içerisinde daha büyük derinliklere kadar devam etmektedir. Çalışma alanının stratigrafik kolon kesiti Şekil 2.2'de belirtildiği gibidir.

Metamorfik temel birimleri, Mesozoyik konglomeraları, kumtaşı ve rekristalize kireçtaşı olistolitleri plütonun etrafını çevreler. (Yılmaz ve diğ., 2007).

Bölgedeki en eski birimleri Paleozoik yaşlı metamorfik kayaların içindeki düşük dereceli muskovit, klorit ve kuvars şistler oluşturmaktadır. Bergama sahasında yapılan incelemelere göre Türkiye'nin batısında Geç Oligosenden Erken Miyosene kadar yaygın bir magmatizma oluşumu mevcuttur. (Yılmaz ve diğ., 2007)

Kozak dağlarının güney batısında geniş bir alana yayılmış halde içerisinde çeşitli andezitler olan ve yüksek alterasyona uğramış 1. Yuntdağ Volkanitleri vardır (Eşder, 1998).

Soma Formasyonu ise Güney Batı ve Doğu bölümlerde mostra vermektedir. İçeriğini sedimanter tuf, siltli kireçtaşı, silttaşı ve kumtaşı oluşturmaktadır.

2. Yuntdağ Volkanitleri hornblend, andezit ve piroksen andezitten oluşmuştur bu volkanitler Yunt Dağı'nı oluşturmaktadır. Bergama Grabeninin Kuzey Batısı ve

Dikili Bölgesinde ise lav domları olarak 3. Yuntdağ volkanitleri bulunmaktadır (Maden Tetkik Arama- Japan International Cooperation Agency, 1987).



2.1.1 I Yuntdağ Volkanitleri

Bölgenin Kuzey Doğu, Kuzey Batı ve Güney Batısında 1. Yuntdağ volkanitleri yer almaktadır. Kuzey tarafta Boz Tepe dışındaki tüm volkanitleri 1. Yuntdağ volkanitleri oluşturur. Breşik tüflerle ardışık şekilde olan bu kayalar hornblend andezit lavlarından ibarettir.

2.1.2 Demirtaş Piroklastik Kayaları

I.Yuntdağ Volkanitleri'ni üzerleyen Demirtaş Piroklastik kayaları değişken metrelerde gözlenebilmektedir. Bu durum, I. Yuntdağ Volkanitleri'nin volkanik aktiviteden sonra bu sahadaki fayların hareketinden dolayı meydana geldiği ile açıklanabilir.

2.1.3 II Yuntdağ Volkanitleri

Araştırma alanının Kuzey Batı bölgesinde 2. Yuntdağ volkanitleri gözlenir. Bu volkanitler Demirtaş Piroklastik kayalarını üzerlemekte ve 3. Yuntdağı Volkanitleri tarafından da örtülmektedir (Eşder, 1998).

2.1.4 III Yuntdağ Volkanitleri

3. Yuntdağ volkanitleri altı tali lava ayrılmaktadır. Bunlar Kocaağıl hornblend andezit, Dikili-Biyotit-Hornblend andezit, Çam Tepe dasit, Çam Tepe riyolit, Koca Tepe biyotit-Hornblend andezit, Sulukaya biyotit-hornblend andezit olarak belirlenmiştir (Eşder, 1998).

C E N O Z O I C		ÜST SİSTEM			
T E R T İ A R Y		SİSTEM			
N E O G E N E		ALT SİSTEM			
UPPER MIOCENE		BİRİM			
LOWER MIOCENE		KALINLIK (m)			
KUVATERNER		LİTOLOJİ			
Pleyistosen		AÇIKLAMA			
MESO-ZOIC	ÜST TRİYAS	DEDEDAG BASALT	100	100-150	ALÜVYON Kil, kum, çakıl. uyumsuzluk
		RAMMANLAR AĞLOMERA	400		BAZALT Koyu renkli, kabarcıklı doku
MESO-ZOIC	KINIK	BALLICA SOMA	1000?		AGLOMERA Çakıl ve blok boyutunda andez parça içerikli. andezit tuf ile birlikte.
		KOZAK GRANODİORİT YUNTDAGI VOLKANİKLERİ	800-100		Silttaşı, konglomera, kumtaşı ve killi kireçtaşı alterasyonu
PALEOZOIC	PERMIAN				uyumsuzluk
		ÇAMOBA	~250		VOLKANİKLER; Dasil, riyodasil ve kil aglomera. GRANODİYORİT; açık renkli kuvar, pyajoklas, feldispat, hornblend ve biyotit içerikli
					uyumsuzluk
					Konglomera, çamurtaşı, kumtaşı, silttaşı, killi kireçtaşı, kireçtaşı.
					Kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı

Şekil 2.2 Çalışma alanının bulunduğu Kocaoba Dikili ve Bergama Bölgesine ait stratigrafik kolon kesit (MTA-JICA, 1986'dan değiştirilerek)

2.2 Jeolojik Yapı ve Faylar

Çalışma alanının bulunduğu bölgenin yapısal jeoloji haritası Şekil 2.3 de gösterilmiştir (Eşder,1998).

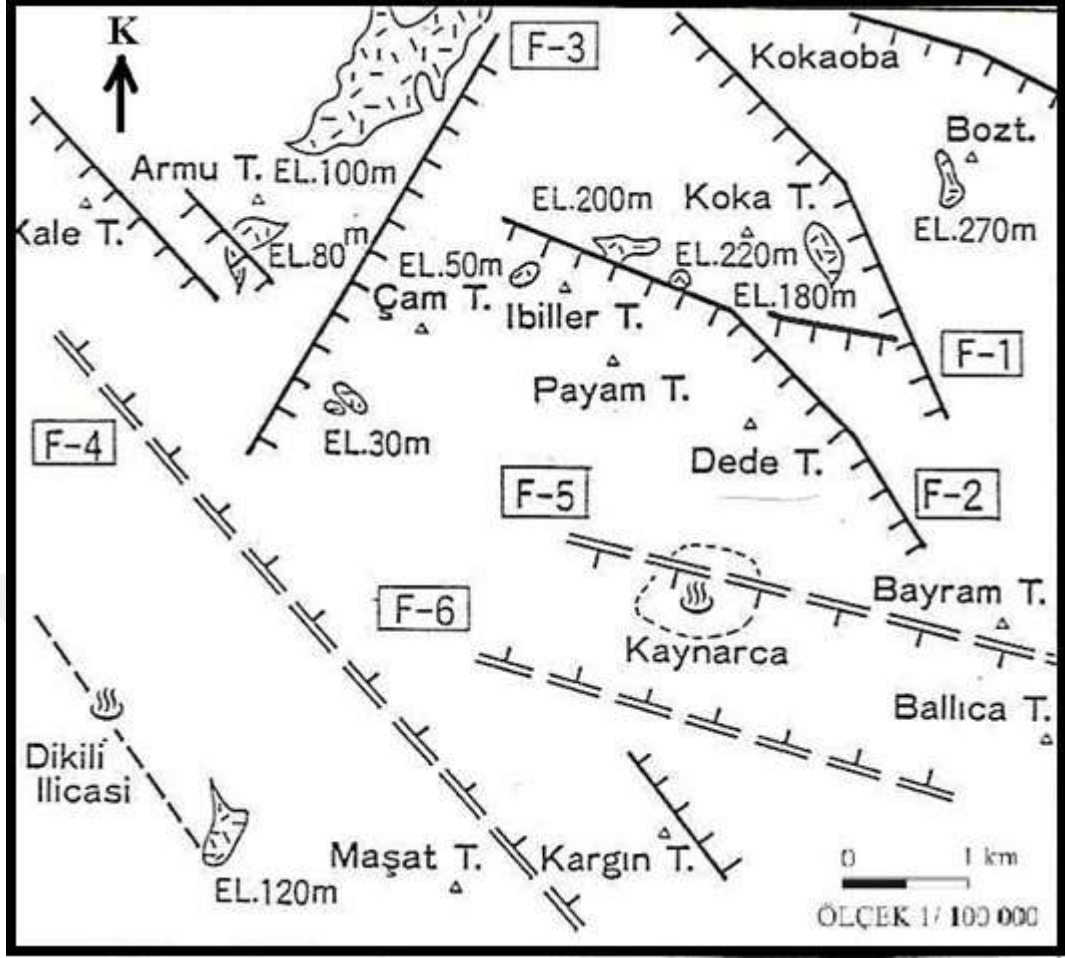
Yapılan çalışmalar sonucu 3 çeşitte fay türüne rastlanmıştır. Bu fayların çeşitleri Kuzey Batı – Güney Doğu, Kuzey Doğu – Güney Batı ve Kuzey Batı – Güney Doğu gidişli olmalarına göre belirlenmiştir.

Bunlar sırasıyla;

- Koca Tepe ve Kocaoba'nın doğu kenarındaki Kuzey Batı – Güney Doğu uzanımlı fay.
- Dede Tepe'nin doğu bölgesindeki Çam Tepe'nin kuzeyinden geçen Kuzey Batı – Güney Doğu uzanımlı fay.
- Çam Tepe'nin batı kenarındaki Kuzey Batı – Güney Doğu uzanımlı fay.
- Dikili Ilıcası'nın Kuzey Doğu tarafından geçen Kuzey Doğu` ya doğru eğimli Kuzey Batı – Güney Doğu gidişli fay, Kaynarca'nın kuzey bölgesinden geçen, GD 'ya doğru eğimli Kuzey Batı – Güney Doğu doğrultulu fayı ve Kaynarca'nın güney kenarından geçen, Kuzey Doğu' ya eğimli Kuzey Batı – Güney Doğu doğrultulu fay.

Faylar, Kaynarca'nın batı bölgesinde Kuzey Batı – Güney Doğu gidişli alçalım zonunu ve Kaynarca'nın doğu bölgesinde Kuzey Batı – Güney Doğu gidişli alçalım zonunu oluşturur.

III. Yuntdağı volkanitleri içerisinde oldukça fazla sayıda Kuzey Batı – Güney Doğu uzanımlı kırıklar ve hidrotermal damarlar mevcuttur. Bu yüzden fay hareketlerinin III. Yuntdağı Volkanitleri'nin aktivitesinden sonra da devam ettiği kabul edilmektedir.



Şekil 2.3 Dikili Bölgesi'ne ait yapısal jeoloji haritası (Eşder, 1998)

Sonuç olarak, Kuzey Doğu - Güney Batı gidişli fayların aktivitesi büyük bir olasılıkla Dikili lavının erüpsiyonundan sonra yer almıştır (Eşder, 1998). Bölgeye ait açıklanan 3 fay Şekil 2.1'deki jeoloji haritasında gösterildiği gibidir.

BÖLÜM ÜÇ

HİDROJEOLJİ

3.1 Kayaçların Hidrojeolojik özellikleri

Burada ele alınan kaya birimleri MTA-JICA (1987)'den alınmıştır.

3.1.1 Yuntdag Volkaniti-I

Çalışma alanının yakın çevresini gösteren jeolojik haritada da görülebileceği gibi inceleme alanının en yaşlı birimlerinden biridir. Yaygın aliterasyona uğramış bu kayaların çatlaklarında silis, kalsit ve jips dolguları bulunmaktadır. Tektonik zonlarda ikincil gözeneklilik ve geçirgenlik arttığı için bu kayalar rezervuar özelliği kazanmışlardır.

3.1.2 Demirtaş Piroklastikleri

Genellikle Dikili'nin güney doğusundaki Demirtaş yöresinde yaygın olarak gözlenen bu birim altere olmamış dasit, felsikpiroklastik kayalardan oluşmaktadır. Düşük porozite özelliğine sahip olmaları nedeniyle örtü kaya özelliğindedir.

3.1.3 Yuntdag Volkaniti-II

İnceleme alanı içerisinde çok fazla yaygınlık göstermeyen bu kayalar tektonik hatlar boyunca düşük dereceli rezervuar oluşturabilir.

3.1.4 Yuntdag Volkaniti-III

Isıtıcı kaya özelliğinde olup, sıcak kaynaklar ve alterezonlar bu birimin etrafında bulunmaktadır.

3.1.5 Alüvyon

Çalışma alanı içerisinde akifer özelliği taşıyan en önemli birimdir. Yörede sulama sularının büyük bir bölümü alüvyondan temin edilmektedir.

3.2 Dikili - Bergama Jeotermal Alanları

İnceleme alanında MTA-JICA(1987) tarafından yapılan araştırmaların sonucunda Dikili-Bergama jeotermal alanlarının oluşumunu gösteren bir hidrokimyasal model oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Bu modele göre; inceleme alanının kuzeyinde kalan Kozak Plüton'u Pre-Tersiyer temel kayaları içerisine sokulum yapmaktadır. Yuntdağ Volkaniti-I kuzeybatıda komşu Kozak Masifi'ni kesmektedir. Dikili'yi içine alan depresyon zonunun bir sonucu oluşan düzlük içinde Yuntdağ Volkaniti-II ve bunu takiben Yuntdağ Volkaniti-III' ün dom yapılı volkanizması oluşmuştur. Jeotermal aktivite bu genç volkanizmanın çevresindeki sıcak kaynaklarda gözlemlenmiştir.

Bölgedeki sıcak sular tektonik hatlar boyunca Kozak Bölgesi'nden yeraltına süzülen meteorik suların derinlerde ısınıp, kırık ve faylar boyunca tekrar yüzeylemesi ile oluşan devirli sistem özelliğindedirler. Sıcak sular bu yükselimleri sırasında belirli oranda soğuk yeraltı suları ile karışabilmektedirler.

Dikili kaynakları D-B yönlü fayın çatlaklarından gelip alüvyon şeridinin üzerinde birkaç yerden yüzeye çıkarlar. Kaynakların yüksek sıcaklıklı olanları, koyu renkli andezitler (Yuntdağ Volkaniti-III) arasından çıkarak alüvyonlardan boşalmaktadır (Yılmaz, 1984).

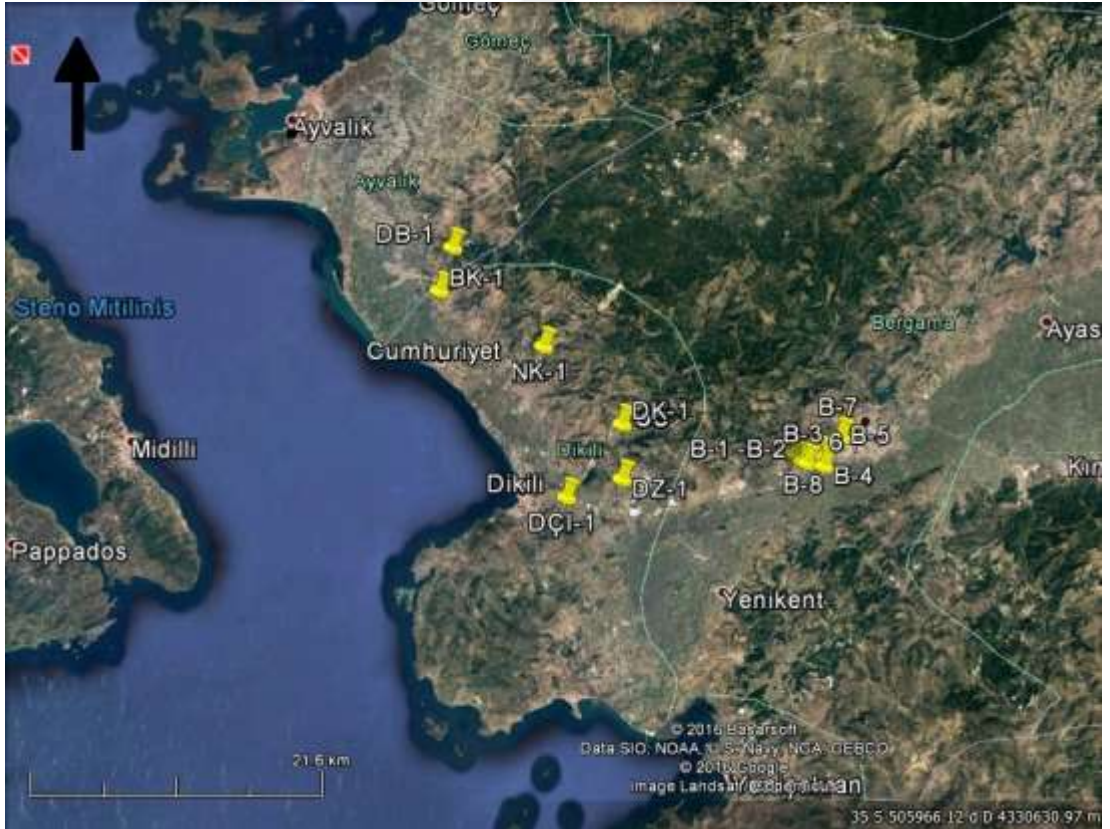
Bölgedeki kaynaklar 1939 yılında meydana gelen depremden etkilenmişlerdir. Bu sırada beliren sıcak kaynaklardan bir bölümü, kısa zamanda kaybolmuş, kalanlar ise 1941 yılından bugüne kadar özelliklerini korumuşlardır. Yapılan sondajlarla sıcaklık ve debi artırılmıştır. Kaynakların çevresi kaplıca uygulamalarının yani sıra tarımsal uygulamalar için de oldukça idealdir (Yılmaz, 1984).

BÖLÜM DÖRT

HİDROJEOKİMYA

Yeraltı sularındaki çözülmüş madde miktarı yüzey sularındakilerden fazladır. Bu maddelerin belirli sınırları aşması halinde, yeraltı sularının kullanılma alanları da sınırlanır. Ayrıca bu suların pH, sertlik ve elektriksel geçirgenlik gibi diğer kimyasal özellikleri incelenerek yeraltı sularının kimyasal yönden sınıflandırılması yapılmaktadır.

Kocaoba ve çevresinde ait ve Bergama Bölgesinden alınan 15 ayrı su noktasının haritadaki yerleri Şekil 4.1'deki gibidir. Koordinat ve konumları Tablo 4.1'de belirtildiği gibidir.



Şekil 4.1 Su noktalarının konumlarının koordinatlarına göre belirlenen yerleri (Google Earth, 2018)

Tablo 4.1 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan su örneklerine ait koordinat ve konum bilgileri

ÖRNEK NO	UTM ED 1950					KUYU ADI
B-1	35	510675	E	4326112	N	Bergama Ovası
B-2	35	510675	E	4326112	N	Bergama Ovası ²
B-3	35	510932	E	4326104	N	İçme Suyu Kuyusu
B-4	35	512184	E	4325819	N	Dübek Jeotermal Kuyusu
B-5	35	513392	E	4327936	N	Güzellik Ilıcası
B-6	35	511847	E	4326599	N	Ortadoğu Balıkçılık
B-7	35	513496	E	4328017	N	Site Bahçe Sulama
B-8	35	511122	E	4324015	N	Bergama Tepeköy Mahallesi
B-9	35	509280	E	4326697	N	Tepeköy Çeşmesi
BK-1	35	483978	E	4338548	N	Bahçeliköy
DB-1	35	484950	E	4341721	N	Madra Çayıçı
DÇI-1	35	493319	E	4323516	N	Çamur Ilıcası
DK-1	35	497381	E	4328863	N	Kocaoba köyü
DZ-1	35	497385	E	4324849	N	Zeytindalı oteli
NK-1	35	491652	E	4334507	N	Nebiler Kaplıcası

Su içindeki iyonlar, litrede gram veya miligram olarak tanımlanır. Miligram/Litre (mg/L) en yaygın olarak kullanılan birimdir.

4.1 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş Birincil (Majör) İyonlar

Jeotermal alanlardaki kuyulardan alınan jeotermal akışkanlarda bulunan Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^{--} , CO_3^{--} , HCO_3^- ve Si^{+4} iyonları birincil (majör) iyonlardır. Birincil iyonların miktar verileri, pek çok hesaplamalarda sıklıkla kullanılırlar.

Kimyasal analizlerde, yeraltı sularında en çok bulunan birincil iyonlar Tablo 4.2'de verilmektedir.

Tablo 4.2 İnceleme alanından alınan su örneklerine ait birincil iyonlar (mg/L)

Örnek No	Sıcaklık (°C)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	CO ₃	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Si
B-1	18,1	78,61	23,12	20,97	4,96	48	-	268,4	23,05	15,29
B-2	18	78,60	22,92	21,09	5,24	46	-	266	29,8	15,28
B-3	21,5	86,81	24,16	25,36	6,23	50	-	251,3	46,6	16,26
B-4	52,3	10,63	1,68	354,49	4,49	38	26,4	295,2	377,6	21,48
B-5	24,9	27,78	10,24	175,96	6,80	45,75	-	409,9	26,7	16,30
B-6	43,3	5,58	0,83'	213,60	2,11	47,75	15,6	256,2	171	17,14
B-7	23,4	7,69	3,65	243,37	4,71	47,5	57,6	361,1	119,5	15,43
B-8	20,6	80,93	23,71	26,26	4,58	42,5	-	297,7	35,9	16,76
B-9	19,8	106,05	34,82	24,36	1,09	60	-	407,5	36,4	19,18
BK-1	25,2	45,2	8,88	132,2	2,16	61	-	339,2	98,5	32,27
DB-1	32	12,67	2,97	284,9	1,43	37	19,2	375,8	261,5	27,91
DÇI-1	70,7	46,16	8,19	549	26,49	92	-	949,2	422	48,49
DK-1	58,4	125,4	5,16	283,3	9,41	40	-	165,9	600,9	32,62
DZ-1	40	131,8	14,6	183,1	3,16	52	-	246,4	450,6	15,16
NK-1	56,2	66,24	14,1	269,2	5,62	47	-	449	288,9	46,60

4.2 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş İkincil (Minör) İyonlar

Jeotermal sahalardaki akışkanlarda miktarları genellikle 0,01–10 mg/L arasında değişen, Al⁺³, As⁺, B⁺³, Zn⁺², Cd, Pb⁺² gibi, yeraltındaki hazne kayalardan veya beslenimi esnasında yeraltı sularının kayalarla etkileşime girerek getirdiği, genellikle düşük seviyelerde bulunan bu tip iyonlar ikincil iyonlardır.

