

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALAŞEHİR-PİYADELER (MANİSA)
JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLOJİSİ
VE JEOKİMYASI

Seray IŞIK

Eylül, 2018
İZMİR

**ALAŞEHİR-PİYADELER (MANİSA)
JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLOJİSİ
VE JEOKİMYASI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programı

Seray IŞIK

Eylül, 2018

İZMİR

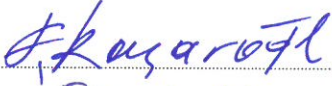
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SERAY IŞIK, tarafından PROF.DR. GÜLTEKİN TARCAN yönetiminde hazırlanan “ALAŞEHİR-PİYADELER (MANİSA) JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLOJİSİ VE JEOKİMYASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Gültekin TARCAN

Yönetici



Prof. Dr. Fikret Kaçaroğlu

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ünsal Cemici

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Latif SALUM

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı özveriyle yürüten, hazırlanmasında desteğini her zaman hissettğim değerli hocam Prof. Dr. Gültekin Tarcan'a, çalışma hayatım ve tez çalışmalarım boyunca destek ve yardımcı olan Jeoloji Müh. Raziye Şengün'e, kuyu verilerinden yararlanmamı sağlayan Zorlu Enerji Grubu'na, büro çalışmalarında yardımcı olan Jeoloji Müh. Murat Durgay ve Jeoloji Yük. Müh. Özge Şamlı'ya katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim.

Tez yazım ve düzenleme aşamasında yaptığı katkıları ve hiç esirgemediği manevi desteğinden dolayı eşim Gökhan Tezel'e ve hayatımın her alanında koşulsuz şartsız yanımda ve destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Seray IŞIK

ALAŞEHİR-PIYADELER (MANİSA) JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLOJİSİ VE JEOKİMYASI

ÖZ

Alaşehir-Piyadeler jeotermal alanı Manisa iline yaklaşık 90 km uzaklıktadır. Çalışma kapsamında alınan su örnekleri ile birlikte literatürdeki veriler beraber ele alınarak değerlendirilmiştir. IAH'ye (Uluslararası Hidrojeoloji Birliği) göre, sıcak sular sodyumlu, bikarbonatlı sular sınıfında, soğuk suların ise kalsiyum, magnezyum, sodyumlu bikarbonatlı su tipindedir. Çalışma alanındaki suların kimyasal analizleri kullanım suyu açısından değerlendirildiğinde; sıcak suların kötü özellikte sulama suyu sınıfına girerken soğuk sular çok iyi özellikte sulama suyu özelliğindedir.

Çalışma alanının temelini oluşturan Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi'nin kırıklı çatlaklı zonları hazne kaya özelliği göstermektedir. Neojen yaşlı karasal tortullar içerisindeki killi seviyelerden dolayı jeotermal sistemin örtü kayasını oluşturmaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyon soğuk sular için akifer özelliği göstermektedir. ¹⁸O-D duraylı izotop analizleri incelendiğinde sıcak suların su kayaç etkileşimi yüksek meteorik kökenli sular olduğu görülmektedir. Jeotermometre hesapları 180-230 °C arasında sıcaklıklar verirken, silis jeotermometrelerinin daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

Jeotermal sistemlerde üretim sırasında karşılaşılan en büyük problemlerden biri kabuklaşma ile üretim kaybıdır. Bunun önüne geçebilmek için uygun kimyasal kompozisyonlarda inhibitör kullanımı önem arz etmektedir. İnhibitör türüne karar verilirken hidrojeokimyasal hesaplamalarda kullanılan türleştirme programları ile kabuklaşma yaratabilecek minerallerin neler olabileceği hesaplanabilmektedir. Çalışma alanında kalsit ve metal-ametal silikat kabuklaşmalarının jeotermal sistemde üretim ve reenjeksiyon sırasında problem yaratabileceği hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Alaşehir, jeotermal, hidrojeoloji, hidrojeokimya

HYDROGEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE ALAŞEHİR PIYADELER GEOTHERMAL FIELD, MANİSA

ABSTRACT

Alaşehir-Piyadeler Geothermal field is located 90 km away from Manisa province. Water samples were collected and evaluated by considering previous studies found in the literature. According to the International Association of Hydrogeologists, hot waters are classified as sodium and bicarbonated and cold waters are classified as calcium, magnesium, sodium bicarbonated. If waters found in the field area is analyzed for direct usage, hot waters are as unsuitable but cold waters are well-suited irrigation water.

Palaeozoic aged Menderes massive has fractured and porous rock which constitutes the basement of the field. Neogen aged terrestrial deposits behaves as caprock of the geothermal system because of clay compositions in it. Quaternary aged alluvials in the field area have cold waters reservoir characteristics. ^{18}O -D isotopes analysis shows that hot waters are meteoric origin which may had water rock interaction. Geothermometer methods suggesting temperature ranging 180-230 °C, silica geothermometers shows more reliable results.

One of the most important problem faced in geothermal systems is scaling related production loss. In order to prevent this problem, inhibitor with a proper chemical composition is essential. While deciding on the type of inhibitor, softwares are used to estimate possible scaling compositions. In the study area, It was found that calcite and metal-ametal silicate scaling may create main problem during long term production and reinjection.

Keywords: Alaşehir, geothermal, hydrogeology, hydrogeochemistry

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi

BÖLÜM BİR - GİRİŞ 1

1.1 Çalışma Alanın Yeri ve Genel Özellikleri	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
1.3 Önceki Çalışmalar	3
1.4 Materyal ve Yöntem.....	5

BÖLÜM İKİ - JEOLojİ 7

2.1 Stratigrafi.....	7
2.1.1 Menderes Metamorfizmaları	7
2.1.2 Alaşehir Formasyonu.....	11
2.1.3 Gediz Formasyonu.....	11
2.1.4 Kaletpe Formasyonu	13
2.1.5 Alüvyon ve Travertenler.....	13
2.2 Yapısal Jeoloji	13

BÖLÜM ÜÇ - HİDROJEOLojİ 17

3.1 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	17
3.1.1 Geçirimli Birimler	17
3.1.2 Geçirimsiz Birimler	18
3.2 Su Noktalarının Yeri ve Özellikleri.....	18