4.2.1 Lityum (Li⁺)

Yeraltı sularında çoğunlukla düşük seviyede bulunurlar Lityum iyonları insan sağlığı olumsuz etkileyebildiği için, yüksek seviyelerde olması istenmez. Magmatik ve metamorfik kayaların lityum içerenleri sayesinde yeraltı suyunda bulunurlar (Tarcan, 2004).

4.2.2 Bor (B⁺³)

Mika ve serpantin minerallerini sahip kayaların içinde oldukça fazla bor mineralleri vardır. Fillosilikatlar da yüksek miktarda bor taşırlar. Kil oluşumu (çamur

ve şeyl gibi) tortul kayalarda en çok bor içeren tabakalardır. Jeotermal alanlardaki sıcak kayalarda yüksek miktarda bulunan bor, suyun geldiği hazne kayaktan dolayı olmaktadır (Tarcan, 2004).

Kurak bölgelerdeki akarsulardaki bor miktarı nemli bölgelerdeki akarsulara oranla daha yüksektir. İçme sularında bor miktarının 1,0 mg/L seviyesinin altında olması istenir. Bor, bir bitki besleyici olmasına karşın miktarının 2,0 mg/L'den fazla olması bitkiye zarar verir.

4.2.3 Stronsiyum (Sr^{+2})

Stronsiyum, toprak alkali bir metaldir ve suyu ayrıştırarak hidrojen ve hidroksit açığa çıkarır. Kimyasal acıdan da son derece reaktif bir metaldir (Tarcan, 2004).

4.2.4 Demir (Fe^{+3})

Demir miktarları sularda değişik miktarlarda bulunabilir, bu miktar analiz sonucunda, toplam olarak mg/L cinsinden verilmektedir Demirin fazla olması içmede ve endüstride kullanılan sular için önemlidir 0,3 mg/L 'den fazla olmaması gerekmektedir. Yeraltı sularında 0,5 mg/L 'den fazla demir bulunması, sondaj kuyularındaki filtrelerin ve su borularının tıkanmasına sebep olur. Bu olayda demirin bakterileri önemli rol oynar.

4.2.5 Alüminyum (Al)

Yeraltı sularında doğal süzülme nedeniyle, alüminyum oldukça azdır.

Genellikle, yeraltı sularında 0,005 – 0,3 ppm arasında alüminyum bulunur, asit sularda, bu değer 100 ppm'e kadar ulaşabilir. Açık denizlerde ise alüminyum miktarı 0,001 ppm kadardır.

4.2.6 Arsenik (As)

Çok zehirli olan arsenik elementinin içme ve kullanma sularında 0,05 mg/L'ye kadar kullanılmasına izin verilebilirken (TS 266, 1997), 2005 yılından sonra bu değer TSE 266'ya göre 0,01 mg/L'ye düşürülmüştür.

Çalışma alanından alınan sulardaki ikincil iyonlar Tablo 4.3 'de verilmiştir. Bunlar Li, Al, B, As, Sr ve Fe olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.3 İnceleme alanından alınan su örneklerine ait ikincil iyonlar (mg/L)

Örnek No	Sıcaklık (°C)	Li	Al	B	As	Sr	Fe
B-1	18,1	<0,02	0,047	0,03	<0,02	0,69	0,01
B-2	18	<0,02	0,044	0,03	<0,02	0,68	0,01
B-3	21,5	<0,02	0,043	0,03	<0,02	0,68	0,02
B-4	52,3	0,33	0,031	0,70	0,06	0,70	0,07
B-5	24,9	0,06	0,023	0,36	0,06	0,36	0,06
B-6	43,3	0,19	<0,02	0,33	0,03	0,32	<0,02
B-7	23,4	<0,02	<0,02	0,51	0,16	0,19	<0,02
B-8	20,6	<0,02	0,044	0,04	<0,02	0,76	<0,02
B-9	19,8	<0,02	0,048	0,02	<0,02	0,75	<0,02
BK-1	25,2	<0,00	<0,02	<0,00	<0,00	<0,00	0,12
DB-1	32	<0,02	0,14	<0,00	<0,00	<0,00	0,10
DÇI-1	70,7	<0,00	0,03	<0,00	<0,00	<0,00	0,54
DK-1	58,4	<0,00	0,20	<0,00	<0,00	<0,00	0,34
DZ-1	40	<0,02	0,02	<0,00	<0,00	<0,00	0,89
NK-1	56,2	<0,00	0,19	<0,00	<0,00	<0,00	0,37

4.3 Temel Jeokimyasal Hesaplamalar

Bazı kimyasal incelemelerde iyonların su içindeki ağırlıkları yerine kimyasal tepkimeye giren miktarların saptanması istenir. Kimyasal tepkimelerde iyonların miktarı (mek/L) ve molarite (mol/L) olarak tanımlanabilir (Tablo 4.4).

Bu bölümde anlatılan bazı temel jeokimyasal tanımlamalar Şahinci (1991a ve 1991b)'den alınmıştır. Sudaki anyon ve katyonların mek/L değerlerinin toplamının

birbirine eşit olması gerekir. Anyon ve katyonların kimyasal analizleri için hata hesaplaması bu değerler kullanılır. P; iyonun atom ağırlığını, Z; iyon değerliliğini belirtir.

$$\text{mek/L} = (\text{mg/L}) (P/Z) \quad (4.1)$$

$$\text{molarite} = (\text{mg/L})P \cdot 10^{-3} \quad (4.2)$$

$$e = \frac{\text{Toplam katyon miktarı} \left(\frac{\text{mek}}{\text{L}}\right) - \text{Toplam anyon miktarı} \left(\frac{\text{mek}}{\text{L}}\right)}{\text{Toplam iyon miktarı} \left(\frac{\text{mek}}{\text{L}}\right)} \times 100 \quad (4.3)$$

Hata yüzdesinin (e) genellikle %5'den az olması gerekir. Pozitif değer katyon fazlalığına, negatif değer ise anyon fazlalığına karşılık gelir. Analiz yapımı sırasında ortaya çıkan hatalar dışındaki %5 'den yüksek hata, suda analizi yapılmamış iyon türlerinden bazılarının yüksek derişimde olabileceği şeklinde yorumlanmalıdır (Ford ve Williams, 1989).

Tablo 4.4 İnceleme alanından alınan su örneklerine ait kimyasal hesaplamalar

Örnek No	Sıcaklık (°C)	Na ⁺ mek/L	K ⁺ mek/L	Ca ⁺ mek/L	Mg ⁺ mek/L	Cl ⁻ mek/L	HCO ₃ ⁻ mek/L	SO ₄ ⁻² mek/L	Hata Yüzdesi
B-1	18,1	0,91	0,13	3,84	1,90	1,35	4,40	0,48	4,22
B-2	18	0,92	0,13	3,83	1,89	1,30	4,36	0,61	3,84
B-3	21,5	1,10	0,16	4,23	1,99	1,41	4,12	0,96	7,13
B-4	52,3	15,4	0,11	0,52	0,14	1,07	4,84	7,79	8,33
B-5	24,9	7,65	0,17	1,35	0,84	1,29	6,72	0,55	7,87
B-6	43,3	9,29	0,05	0,27	0,07	1,35	4,20	3,53	3,26
B-7	23,4	10,6	0,12	0,37	0,30	1,34	5,92	2,46	7,85
B-8	20,6	1,14	0,12	3,95	1,95	1,20	4,88	0,74	2,43
B-9	19,8	1,06	0,03	5,17	2,87	1,69	6,68	0,75	0,03
BK-1	25,2	5,75	0,06	2,20	0,73	1,72	5,56	2,03	-3,16
DB-1	32	12,4	0,04	0,62	0,24	1,04	6,16	5,39	2,67
DÇI-1	70,7	23,9	0,68	2,25	0,67	2,59	15,56	8,70	1,14
DK-1	58,4	12,3	0,24	6,12	0,42	1,13	2,72	12,39	8,10
DZ-1	40	7,96	0,08	6,43	1,20	1,46	4,04	9,29	2,88
NK-1	56,2	11,7	0,14	3,23	1,16	1,32	7,36	5,96	5,18

4.4 Suların Sınıflandırılması

4.4.1 Hidrokimyasal Fasiyes Kavramı

Fasiyes kavramı suların üçgen bir diyagramdaki iz düşüm noktalarına göre yorumlanmaktadır. Buna göre suyun içerisindeki çözünmüş halde olan başlıca iyonlardan anyon ve katyonlar iki farklı kola ayrılarak değerlendirilir, miktarları %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. %50'nin üzerinde hiçbir iyon yoksa bu durum karışık su tipini belirtir. AIH (Uluslararası Hidrojeologlar Birliği) sınıflamasında ise sudaki iyon miktarlarının, anyon ve katyonlar olarak ayrılıp mek/L halinde incelendiğinde, suda bulunan % 20'den fazla çözünmüş iyonlar su tipini belirtmektedir (Başkan&Canik, 1983).

Çalışma alanına ait suların fasiyes tiplerinin belirlenmesi için AIH (Uluslararası Hidrojeologlar Birliği)'nin sınıflaması kullanılmıştır. Hesaplama Aquachem 3.70 bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu sınıflamada % 20 ve % 20'den büyük olan mek/L iyonlar, büyükten küçüğe doğru, öncelikle katyonlar sonrasında anyonlar olmak üzere sınıflandırılarak Tablo 4.5'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5 İnceleme alanına ait Suların Fasiyes Sınıflaması

Örnek No	Sıcaklık	Kuyu Adı	Fasiyes Tipi
B-1	18,1	Bergama Ovası	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl
B-2	18	Bergama Ovası2	Ca-Mg-HCO ₃
B-3	21,5	İçme Suyu Kuyusu	Ca-Mg-HCO ₃ -Cl
B-4	52,3	Dübek Jeotermal Kuyusu	Na-SO ₄ -HCO ₃
B-5	24,9	Güzellik Ilıcası	Na-HCO ₃
B-6	43,3	Ortadoğu Balıkçılık	Na-HCO ₃ -SO ₄
B-7	23,4	Site Bahçe Sulama	Na-HCO ₃ -SO ₄
B-8	20,6	Bergama Tepeköy Mahallesi	Ca-Mg-HCO ₃
B-9	19,8	Tepeköy Çeşmesi	Ca-Mg-HCO ₃
BK-1	25,2	Bahçeliköy	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄
DB-1	32	Madra Çayıçığı	Na-HCO ₃ -SO ₄
DÇI-1	70,7	Çamur Ilıcası	Na-HCO ₃ -SO ₄
DK-1	58,4	Kocaoba köyü	Na-Ca-SO ₄
DZ-1	40	Zeytindalı oteli	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃
NK-1	56,2	Nebiler Kaplıcası	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄

4.4.2 Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)

Sudaki hidrojen iyon konsantrasyonunun 10 tabanına göre negatif logaritması “pH” değeri olarak tanımlanmakta ve 0- 14 arasında değer almaktadır. pH= 7 olan sular “ Nötr Sular” olup H⁺ ve OH⁻ iyonları denge halindedir. Bu tür suların asit ve alkali reaksiyonları yoktur. OH⁻ iyon konsantrasyonunun artması ile pH, 7’den büyük değer alır ve su bazik karakter kazanır. H⁺ iyon konsantrasyonunun artması ile pH, 7’den küçük değer alır, su asit karakter kazanır.

Genelde yeraltı sularının pH’ı 4 ila 9 arasında değişkenlik gösterir. Bu pH değeri çözülmüş CO₂ ve diğer CO₃ + HCO₃ bileşikleri arasındaki dengeye bağlı olarak değişmektedir. Denge sıcaklık ve basınca göre değişebilir. Suların pH’ı 8,5’den büyük ise bu sularda sodyum karbonat– bikarbonat sık gözlenir. Genellikle pH’ı 7 den küçük olan yeraltı sular asit özelliği fazla olan sulardır. Yerüstü sularının pH değeri 8’den büyük ise bu sular bazik özellikteki sulardır. İnceleme alanına ait su örneklerinin pH değerleri 6,14 ile 8,07 arasında değişmektedir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6 İnceleme alanından alınan örneklerin pH değerleri

Örnek No	Sıcaklık (°C)	Kuyu Adı	pH
B-1	18,1	Bergama Ovası	7,11
B-2	18	Bergama Ovası2	7,01
B-3	21,5	İçme Suyu Kuyusu	6,95
B-4	52,3	Dübek Jeotermal Kuyusu	8,07
B-5	24,9	Güzellik Ilıcası	7,96
B-6	43,3	Ortadoğu Balıkçılık	7,78
B-7	23,4	Site Bahçe Sulama	8,05
B-8	20,6	Bergama Tepeköy Mahallesi	7,14
B-9	19,8	Tepeköy Çeşmesi	7,02
BK-1	25,2	Bahçeliköy	6,55
DB-1	32	Madra Çayıçı	8,4
DÇI-1	70,7	Çamur Ilıcası	6,14
DK-1	58,4	Kocaoba köyü	6,9
DZ-1	40	Zeytindalı oteli	7,26
NK-1	56,2	Nebiler Kaplıcası	6,5

4.4.3 Elektriksel İletkenlik

Elektriksel iletkenlik, cisimlerin elektriği geçirme özelliğidir. Elektriksel direncin karşıtıdır ve mho ile tanımlanır. Elektriksel iletkenlik birimi $\mu\text{mho/cm}$ veya $\mu\text{S/cm}$ 'dir. Her cismin elektriği geçirme özelliği farklıdır. Saf su elektriği çok az geçirdiğinden iyi bir yalıtkandır.

Ancak, saf suya çok az miktarda karıştırılan mineral çözeltilisi, suyun iletkenliğini yükseltir. 1cm^3 suyun elektriksel iletkenliğine “özüml elektriksel iletkenlik” denir.

Elektriksel iletkenlik sıcaklığa bağılı olarak yükseldiğinden dolayı karşılaştıma yapmak için genellikle $25\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye indirgenerek ortaya çıkan veriler değerlendirmeye alınır. Elektriksel iletkenliği yüksek suların çürütme özelliği fazla olur. EC suların tuzluluğu hakkında bilgi veren bir parametredir. Yüksek derişimli suların EC değerleri yüksek, seyreltik suların EC değerleri düşüktür (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 Su derişimlerine göre EC değerleri

Suyun Çeşidi	EC Değeri ($\mu\text{S/cm}$)
Salamura Sular	100 000 – 250 000
Deniz Suyu	50 000 – 60 000
Acı Sular	18 000 – 25 000
Yeraltı Suyu (alüvyon)	500 – 2 000
Yeraltı Suyu (andezit)	150 – 300
Yağmur Suları	40 – 160
Saf Su	4-14

Su örneklerinde, elektriksel iletkenlik değerleri suda çözünmüş toplam iyon miktarını hızlı bir şekilde belirleyebilmek amacıyla kullanılır. Genelde iletkenlik $50,000\ \mu\text{S/cm}$ 'ye kadar sudaki iyon derişimi ile orantılı olup su içindeki çözünmüş madde miktarı fazla ise EC değerleri de artar. Suların elektriksel iletkenliğine göre sınıflaması Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8 Elektriksel iletkenlik sınıflaması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973)

EC (25 °C'de $\mu\text{S}/\text{cm}$)	Suyun Sınıfı
<250	Çok iyi
250-750	İyi
750-2000	Kullanılabilir
2000-3000	Şüpheli
<3000	Kullanılamaz

Çalışma alanındaki suların EC değerlerine göre sınıflandırılması aşağıdaki Tablo 4.9 'da verilmektedir. Tabloya göre Bergama Ovası ve İçme Suyu kuyusundan alınan örnekler iyi, geri de kalan Bergama'ya ait örneklerin kullanılabilir olduğu, Kocaoba ve çevresinden alınmış sularda ise Kocaoba Köyü'ndeki suyun şüpheli, geri kalan 5 örneğin ise kullanılabilir olduğu belirlenmiştir. Su örnekleri Tablo4.9 'a göre alüvyon yeraltı suyu sınıfına girer.

Tablo 4.9 Çalışma alanındaki suların EC değerlerine göre sınıflandırılması

Örnek No	Kuyu Adı	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Ec ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Su Sınıfı
B-1	Bergama Ovası	18,1	654	İyi
B-2	Bergama Ovası2	18	654	İyi
B-3	İçme Suyu Kuyusu	21,5	739	İyi
B-4	Dübek Jeotermal Kuyusu	52,3	1580	Kullanılabilir
B-5	Güzellik Ilıcası	24,9	1023	Kullanılabilir
B-6	Ortadoğu Balıkçılık	43,3	1037	Kullanılabilir
B-7	Site Bahçe Sulama	23,4	1228	Kullanılabilir
B-8	Bergama Tepeköy Mahallesi	20,6	757	Kullanılabilir
B-9	Tepeköy Çeşmesi	19,8	892	Kullanılabilir
BK-1	Bahçeliköy	25,2	813	Kullanılabilir
DB-1	Madra Çayıçi	32	1380	Kullanılabilir
DÇI-1	Çamur Ilıcası	70,7	2440	Kullanılabilir
DK-1	Kocaoba köyü	58,4	1642	Şüpheli
DZ-1	Zeytinalı oteli	40	1419	Kullanılabilir
NK-1	Nebiler Kaplıcası	56,2	1378	Kullanılabilir

4.4.4 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagrama Göre Suların Sınıflandırılması

Yarı logaritmik diyagram kullanılarak değişik yapıdaki su örnekleri ilk bakışta ayırt edilebilir. Ancak yüzdelerle gösterilen diyagramlarda, kökenleri ve kimyasal özellikleri çok farklı olan sular birlikte yer alabilir. Ayrıca, bu diyagramda birbirine benzer özellik gösteren sular kırık paralel çizgiler meydana getirebilirler. Suların $[CaSO_4]$, $[CaCO_3]$ 'ca doygunluğu, denge pH'ı yarı logaritmik diyagram üzerinde saptanabilir (Şahinci, 1986).

Çalışma alanındaki sular öncelikle içlerinde bulunan anyon ve kation miktarlarına göre sınıflandırılmıştır.

Tablo 4.10 Çalışma alanına ait örneklerin anyon ve kation miktarlarına göre sınıflandırılması

Örnek No	Sıcaklık($^{\circ}C$)	Anyonlar	Kasyonlar
B-1	18,1	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na + K$
B-2	18	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na + K$
B-3	21,5	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na + K$
B-4	52,3	$SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$	$Na + K > Ca^{++} > Mg^{++}$
B-5	24,9	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$	$Na + K > Ca^{++} > Mg^{++}$
B-6	43,3	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	$Na + K > Ca^{++} > Mg^{++}$
B-7	23,4	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	$Na + K > Ca^{++} > Mg^{++}$
B-8	20,6	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na + K$
B-9	19,8	$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-}$	$Ca^{++} > Mg^{++} > Na + K$
BK-1	25,2	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	$Ca^{++} > Na + K > Mg^{++}$
DB-1	32	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	$Na + K > Ca^{++} > Mg^{++}$
DÇI-1	70,7	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	$Na + K > Ca^{++} > Mg^{++}$
DK-1	58,4	$SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$	$Na + K > Ca^{++} > Mg^{++}$
DZ-1	40	$SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$	$Na + K > Ca^{++} > Mg^{++}$
NK-1	56,2	$HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$	$Na + K > Ca^{++} > Mg^{++}$

Ardından gerekli hesaplamalar yapılarak örnekler diyagrama işlenmiştir (Şekil 4.2). Diyagramdan da gözlemlendiği üzere benzer özellikteki sular diyagramda ayırt edilmektedir.

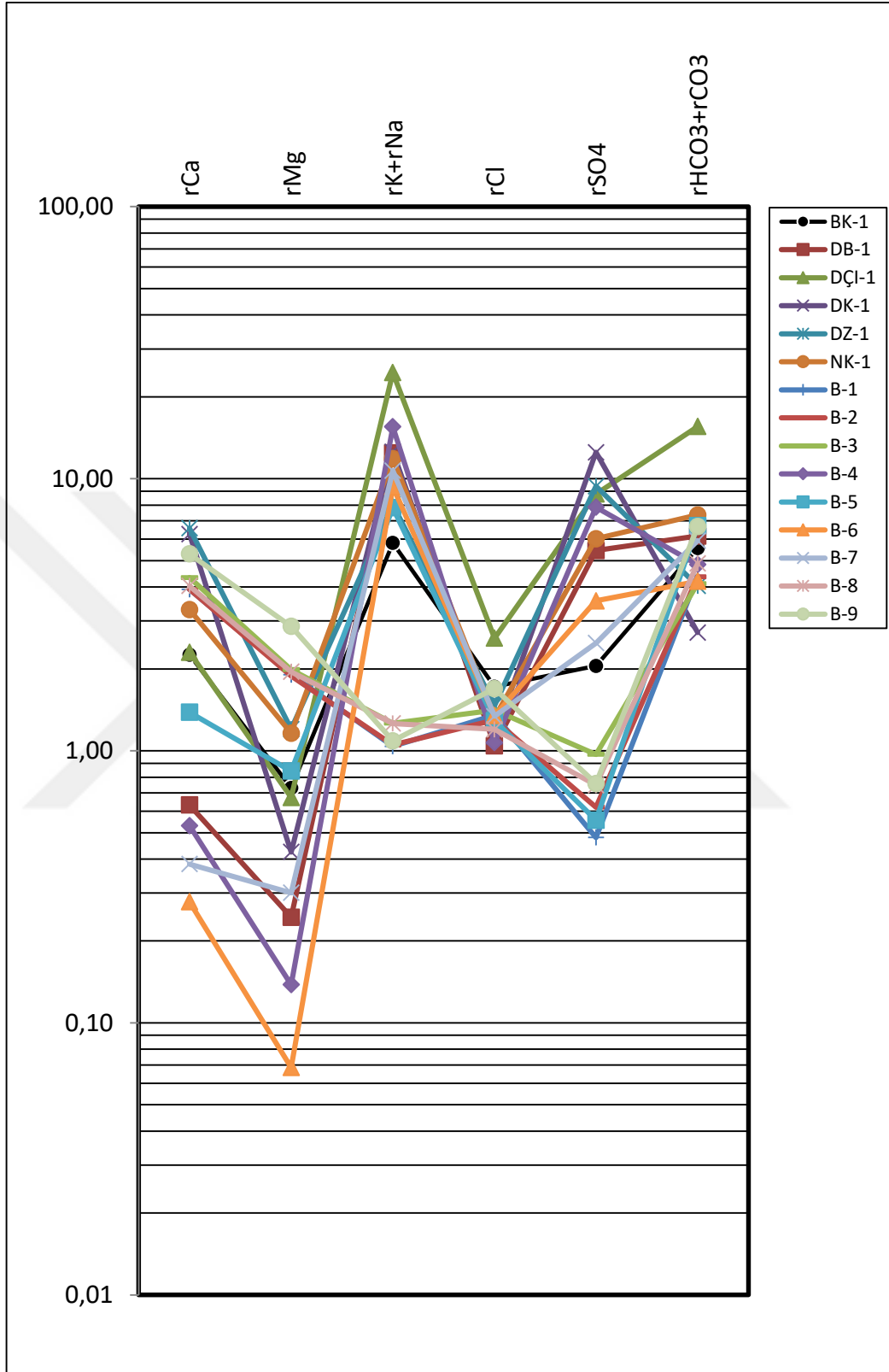
Buna göre Bergama civarından alınan 9 kuyudaki su örnekleri benzer akiferlerden gelmektedir. Birçok çalışmada deniz suyu girişimi olan bölgelerde majör iyon evrimi Ca-Mg-HCO₃ tipinden Na-SO₄-Cl su tipine doğru değişim gösterir (Mazor, 1997, Herczeg et al., 1991-2001, Hendry and Schwartz, 1988) (Şekil 4.2). Bir başka deyişle tuzluluk içeriği az tuzludan çok tuzluya doğru değişim göstermektedir.

Bergama bölgesindeki su örneklerinde bu evrim gözükmemektedir. B-4, B-6 ve B-7 örnekleri kalsiyum, magnezyum değerleri azalırken sodyum, potasyum ve sülfat değerleri artış göstermektedir. B-1, B-2, B-3, B-5, B-8 ve B-9 örnekleri ise diğer örneklerin tersine kalsiyum ve magnezyum içerikleri yüksekken, sodyum, potasyum ve sülfat içerikleri düşüktür.

Bu grup içinde B-5 örneği bu altı örnek içinde en düşük kalsiyum ve magnezyum değerine sahiptir.

B-5 örneği B-4, B-6 ve B-7 örnekleri ile birlikte de değerlendirilebilir ancak kalsiyum ve magnezyum içeriği diğer örneklerle göre daha az iken sülfat içeriği de artmış ve tüm örnekler içinde en düşük seviyede kalmıştır. Deniz suyu girişiminin mümkün olması için sodyum, potasyum içeriğinin artması gerekmektedir fakat B-5 örneğinde sadece potasyum ve sodyum artmaktadır.

Kocaoba'dan alınan 6 kuyudaki su örnekleri benzer akiferlerden gelmektedir. Aynı Bergama civarından alınan örneklerdeki gibi 6 su örneği de kalsiyum, magnezyum değerleri azalırken sodyum, potasyum ve sülfat değerleri artış göstermektedir. Ancak DK-1, DZ-1 kuyularından alınan örneklerde bikarbonat değerinin diğer su örneklerinin aksine düşüşü gözlenmektedir. Ayrıca magnezyum değerlerinin diğer örneklerle nazaran daha fazla düştüğü ve sülfat değerlerinin ise daha fazla yükseldiği gözlenmektedir.



Şekil 4.2 Çalışma alanına ait örneklerin Schoeller yarı logaritmik diyagramındaki yeri

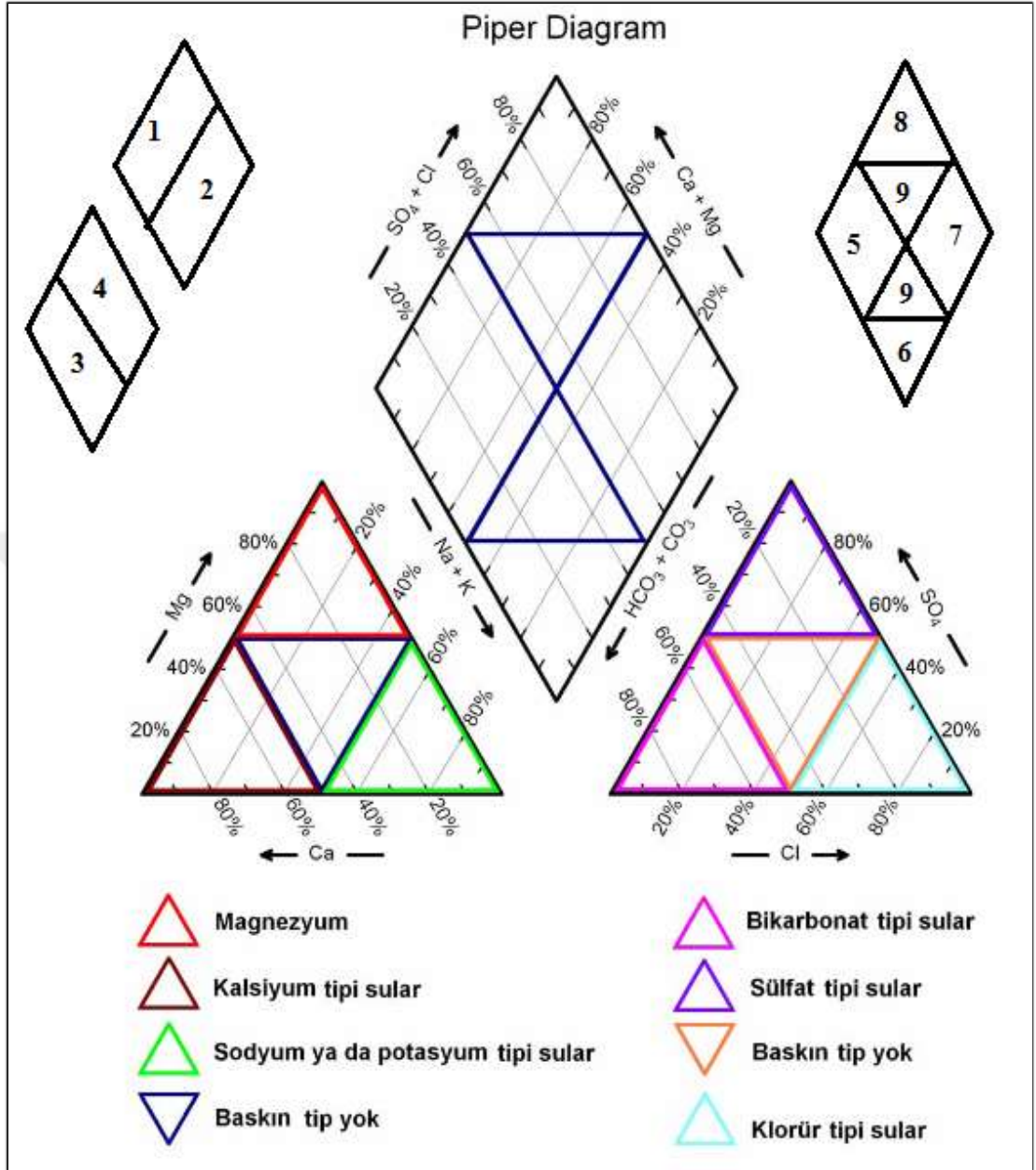
4.4.5 Piper Üçgen Sınıflaması

Piper Üçgen Diyagramına göre; eşkenar katyon ve anyon üçgenlerinde, iyonların litrede % mek/L değerleri işaretlendikten sonra, bulunan bu noktalar iki üçgenin üzerine çizilen bir eşkenar dörtgene taşınarak suyun sınıfı belirlenir (Şekil 4.3).

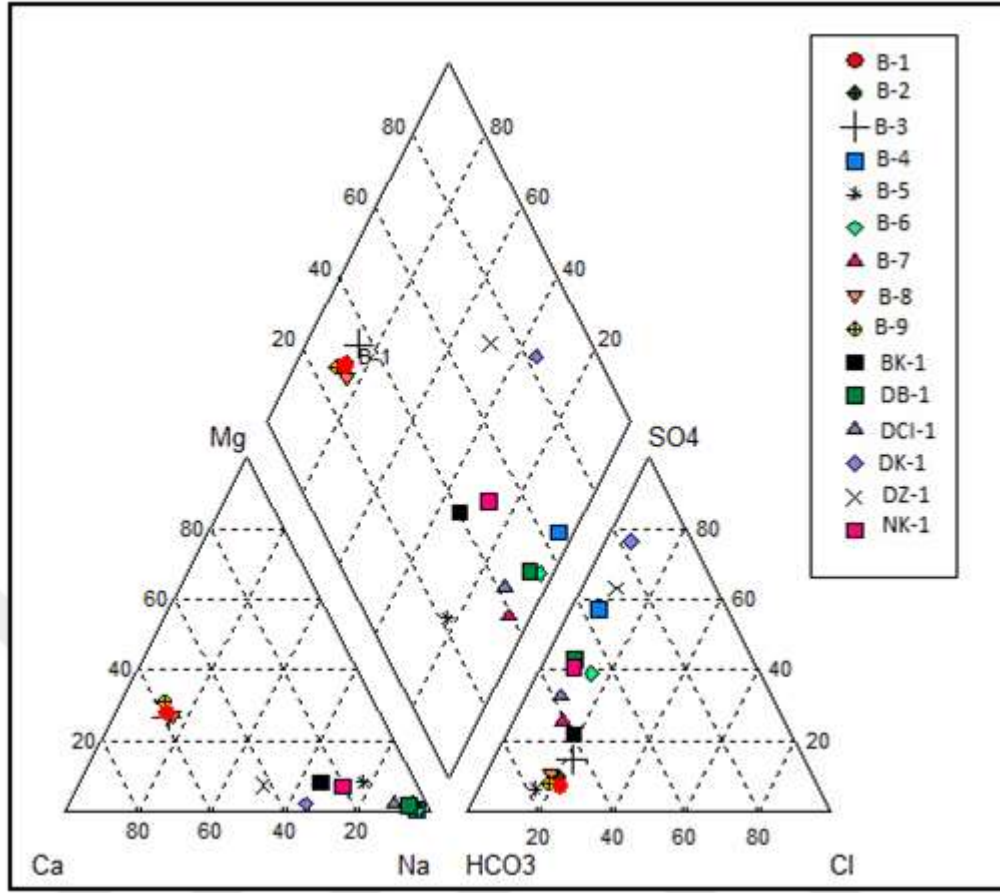
Suyun ana karakterini değerlendirmek için, noktaların düştüğü eşkenar dörtgendeki alana bakılmalıdır. Kökenleri aynı olan suları gösteren noktalar birbirleri ile yakın alanlara düşecektir (Canik, 1998). Piper diyagramları suların besleme ve boşalma alanları boyunca jeokimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimleri göstermek için de kullanılmaktadır (Filiz ve diğerleri, 1997).

Çalışma alanına ait örnekler piper diyagramı dâhilinde değerlendirmeye alınmış ve su noktaları şemaya işlenmiştir (Şekil 4.4).

Su örnekleri Piper Üçgen Diyagramında incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Buna göre; çalışma alanının Güney'inde bulunan Bergama Ovası (B-1), Bergama Ovası 2 (B-2), İçme Suyu Kuyusu (B-3), Tepeköy Çeşmesi (B-9) ve Bergama Tepeköy Mahallesi (B-8) kuyularının alkali toprak elementleri, alkali elementlerinden fazladır ve bu kuyulara ait sular %50'den fazla karbonat oranına sahiptir. Madra Çayı (DB-1), Kocaoba köyü (DK-1), Ortadoğu Balıkçılık (B-6), Dübek Jeotermal Kuyusu (B-4), Site Bahçe Sulama (B-7) ve Güzellik İlçesi (B-5) diyagramda ele alındığında bu kuyulara ait sularda alkali toprak elementleri, alkali elementlere oranla daha düşüktür ve güçlü asitler egemendir. Nebiler Kaplıcası (NK-1), Çamur İlçesi (DÇI-1) ve Bahçeliköy Kuyuları (BK-1) ile Zeytinalı Oteli (DZ-1) kuyuları karışık sular grubuna girer. Nebiler Kaplıcası (NK-1), Çamur İlçesi (DÇI-1) ve Bahçeliköy (BK-1) kuyularında alkali toprak elementler alkali elementlere oranla düşüktür, Zeytinalı Oteli Kuyusu'nda (DZ-1) ise güçlü asit kökleri zayıf asit köklerine oranla fazladır.



Şekil 4.3 Piper şeması

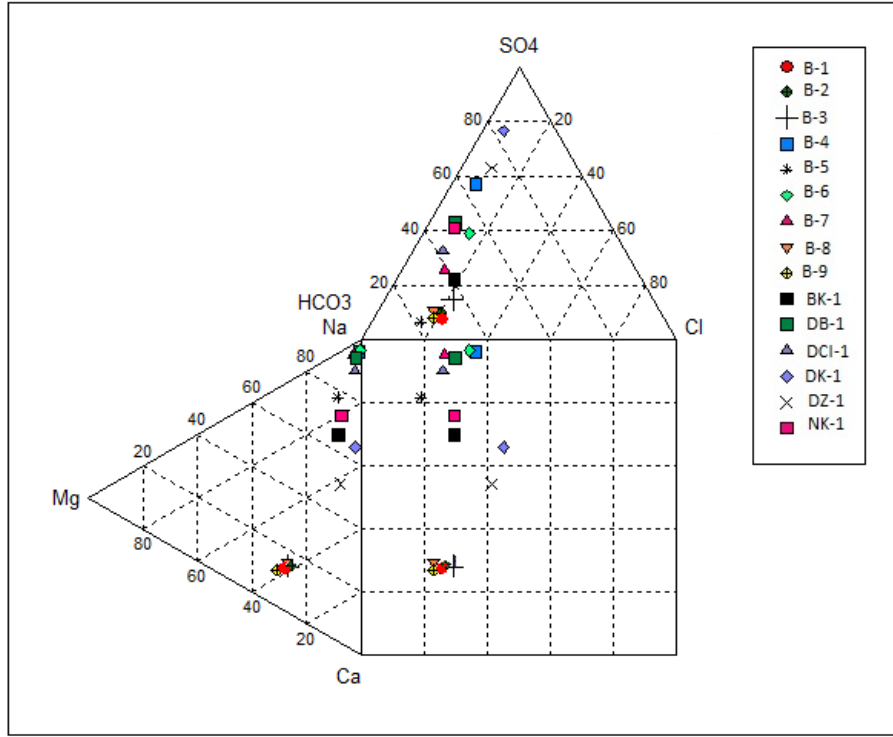


Şekil 4.4 Çalışma alanına ait piper diyagramı

4.4.6 Durov Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması

Durov diyagramında anyonların ve katyonların % mek/L değerleri kullanılmaktadır. Çalışma alanına ait suların Durov Diyagramı Şekil 4.5 de gösterilmektedir.

Buna göre; Kocaoba ve çevresinden alınan Nebiler Kaplıcası, Bahçeliköy, Kocaoba köyü ve Zeytinalı Otel diyagramın orta ve ortaya yakın bölümlerine düşer, bu sular karışık sular sınıfına girmektedir. Çamur Ilıcası, Madra Çayı, Dübek Jeotermal Kuyusu, Ortadoğu Balıkçılık ve Site Bahçe Sulama diyagramda birbirine yakındır ve benzer kökenli sulardır. Aynı şekilde Bergama Tepeköy Mahallesi, Tepeköy Çeşmesi, Bergama Ovası, Bergama Ovası2 ve İçme Suyu Kuyusu da birbirine benzer kökenlere sahip olduğu diyagrama bakılarak yorumlanabilir.



Şekil 4.5 Çalışma Alanına ait Durov Diyagramı

4.4.7 Suların Sertliği

Suların sertliğini en çok kalsiyum, magnezyum ve bikarbonat iyonları belirlemektedir. Suların sertliği karbonat ve karbonat olmayan sertlik olmak üzere ikiye ayrılır (Tarcan, 2002). Tablo 4.11’de suların Fransız sertliğine göre sınıflaması verilmiştir.

Tablo 4.11 Fransız Sertliği

Fransız Sertliği	Suyun Sınıflaması
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

Çalışma alanına ait suların Fransız Sertlik Sınıflaması Tablo 4.12’de verilmiştir. Bu tabloya göre genel olarak Kocaoba ve çevresinde oldukça sert sular daha çok bulunurken, Bergama bölümlerine doğru suların sertliği düşmekte ve sular yumuşamaktadır.

Tablo 4.12 Çalışma alanına ait suların Fransız Sertlik Sınıflaması

Örnek No	Kuyu Adı	Sertlik Değerleri	Açıklama
B-1	Bergama Ovası	29,12	Oldukça Sert
B-2	Bergama Ovası ²	29,04	Oldukça Sert
B-3	İçme Suyu Kuyusu	31,59	Oldukça Sert
B-4	Dübek Jeotermal Kuyusu	3,34	Çok Yumuşak
B-5	Güzellik Ilıcası	11,14	Yumuşak
B-6	Ortadoğu Balıkçılık	1,74	Çok Yumuşak
B-7	Site Bahçe Sulama	3,42	Çok Yumuşak
B-8	Bergama Tepeköy Mahallesi	29,94	Oldukça Sert
B-9	Tepeköy Çeşmesi	40,78	Sert
BK-1	Bahçeliköy	14,93	Az Sert
DB-1	Madra Çayıçi	4,38	Çok Yumuşak
DÇI-1	Çamur Ilıcası	14,88	Az Sert
DK-1	Kocaoba köyü	33,41	Sert
DZ-1	Zeytinalı oteli	38,89	Sert
NK-1	Nebiler Kaplıcası	22,32	Oldukça Sert

4.5 Mineral Doygunluk İndeksleri

Mineral doygunluk su içindeki iyonların ve minerallerin Gibbs serbest enerjileri (ΔG_0) ile iyon etkinliklerinin bilinmesi ile alakalıdır. Su içindeki kimyasal bir tepkimenin Gibbs serbest enerjisi (ΔG_0) ile tepkimedeki iyon veya bileşiklerin derişimleri arasındaki ilişki aşağıdaki denklemlerle yazılabilir.

$$\Delta G_0 = - RT \ln K \quad (4.8)$$

Bağıntıdaki; R: gazların sabiti (0,001987 kcal/mol), T: sıcaklık derecesi (Kelvin), ln: doğal logaritma ve K: tepkimenin denge sabitidir.

Tepkimeye giren ve çıkan maddelerin denge durumu tepkimeye girenler veya çıkanlar yönünde değişir. Bu yönün belirlenmesi mineral doygunluğu hesaplamalarının temelini oluşturmaktadır. Buradan yola çıkılarak doygunluk indeksi (Dİ) (saturation index = SI) kavramı geliştirilmiştir (Tarcan, 2002).

Suların mineral doygunluk değerlerinin hesaplanmasında Aquechem programından yararlanılmıştır. İnceleme alanındaki suların bazı mineral doygunluk değerleri Tablo 4.13 ve 4.14'de verilmiştir.

Suların doygunluk indeksleri (Dİ), genel olarak aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır (Bayarı, 2005).

- Dİ ($\log Q/K$) = 0 ise su ilgili mineral ile dengededir (doygundur).
- Dİ ($\log Q/K$) > 0 ise su ilgili mineralle aşırı doygundur (mineral çöktürücü özelliktedir).
- Dİ ($\log Q/K$) < 0 ise su ilgili mineralle doygun değildir (minerali çözüldürücü özelliktedir).