3.3 Jeotermal Sistemin Özellikleri	23
3.3.1 Hazne Kaya (Rezervuar).....	23
3.3.2 Örtü Kaya.....	23
3.3.3 Isı Kaynağı.....	23
3.4 Meteorolojik Su Bütçesi	24
 BÖLÜM DÖRT - HİDROJEOKİMYA	27
 4.1 Kimyasal Analiz Sonuçlarının Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi	30
4.1.1 Suların Fasiyes Tipine Göre Sınıflandırılması	30
4.1.2 Piper Üçgen Sınıflaması	31
4.1.3 Scholler Yarı Logaritmik Diyagrama Göre Suların Sınıflandırılması.....	33
4.1.4 Suların Sertliği	34
4.2 Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri	36
4.2.1 İçme Sularının Özellikleri	36
4.2.2 Kullanma (Sulama) Sularının Özellikleri	37
4.2.2.1 Suların Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR).....	37
4.2.2.2 Sulama Sularının Wilcox Diyagramına Göre Sınıflandırılması	37
4.2.2.3 Suların ABD Tuzluluk Lab. Diyagramına Göre Sınıflandırılması ..	38
4.3 Jeotermometre Uygulamaları	39
4.3.1 Kimyasal Jeotermometreler	40
4.3.1.1 Niteliksel (Kalitatif) Jeotermometreler	40
4.3.1.2 Niceliksel (Sayısal) Jeotermometreler	42
4.3.2 Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler	43
4.3.2.1 Silis Jeotermometreleri	43
4.3.2.2 İyon Derişimine Bağlı Jeotermometreler	43
4.3.2.2.1 Na/K, Na-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca jeotermometreleri	43
4.3.2.2.2 Na-K-Ca Jeotermometresi.....	43
4.3.2.2.3 Magnezyum Düzeltmeli (R) Na-K-Ca Jeotermometresi.....	44
4.3.3 Mineral Denge–Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi.....	47
4.3.4 Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları	49
4.3.5 Karışım Modelleri.....	50

4.3.5.1 Entalpi- Silis Karışım Modeli	50
BÖLÜM BEŞ-SULARIN MİNERAL DOYGUNLUK ÖZELLİKLERİ.....	53
5.1 Suların Kabuklaşma Özellikleri	55
5.2 Mineral Doygunluk İndeksi Hesaplamaları	58
BÖLÜM ALTI-İZOTOP JEOKİMYASI	64
BÖLÜM YEDİ-SONUÇ VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	71

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası	1
Şekil 1.2 Örnekleme çalışmasına ait bir görünüm	6
Şekil 2.1 Alaşehir grabeni ve çalışma alanının jeoloji haritası	8
Şekil 2.2 İnceleme alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit	9
Şekil 2.3 Çalışma alanı basitleştirilmiş jeolojik enine kesiti	10
Şekil 2.4 Menderes Metamorfizi içerisinde yer alan şistlere ait bir görünüm	10
Şekil 2.5 Menderes Metamorfizi içerisinde yer alan mermerlere ait bir görünüm....	10
Şekil 2.6 Alaşehir formasyonunda bulunan şeyl-marn ardalanmasına ait görünüm..	11
Şekil 2.7 Gediz Formasyonu Hamamdere Üyesine ait bir görünüm	12
Şekil 2.8 Gediz Formasyonu Salihli Üyesine ait bir görünüm	13
Şekil 2.9 Gediz Grabeni'nin jeolojik evrimi	16
Şekil 3.1 Örnek noktalarını gösteren harita	20
Şekil 3.2 A-1 kuyusuna ait gerçekleşen kuyu kesiti	21
Şekil 3.3 Çalışma alanı ve çevresinin jeotermal sistem modeli	23
Şekil 3.4 1929-2016 yılları arasında Manisa ilinin 87 yıllık aylık sıcaklık ve yağış ortalamalarına göre Throntwhite yöntemiyle hesaplanan buharlaşma- terleme diyagramı	25
Şekil 4.1 Piper üçgen diyagramında su noktalarının sınıflandırılması	31
Şekil 4.2 İnceleme alanındaki suların piper üçgen diyagramındaki sınıflandırılması	32
Şekil 4.3 İnceleme alanındaki suların schoeller yarı logaritmik diyagramda gösterimi	33
Şekil 4.4 İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramına göre sınıflandırılması ...	37
Şekil 4.5 İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk diyagramına göre sınıflaması .	38
Şekil 4.6 Çalışma alanındaki A-1 ve A-2 kuyularının farklı tarihlerde örneklenen sıcak suları için WATCH-2003 programında hazırlanmış doygunluk indeksi- sıcaklık diyagramları	47

Şekil 4.7 İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki görünümü	49
Şekil 4.8 İnceleme alanındaki su örnekleri için oluşturulan Entalpi-SiO ₂ diyagramı	51
Şekil 5.1 Çift flaş modeli akış diyagramı	53
Şekil 5.2 İkili (Binary) çevrim akış diyagramı	53
Şekil 5.3 Kalsiyumkarbonat çökellerinden görünüm	55
Şekil 5.4 Mg-Silikat çökellerinden bir görünüm	56
Şekil 5.5 Üretim kuyularında bulunan inhibitör dozaj sistemleri	57
Şekil 5.6 A-1 (1a) kuyusu mineral doygunluk indeksleri	59
Şekil 5.7 A-1 (1b) kuyusu mineral doygunluk indeksleri	60
Şekil 5.8 A-2 (2a) kuyusu mineral doygunluk indeksleri	61
Şekil 5.9 A-2 (2b) kuyusu mineral doygunluk indeksleri	62
Şekil 6.1 Farklı su kaynaklarının izotop bileşimini ve fiziko-kimyasal süreçlerin su bileşimi üzerinde etkilerini gösteren δD - $\delta^{18}O$ diyagramı	65
Şekil 6.2 Çalışma alanındaki suların ^{18}O -D ilişkisi ve çeşitli meteorik su doğrularına göre konumları	66

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Çalışma alanı ve çevresindeki sıcak su noktalarının koordinatları.....	20
Tablo 3.2 1929-2016 yılları arasında Manisa ilinin sıcaklık ve yağış ortalamalarına göre buharlaşma-terleme tablosu	25
Tablo 4.1 İnceleme alanındaki su noktalarına ait birincil iyon değerleri	27
Tablo 4.2 İnceleme alanındaki su noktalarına ait ikincil iyon değerleri	27
Tablo 4.3 İnceleme alanındaki su noktalarının tanımı ve bazı genel fizikokimyasal özellikleri	29
Tablo 4.4 Suların Uluslararası Hidrojeologlar Birliğine göre sınıflandırılması	30
Tablo 4.5 İnceleme alanındaki suların sertlik değerleri	34
Tablo 4.6 İçme suyu kalite parametreleri	35
Tablo 4.7 İnceleme alanında örneklenen suların SAR' a göre sınıflaması	36
Tablo 4.8 Kimyasal jeotermometre hesaplamaları	44
Tablo 4.9 İnceleme alanındaki suların kimyasal jeotermometrelerle hesaplanan akifer sıcaklıkları	45
Tablo 5.1 A-1 (1a) kuyusu mineral doygunluk indeksleri	59
Tablo 5.2 A-1 (1b) kuyusu mineral doygunluk indeksleri	60
Tablo 5.3 A-2 (2a) kuyusu mineral doygunluk indeksleri	61
Tablo 5.4 A-2 (2b) kuyusu mineral doygunluk indeksleri	62
Tablo 6.1 Çalışma alanındaki suların izotop analiz sonuçları	6

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri

Çalışma alanının yer aldığı Alaşehir ilçesi, Boz Dağlar'ın kuzey eteklerinde kurulmuş, Manisa ilinin güneydoğusundadır. Alaşehir; batıdan Salihli, güneyden Nazilli, Kuyucak ve Kiraz, doğudan Sarıgöl, Eşme, kuzeyden Kula ilçeleri ile çevrilidir. Manisa İl Merkezi'ne karayolu ile 110 km ve Ege Denizi'ne 145 km, demiryolu ile 170 km uzaklıktadır (Zorlu, 2013).

Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli topoğrafya haritalarında İzmir L20-b2-b3 paftasında bulunmaktadır. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1.1'de verilmiştir.



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

Gediz Grabeni içerisinde bulunan Alaşehir ilçesi yeraltı kaynakları bakımından zengin olmasıyla jeotermal enerji yatırımcılarının gözdesi haline gelmiştir. 2017 yılı sonunda Alaşehir ilçesi Zorlu Alaşehir JES 45 MW, Türkerler 1-2 Alaşehir JES 48 MW, Enerjeo A.Ş 24,9 MW, Özmen 1 JES 24 MW ve Maspo Enerji JES 4 10 MW olmak üzere elektrik üretimi yapan 5 adet firma ile 152 MW kurulu güce sahiptir ve elektrik üretiminin yanında sera ve konut ısıtma alanında yatırımlar devam etmektedir. Çalışma alanı Zorlu Enerji JES sahasında bulunmaktadır. Zorlu Enerji 45 MWe Alaşehir Jeotermal Enerji Santrali Projesi için, ÇED başvuru dosyasına göre, 10 tane üretim ve 9 tane reenjeksiyon olmak üzere 19 adet jeotermal kuyu (sondaj) yapılması planlanmıştır. Hem rezervuar basıncını koruyarak üretimin devamlılığını sağlamak hem de tarım arazisi içerisinde bulunan santral çevresine zarar vermemek için reenjeksiyon oldukça önemlidir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak sunulmak üzere hazırlanmıştır.

Tez Kapsamında, Alaşehir-Piyadeler (Manisa) jeotermal alanının hidrojeolojisi ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Çalışma alanındaki 2 adet jeotermal kuyudan alınan dört akışkanın ve önceki çalışmalardan alınan altı su noktasının kimyasal ve izotopik analiz sonuçları jeokimyasal ve kimyasal türleştirme programları ile değerlendirilmiştir. Çeşitli su kimyası hesaplamaları ve diyagramlar ile çalışma alanındaki suların kökeni, hidrojeokimyasal özellikleri, akifer sıcaklığı tahmini, kullanım alanları ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Jeotermal santrallerin yapım ve işletme aşamasında jeokimyasal çalışmaları önemli bir yer tutmaktadır. Jeokimyasal verilere göre hesaplanan enjeksiyon sıcaklıkları santralin üretim kapasitesi belirlenirken, işletme aşamasında rezervuar takibi (enjeksiyon ve üretim ilişkisi) ve su şartlandırması santralin en az sorun ile uzun süre çalışmasına katkı sağlayacaktır.

1.3 Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın çevresinde resmi ve özel kurumlar ile üniversiteler tarafından jeoloji, hidrojeoloji, jeokimya ve jeotermal amaçlı çalışmalar yapılmıştır.

Egeran (1945), Ege bölgesinde ilk ayrıntılı jeolojik çalışmaları yapmıştır. 1944 yılında da bölgede çalışmalar yapılmış ve ilk kez “Menderes Masifi” terimi Egeran ve İlhan (1944) tarafından kullanılmıştır.

Filiz ve Tarcan (1995), araştırmacılar Gediz Grabeni’ndeki sıcak ve mineralli suların yüksek bor konsantrasyonu ile ilgili yaptıkları çalışmada, bor kaynağının denizel sediman metamorfizması ya da manto kaynaklı olabileceğini belirtmektedir. Sıcak ve mineralli suların CO₂ gazında yapılan izotopik analizlerde manto kaynaklı olduğu baskın geldiğini ve HCO₃ iyonu ile ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Emre (1996), Gediz Grabeni’nin, günümüzde de aktif olan BKB-DGD uzanımlı bir yarım graben olduğu ve açınımının yöredeki en genç ayrılma fayı olan Karadut Fayı’nın oluşumu ile başladığını belirtir. Karadut Fayı, Erken Miyosen yaşlı granodiyoritleri kesen düşük eğimli (12-20°) normal fay olup, taban bloğu Menderes Masifi şişt ve mermerleriyle bunları kesen granodiyoritler, tavan bloğu ise Menderes Masifi kayaları ve bunları örten, grabenleşme sürecinde oluşmuş tortullar ve Kula bazaltlarından oluştuğunu belirtir.

Karamandere vd. (1996), Kavaklıdere (Manisa, Alaşehir) jeotermal sahasında 1996 yılında araştırma kuyusu olarak açılan AK-1 kuyusunda ana rezervuara girilmediği halde 116 °C sıcaklık ölçüldüğünü, yapılan jeofizik etüd verileriyle saha potansiyelinin 20 km² büyüklüğünde olduğuna değinir. AK-1 jeotermal kuyusunda yapılan üretim testlerinde % 15 metan, % 85 CO₂ gazlarının bulunduğunu, sahanın doğalgaz potansiyeline de sahip olduğunu belirtir.