Tablo 4.13 Bergama ve çevresinden alınan su örneklerinin mineral doygunluk özellikleri

Örnek No	B-4							
	25	50	75	100	125	150	175	200
Sıcaklık (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200
Anhidrit	-2,23	-2,09	-1,8	-1,42	-0,97	-0,47	0,04	0,4
Aragonit	0,05	0,12	0,23	0,39	0,62	0,91	1,21	1,39
Kalsit	0,19	0,25	0,35	0,5	0,71	0,99	1,28	1,46
Kalsedon	0,42	0,15	-0,08	-0,28	-0,46	-0,62	-0,76	-0,89
Dolomit	-0,07	0,17	0,24	0,19	0,08	-0,09	-0,39	-0,97
Kuvars	0,85	0,51	0,21	-0,04	-0,27	-0,47	-0,65	-0,81
Talk	2,49	3,45	4,38	5,36	6,42	7,54	8,61	9,53

Tablo 4.13 devamı

Örnek No	B-5							
Sıcaklık (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200
Anhidrit	-2,8	-2,66	-2,38	-2,01	-1,57	-1,07	-0,58	-0,26
Aragonit	0,35	0,52	0,72	0,95	1,22	1,54	1,84	1,95
Kalsit	0,5	0,65	0,83	1,05	1,31	1,62	1,91	2,01
Kalsedon	0,31	0,04	-0,19	-0,4	-0,58	-0,74	-0,88	-1,01
Dolomit	0,92	1,39	1,69	1,84	1,88	1,78	1,45	0,72
Kuvars	0,74	0,4	0,1	-0,15	-0,38	-0,58	-0,76	-0,93
Talk	2,63	4,24	5,84	7,41	8,93	10,3	11,36	12,08

Örnek No	B-6							
Sıcaklık (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200
Anhidrit	-2,71	-2,55	-2,27	-1,88	-1,43	-0,92	-0,42	-0,07
Aragonit	-0,63	-0,44	-0,21	0,04	0,33	0,65	0,97	1,15
Kalsit	-0,49	-0,31	-0,1	0,14	0,42	0,73	1,04	1,21
Kalsedon	0,33	0,06	-0,17	-0,38	-0,56	-0,72	-0,86	-0,99
Dolomit	-1,46	-0,96	-0,64	-0,48	-0,46	-0,57	-0,85	-1,45
Kuvars	0,76	0,42	0,12	-0,13	-0,36	-0,56	-0,74	-0,9
Talk	-1,17	0,52	2,19	3,74	5,18	6,5	7,63	8,51

Tablo 4.14 Kocaoba (Dikili) ve çevresinden alınan su örneklerinin mineral doygunluk özellikleri

Örnek No	DÇI-1							
Sıcaklık (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200
Anhidrit	-1,66	-1,52	-1,24	-0,86	-0,42	0,03	0,42	0,61
Aragonit	-1,02	-0,77	-0,44	-0,06	0,36	0,79	1,15	1,32
Kalsit	-0,88	-0,64	-0,33	0,04	0,45	0,87	1,22	1,38
Kalsedon	0,79	0,53	0,3	0,1	-0,08	-0,23	-0,37	-0,49
Dolomit	-2,16	-1,56	-1,06	-0,66	-0,36	-0,19	-0,2	-0,53
Hematit	16,73	16,24	15,83	15,35	14,8	14,2	13,52	12,74
Kuvars	1,22	0,88	0,59	0,34	0,12	-0,08	-0,25	-0,41
Talk	-6,91	-4,91	-2,71	-0,44	1,85	4,13	6,35	8,47

Tablo 4.14 devamı

Örnek No	BK-1							
Sıcaklık (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200
Anhidrit	-2,05	-1,89	-1,6	-1,21	-0,76	-0,27	0,2	0,53
Aragonit	-0,93	-0,66	-0,32	0,07	0,5	0,95	1,35	1,56
Kalsit	-0,78	-0,53	-0,21	0,17	0,59	1,03	1,42	1,63
Kalsedon	0,61	0,35	0,12	-0,08	-0,26	-0,41	-0,55	-0,68
Dolomit	-1,93	-1,28	-0,73	-0,28	0,06	0,27	0,26	-0,15
Hematit	13,27	12,65	12,05	11,42	10,75	10,05	9,79	10,06
Kuvars	1,04	0,7	0,41	0,16	-0,06	-0,26	-0,44	-0,6
Talk	-4,85	-2,74	-0,44	1,94	4,3	6,6	8,69	10,41

Örnek No	DB-1							
Sıcaklık (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200
Anhidrit	-2,27	-2,13	-1,85	-1,47	-1,02	-0,51	-0,02	0,32
Aragonit	0,39	0,44	0,53	0,67	0,88	1,17	1,45	1,6
Kalsit	0,53	0,57	0,64	0,77	0,97	1,25	1,53	1,66
Kalsedon	0,53	0,26	0,03	-0,18	-0,35	-0,51	-0,66	-0,79
Dolomit	0,78	1	1,03	0,96	0,83	0,64	0,31	-0,34
Hematit	17,38	16,25	15,24	14,3	13,4	12,5	11,59	10,68
Kuvars	0,96	0,62	0,32	0,07	-0,16	-0,36	-0,54	-0,7
Talk	4,68	5,54	6,38	7,27	8,28	9,33	10,32	11,13

Örnek No	NK-1							
Sıcaklık (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200
Anhidrit	-1,56	-1,41	-1,12	-0,74	-0,29	0,19	0,65	0,97
Aragonit	-0,72	-0,46	-0,13	0,25	0,67	1,11	1,5	1,71
Kalsit	-0,58	-0,34	-0,02	0,35	0,76	1,19	1,57	1,77
Kalsedon	0,77	0,51	0,28	0,08	-0,1	-0,25	-0,39	-0,52
Dolomit	-1,48	-0,87	-0,35	0,06	0,36	0,53	0,51	0,1
Hematit	17,22	16,6	16	15,35	14,68	13,96	13,17	12,3
Kuvars	1,2	0,86	0,57	0,32	0,1	-0,1	-0,28	-0,44
Talk	-3,76	-1,73	0,49	2,77	5,05	7,27	9,33	11,09

Tablo 4.14 devamı

Örnek No	DZ-1							
Sıcaklık (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200
Anhidrit	-1,12	-0,98	-0,69	-0,31	0,15	0,65	1,17	1,64
Aragonit	-0,05	-0,73	-1,32	-1,84	-2,31	-2,74	-3,17	-3,64
Kalsit	0,18	0,4	0,66	0,96	1,3	1,66	1,99	2,12
Kalsedon	0,28	0,02	-0,22	-0,42	-0,59	-0,75	-0,9	-1,02
Dolomit	-0,25	0,3	0,7	0,96	1,09	1,1	0,89	0,19
Hematit	19,15	18,22	17,35	16,51	15,68	14,8	13,91	13,09
Kuvars	0,71	0,37	0,08	-0,17	-0,4	-0,6	-0,78	-0,94
Talk	-1,22	0,64	2,56	4,42	6,23	7,98	9,47	10,4

Örnek No	DK-1							
Sıcaklık (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200
Anhidrit	-1,05	-0,91	-0,62	-0,24	0,22	0,72	1,25	1,75
Aragonit	-0,54	-0,29	0,02	0,37	0,76	1,16	1,53	1,72
Kalsit	-0,39	-0,17	0,13	0,47	0,85	1,24	1,6	1,79
Kalsedon	0,62	0,35	0,12	-0,08	-0,26	-0,41	-0,55	-0,68
Dolomit	-1,84	-1,28	-0,82	-0,5	-0,29	-0,22	-0,36	-0,96
Hematit	18,08	17,28	16,52	15,75	14,98	14,17	13,32	12,51
Kuvars	1,05	0,71	0,42	0,16	-0,06	-0,26	-0,44	-0,59
Talk	-3,44	-1,54	0,52	2,59	4,6	6,52	8,2	9,34

4.6 Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri

4.6.1 İçme Sularının Özellikleri

Genel olarak içme sularının sıcaklığı 7-10 °C arasında bulunmaktadır. 5 °C alt sınır, 18 °C üst sınır kabul edilir (Şahinci, 1991).

Çalışma alanındaki suların sıcaklıkları Kocaoba ve çevresinde 70 °C ile 25,2 °C arasında daha yüksek sıcaklıklar içerir. Bu durum güneşe doğru gidildikçe Bergama bölgesi yakınlarında düşüş gösterir ve en yüksek Dübek jeotermal kuyusunda 52,3 °C, en düşük ise Tepeköy Çeşmesi'nde 19,82 °C civarında seyrederek (Tablo 4.15). Bu durumda çalışma alanındaki su sıcaklıkları içme suyu sıcaklıklarının kısmen dışında kalmaktadır.

Tablo 4.15 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan su örneklerinin sıcaklıkları

Örnek No	Kuyu Adı	Sıcaklık (°C)
B-1	Bergama Ovası	18,1
B-2	Bergama Ovası2	18
B-3	İçme Suyu Kuyusu	21,5
B-4	Dübek Jeotermal Kuyusu	52,3
B-5	Güzellik Ilıcası	24,9
B-6	Ortadoğu Balıkçılık	43,3
B-7	Site Bahçe Sulama	23,4
B-8	Bergama Tepeköy Mahallesi	20,6
B-9	Tepeköy Çeşmesi	19,8
BK-1	Bahçeliköy	25,2
DB-1	Madra Çayıçi	32
DÇI-1	Çamur Ilıcası	70,7
DK-1	Kocaoba köyü	58,4
DZ-1	Zeytinalı oteli	40
NK-1	Nebiler Kaplıcası	56,2

4.6.1.1 İçme sularındaki Arsenik Konsantrasyonu

Çok zehirli olan arsenik elementinin içme sularında olması gereken değeri TSE 266'ya göre 0,01 mg/L sınırındadır. Buna göre Bergama bölgesi arsenik değerleri açısından tehlikeli bir yelpaze çizmektedir.

Tablo 4.16 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan arsenik değerleri

Örnek No	Kuyu Adı	As
B-1	Bergama Ovası	<0,02
B-2	Bergama Ovası2	<0,02
B-3	İçme Suyu Kuyusu	<0,02
B-4	Dübek Jeotermal Kuyusu	0,06
B-5	Güzellik Ilıcası	0,06
B-6	Ortadoğu Balıkçılık	0,03
B-7	Site Bahçe Sulama	0,16
B-8	Bergama Tepeköy Mahallesi	<0,02
B-9	Tepeköy Çeşmesi	<0,02

4.6.1.2 İçme sularındaki Arsenik Konsantrasyonu için alınacak önlemler

Aşağıdaki tabloda arsenik için uygulanması gereken yöntemler karşılaştırmalı bir şekilde belirtilmiştir.

Tablo 4.17 Arsenik Tehlikesi için Uygulanacak Yöntemler

YÖNTEM	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Yükseltgeme çöktürme	Hava ile yükseltgeme	As (V) uzaklaştırılmasında etkilidir
	Kimyasal ile yükseltgeme	pH ve yükseltgenmenin hassas takibi
Koagulasyon filtrasyon	Alum koagulasyon	uzun ömürlü, düşük yatırım maliyeti, basit işletim, geniş pH aralığında çalışma imkanı
	Demir koagulasyon	alum koagulasyona göre daha verimli
	Kireçle yumuşatma	ticari kimyasallarlar mevcut
Sorpsiyon ve iyon değiş-tokuş	Etkin alümina	yaygın ticari ürünleri mevcut
	Demir temelli tutucular	ucuz, rejenerasyon gerektirmez, hem As (III) hem de As (V) uzaklaştırılmasında etkilidir.
	İyon değiştirici reçineler	özel geliştirilen ürünlerle As yüksek yatırım maliyeti, rejenerasyon ihtiyacı
Membran	Nanofiltrasyon	yüksek uzaklaştırma verimi
	Ters ozmoz	oksik atık oluşturmaz
	Electrodiyaliz	As dışındaki kirleticileri de uzaklaştırabilir

4.6.2 Sulama Sularının Özellikleri

Su içeriğindeki iyon miktarının durumuna göre eğer bu miktar çok fazla olursa bitkilere ve toprağa fiziksel ve kimyasal yollarla etki ederek alınacak verimi büyük ölçüde kötüleştirir. Bu iyonlar bitkideki hücrelerde osmotik basıncı azaltır. Suların dal ve yapraklara ulaşmasına engel olur ve diğer yandan bitki metabolizmasını bozabilir. Sulardaki fazla miktardaki sodyum, zemindeki kalsiyum iyonları ile yer değiştirir ve toprak yapısını değiştirerek geçirgenliği azaltır. Dolayısıyla bitkilerin gelişmesi zara görür. Bitkilerin sudaki tuzlara dirençleri değişkenlik gösterdiğinden, sulamada kullanılan suyun tuz değişimine bir üst sınır vermek zordur.

4.6.2.1 Suların Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

Sulama sularında sodyum iyon değerinin yüksek olması, toprağın yapısını bozmakta ve geçirgenliği azaltmaktadır. Sulamadan sonra bitki kökleri üzerlerinde sert bir kabuk oluştuğundan sonra hava almakta zorlanır.

Ayrıca bu durum bitkiler için zehirli bir ortam oluşturur. Suların sodyum miktarı % olarak şöyle bulunur (Şahinci, 1991

$$\% Na = 100 (Na + K) / (Ca + Mg + K + Na) \quad (4.9)$$

Bağıntının farklı biçimde ifadesi şöyledir;

$$Sodyum Adsorption Ratio (SAR) = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2} \quad (4.10)$$

Bağıntılarda iyonlar mek/L alınır. SAR'a göre sulama suları Tablo 4.16'de gösterilmiştir.

Tablo 4.18 SAR'a göre suların sınıflaması (Şahinci, 1991)

SAR (%)	Suyun Sınıfı
< 10	Çok iyi özellikte sulama suyu
10 – 18	İyi özellikte sulama suyu
18 – 26	Orta özellikte sulama suyu
> 26	Kötü özellikte sulama suyu

Çalışma alanına ait suların SAR'a göre sınıflaması Tablo 4.17'da verilmektedir. Buna göre; Dübek Jeotermal Kuyusu hariç diğer suların çok iyi ve orta özellikte olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.19 Çalışma alanındaki ait kuyulardan alınan su örneklerinin SAR'a göre sınıflaması

Örnek No	Kuyu Adı	Sıcaklık (°C)	Örnek No
B-1	Bergama Ovası	0,53	Çok iyi Sulama Suyu
B-2	Bergama Ovası2	0,54	Çok iyi Sulama Suyu
B-3	İçme Suyu Kuyusu	0,62	Çok iyi Sulama Suyu
B-4	Dübek Jeotermal Kuyusu	26,66	Kötü Sulama Suyu
B-5	Güzellik Ilıcası	7,25	Çok iyi Sulama Suyu
B-6	Ortadoğu Balıkçılık	22,29	Orta Sulama Suyu
B-7	Site Bahçe Sulama	18,09	Orta Sulama Suyu
B-8	Bergama Tepeköy Mahallesi	0,66	Çok iyi Sulama Suyu
B-9	Tepeköy Çeşmesi	0,52	Çok iyi Sulama Suyu
BK-1	Bahçeliköy	4,70	Çok iyi Sulama Suyu
DB-1	Madra Çayıçi	18,71	Orta Sulama Suyu
DÇI-1	Çamur Ilıcası	19,56	Orta Sulama Suyu
DK-1	Kocaoba köyü	6,74	Çok iyi Sulama Suyu
DZ-1	Zeytinalı oteli	4,04	Çok iyi Sulama Suyu
NK-1	Nebiler Kaplıcası	7,83	Çok iyi Sulama Suyu

4.6.2.2 Sulama Sularının Wilcox Diyagramına Göre Sınıflandırılması

Wilcox sulama sularının % Na, klorür, sülfat, bor ve elektriksel iletkenliğe karşı duyarlılıklarına göre sınıflar (Tablo 4.18 ve Tablo 4.19).

Tablo 4.20 Sulama sularının Wilcox 'a göre sınıflaması (Şahinci, 1991)

Suyun Sınıfı	% Na	rCl ⁻	rSO ₄ ⁻²	EC(µmho/cm)
Çok iyi	< 20	< 4	< 4	< 250
İyi	20 – 40	4 – 7	4 - 7	250 – 750
Kullanılabilir	40 – 60	7 – 12	7 – 12	750 – 2000
Şüpheli	60 – 80	12 – 20	12 – 20	2000 – 3000

Tablo 4.21 Sulama sularının Wilcox sınıflamasında bor miktarına göre sınıflaması (Şahinci, 1991).

Suyun Sınıfı	Suda bulunan Bor (mg/L)		
	Duyarlı bitkiler	Yarı dayanıklı bitkiler	Az dayanıklı bitkiler
Çok iyi	<0,33	<0,67	<1,00
İyi	0,33-0,67	0,67-1,33	1,00-2,00
Kullanılabilir	0,67-1,00	1,33-2,00	2,00-3,00
Şüpheli	1,00-1,25	2,00-2,50	3,00-3,75
Kullanılamaz	>1,25	>2,50	>3,75

Çalışma alanındaki suların rCl, rSO₄⁻²ve B değerleri Tablo 4.20'de verilmiştir. Buradaki 'r', mek/L'yi tanımlar.

Tablo 4.22 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan su örneklerinin rCl^- , rSO_4^{-2} ve B değerleri

Örnek No	Kuyu Adı	rCl^-	rSO_4^{-2}	B
B-1	Bergama Ovası	21,70	7,71	0,03
B-2	Bergama Ovası2	20,64	9,89	0,03
B-3	İçme Suyu Kuyusu	21,67	14,94	0,03
B-4	Dübek Jeotermal Kuyusu	7,77	57,10	0,70
B-5	Güzellik Ilıcası	15,05	6,49	0,36
B-6	Ortadoğu Balıkçılık	14,77	39,12	0,33
B-7	Site Bahçe Sulama	13,73	25,54	0,51
B-8	Bergama Tepeköy Mahallesi	17,54	10,96	0,03
B-9	Tepeköy Çeşmesi	18,51	8,31	0,02
BK-1	Bahçeliköy	18,41	21,99	-
DB-1	Madra Çayıçı	8,24	43,06	-
DÇI-1	Çamur Ilıcası	9,62	32,63	-
DK-1	Kocaoba köyü	6,89	76,50	-
DZ-1	Zeytinalı oteli	9,84	63,04	-
NK-1	Nebiler Kaplıcası	9,00	40,93	-

Tablo incelendiğinde rCl^- değerlerine bakılarak Bahçeliköy, Bergama Ovası, İçme Suyu su, Güzellik Ilıcası, Ortadoğu Balıkçılık, Site Bahçe Sulama, Bergama Tepeköy Mahallesi, Tepeköy Çeşmesine ait suların şüpheli, geri kalan su örnekleri ise iyi olarak sınıflanabilir.

Ayrıca rSO_4^{-2} değerleri incelendiğinde Bergama Ovası, Tepeköy Çeşmesi ve Bergama Tepeköy Mahallesi su örneklerinin kullanılabilir, Güzellik Ilıcası su örneğinin iyi, geri kalan örneklere ait su kuyularının da kullanılamaz sınıfına dâhil olduğu gözlemlenir.

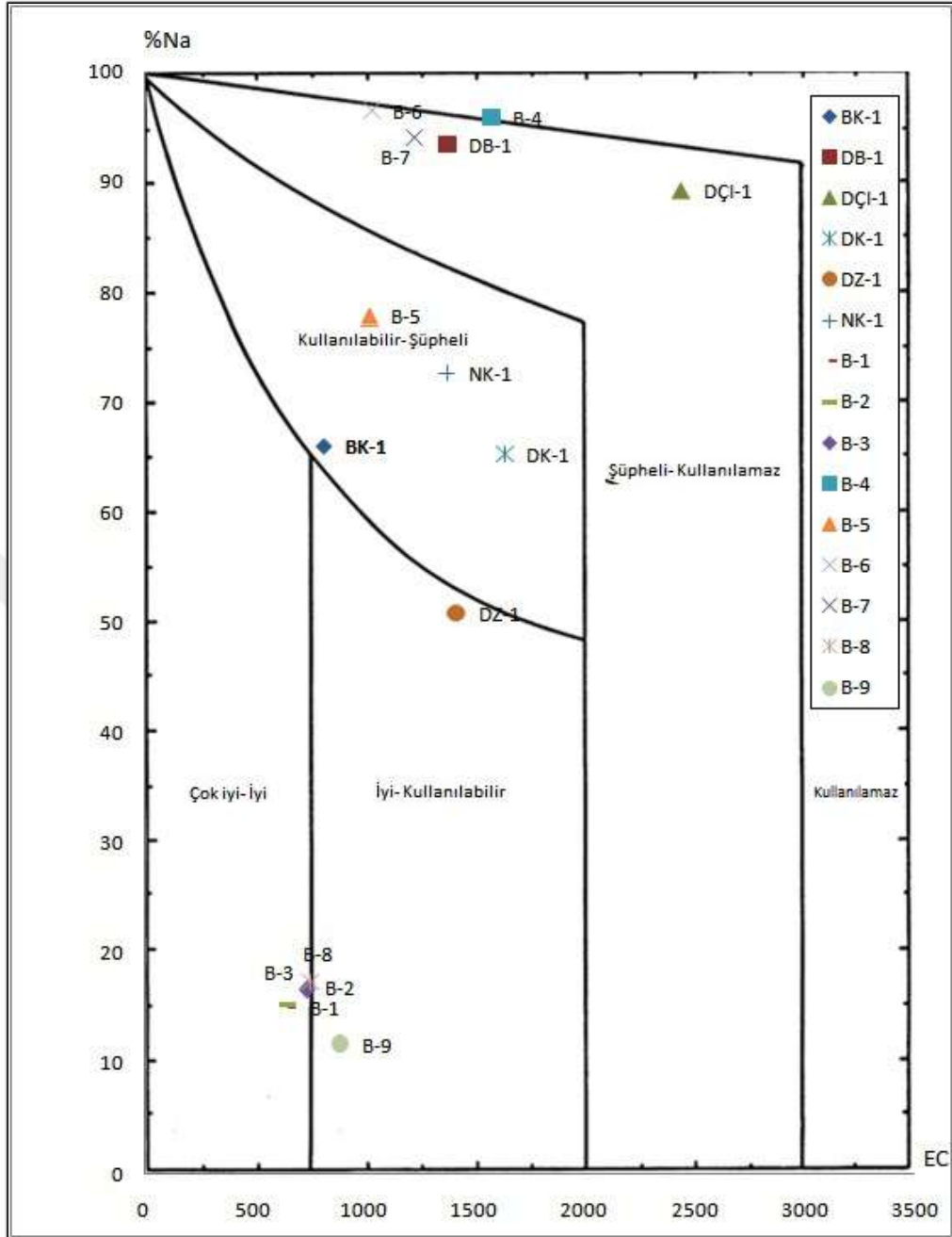
Çalışma alanına ait Güney bölgelerden alınan örnekler Bor içermektedir. Bu oran oldukça azdır. En yüksek 0,70 değeri ile Dübek Jeotermal Kuyusuna aittir ancak genel anlamda bor miktarı bitki türlerine zararlı olacak ölçüde değildir.