Sarıkaya (2001), Gediz Grabeni’nin Alaşehir-Salihli arasındaki kesimde yaptığı çalışmada, inceleme alanı içerisindeki temel olarak nitelendirilen Menderes

Metamorfikleri ile granodiyorit sokulumları, Senozoyik yaşı sedimanter kayaçlar ve iki kayaç grubu arasında ayrılma fayına bağlı dinamik metamorfizma koşullarıyla oluşmuş kataklastik kayaçlarla üç tip kayaç grubu bulunduğunu belirtir. Kataklastik kayaçların bolluk sırasına göre mikrobreş, milonit, metagranodiyorit, kataklazit, milonit şişt ve ultramilonit olmak üzere 6 çeşit olduğunu belirtir.

Yaman (2005), doktora çalışmasında, Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz grabenlerinde gelişen jeotermal alanların birbiriyle ilişkisi ve bu alanlardaki sıcak sulara bulunan bor mineralleri oluşum koşulları üzerine çalışmıştır. Bu grabenlerdeki su analizlerindeki bor değerlerinin farklılığının su-kayaç etkileşimi ve hazne kaya özelliği taşıyan birimlerden kaynaklandığını belirtmiştir.

Bülbül (2009), doktora çalışmasında, Alaşehir Jeotermal Alanı'nın, Paleozoyik Menderes Masifi metamorfik kayaçlarının kırıklı çatlaklı zonlarının jeotermal sistemin hazne kayası, Neojen karasal sedimanlar içerisindeki killi-siltli seviyelerin örtü kayası olduğunu belirtmiştir. Alaşehir Jeotermal Alanındaki sıcak suların Uluslararası Hidrojeoloji Birliğine göre sodyum-bikarbonat ve magnezyum-sodyum-bikarbonat tipinde olduğunu belirtir. Sıcak sulardaki doygunluk indekslerinin sıcaklık ile değişiminden yola çıkılarak yaklaşık hazne sıcaklığının 140-180 °C arasında değiştiğini ve soğuma sırasında kuvars, kalsedon ve amorf silika'nın kabuklaşma eğiliminde olduğunu belirtir.

Çiftçi ve Bozkurt (2009), Gediz Grabeni'nin Miyosen-güncel yaşı sedimanlarla doldurulmuş, kıtasal bir genişleme havzası olduğunu, graben gelişiminin iki fazda oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Birinci fazda güney kenar fayı ile kontrol edilen yarım grabenin oluştuğunu, bu graben içinde Gediz, Alaşehir ve Çaltılı formasyonlarının çökeldiğini, Miyosen sonrası ikinci fazda ise kuzey kanattaki faylanma ile beraber çökmenin ve derinleşmenin göreceli olarak dengelendiğini ifade etmişlerdir.

Bostancı (2016), yüksek lisans tezinde Alaşehir (Manisa) ve yakın çevresinde jeotermal sulara hidrojeoloji ve hidrojeokimya üzerine yaptığı çalışmalarda, inceleme alanındaki suların genel olarak sodyum-bikarbonat tipinde olduğunu, jeotermometre

hesaplamaları ve mevcut kuyuların rezervuar sıcaklıklarını birlikte değerlendirilerek hazne kaya sıcaklığının 185 °C olduğunu ileri sürmüştür.

1.4 Materyal ve Yöntem

Yüksek lisans tezi kapsamında çalışmalara ilk olarak literatür çalışması yapılarak başlanılmıştır. Daha sonra sırasıyla arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları şeklinde tamamlanmıştır. Literatür çalışmaları, Manisa-Alaşehir ve çevresinde yapılan jeolojik, tektonik, hidrojeolojik, jeotermal çalışmaların incelenmesi ve elde edilen verilerin derlenmesi şeklinde yapılmıştır.

Arazi çalışmaları, sıcak su örneklenmesinde anyon ve katyon analizleri için 1000 ml ve silika analizleri için 250 ml polietilen sızdırmaz örnekleme şişeleri kullanılmıştır. Katyon analizlerinde bir adet 1000 ml'lik şişelere alınan sular su filtrasyon seti yardımıyla 0.45 µ geçirgenlikteki filtre kağıdından süzülerek, kap içerisinde çökelme yada yüzeye tutunmaları önlemek için yüksek saflıkta HNO₃ ilave edilerek su örneğinin pH'ı 2-3 aralığına indirilmiştir. Anyon analizleri için su örneği 1000 ml'lik şişeye kimyasal koruma yapmadan hava kalmayacak şekilde doldurulmuştur. Silika analizleri için 1/10 oranında saf su ile seyreltilerek numune alımı gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.2). ¹⁸O-D izotop analizleri için 10 ml'lik amber şişelere örnekleme seperatörü ve kondenser yardımıyla buhar ve su örnekleri doldurulur.

Örnekleme seperatörü basıncı hat basıncına eşitlenir ve kondenser yardımıyla suyun 30-40 °C sıcaklıklara kadar düşürülüp örnek alımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.2 Örnekleme çalışmasına ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2017)

Laboratuvar çalışmaları kapsamında çalışma alanından alınan suların kimyasal analizleri MTA'ya, izotop analizleri TUBİTAK-UME'ye yaptırılmıştır.

Ofis çalışmalarında, kimyasal analiz sonuçları kimyasal türleştirme programlarından Aquachem 3.70 ve Watch23 programları kullanılarak çalışma alanına ait jeokimyasal özellikler araştırılmıştır. Ayrıca Microsoft Office paket programı ve CorelDraw X5 programları raporun yazımında, şekil ve grafiklerin çizilmesinde kullanılmıştır.

BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ

2.1 Stratigrafi

Çalışma alanında temelini Menderes Masifi Metamorfikleri olarak adlandırılan Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı şistler (gnays, mikaşist) ve mermerler oluşturmaktadır. Temel birimler üzerinde Miyosen ve Pliyosen yaşlı çakıltası, kumtaşı, miltaşı, kireçtaşı, tuf ve kil çökelleri uyumsuz olarak bulunmaktadır (Karamandere, 1971; Çiftçi ve Bozkurt, 2009). En üstte ise Kuvaterner alüvyon birimleri yer almaktadır. Bölgenin jeoloji haritası Şekil 2.1’de, genelleştirilmiş stratigrafik istifi Şekil 2.2’de, verilmiştir. Kullanılan jeoloji haritası Gediz grabeninin Kuzey ve Güney kanadını da içeren daha genel bir harita olduğundan dolayı çalışma alanında gözlenmeyen Çaltılık formasyonu, Toygar andezitleri, Bintepe formasyonu ve travertenleri de kapsamaktadır, ancak stratigrafik istif çalışma alanında sondajlar sırasında kesilen birimleri içermektedir.

2.1.1 Menderes Metamorfikleri

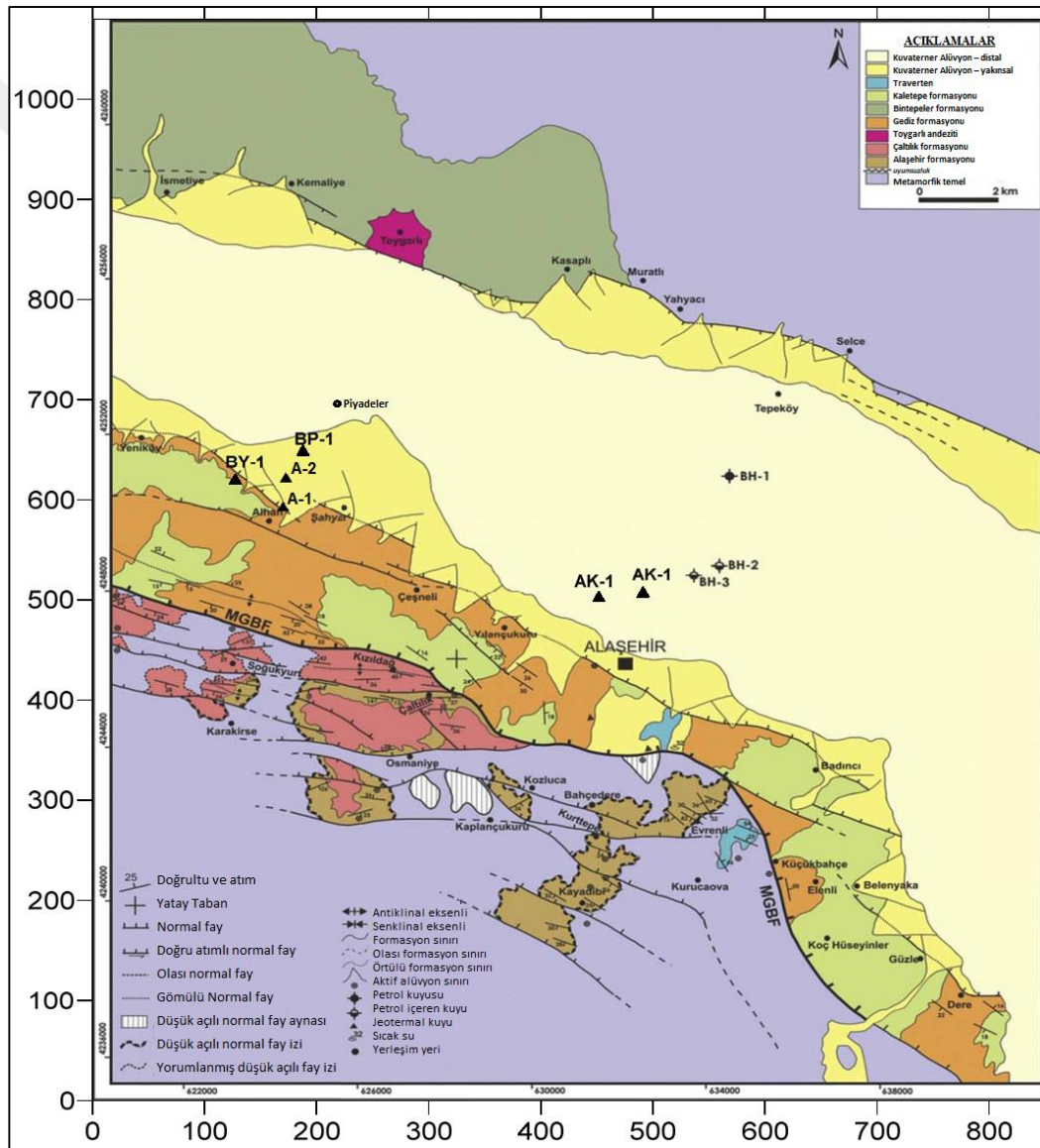
Menderes Masifi Metamorfikleri, “Çekirdek” ve “Örtü” olarak iki ana birime ayrılmaktadır. Çekirdek; ileri derecede başkalaşmış şistler, leptitler, gnayslar, gözlü gnayslar, metagranitler, migmatitler ve metagabrolardan kuruludur. Örtü ise; mikaşist, fillit, metakuvarsit, metabazit, metagranit ve şistlerden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

Çalışma alanında yaygın dağılım gösteren Menderes Masifi Metamorfik kayaları; gözlü gnays, granitik gnays, migmatitler, değişik metamorfizma ve litofasiyes özelliklerini gösteren şist ve mermerlerden oluşmuştur (Zorlu, 2013).

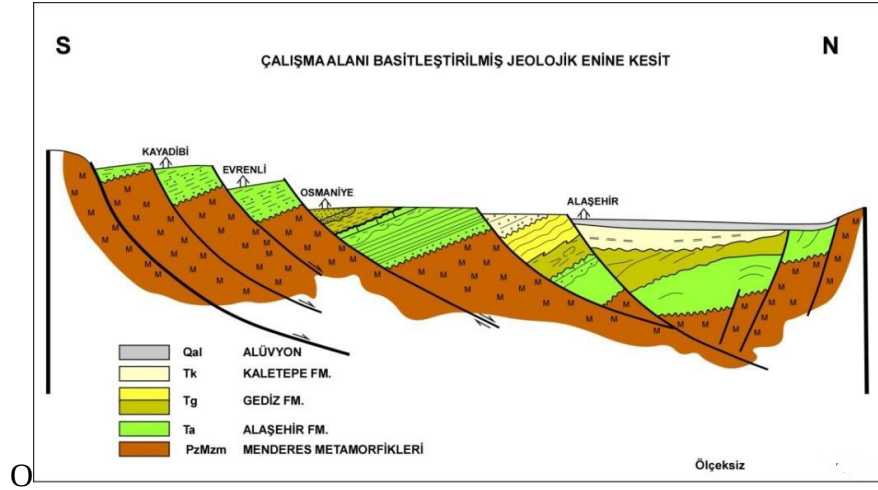
Gnayslar: Sahada genelde gözlü gnayslar şeklinde görülür. Üzerlerine gelen şistlerle olan kontakları tedrici geçişlidir ve şistoziteleri birbirleri ile uyumludur.

Mikaşıstler: Sahanın her yöresinde dağınık veya toplu olarak göze çarparlar. Genelde düşük sıcaklık metamorfizma izleri taşırlar.