İnceleme alanına ait suların %Na ve EC değerleri Tablo 4.21'de, suların Wilcox diyagramındaki dağılımları Şekil 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.23 İnceleme alanına ait kuyulardan alınan su örneklerinin %Na ve EC değerleri

Örnek No	Kuyu Adı	%Na	EC (mS/cm)
B-1	Bergama Ovası	15,14	654
B-2	Bergama Ovası2	15,33	654
B-3	İçme Suyu Kuyusu	16,65	739
B-4	Dübek Jeotermal Kuyusu	95,87	1580
B-5	Güzellik Ilıcası	77,84	1023
B-6	Ortadoğu Balıkçılık	96,42	1037
B-7	Site Bahçe Sulama	93,99	1228
B-8	Bergama Tepeköy Mahallesi	17,38	757
B-9	Tepeköy Çeşmesi	11,76	892
BK-1	Bahçeliköy	66,03	813
DB-1	Madra Çayıçi	93,41	1380
DÇI-1	Çamur Ilıcası	89,18	2440
DK-1	Kocaoba köyü	65,27	1642
DZ-1	Zeytinalı oteli	50,84	1419
NK-1	Nebiler Kaplıcası	72,63	1378

Diyagram incelendiğinde Dübek Jeotermal sunun kullanılamaz, Ortadoğu Balıkçılık, Site Bahçe Sulama ve Madra Çayıçi su kuyularının şüpheli- kullanılamaz, Nebiler Kaplıcası, Kocaoba köyü, Güzellik Ilıcası su kuyularının şüpheli kullanılabilir olarak belirlenmiştir. İçme Suyu Kuyusu, Tepeköy Çeşmesi, Bergama Tepeköy Mahallesi ve Zeytinalı Otel su kuyularının iyi- kullanılabilir, son olarak da Bergama ovasından alınan suların çok iyi- iyi olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.6 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan su örneklerinin Wilcox diyagram

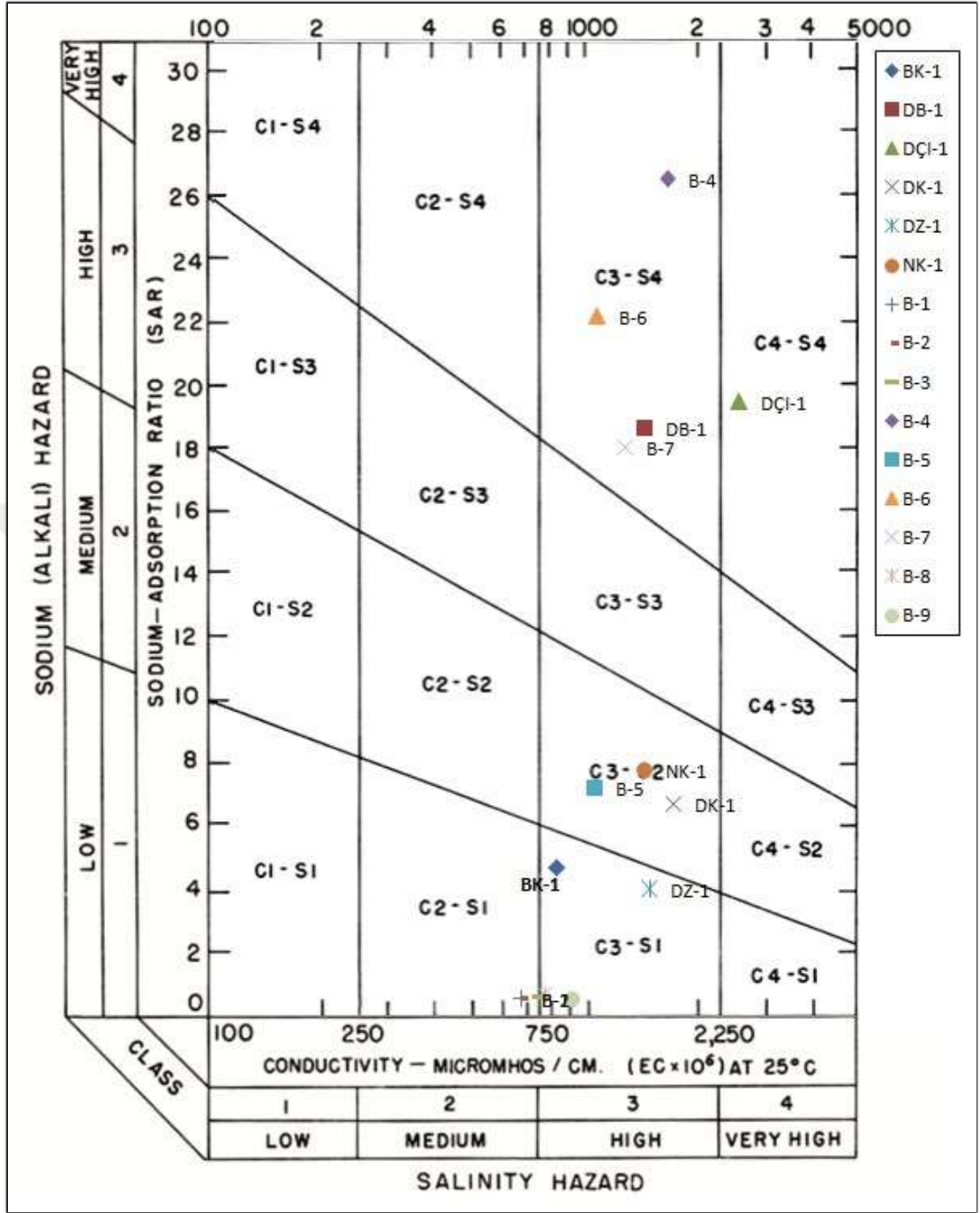
4.6.2.3 Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına Göre Sınıflandırılması ve Sodyum Tehlikesi (SAR)

Sulama sularının kalitesinin belirlenmesinde sodyum derişimi oldukça önemlidir. Sulardaki aşırı sodyum derişimi, toprağın sulanmasından sonra üst seviyelerde

toplanarak bir tabaka oluşturabilir ve bitkilerin hava almasını engelleyerek olumsuz etkiler yaratabilir (Canik, 2003).

Bu diyagramda sulama suları 16 sınıfa ayrılmıştır. Düşey ekseninde SAR değeri, yatay ekseninde EC değerleri bulunur.

Çalışma alanındaki su kuyularından alınan su örnekleri ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı Şekil 4.7'de verilmiştir. Buna göre; Çamur Ilıcası (DÇI-1) C4-S4 bölgesine düşmekte olduğundan sulama suyu olarak elverişsizdir, sadece tuzlu su seven bitkiler için kullanılabilir. Dübek Jeotermal Kuyusu (B-4), Ortadoğu Balıkçılık (B-6), Site Bahçe Sulama (B-7), Madra Çayı (DB-1) kuyularına ait sular da C3-S4 bölgesine düşer ve sadece tuza dayanıklı bitkiler için kullanılmalıdır. Kocaoba köyü (DK), Güzellik Ilıcası (B-5), Nebiler Kaplıcası (NK-1) C3-S2 bölgesine düşmektedir, geçirgen ve jipsli arazilerde sulama suyu olarak tercih edilebilir. Bahçeliköy (BK-1), Zeytinalı Oteli (DZ-1) ve Tepeköy Çeşmesi (B-9) C3-S1 alanına düşmektedir, az sodyum içermesine rağmen tuza dayanıklı bitkilerde kullanılabilir. Sulamaya en uygun kuyular ise Bergama Ovası-1 (B-1) ve Bergama Ovası-2'ye (B-2), İçme Suyu Kuyusu (B-3), Bergama Tepeköy Mahallesi (B-8) olarak belirlenmiştir. Bu sular genel olarak her türlü sulama suyu olarak kullanılabilir.



Şekil 4.7 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan su örneklerinin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

4.7 Jeotermal Sistemlerde Hazne Sıcaklıklarının Saptanması

Termal kaynak sularının sıcaklıkları genellikle rezervuar sıcaklıklarından daha düşüktür. Sıcak suların sıcaklıklarının doğru ölçümü için kimyasal jeotermometreler kullanılabilir. Bu termometrelerin kullanımı bazen hazne kayaya inilememesi ya da ekonomik açıdan kolaylık sağlaması gibi durumlar için tercih edilebilmektedir (Mutlu, 1999).

Bu çalışmada suların hazne kaya sıcaklıklarını tahmin etmek için kimyasal jeotermometre uygulamalar, kombine (birleşik) jeotermometre ve mineral denge-sıcaklık diyagramı jeotermometresi uygulamalarından yararlanılmıştır.

4.7.1 Kimyasal Jeotermometreler

Kimyasal tahlillerinin fiyatları daha uygun ve uygulanması daha hızlı gerçekleşen bu termometrelerden, jeotermal araştırmalarda hazne kaya sıcaklığının tahmininde daha çok tercih edilmektedir.

Kimyasal jeotermometre değerlendirmeleri, “niteliksel (niteleyici) jeotermometreler” ve “niceliksel (sayısal) jeotermometreler” olmak üzere iki bölümde incelenebilir (Şahinci, 1991b).

4.7.1.1 Niteliksel (Kalitatif) Jeotermometreler

Niteliksel (kalitatif) jeotermometrelerin çoğu uçucu bileşenlerin sıcak sulardaki ve zemindeki izafi miktarlarına, dağılımlarına veya zemindeki gazların oranlarına dayanır. Jeotermal akışkanlarda yer alan element ve bileşiklerinin niceliklerinin sıcaklıkla ilgili verdikleri izafi bilgiler açıklanmıştır.

- SiO₂: Silis akifer sıcaklıkları hakkında detaylı bilgi veren önemli bir bileşendir. Sıcaklık değeri yüksek sularda hemen hemen 180 °C de silis çökmesi başlar ve sıcaklık değerinin zayıflaması ile de çökmesi hızlanır.

Gayzerlerde meydana gelen amorf silis ve kristalleşmiş silis çökelleri, hazne kayaç için 180 °C ya da daha yüksek bir sıcaklık olabileceğini gösterir. Miktar olarak zayıf klorür içeren asitli sular 100 °C ye yakın değerlerde kayalardaki silikat miktarını değiştirerek amorf silis açısından zenginleşme yapabilir.

- Cl: 150 °C'nin üstünde sıcaklığa sahip akiferlerde, çoğunlukla 150 mg/L miktarından daha çok klorür görülebilir. Sıcaklık değerinin nadiren de olsa 200 °C'nin üstünde olduğu durumda ise miktar 40 mg/L altındadır. Klorür, sıcak su tipleri ile buhar tipleri arasında farkı gösteren önemli bir bileşendir. 50 mg/L miktarının üstünde klorür gözlenirse sıcak su sisteminin varlığını gösterir.

- B, NH₄, H₂S, Hg, Cl, Na, K, Li, Rb, Cs, As: Bu gibi element ve bileşiklerin biri veya birkaç tanesinin suda fazla bulunması, akifer sıcaklığının yüksek olabileceğine işarettir (Tarcan, 2004).

- Na/K Oranı: Akifer sıcaklığının yüksek derecede olması, Na/K oranının yüksekliği ile ilişkilidir. Bu orandan yararlanılarak elde edilen akifer sıcaklıkları, su için ilk derinlik sıcaklığını ya da yatay mesafenin sıcaklığını gösterir. Jeotermal akışkandan elde edilen veriler ile silis jeotermometresi hesaplama yapılır, bu değer Na/K sonucunda bulunandan az ise, akışkanın diğer sularla karışma ihtimalini güçlendirir.

- Traverten Çökelleri: Akifer sıcaklığının düşük olduğuna (yaklaşık 100 °C) işaret eder.

- Cl/(HCO₃ + CO₃): Bu oranın yüksek olması, akifer sıcaklığının yüksek olabileceğini belirtir.

- Mg ve Mg/Ca Oranı: Mg miktarı ve Mg/Ca oranı düşük ise, akifer sıcaklığının yüksek olabileceğini gösterir.

- Cl/SO₄ Oranı: Bu oranın yüksek olması durumunda, akifer sıcaklığının da yüksek olabileceği göz önüne alınmalıdır.

- Cl/F Oranı: Bu oran yüksek ise, akifer sıcaklığı da yüksek olabilir.

- H₂/(Buhar Dışındaki Diğer Gazlar) Oranı: Bu oran yüksek ise, akifer sıcaklığı da yüksek olabilir (Tarcan, 2004).

4.7.1.2 Niceliksel (Sayısal) Jeotermometreler

Sayısal jeotermometrelerin kullanılması esnasında bazı varsayımlar göz önünde bulundurulur. Sayısal kimyasal jeotermometreler, çözünürlüğe, iyon derişimine ve iyon etkinliğine bağılı olmak üzere üç başlıkta incelenir (Tarcan, 2004).

4.7.2 Çözünürlüğe Bağılı Jeotermometreler

4.7.2.1 Silis Jeotermometreleri

akifer sıcaklığının belirlenmesinde Kuvars çözünürlüğüne bağılı jeotermometreler kullanılır. Bunlar 150 °C ile 225 °C sıcaklık aralığında iyi sonuç vermektedir. Sıcaklığı 225 °C'den fazla sıcaklığa sahip hazne kayaçlardan gelen sular gerçek sıcaklığı göstermemektedir. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kayaç sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken ki soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır (Tarcan, 2004).

4.7.3 İyon Değişimine Bağılı Jeotermometreler

4.7.3.1 Na/K, Na-Li, K-Mg- K-Ca ve Na-Ca Jeotermometreleri

Bu tür jeotermometreler, su içinde yüksek oranda Ca^{+2} iyonuna sahip olması halinde sıcaklık hesaplamalarında yüksek değer verirler (Tarcan, 2004).

4.7.3.2 Na-K-Ca Jeotermometreleri

Analiz sonuçlarında, özellikle Ca/Na (mmol/L) oranının birden büyük olduğu durumlarda Na/K jeotermometre bağıntıları akifer sıcaklığı hesaplamalarında çok yüksek değerler vermektedir.

4.7.4 Jeotermometre Hesaplamaları

Jeotermometre hesaplamaları için kullanılmakta olan formüller Tablo 4.22'de verilmektedir. Çalışma alanından alınan sıcak sulardaki analiz verilerinin jeotermometre hesaplamaları bu formüller kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 4.24 Jeotermometre hesaplarında kullanılan bağıntılar

Jeotermometre Adı	Bağıntı	Kaynak
1- SiO ₂ (Amorf silis)	$T=731/(4,52-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Fournier, 1977a
2- SiO ₂ (Alfa Kristobalit)	$T=1000/(4,78-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Fournier, 1977a
3- SiO ₂ (B Kristobalit)	$T= 781/(4,51-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Fournier, 1977a
4- SiO ₂ (Kalsedon)	$T= 1032/(4,69-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Fournier, 1977a
5- SiO ₂ (Kuars)	$T= 1309/(5,19-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Fournier, 1977a
6- SiO ₂ (Buhar kaybı)	$T= 1522/(5,75-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Fournier, 1977a
7-SiO ₂ (kalsedon, kondaktif soğuma)	$T=1112/(4,91-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Arnorsson, 1983
8-SiO ₂ (Kuars, buhar kaybı)	$T= 1264/(5,31-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Arnorsson, 1983
9-SiO ₂ (Kuars, buhar kaybı)	$T= 1021/(4,69-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Arnorsson, 1983
10-SiO ₂ (Kuars, buhar kaybı)	$T= 1164/(4,9-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Arnorsson, 1983
11-SiO ₂ (Kuars, buhar kaybı)	$T= 1498/(5,7-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Arnorsson, 1983
12- SiO ₂ (Kalsedon)*	$T= 1101/(0,11-\log\text{SiO}_2)-273,15$	Arnorsson, 1983
13-Na/K	$T=933/(0,933+\log\text{Na/K})-273,15$	Arnorsson, 1983
14-Na/K	$T=1319/(1,699+\log\text{Na/K})-273,15$	Arnorsson, 1983
15-Na/K	$T=777/(0,70+\log\text{Na/K})-273,15$	Fournier&Truesdell,1973
16-Na/K	$T=855,6/(0,857+\log\text{Na/K})-273,15$	Truesdell, 1976
17-Na/K	$T=1217/(1,483+\log\text{Na/K})-273,15$	Fournier, 1979
18-Na/K*	$T=908/(0,692-\log\text{Na/K})-273,15$	Arnorsson, 1983
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

Çalışma alanına ait örneklerden ölçülen sıcaklık değerleri ile jeotermometre formülleri uygulanarak hesaplamalar yapılmıştır (Tablo 4.23).

Tablolara göre hazne sıcaklıkları yorumlanmıştır buna göre, B-5, B-6, DB-1, DÇI-1, DK-1, DZ-1ve NK-1 kuyularının sıcaklık tahminleri silis jeotermometresine göre Tablo 4.24, Na/Ka kimyasal jeotermometresine göre Tablo 4.25'de verilmektedir.



Tablo 4.25 Çalışma alanına ait kuyulardan alınan su örnekleri ile yapılan jeotermometre hesapları

Kuyu No	B-4	B-5	B-6	BK-1	DB-1	DÇI-1	DK-1	DZ-1	NK-1
Sıcaklık (°C)	52,3	24,9	43,3	25,2	32	70,7	58,4	40	56,2
SiO ₂ (Quartz-no steam loss)	227,8	74,7	169,5	136,4	199,0	237,2	269,7	243,0	206,5
SiO ₂ (Quartz-maximum steam loss)	206,5	78,9	159,6	132,0	183,6	213,9	239,1	218,4	189,6
SiO ₂ (Chalcedony)	229,9	75,1	170,0	136,5	200,0	240,2	281,3	246,6	207,7
SiO ₂ (Quartz)	173,6	55,5	130,2	105,3	152,2	180,6	204,4	184,8	157,7
SiO ₂ (Quartz)	229,9	75,1	170,0	136,5	200,0	240,2	281,3	246,6	207,7
SiO ₂ (Quartz)	227,2	60,2	160,3	124,3	193,1	239,7	296,0	247,8	201,7
SiO ₂ (Quartz)	205,0	62,1	151,4	121,3	178,3	213,8	244,3	219,2	185,2
SiO ₂ (Chalcedony)	215,3	43,1	146,9	109,6	181,0	226,7	266,8	233,7	189,8
SiO ₂ (chalcedony, conductif cooling)	203,5	46,1	142,2	108,1	173,0	213,6	248,6	219,7	180,9
SiO ₂ (Moganite)	206,3	11,5	104,5	61,3	153,5	222,7	259,7	231,9	167,1
SiO ₂ (alpha cristobalite)	180,8	25,0	119,5	85,7	150,1	191,0	226,6	197,2	158,0
SiO ₂ (B Cristobalite)	130,9	-19,9	69,8	37,2	100,1	141,2	178,0	147,6	108,0
SiO ₂ (Amorphous silica)	103,1	-36,8	46,5	16,2	74,5	112,7	146,7	118,6	81,8
SiO ₂ (amorphous silica)	100,4	-35,9	42,6	13,1	71,1	110,2	144,4	116,2	78,6
SiO ₂ (chacedony after adiabatic steam loss to 100°C)	189,4	52,3	137,6	108,0	163,8	197,7	226,2	202,7	170,5
SiO ₂ (chalcedony steam loss)	210,1	39,7	142,4	105,5	176,1	221,4	261,1	228,3	184,9
SiO ₂ (Quartz steam loss)	227,9	62,0	163,3	127,3	195,7	238,6	275,6	245,1	204,0
SiO ₂ (Quartz after adiabatic steam loss to 100°C)	206,5	77,4	158,9	131,0	183,2	214,1	239,7	218,6	189,3
SiO ₂ (Chalcedony)*	68,8	44,9	44,9	172,5	172,5	172,5	213,4	219,6	219,6
Na/K	37,7	103,9	26,0	50,6	-2,0	120,7	93,3	53,6	64,2
Na/K	91,8	153,7	80,3	104,2	52,5	168,7	144,1	107,0	117,1
Na/K	38,0	106,7	26,0	51,4	-2,6	124,2	95,7	54,4	65,4
Na/K	49,7	114,6	38,1	62,5	10,2	130,8	104,3	65,4	75,9
Na/K	93,6	150,7	83,0	105,2	56,7	164,3	141,9	107,8	117,2
Na/K	76,7	135,4	65,9	88,6	39,4	149,6	126,4	91,2	100,8
Na/K	108,0	166,3	97,0	119,9	70,1	180,1	157,4	122,5	132,1
Na/K	301,5	133,4	133,4	45,3	45,3	45,3	146,9	92,7	92,7

Tablo 4.26 Çalışma alanındaki suların Silis jeotermometresine göre en yüksek ve en düşük sıcaklıkları

Örnek No	Sıcaklık (°C)		
	Ölçülen	En Düşük	En Yüksek
B-4	53,3	68,8	229,9
B-5	24,9	39,7	78,8
B-6	43,3	44,9	170,7
BK-1	25,2	25,2	172,5
DB-1	32	71,1	200
DÇI-1	70,2	110,2	240,2
DK-1	58,4	144,4	296
DZ-1	40	116,2	246,6
NK-1	56,2	78,6	219,6

Tablo 4.27 Çalışma alanındaki ait kuyulardan alınan su örneklerinin Na/Ka kimyasal jeotermometresine göre en yüksek ve en düşük sıcaklıkları.