Mermerler: Menderes Masifi'nin üzerine örtü olarak gelirler. Menderes Masifi örtüsü içinde çok yaygın dağılım gösterirler. Gri beyaz renkli ince ve kalın tabakalı, iri ve ince yer yer şeker dokulu kireçtaşı tipindedir. Bu birimler üzerinde Mesozoyik ofiyotik melanj, serpantin ve bu birimlerin lateritleşmesinden türemiş laterit birimi yer alır. Lateritlerin üzerinde ise Tersiyer sedimanları ayrılmıştır (Zorlu, 2013).



Şekil 2.1 Alaşehir grabeni ve çalışma alanının jeoloji haritası (Çiftçi, 2007'den değiştirilerek) ve su noktalarının yeri



Şekil 2.3 Çalışma alanı basitleştirilmiş jeolojik enine kesiti (Yazman, 1998)



Şekil 2.4 Menderes Metamorfizi içerisinde yer alan şistlere ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2017)

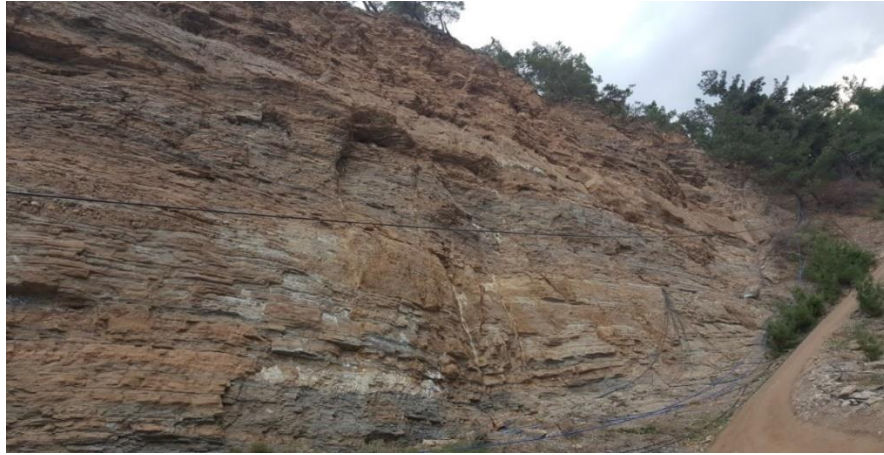


Şekil 2.5 Menderes Metamorfizi içerisinde yer alan mermerlere ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2017)

2.1.2 Alaşehir Formasyonu

Alaşehir Formasyonu, Alaşehir'in güney kesiminde metamorfik temel üzerinde uyumsuz olarak uzanmaktadır. Formasyonun tabanı, Menderes Masifi Metamorfiklerine ait oldukça köşeli, şist ve gnays parçaları içeren konglomeralardan oluşur (Seyitoğlu ve diğ., 2002). Formasyon, üste doğru sarımsı kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasıyla devam eder (Şekil 2.5). Birimin alt seviyelerinde, ince taneli gölsel sedimentler yaygın olarak görülmesine karşın ara düzeylerinde yaklaşık 1,5 m kalınlıklara sahip kaba taneli, köşeli konglomera düzeylerine de rastlanmaktadır. Formasyonun üst düzeylerinde, içerisinde kireçtaşı ve konglomera merceklerinin de yer aldığı organik açıdan zengin, laminalı çamurtaşları bulunmaktadır (Seyitoğlu ve diğ., 2002). Formasyonun yaşı Erken-Orta Miyosen'dir (Ediger ve diğ., 1996; Seyitoğlu ve diğ., 2002).

Alaşehir Formasyonu'nun bazı düzeylerindeki kumtaşları, toplam organik karbon (TOC) miktarı ortalama % 3 civarında değişen, hidrokarbon içeriği açısından zengin petrol kaynak kayası olma özelliği taşır (İztan & Yazman,1990).



Şekil 2.6 Alaşehir formasyonunda bulunan şeyl-marn ardalanmasına ait görünüm (Kişisel arşiv, 2017)

2.1.3 Gediz Formasyonu

Bu çalışmada Gediz formasyonu olarak adlandırılan bu birim, Emre (1996) tarafından Acidere formasyonu, Seyitoğlu & Scott (1996) tarafından Kurşunlu

formasyonu ve Yılmaz ve diğ. (2000) tarafından Kızıldağ grubu, Çiftçi & Bozkurt (2009) tarafından Gediz Formasyonu şeklinde adlandırılmıştır. Gediz Formasyonun alt seviyelerinde koyu kırmızı, kızıl renkli köşeli konglomeralar, üst düzeylerinde ise Göbekli'nin güneydoğu kesimlerinde tipik olarak görülen açık kırmızı-gri renkli konglomera ve kumtaşı ardalanması yer almaktadır (Seyitoğlu ve diğ., 2002). Bu birimde lateral alüvyal fan fasiyesleri görülmekle birlikte kırmızı renk baskındır (Seyitoğlu ve Scott, 1996). İkinci sedimenter birimin yaşı Geç Miyosen-Erken Pliyosen' dir (Seyitoğlu ve diğ., 2002).

Bu formasyonda gözlenen kumtaşı ve çakıldaşı seviyeleri metamorfik temelden türeme malzemeden oluşmuştur ve alüvyonal yelpaze ürünüdür. Gediz formasyonunun tortullaşma aşamasında, beslenme alanındaki metamorfik kayaların üzerinde bulunan kırmızı renkli paleotoprak bol yağışlı iklim koşullarında yüksek enerjili akarsular yoluyla, diğer gereçlerle birlikte alüvyonal yelpaze ortamına gelerek tortullaşmaya katılmıştır ve formasyonun alt seviyelerinin kırmızı renkli olmasına neden olmuştur (Koçyiğit, 1984).

Hamamdere Üyesi (Tga) ve Salihli Üyesi (Tgs) olarak ayrılan formasyon, çalışma alanında Menderes Masifi Metamorfikleri üzerinde geniş yayılım gösteren bordo renkli konglomera-kumtaşı ve miltaşları bu birim içerisindedir (Zorlu, 2013) (Şekil 2.7 ve Şekil 2.8).



Şekil 2.7 Gediz Formasyonu Hamamdere Üyesine ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2017)



Şekil 2.8 Gediz Formasyonu Salihli Üyesine ait bir görünüm (Kişisel arşiv, 2017)

2.1.4 Kaletepe Formasyonu

Konglomera-kumtaşı-miltaşı-kil-tüf den oluşan birimin yaşı Pliyosen olarak alınmıştır. Menderes Masifi'nden beslenen yüksek enerjili ortamda oluşmuş akarsu ve örgülü ırmak tipi çökeller oluştururlar. Ruhsat alanında morfoloji, sedimantolojik aşınma türleri ile kolayca seçilen birim geniş bir yayılım göstermektedir. Beyaz renkli konglomera-kumtaşı-miltaşı seviyelerini eski taraça ve alüvyon dolguları diskordans olarak örter (Zorlu, 2013).

2.1.5 Alüvyon ve Travertenler

Kuvaterner yaşlı eski alüvyon, traverten ve günümüz yeni alüvyonel çökelleri içermektedir (Seyitoğlu ve diğ., 2002). Alüvyon; kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutunda malzemedir. Yapıdır. Çakıllar, yassı şekilli şist ve gnays çakılları ile yuvarlak kuvarsit çakıllarıdır. Ara madde ise kum, silt ve kildir. Yamaçlardan ovanın ortasına doğru (güneybatıdan kuzeydoğuya) alüvyon malzemesi inceler.

2.2 Yapısal Jeoloji

Batı Anadolu'daki D-B uzanımlı grabenlerden biri olan Gediz Grabeni de diğer aynı grabenler gibi kıta içi açılma tektoniğine bağlı olarak şekillenmiş bir rift havzası durumundadır (Koçyiğit, 2000). Bu grabenler K-G yönlü çekme kuvvetleri

etkisindedir. Miyosen'den beri aktif olan bu kuvvetlerin etkisiyle oluşumu devam eden grabenleri D-B doğrultulu normal faylar sınırlamaktadır ve bu sınır faylarının devamlılığı 100-150 km'yi bulmakla birlikte uzunlukları 10 km'yi aşmayan daha kısa faylardan oluşmuş fay birlikleri şeklindedir (Yılmaz ve diğ., 2000).

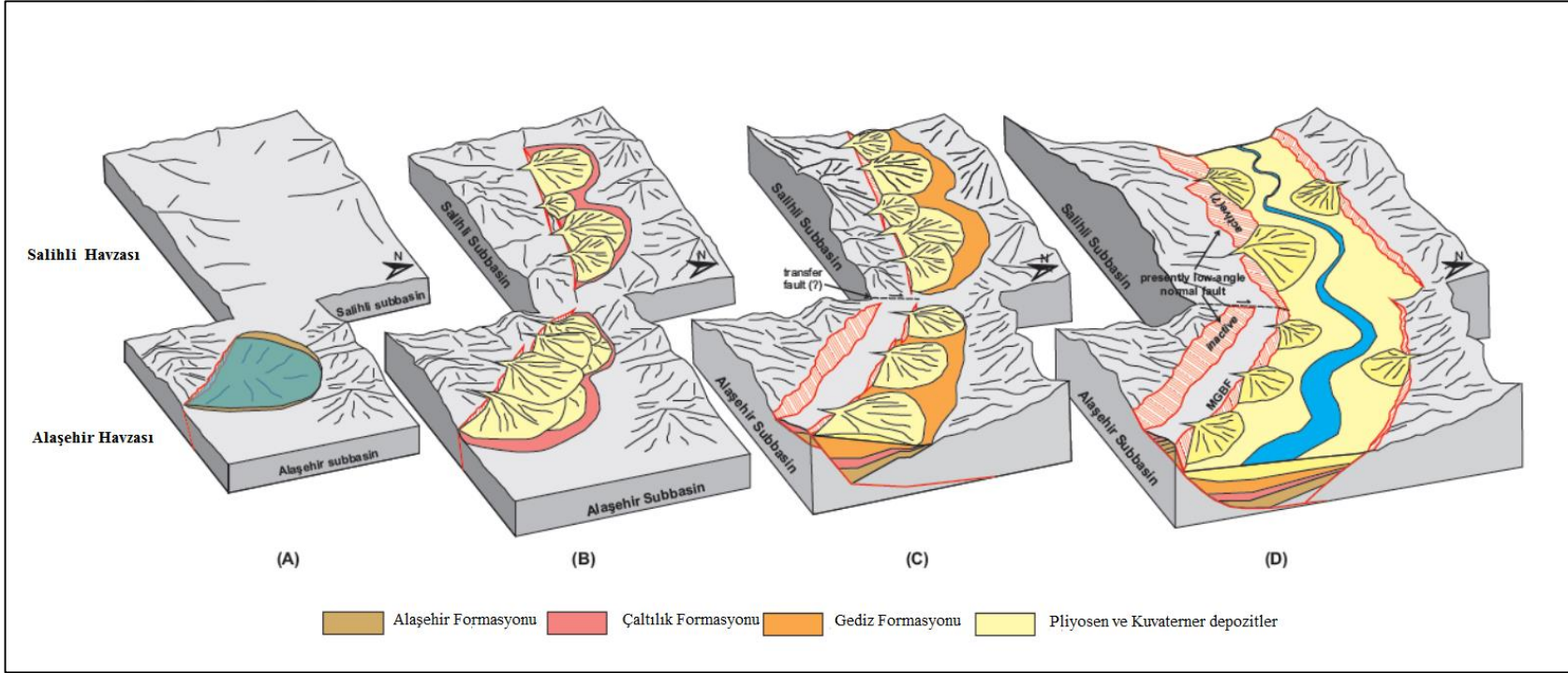
Gediz Grabeni'nin açınımı, bölgedeki en genç sıyrılma fayı (detachment) olan Karadut Fayı'nın oluşumu ile başlamıştır. Düşük eğimli (12° - 20°) normal bir fay olan Karadut Fayı, grabenin güney kenar fayıdır. Bu faylanma bölgesel ölçekte bir kataklastik-milonotik zon oluşturmuştur. Karadut Fayı'nın taban bloğu, Menderes Masifine ait şist ve mermerler ile bunları kesen granotoidten yapılıdır. Bu granotoidler, ayrılma faylarının oluşum sürecini başlatan genişlemeli tektoniğe bağlı olarak yerleşmiştir. Tavan bloğunda ise, bu faya bağlı olarak hareket etmiş Menderes Masifi kayaları (tavan bloğu temel kayaları) ve bunları örten grabenleşme süresince oluşmuş tortullar bulunur (Emre, 1996). Karadut Fayı'nın oluşumuna bağlı olarak, tavan bloğunda gelişen tortul havza, ayrılma fayındaki kalıtsal blokların hareketleri yanı sıra yüksek açılı genç sentetik faylar tarafından da denetlenmiştir (Emre, 1996).