Örnek No	Sıcaklık (°C)		
	Ölçülen		Ölçülen
B-4	53,3	37,7	301,5
B-5	24,9	103,9	166,3
B-6	43,3	65,9	133,4
BK-1	25,2	45,3	119,9
DB-1	32	39,4	70,1
DÇI-1	70,2	120,7	180,1
DK-1	58,4	95,7	157,4
DZ-1	40	53,6	122,5
NK-1	56,2	64,2	132,1

4.7.5 Jeotermometre Uygulanabilirliği

4.7.5.1 Giggenbach Üçgen Diyagramı

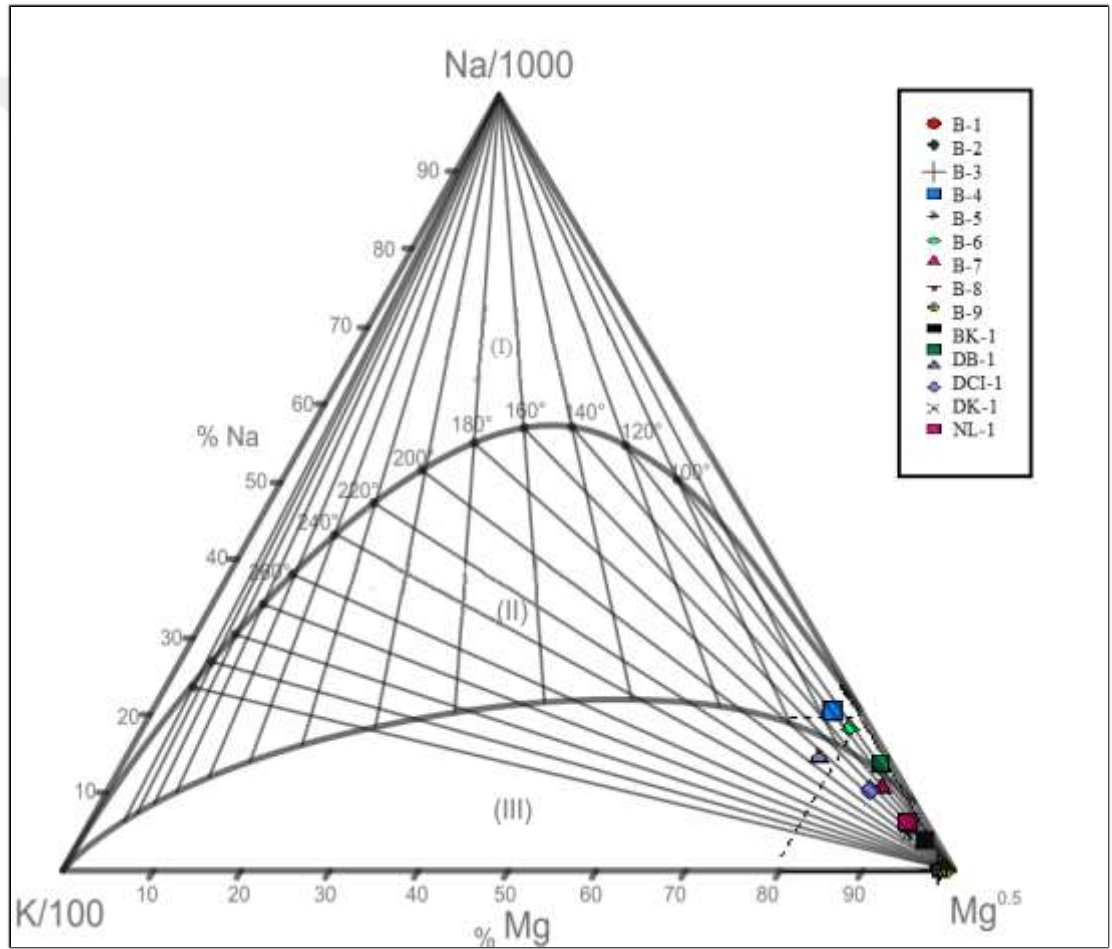
Giggenbach üçgen diyagramı, su örneklerinden elde edilen verilerden Na, K ve Mg değerlerinin diyagramda mg/L şeklinde yerleştirilmesiyle oluşturulmaktadır.

Diyagram üç ana bölümden oluşmaktadır. Alt kısım “Ham Sular”, orta kısım “Yarı Dengelenmiş Sular” ve üst kısım “Dengelenmiş Sular” şeklinde sıralanır.

Alt kısımda yer alan sular kimyasal olarak dengelenmemiş sulardır ve bu alanda yer alan su örneklerinin hesaplanan jeotermometre değerlerine tereddütle

bakılmalıdır. Orta kısımda yer alan sular kimyasal denge durumuna yaklaşmış sulardır ve bu bölge de yer alan su örnekleri için jeotermometre hesaplamaları gerçek ya da gerçeğe yakın sonuçlardır. Üst kısımda yer alan su örnekleri ise kimyasal olarak dengeye ulaşmıştır ve bu alanda kalan örnekler jeotermometre hesabı açısından kesin sonuçlar verir.

İnceleme alanına ait su örnekleri ile oluşturulan Giggenbach Üçgen Diyagramı Şekil 4.8 de verilmektedir.



Şekil 4.8 İnceleme alanından alınan su örneklerine ait Giggenbach Üçgen Diyagramı

Diyagramda B-4, B-6 v BK-1 su örneklerinin II no'lu alana düştüğü görülmektedir. Buna göre Bahçeliköy, Ortadoğu Balıkçılık, Dübek Jeotermal Kuyuları kimyasal dengeye yaklaşmış olan kuyulardır. Ancak II. Bölümde

bulunmasına rağmen bu sular III. Bölüme de oldukça yakın olduğu için ham su özellikleri de gösterebilir.

Diğer tüm su örnekleri ham su özellikleri göstermektedir bu nedenle jeotermometre hesapları kesin sonuçlar vermez. Soğuk su girişimi arttığında, numuneler “Ham Sular” sınıfına doğru yaklaşır. Karışım azalınca dengelenmeye doğru gider ve “Tam Dengelenmiş Sular” sınıfına yaklaşır.

4.7.6 Karışım Modelleri

Fournier 1977 senesinde hazırlanan karışım modelleriyle, soğuk su miktarının karışımı ve sıcaklık - buhar kaybının varlığı irdelenebilir. “Entalpi-Silis” karışım modeli ile ilgili çalışma yapılmıştır.

4.7.6.1 Entalpi - Silis Karışım Modeli

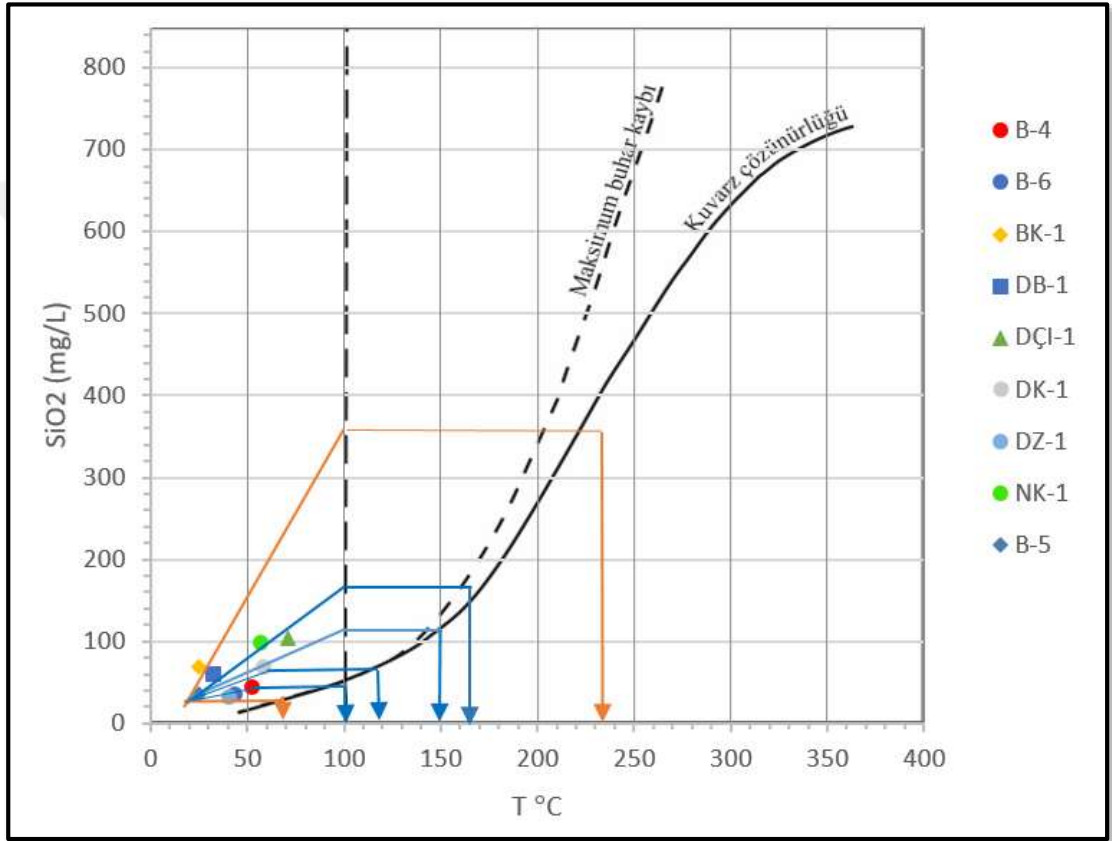
Fournier (1977b) hazırladığı Entalpi–Silis karışım modeli, hazne kayaç sıcaklıkları, sıcaklık - buhar kaybının varlığı için kullanılmaktadır. Entalpi–Silis karışım modelinde diyagramın düşey eksenini için SiO₂ (mg/L) değerleri, yatay ekseninde ise entalpi (cal/g) değerleri bulunmaktadır. İlâveten eksen üstünde bir adet “kuvars çözünürlüğü” eğrisi, bir adet “azami buhar kaybı” eğrisi ve 100 cal/g değerine dik sabit doğru yer almaktadır.

Diyagram üstünde her sıcak su numunesinin SiO₂ miktarı, sıcaklık değerleri noktalar şeklinde işaretlenir ve soğuk su numunesi işaretlenir. Sonra, her bir sıcak su noktası, ortalama soğuk su noktası ile işaretlenerek sıcak su doğruları çizilir. Bu doğrulardan, uzatıldığında kuvars çözünürlüğü eğrisini kesenler eğriyi kestikleri noktadan dik inilerek her bir numune için hazne kayaç sıcaklığı verisi elde edilir.

Kuvars çözünürlüğü eğrisini kesmeyen sıcak su doğruları için ise, 100 cal/g değerine dik olan sabit doğruyu kestiği noktadan yatay olarak kuvars çözünürlüğü eğrisini kestiği noktaya kadar devam edilir, kuvars çözünürlük eğrisini kestiği

noktadan dik inilerek hazne kayaç sıcaklığı verisi elde edilir. Grafikte, numunelerin sıcaklık değeri olarak bilinen hazne kayaç sıcaklıkları alınmıştır.

Çalışma alanından alınan verilerin analiz sonuçları kullanılarak oluşturulan değerler Entalpi–Silis karışım grafiği üstünde gösterilmiştir ve yorumlamalar yapılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Çalışma alanına ait silis-entalpi karışım modeli

"Entalpi-Silis Karışım Modeli" diyagramı üzerinde en yüksek rezervuar kayaç sıcaklığı 163°C ve en düşük sıcaklık değeri 67°C olarak saptanmıştır.

4.7.6.2 Kabuklaşma Analizi

Reed ve Spycher (1984) jeotermal alanlardaki hazne sıcaklığını tahmini için bir metot önermişlerdir.

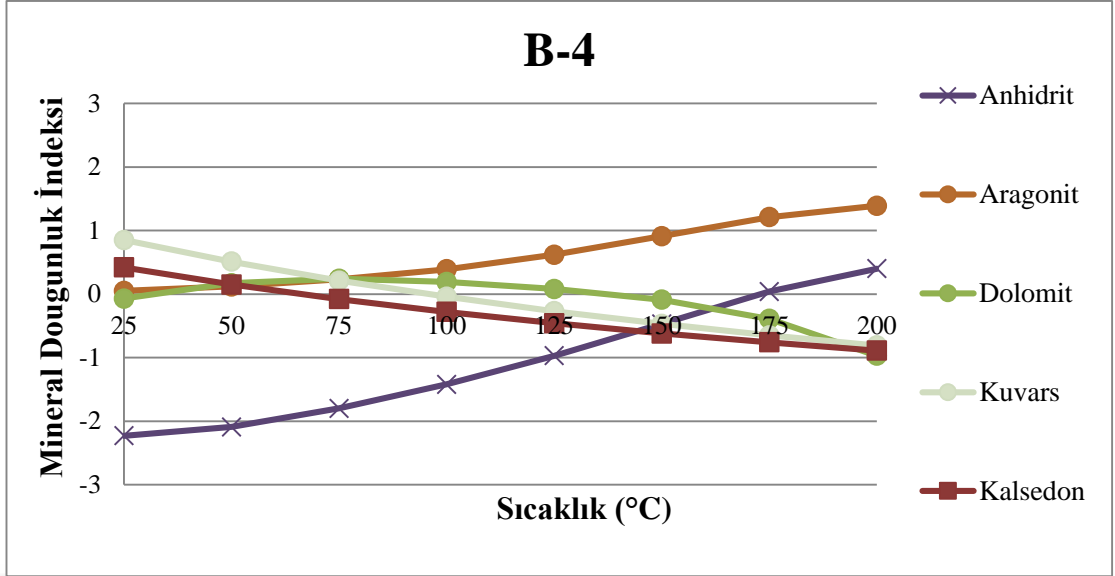
Bu metot sıcaklıkla mineral doygunluklarının değişmesi durumuna dayalıdır. Bu metotta minerallerin doygunluk indeksi değerlerinden yararlanılarak bu değerler doygunluk indeksi–sıcaklık diyagramlarında belirtilerek, birden çok aynı çeşit mineralin aynı sıcaklıktaki kesişmesi ile jeotermometre kestirimi yapılabilmiştir.

Doygunluk indekslerinin yararlanıldığı diyagramlarda, kabuklaşma gosteren ve kabuklaşma gösterebilecek minerallerin belirlenmesi ve her mineral için bir eğri oluşturulması esasına dayanır. Eğrilerin birden fazlasının denge çizgisinde kesişmesi durumunda, bu kesişim noktasına ait sıcaklığın “güvenli sıcaklık” olduğu ifade edilebilir.

Çalışma alanındaki sıcak sular için kabuklaşma analizi diyagramı yapılmış ve kabuklaşma yorumlanmıştır.

Çalışma alanındaki (B-4) Dübek jeotermal kuyusundan alınan su örneği ile bazı minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Őekil 4.10'da sunulmuştur. Grafięe göre Hazne kaya sıcaklıkları hesaplanamamaktadır. Ancak N/Ka termometresine göre hazne kaya sıcaklığı 68 °C ile 230°C arasında olduğunu dūřünebiliriz çünkü (Giggenbach diyagramında yarı ham sular sınıfına girmektedir) Bu grafikte Kuvars ve Kalsedon minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 88 °C ve üstündeki değerlerdir.

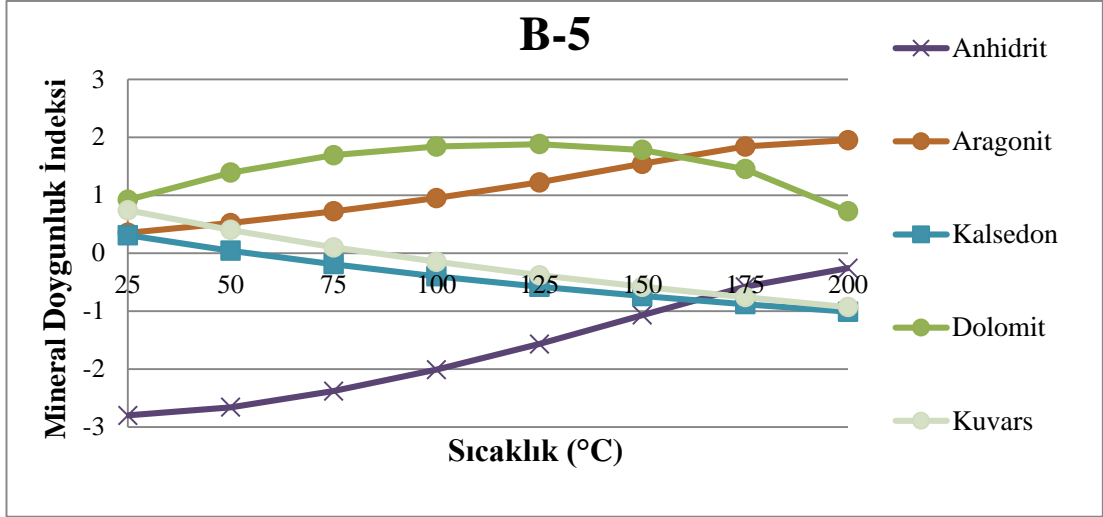
Kalsit ve aragonit mineralleri tüm sıcaklıklarda doygun haldedir ve inhibitör kullanımı gereklidir. Dolomitin kabuklaşma eğilimi gösterdiği sıcaklıkların 35 °C - 129 °C aralığında olduğu belirlenmiştir. Dolomit minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değerleri 35 °C - 129 °C'nin dışında kalan değerlerdir. Anhidrit minerali ise 140 °C'den sonra kabuklaşma eğilimi göstermektedir, 140 °C ve üstündeki durumlarda inhibitör gereklidir.



Şekil 4.10 B-4 su örneğine ait mineral doymuluk indeksi diyagramı

Çalışma alanındaki Güzellik Ilıcası'ndan alınan su örneği (B-5) ile mineral doymuluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 4.11'de sunulmuştur. Grafikte herhangi bir eğrinin kesişim yeri denge doğrusunun üzerine denk gelmediği için hazne sıcaklığı tahmini yapılamamıştır.

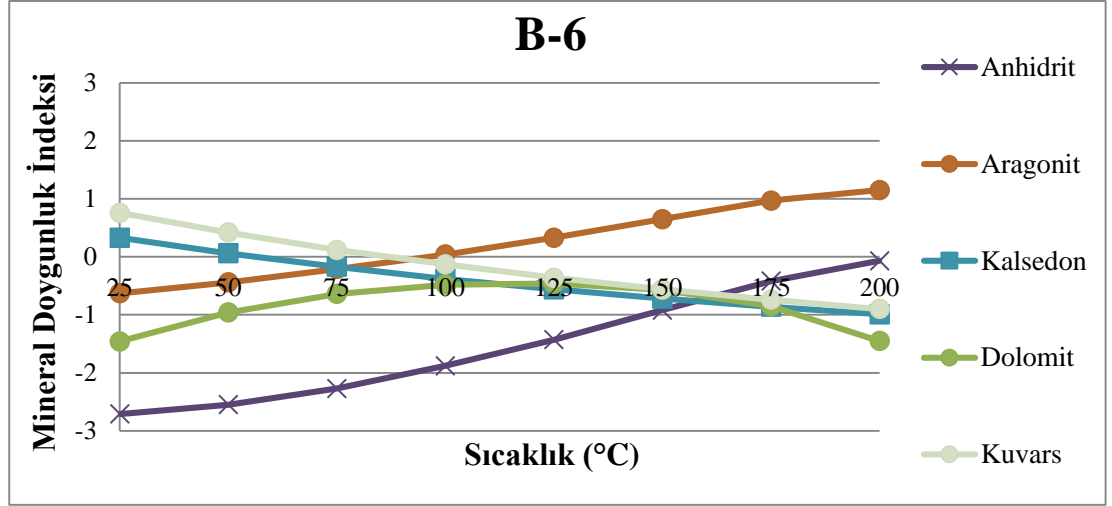
Kalsedonun doymuluk indeksinin dengeye ulaştığı sıcaklık 49°C civarında Bu iki mineralin kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 80°C ve üstündeki sıcaklık değerleri olmalıdır. Kuyudan alınan su örneğine göre anhidrit hiçbir sıcaklıkta kabuklaşma eğilimi göstermezken, aragonit, kalsit ve dolomit bütün sıcaklıklarda kabuklaşmaktadır. Bu nedenle inhibitör kullanımı gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.11 B-5 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı

Çalışma alanındaki B-6 kuyusundan alınan su örneği ile mineral doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 4.12'de sunulmuştur. Minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagramda gösterilmektedir.

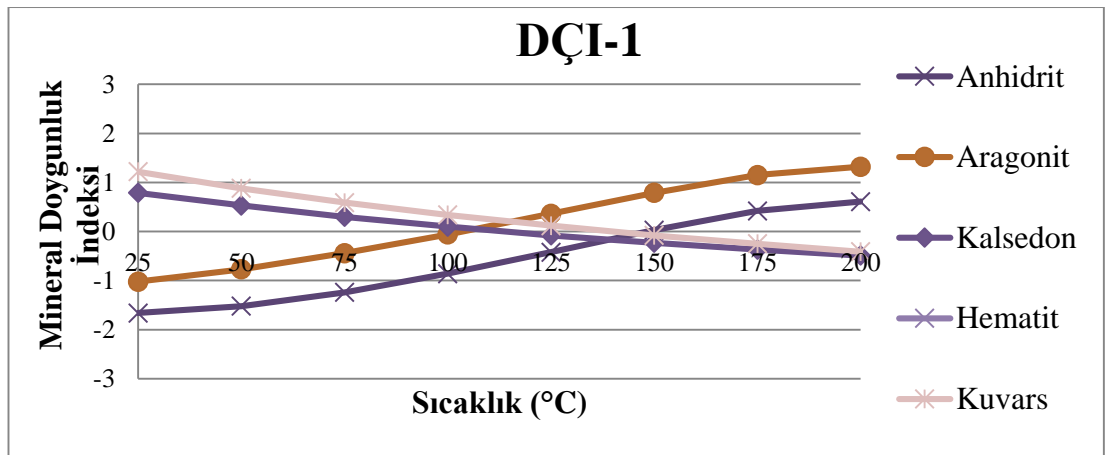
B-6 su örneğine ait kuyunun hazne kaya sıcaklığı 85 °C olarak değerlendirilebilir. Kalsedon minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 63 °C ve üstündeki değerlerdir. Bu iki mineralin kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 85 °C ve üstündeki sıcaklık değerleri olmalıdır. Aragonit ve kalsitin doygunluk indekslerinin dengeye ulaştığı sıcaklık 80 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Aragonit ve kalsit mineralleri için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 80°C ve altındaki değerlerdir. Aragonit ve kalsit için inhibitör kullanımı gerekebilir.



Şekil 4.12 B-6 kuyusundan alınan örneğe ait mineral doygunluk indeksi diyagramı

Çalışma alanındaki Çamur Ilıcası'ndan alınan su örneği (DÇI-1) ile mineral doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 4.12'de sunulmuştur. Minerallerin dengeye ulaştığı sıcaklıklar diyagramda gösterilmektedir.

Kalsedonun doygunluk indeksinin dengeye ulaştığı sıcaklık 106 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Kuvarın doygunluk indeksinin dengeye ulaştığı sıcaklık 140 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Bu iki mineralin kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 140 °C ve üstündeki sıcaklık değerleri olmalıdır. Aragonit ve kalsit mineralleri için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 100°C ve altındaki değerlerdir. Bu durumda Aragonit, kalsit için inhibitör kullanımı gereklidir.

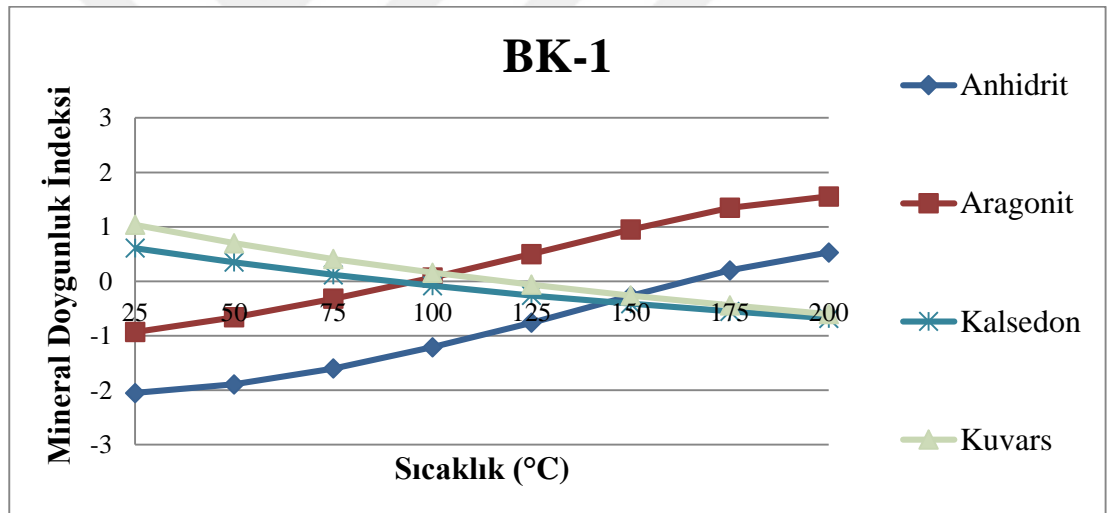


Şekil 4.13 DÇI-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı

BK-1 su örneğinde eğriler 80 °C ve 120 °C'de denge doğrusunun üzerinde kesişmektedir bu durum hazne sıcaklığın yaklaşık 80 °C ve 120 °C arası sıcaklıkta olduğunu göstermektedir.

Kalsedon ve Kuvars'ın kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 120 °C ve üstündeki sıcaklık değerleri olmalıdır.

Aragonitin ve kalsitin doygunluk indekslerinin dengeye ulaştığı sıcaklık 87 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Aragonit ve kalsit mineralleri için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 87°C ve altındaki değerlerdir. Bu durumda Aragonit, kalsit için inhibitör kullanımı gereklidir. Bu sıcaklıklar arası kullanımda dolomit için inhibitör kullanılması gerekmektedir.

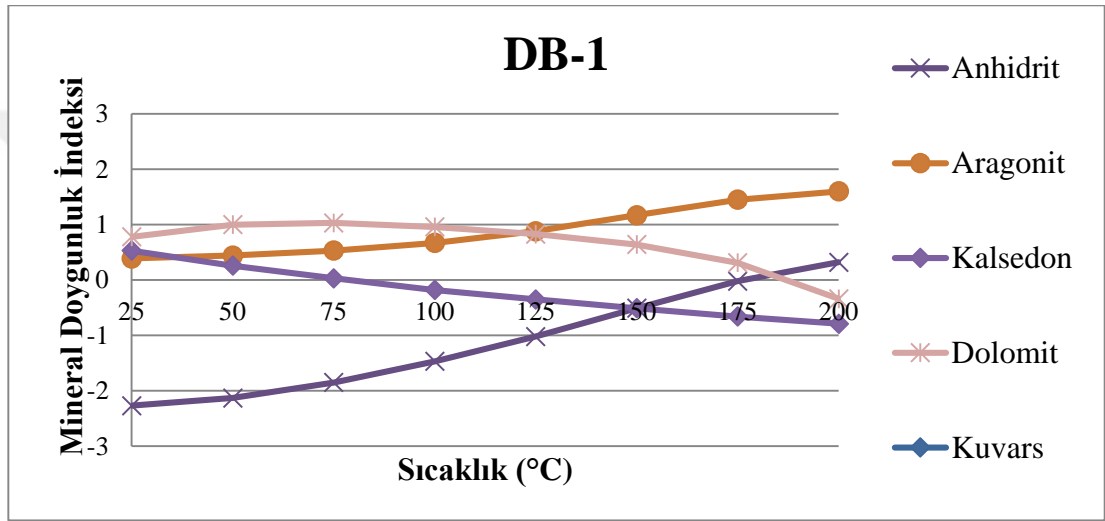


Şekil 4.14 BK-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı

Çalışma alanındaki Madra Çay için kuyusundan alınan su örneği (DB-1) ile mineral doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 4.15'de sunulmuştur.

Hazne sıcaklığı 200 °C civarı olabilir. Kalsedon minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 78°C ve üstündeki değerlerdir. Kuvars minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 110°C ve üstündeki değerlerdir.

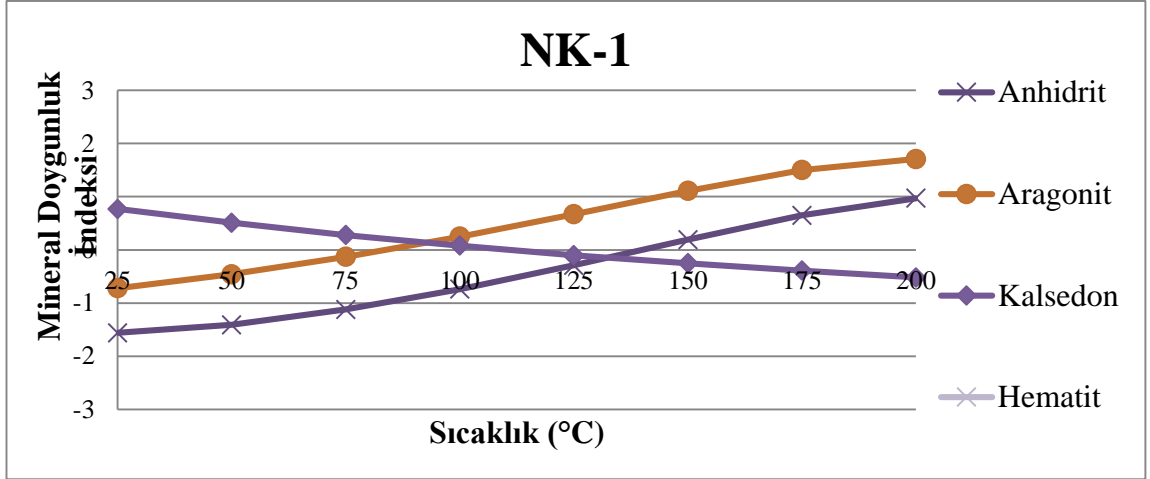
Dolomitin doygunluk indeksinin dengeye ulaştığı sıcaklık 190 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Bu üç mineralin kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 190 °C ve üstündeki sıcaklık değerleri olmalıdır. Aragonit ve kalsit tüm sıcaklık seviyelerinde kabuklaşma eğilimi gösterir. Anhidritin doygunluk indeksinin dengeye ulaştığı sıcaklık 190 °C'dir. Anhidrit minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 190 °C ve altındaki değerlerdir. Bu durumda Aragonit, kalsit ve Anhidrit için inhibitör kullanımı gereklidir.



Şekil 4.15 DB-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı

Çalışma alanındaki Nebiler Kaplıcasından alınan su örneği (NK-1) ile mineral doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 4.16'da sunulmuştur.

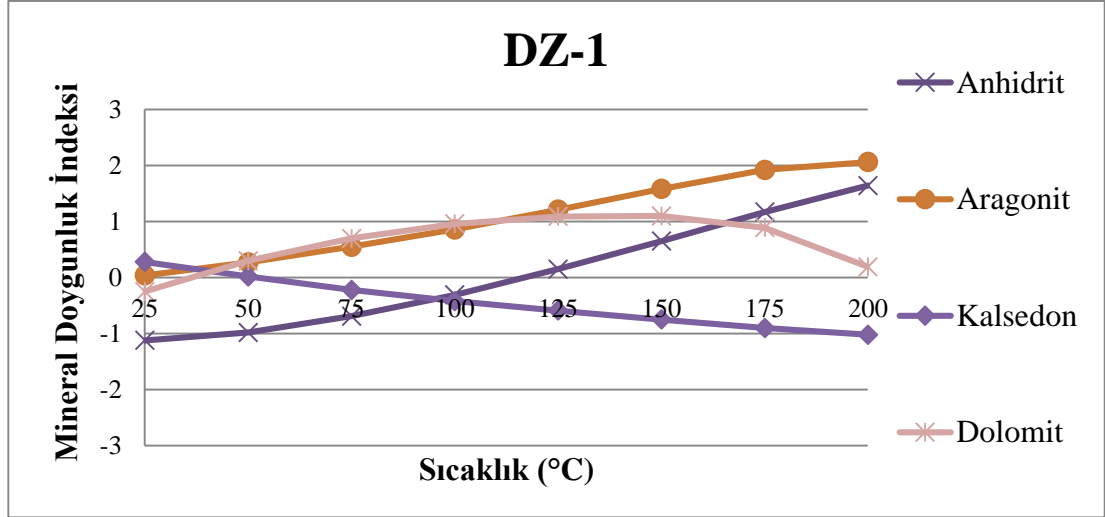
Eğriler 100 °C ve 135 °C'de denge doğrusunun üzerinde kesişmektedir bu durum hazne sıcaklığın yaklaşık 100 °C ve 135 °C arası sıcaklıkta olduğunu göstermektedir. Kalsedon ve Kuvarsın kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 110 °C - 135 °C ve üstündeki sıcaklık değerleri olmalıdır. Aragonit ve kalsit mineralleri için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 85 °C ve altındaki değerlerdir. Anhidrit minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 135 °C ve altındaki değerlerdir.



Şekil 4.16 NK-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı.

Çalışma alanındaki Zeytinalı Oteli'nden alınan su örneği (DZ-1) ile mineral doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 4.16'da sunulmuştur.

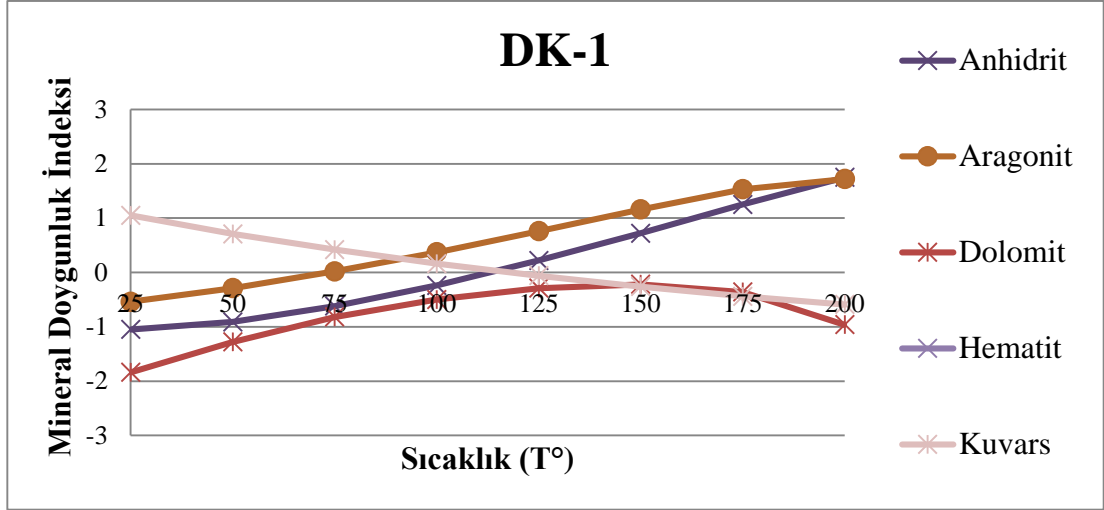
Eğriler 40 °C de denge doğrusunun üzerinde kesişmektedir bu durum hazne sıcaklığın yaklaşık 40 °C civarında olduğunu göstermektedir. Kalsedon minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 50 °C ve üstündeki değerlerdir. Kuvarsın doygunluk indeksinin dengeye ulaştığı sıcaklık 85 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Kuvars minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 85°C ve üstündeki değerlerdir. Kabuklaşma eğiliminde olan bu iki mineralin kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 85 °C ve üstündeki sıcaklık değerleri olmalıdır. Aragonit ve kalsit tüm sıcaklıklarda kabuklaşma eğilimi göstermektedir. Anhidrit minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 135°C ve altındaki değerlerdir. Dolomit minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 30 °C ve altındaki değerlerdir. Talk minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 35 °C ve altındaki değerlerdir. Bu durumda aragonit, kalsit, anhidrit, dolomit ve talk için inhibitör kullanımı gereklidir.



Şekil 4.17 DZ-1 su örneğine ait mineral doymunluk indeksi diyagramı

Çalışma alanındaki Kocaoba Köyü'nden alınan su örneği DK-1 ile mineral doymunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 4.18'de sunulmuştur. Eğriler 65 °C ve 115 °C'de denge doğrusunun üzerinde kesişmektedir bu durum hazne sıcaklığın yaklaşık 65 °C ve 115 °C arası sıcaklıkta olduğunu göstermektedir. Kalsedonun doymunluk indeksinin dengeye ulaştığı sıcaklık 80 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Kuvarsın doymunluk indeksinin dengeye ulaştığı sıcaklık 120 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Bu iki mineralin kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 80 °C ve üstündeki sıcaklık değerleri olmalıdır. Aragonit ve kalsitin doymunluk indekslerinin doymunluğa ulaştığı sıcaklık yaklaşık 65 °C'dir. Aragonit ve kalsit için saptanması gereken güvenli sıcaklık 65 °C ve altındaki sıcaklık seviyeleridir.

Anhidritin doymunluk indeksinin dengeye ulaştığı sıcaklık 115 °C'dir. Anhidrit minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 115°C ve altındaki değerlerdir. Talkın doymunluk indeksinin dengeye ulaştığı sıcaklık 70 °C'dir. Talk minerali için kabuklaşma tehlikesini ortadan kaldıran güvenli sıcaklık değeri 70 °C ve altındaki değerlerdir. Bu durumda aragonit, kalsit, anhidrit ve talk için inhibitör kullanımı gereklidir. Dolomit hiçbir sıcaklıkta kabuklaşma eğilimi göstermemektedir.



Şekil 4.18 DK-1 su örneğine ait mineral doygunluk indeksi diyagramı

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Kocaoba (Dikili) ve çevresindeki (Bergama) yeraltı sularının hidrojeolojik özellikleri ve mevcut kimyasal analizleri derlenerek hidrojeokimyasal değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Yüksek lisans tezi doğrultusunda yapılan çalışmalara ilk olarak literatür çalışması yapılarak başlanılmıştır. Daha sonra arazi, laboratuvar ve ofis çalışmaları şeklinde tamamlanmıştır. Literatür çalışmaları, Kocaoba ve çevresinde yapılan jeolojik, tektonik, hidrojeolojik, jeotermal çalışmaların derlenmesi ve bu verilerin incelenmesi şeklinde yapılmıştır.

Çalışma alanının jeolojisinin temel kayalarını Kozak Plütону, I.Yuntdağ Volkanitleri, Soma Formasyonu, Piroklastik kayalar, II. Yuntdağ volkanitleri, III. Yuntdağ volkanitleri ve Dededağ Bazaltları ile alüvyonlar oluşturulmaktadır.

Ayrıca araştırma alanının Güney Batısı'nın olduğu bölge içerisinde Dikili - Kaynarca mevki arasında yapılan çalışmada KB - GD, KD - GB ve BKB - DGD gidişli olmak üzere üç tip fay tespit edilmiştir.

Tektonik zonlarda ikincil gözeneklilik ve geçirgenlik arttığı için Yuntdağ Volkaniti-I rezervuar özelliği kazanmışlardır. Demirtaş Piroklastikleri düşük porozite özelliğine sahip olmaları nedeniyle örtü kaya özelliğindedir. Yuntdağ Volkaniti-II düşük dereceli rezervuar oluşturabilir. Yuntdağ Volkaniti-III ısıtıcı kaya özelliğinde olup, sıcak kaynaklar ve altere olmuş zonlar bu birimin etrafında bulunmaktadır. Alüvyon ise içerisinde akifer özelliği taşıyan en önemli birimdir.

Bölgedeki sıcak sular tektonik hatlar boyunca Kozak Bölgesi'nden yeraltına süzülen meteorik suların derinlerde ısınıp, kırık ve faylar boyunca tekrar yüzeylemesi ile oluşan devirli sistem özelliğindedirler. Sıcak sular bu yükselimleri sırasında belirli oranda soğuk yer altı suları ile karışabilmektedirler.

Kocaoba ve çevresinden alınan 15 ayrı su noktasından örnekler alınarak iyonik içerikleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre birincil iyonlar; Ca^{+2} , Mg^{+} , Na^{+} , K^{+} , Cl^{-} , CO_3 , HCO_3^{-} , SO_4^{-2} ve Si, ikincil iyonlar; Li^{+} , Al, B^{+3} , As, Sr^{+2} ve Fe^{+3} olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanından alınan su örnekleri kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından incelenmiştir. Su örneklerinin pH değerleri 6,14 ile 8,07 arasında değişmektedir. Su örneklerinin EC değerlerine göre sınıflandırılmasına göre Bergama Ovası-1, Bergama Ovası-2 ve İçme Suyu Kuyusu'ndan alınan örnekler iyi, geri de kalan Bergama'ya ait örneklerin kullanılabilir olduğu, Kocaoba ve çevresinden alınmış sularda ise Kocaoba Köyü'ndeki suyun şüpheli, geri kalan 5 kuyunun ise kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanından alınan su örneklerinin Schoeller Yarı Logaritmik Diyagrama Göre sınıflandırılması yapılmıştır. Buna göre Kocaoba (Dikili) bölgesindeki su kuyuları benzer akiferlerden gelmektedir. Kocaoba'dan alınan Bahçeliköy (BK-1), Madra Çayıçi (DB-1), Çamur Ilıcası (DÇI-1), Kocaoba köyü (DK-1), Zeytindalı oteli (DZ-1) ve Nebiler Kaplıcası (NK-1) kuyuları benzer akiferlerden gelmektedir. Bu örneklerin hepsinin kalsiyum, magnezyum değerleri azalırken sodyum, potasyum ve sülfat değerleri artış göstermektedir. Ancak Kocaoba köyü (DK-1) ve Zeytindalı oteli (DZ-1) kuyularından alınan örneklerde bikarbonat değerinin diğer su örneklerinin aksine düşüşü gözlenmektedir. Ayrıca magnezyum değerlerinin diğer su örneklerine nazaran daha fazla düştüğü ve sülfat değerlerinin ise daha fazla yükseldiği gözlenmektedir.

Çalışma alanından alınan Bergama Ovası (B-1), Bergama Ovası2 (B-2), İçme Suyu Kuyusu (B-3), Dübek Jeotermal Kuyusu (B-4), Güzellik Ilıcası (B-5), Ortadoğu Balıkçılık (B-6), Site Bahçe Sulama (B-7), Bergama Tepeköy Mahallesi (B-8) ve Tepeköy Çeşmesi (B-9) ise farklı bir akiferden gelmektedir.

B-4, B-6 ve B-7 su örneklerinin kalsiyum, magnezyum değerleri azalırken sodyum, potasyum ve sülfat değerleri artış göstermektedir. B-1, B-2, B-3, B-5, B-8 ve B-9 su örnekleri ise diğer örneklerin tersine kalsiyum ve magnezyum içerikleri yüksekken, sodyum, potasyum ve sülfat içerikleri düşüktür. Bu grup içinde B-5 su örneği bu altı örnek içinde en düşük kalsiyum ve magnezyum değerine sahiptir.

Su örnekleri Piper Üçgen Diyagramında incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Buna göre; çalışma alanının Güney'inde bulunan Bergama Ovası (B-1), Bergama Ovası 2 (B-2), İçme Suyu Kuyusu (B-3), Tepeköy Çeşmesi (B-9) ve Bergama Tepeköy Mahallesi (B-8) kuyularının alkali toprak elementleri alkali elementlerinden fazladır ve bu kuyulara ait sular %50'den fazla karbonat oranına sahiptir. Madra Çayı (DB-1), Kocaoba köyü (DK-1), Ortadoğu Balıkçılık (B-6), Dübek Jeotermal Kuyusu (B-4) ve Güzellik Ilıcası (B-5) diyagramda ele alındığında bu kuyulara ait sular alkali toprak elementleri alkali elementlere oranla daha düşüktür ve güçlü asitler egemendir. Nebiler Kaplıcası (NK-1), Çamur Ilıcası (DÇI-1) ve Bahçeliköy Kuyuları (BK-1) ile Zeytindalı Otel (DZ-1) kuyuları karışık sular grubuna girer. Nebiler Kaplıcası (NK-1), Çamur Ilıcası (DÇI-1) ve Bahçeliköy (BK-1) kuyularında alkali toprak elementler alkali elementlere oranla düşüktür, Zeytindalı Otel Kuyusu'nda (DZ-1) ise güçlü asit kökleri zayıf asit köklerine oranla fazladır.

Çalışma alanından alınan su örneklerinin Fransız Sertlik Sınıflaması yapılmıştır. Buna göre genel olarak Kocaoba'da oldukça sert sular daha çok bulunurken, Bergama bölümlerine doğru suların sertliği düşmekte ve sular yumuşamaktadır.

Çalışma alanından alınan su örneklerinin mineral doygunluk indeksleri incelenmiştir.

Bergama alınan su örneklerinin mineral doygunluk özellikleri incelenmiş ve anhidrit, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, hematit, kuvars ve talk minerallerinin doygunluk değerleri hesaplanmıştır.

Çalışma alanındaki ait kuyulardan alınan su örneklerinin içme suyu özelliklerini incelemek amacıyla kuyulardan su örneği alınarak sıcaklıkları incelenmiştir. Buna göre Kocaoba' daki kuyularda en yüksek sıcaklık 70 °C ve en düşük sıcaklık 25,2 °C arasında olduğu ancak güneşe doğru gidildikçe sıcaklıkların Bergama bölgesi yakınlarında düşüş gösterdiği değerlendirilmiştir. Bergama'da en yüksek sıcaklık Dübek Jeotermal Kuyusu'nda 52,3 °C en düşük sıcaklık ise Tepeköy Çeşmesi'nde 19,82 °C olarak hesaplanmıştır. Bu durumda çalışma alanındaki su sıcaklıkları içme suyu sıcaklıklarının kısmen dışında kalmaktadır.

Çalışma alanına ait su örneklerinin Suların Sodyum Adsorpsiyon Oranına (SAR) göre sınıflaması yapılmış ve Dübek Jeotermal Kuyusu (B-4) hariç diğer kuyulara ait suların çok iyi ve orta özellikte olduğu belirlenmiştir. Su örneklerinin rCl değerlerine bakılarak Bahçeliköy (BK-1), Bergama Ovası (B-1), Bergama Ovası 2 (B-2) İçme Suyu kuyusu (B-3), Güzellik Ilıcası (B-5), Ortadoğu Balıkçılık (B-6), Site Bahçe Sulama (B-7), Bergama Tepeköy Mahallesi (B-8) ve Tepeköy Çeşmesi'ne (B-9) ait kuyulara ait sular şüpheli, geri kalan kuyulara ait sular ise iyi olarak belirlenmiştir.

Ayrıca su örneklerinin rSO_4^{-2} değerleri incelendiğinde; Bergama Ovası (B-1), Bergama Ovası 2 (B-2), Tepeköy Çeşmesi (B-9) ve Bergama Tepeköy Mahallesi (B-8) kuyularının kullanılabilir, Güzellik Ilıcası (B-5) su örneğinin iyi, geri kalan örneklere ait su kuyularının da kullanılamaz sınıfına dâhil olduğu gözlemlenir. Çalışma alanına ait Güney bölgelerden alınan örnekler Bor içermektedir. Bu oran oldukça azdır. En yüksek 0,70 değeri ile Dübek Jeotermal Kuyusu'na (B-4) aittir ancak genel anlamda bor miktarı bitki türlerine zararlı olacak ölçüde değildir.

Wilcox Diyagramı'na göre su örnekleri incelendiğinde Dübek Jeotermal Kuyusu'nun (B-4) kullanılamaz, Ortadoğu Balıkçılık (B-6), Site Bahçe Sulama (B-7) ve Madra Çayıçi (DB-1) kuyularının şüpheli - kullanılamaz, Nebiler Kaplıcası (NB-1), Kocaoba köyü (DK-1), Güzellik Ilıcası (B-5) su kuyularının şüpheli kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

İçme Suyu Kuyusu (B-3), Tepeköy eşmesi (B-9), Bergama Tepeköy Mahallesi (B-8) ve Zeytinalı Oteli (DZ-1) kuyularının iyi-kullanılabilir, son olarak da Bergama Ovası-1 (B-1), Bergama Ovası'ndan (B-2) alınan suların çok iyi-iyi olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki su kuyularından alınan su  rnekleri ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramında incelenmiştir. Buna göre; amur Ilıcası (DI-1) C4-S4 bölgesine düşmekte olduğundan sulama suyu olarak elverişsizdir, sadece tuzlu su seven bitkiler için kullanılabilir. D bek Jeotermal Kuyusu (B-4), Ortadoğu Balıkçılık (B-6), Site Bahçe Sulama (B-7), Madra ayıi (DB-1) kuyularına ait sular da C3-S4 bölgesine düşer ve sadece tuza dayanıklı bitkiler için kullanılmalıdır. Kocaoba köyü (DK-1), Güzellik Ilıcası (B-5), Nebiler Kaplıcası (NK-1) C3-S2 bölgesine düşmektedir, geçirgen ve jipsli arazilerde sulama suyu olarak tercih edilebilir. Bahçeliköy (BK-1), Zeytinalı Oteli (DZ-1) ve Tepeköy eşmesi (B-9) C3-S1 alanına düşmektedir, az sodyum içermesine rağmen tuza dayanıklı bitkilerde kullanılabilir. Sulamaya en uygun kuyular ise Bergama Ovası-1 (B-1) ve Bergama Ovası-2'ye (B-2), İçme Suyu Kuyusu (B-3) ve Bergama Tepeköy Mahallesi (B-8) olarak belirlenmiştir. Bu sular genel olarak her türlü sulama suyu olarak kullanılabilir.

Çalışma alanındaki kuyulardan alınan sıcak su örneklerinin jeotermal hesaplamalar ve uygulamalar kullanılarak hazne kaya sıcaklık tahminleri yapılmıştır. Silis Jeotermometresine göre D bek Jeotermal Kuyusu (B-4) en d şuk 68,8  C, en yüksek 229,9 C, Güzellik Ilıcası (B-5) en d şuk 39,7 C, en yüksek 78,8  C, Ortadoğu Balıkçılık (B-6) en d şuk 44,9  C, en yüksek 170,7 C, olarak hesaplanmıştır. Bahçeliköy en d şuk 25,2  C, en yüksek 172,5  C, Madra ayıi en d şuk (DB-1) 71,1  C, en yüksek 200  C, amur Ilıcası (DI-1) en d şuk 110,2  C, en yüksek 240,2 C değerlerini almıştır.

Ayrıca Kocaoba köyü (DK-1) en d şuk 144,4 C, en yüksek 296 C, Zeytinalı Oteli (DZ-1) en d şuk 116,2  C, en yüksek 246,6  C ve Nebiler Kaplıcası (NK-1) en d şuk 78,6 C, en yüksek 219,6 C olarak belirlenmiştir.

Na/Ka Kimyasal Jeotermometresine göre Dübek Jeotermal Kuyusu (B-4) en düşük 37,7 °C, en yüksek 301,5°C, Güzellik Ilıcası (B-5) en düşük 103,9 °C, en yüksek 166,3 °C, Ortadoğu Balıkçılık (B-6) en düşük 65,9 °C, en yüksek 133,4 °C olarak hesaplanmıştır. Bahçeliköy (BK-1) en düşük 45,3 °C, en yüksek 119,9 °C, Madra Çayı en düşük (DB-1) 39,4°C, en yüksek 70,1 °C, Çamur Ilıcası (DÇI-1) en düşük 120,7, en yüksek 180, °C, Kocaoba köyü (DK-1) en düşük 95,7 °C, en yüksek 157,4°C olarak bulunmuştur. Ayrıca Zeytinalı Oteli (DZ-1) en düşük 53,6 °C, en yüksek 122,5 °C ve Nebiler Kaplıcası (NK-1) en düşük 64,2 °C, en yüksek 132,1 °C olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki kuyulardan alınan sıcak su örnekleri Giggenbach Üçgen Diyagramında incelenmiştir. Buna göre Diyagramda B-4, B-6 v BK-1 su örnekleri II numaralı alanına düştüğü görülmektedir. Buna göre Bahçeliköy (BK-1), Ortadoğu Balıkçılık (B-6) ve Dübek Jeotermal Kuyusu'nun (B-4) kimyasal dengeye yaklaşmış olduğu belirlenmiştir. Ancak II. Bölümde bulunmasına rağmen bu sular III. Bölüme de oldukça yakın olduğu için ham su özellikleri de gösterebilir. Diğer tüm kuyulardan alınan su örnekleri ham su özellikleri göstermektedir bu nedenle jeotermometre hesapları kesin sonuçlar vermez. Bu durumda çalışma alanındaki kuyularda soğuk su girişiminin fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Çalışma alanından alınan su örnekleri hazne kaya sıcaklığını öğrenmek için Entalpi-Silis Karışım Modeli diyagramında incelenmiştir. Buna göre hazne kaya sıcaklığı 123 °C ve en düşük sıcaklık değeri 67 °C olarak saptanmıştır.

Çalışma alanından alınan su örneklerinin Kabuklaşma Analizi yapılmıştır. Buna göre eğrileri denge çizgisi üzerinde kesişen B-6 su örneğine ait kuyunun hazne kaya sıcaklığı 85 °C, DÇI-1 su örneğine ait kuyunun hazne kaya sıcaklığı 110 °C ile 148 °C arasında olarak hesaplanmıştır. BK-1 su örneğine ait kuyunun hazne kaya sıcaklığı 80 °C ile 120 °C arasında, NK-1 su örneğine ait kuyunun hazne kaya sıcaklığı 100 °C ile 135 °C arasında olduğu belirlenmiştir. DZ-1 su örneğine ait kuyunun hazne kaya sıcaklığı ise 40 °C ve DK-1 su örneğine ait kuyunun hazne kaya sıcaklığı 65 °C ile 115 °C arasında olduğu belirlenmiştir.

Geri kalan su örneklerinin eğrileri denge çizgisinin üzerinde kesişmediği için hazne kaya sıcaklığı tahmin edilemez. Ayrıca su örneklerine ait mineral doygunluk indeksleri incelendiğinde Denge doğrusunun aşağısında ve yukarısında kesişmeler olduğu görülmektedir. Bu durum akışkanların karıştığını ve sudan buhar ayrılması ile farklı sıcaklık karışımlarının olduğunu belirtmektedir. Kabuklaşmanın fazla olduğu bu kuyuların hepsi için inhibitör kullanımı önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Arnorsson, S. (1983). Chemical Equilibria in Icelandic Geothermal Systems - Implications for Chemical Geothermometry Investigations. *Geothermics*, 12(2-3), 119-128.
- Back, W. (1996). Hydrochemical facies and groundwaterflow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. *U.S. Geology Survey Professional paper*, 488-A, 42.
- Başkan, M. E., & Canik, B. (1983). Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası Ege Bölgesi. *Maden Tetkik Arama Genel Enstitüsü*(189).
- Bayarı , C. S., Özyurt, N. N., & Kilani, S. (2005). Konya kapalı havzası yeraltısuyunda Karbon-14 yaş dağılımı,. *II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu* (47-168). İzmir: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Canik, B. (2003). *Hidrojeoloji* (Cilt 2. Baskı). Ankara: Ertem Matbaası.
- Erguvanlı , K., & Yüzer, E. (1973). *Yeraltısuları Jeolojisi (Hidrojeoloji)*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Esder, T. (1989). *Kaynarca (Dikili- Bergama) Jeotermal Alanı İçerisinde Yer Alan Kadir Çolak'a Ait Arazi ve Çevresinin Hidrojeolojik Etüdü*. İzmir.
- Filiz, S., & Tarcan, G. (1997). Bergama Kleopatra Kaplıcasının Hidrojeolojik. *Selçuk Üniversitesi 20.Yıl Jeoloji Sempozyumu*. Konya.
- Filiz, S., Tarcan, G., & Irmak, U. (1995). High Boron Content in the aquifer systems of the Gediz Basin. *IESCA*, İzmir-Güllük (9-14).
- Fouillac, C., & Michard, G. (1981). Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. *Geothermics*(10), 55-70.

- Fournier, R. O. (1977a). A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. In: Proceedings of the Symp. on Geoth Energy. *Cento Scientific Programme*, (133-143). Ankara.
- Fournier, R. O. (1979). A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Res. Council Trans. Geothermal Resources Council Trans*(3), 221-224.
- Fournier, R. O. (1990). Interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. *International Symposium on Geothermal Energy* , 14, 1421-1425.
- Fournier, R. O., & Potter, R. W. (1982). A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geothermal Research Council Bull.*, 11, 3-9.
- Fournier, R. O., & Rowe, J. J. (1966). Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet-steam wells. *American Journal of Science*, 264(9), 685-697.
- Fournier, R. O., & Truesdell, A. H. (1970). Chemical indicators of subsurface temperature applied to hot spring waters of Yellowstone National Park, Wyoming, USA. *Geothermics*, 2(1), 529-535.
- Fournier, R. O., & Truesdell, A. H. (1973). An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1255-1275.
- Giggenbach, W. F. (1988). Geothermal solute equilibria. derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(12), 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, India. *Geothermics*, 5, 51-62.

Google Earth. (2018). *Çalışma alanın uydu görüntüsü.*

Google Maps. (2017). Yer bulduru haritası. 22 Kasım 2018, <https://www.google.com.tr/maps/place/Dikili,+35980+Dikili%2F%C4%B0zmir/@39.0820133,26.8536026,13z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x14ba14017f6946bd:0x7af495ca8d0aab1d!8m2!3d39.0749!4d26.889199>.

Kharaka, Y. K., & Mariner, R. H. (1989). Chemical Geothermometers and their Application to formation waters from sedimentary basins. N. D. Näser, & T. H. McCulloh (Dü) içinde, *Thermal History of Sedimentary basins; Methods and Case Histories* (99-177). Springer Verlag.

Kharaka, Y. K., Lico, M. S., & Law, L. M. (1982). Chemical geothermometers applied to formation waters, Gulf of Mexico and California Basins. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull*, 66, 558.

Koçak, A. (2002). *Jeotermal sistemler ve hidrolojik modelleme*. (M. Y. Savaşçın, N. Güleç, Ş. Şişek, & M. Parlaktuna, Dü) İzmir: D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi.

Koçak, A. (2002). *Jeotermal sistemler ve hidrolojik modelleme, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Kitabı*. (M. Y. Savaşçın, N. Güleç, Ş. Şişek, & M. Parlaktuna, Dü) İzmir: D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi.

Koga, A. (1970). Geochemistry of the waters discharged from drillholes in the Otake and Hatchobaru areas. *Geothermics*, 2, 1422-1425.

Lindal, B. (1973). Industrial and other applications of geothermal energy: except power production and district heating in Geothermal Energy. *Review of Research Development* (135-148). Paris: Unesco.

Mahon, W. A. (19636). Silica in hot water discharged from drillholes at Wairake. *NzJ Science*, 165-144.

MTA - JICA. (1986). *Pre-Feasibility Study on the Dikili Bergama Geothermal Development Project in the Republic of Turkey*. Maden Tetkik Arama. Ankara: MTA.

MTA - JICA. (1987). *The pre- phsibility study on the Dikili-Bergama geothermal development project in the republic of Turkey*. Maden Tetkik Arama - Japan International Cooperation Agency. Maden Tetkik Arama Ege Bölgesi.

Nieva, D., & Nieva, R. (1987). Development in geothermal energy in Mexico, part 12-Acatic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. *Heat Recovery Systems and CHP*, 7, 243-258.

Özen, T., & Tarcan, G. (2001). Dikili (İzmir) Ilıcaları çevresinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan değerlendirilmesi. *Yeraltı Suları ve Çevre Sempozyumu* (351-359). İzmir: ÇEVJEO Bildiriler Kitabı.

Özen, T., & Tarcan, G. (2005). Dikili Çamur, Kaynarca ve Kocaoba (Dikili-İzmir) jeotermal sistemlerinin hidrojeokimyasal ve izotopik açıdan irdelenmesi. *II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu* (169-182). İzmir: DSİ Genel Müdürlüğü.

Özen, T., & Tarcan, G. (2005). Hydrogeochemical estimations of the Salihli geothermal areas, Manisa, Turkey. *International earth Sciences Colloquium on the Aegean Region - IESCA, Abstract 171*. Izmir.

Pope, L. A., Hajash, A., & Popp, R. K. (1987). An experimental investigation of the quartz, Na-K, Na-K-Ca geothermometers and the effects of fluid composition. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 31, 1-2.

- Reed, M., & Spycher, N. (1984). Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 1479-1492.
- Şahinci , A. (1991). *Jeotermal sistemler ve jeokimyasal özellikleri*. İzmir: Reform Matbaası.
- Şahinci, A. (1986). *Yeraltı suları jeokimyası*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları.
- Şengör, A. C. (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. *Türkiye Jeoloji Kurumu*, 40.
- Şengül, F., & Türkman, A. (1998). *Su ve atıksu analizleri*. İzmir: Türkiye Mimarlar ve Mühendisler Odası Birliği, Çevre Mühendisleri Odası.
- Tarcan, G. (2002). *Jeotermal su kimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Kitabı*. (M. Y. Savaşçın, N. Güleç, Ş. Şişek, & M. Parlaktuna, Dü) İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi.
- Tonanni, F. (1980). Some remarks of the application of geochemical techniques in geothermal exploration proceedings. *Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp.*, (s. 428-443). Strasbourg.
- Türk Standartları 266 (TS-266). (2005). *İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, sular-içme ve kullanma suları*. Ankara.
- Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations In Turkey. *International Journal of Climatology*, 16, 1057-1076.
- World Health Organization. (1993). Drinking water standarts. *In Engineering Geology And Environmental Approach (Rahn, P., 1996)*, 256-257.

Yılmaz, H., Oyman, T., Arehart, G. B., Çolakoğlu, A. R., & Billor, Z. (2007). Low-sulfidation type Au-Ag mineralization at Bergama, İzmir, Turkey. *Ore Geology Reviews*, 81-124.

Yılmazer, S. (1984). *Ege Bölgesindeki Bazı Sıcak Su Kaynaklarının Hidrokimyasal ve Hidrojeolojik İncelemeleri*. 1-118. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Yılmazer, S., & Can, A. R. (1978). *Dikili-Bergama Gradyan Sondajları Değerlendirme Raporu*. Rapor No: 0534. İzmir: MTA.