Gediz Grabeni'nin güney kesiminde bulunan fay sistemleri üç kategoride incelenebilir. Birinci fay sistemi, genellikle 10° - 20° K'e eğimli düşük açılı normal bir faydır (Emre, 1992a; Hetzel ve diğ., 1995). Bu fay sistemi, başka yazarlar tarafından Gediz Sıyrılma Fayı olarak da isimlendirilmiştir (Emre & Sözbilir, 1995; Emre, 1996; Koçyiğit ve diğ., 1999; Yılmaz ve diğ., 2000; Bozkurt 2001a, b). Gediz Grabeni'nin güney kenarını oluşturan kabuksal ölçekli düşük açılı Gediz Sıyrılma fayına bağlı olarak kıvrım ve geriye çarpılmış tabakalar şeklinde genişleme kökenli makroskobik yapıların oluşumundan sorumludur. Kıvrımlar genişleme doğrultusuna paralel olarak tavan ve taban bloğunda oluşmuştur (Sözbilir, 2001). Bu fay sistemi tavan blokta depolanmış olan birinci ve ikinci sedimenter birimleri sınırlamaktadır (Seyitoğlu ve diğ., 2002). İkinci fay sistemi, üçüncü sedimenter birim olan Sart Formasyonu'nu kontrol etmektedir ve genellikle K75B doğrultulu 45 - 50° KD eğimlidir (Seyitoğlu ve diğ., 2000). İkinci fay sistemi, düşük açılı normal fayın tavan bloğunda yer alır, yüksek açılı faylardan oluşur ve Salihli Alaşehir arasında yaklaşık 25-30 km devam etmektedir (Seyitoğlu ve diğ., 2000). Alanın en uzun fayıdır. Acıdere Fayı olarak

isimlendirilmiştir (Emre, 1996; Koçyiğit ve diğ., 1999 Yılmaz ve diğ., 2000). Üçüncü fay sistemi, Neojen birimleri ile Kuvaterner alüvyon ayıran aktif bir faydır (Seyitoğlu ve diğ., 2000). Gediz Grabeninin jeolojik evrimi Şekil 2.9’da verilmiştir.

Çalışma alanında içerisinde bulunduğu Graben güney sınır ana fayı Alkan fayı, Soğukyurt-Toygarlı fayı, Erenköy ve Çeşneli fayıdır. Graben güneyini sınırlayan ana fay Alaşehir güneyinde Neojen kayaları ve temel birimleri arasındaki ana faydır (Çiftçi ve Bozkurt, 2009). BKB-DGD doğrultuludur.





Şekil 2.9 Gediz Grabeni'nin jeolojik evrimi (A-Alaşehir formasyonunun depolanma dönemi (Miyosen), B- Çaltılık formasyonunun depolanma dönemi (Miyosen), C-Gediz formasyonunun depolanma dönemi (Miyosen), D-Kaletpe, Bintepe formasyonu ve alüvyon depolanma dönemi (Pliyosen ve Kuvaterner). Bugün Alaşehir ve Salihli havzaları aynı graben üzerinde birbirinin devamı olarak görülmekteydi geçmişte ayrı durumdaydı. Kuzey sınırlayıcı yapının gelişmesi ile graben bugünkü halini almıştır (Çiftçi, 2007)

BÖLÜM ÜÇ

HİDROJEOLOJİ

Gediz Grabeni içerisinde bulunan Alaşehir-Piyadeler Jeotermal Alanı jeolojik-tektonik özellikleri ve sıcaklık bakımından Türkiye'nin önemli jeotermal alanlarından. Bu bölümde Alaşehir-Piyadeler (Manisa) Jeotermal Alanı'nın hidrojeolojik özellikleri, su noktaları, jeotermal sistemin özellikleri ve meteorolojik veriler kullanılarak bölgenin meteorolojik su bütçesi incelenmiştir.

Mevsimsel olarak sıcak su kaynaklarının azaldığı ve/veya tamamen kaybolduğu çalışma alanı ve yakın çevresinde açılmış kuyulardan elde edilen verilere göre; soğuk su ve sıcak su sistemlerinin birbirleri ile bağlantılı oldukları, bölgedeki jeotermal sistemlerin genellikle derin sirkülasyonlu oldukları, fakat yüzeylenen sistemlerin sığ beslenmeli oldukları söylenebilir. DSİ kayıtlarına göre yıllık yağış miktarı 509,5 mm'dir. Süzülme katsayıları ile hesaplamalar yapılmış ve toplam beslenme miktarı belirlenmiştir. Birikintilerden % 35, alüvyonlardan % 20, dağlık alandaki formasyonlardan % 10 akışkan % 10 beslenme sonucu, toplam beslenme miktarı 59x106 m³/yıl olarak belirlenmiştir (Zorlu, 2013).

3.1 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

3.1.1 Geçirimli Birimler

Kuvaterner yaşlı alüvyon ve Neojen yaşlı birimlerin içindeki gevşek tutturulmuş kumlu-çakıllı bölümleri porozite ve permeabiliteye sahip olup, akifer özelliği göstermektedirler. Bölgedeki gnayslar genelde bindirme ve kayma sonucu masiften kopan parçalar olduğundan kırıklı, çatlaklı bir yapıya sahip oldukları bölümler ve bulunduğu fay zonları geçirimlidir. Menderes metamorfikleri içerisindeki mermerler kastik özelliği ve çatlaklı yapıya sahip olmasından kaynaklı yüksek geçirimliliğe sahiptir.

Bölgede geniş bir yayılım gösteren alüvyon, soğuk sular için en önemli akifer birimidir. Alüvyondaki akifer gruplarından bazıları serbest akifer özelliğinde olup, büyük bir kısmı da basınçlı akifer özelliği göstermektedir. Bunların dışında Neojen'e ait yüksek kotlarda yer alan kayaçlarda, bazı yerlerde kil bantları sayesinde tünek akifer özelliği göstermekte olup, kil düzeyinin azaldığı yerlerde bazı çakıltası katmanları da akifer özelliğindedir. Fakat alüvyonun gözenekliliği ve permeabilitesi yüksek, beslenme açısından da daha alt kotlarda yer aldığından en verimli soğuk su kuyuları alüvyonda açılmıştır (Bülbül, 2009).

3.1.2 Geçirimsiz Birimler

Neojen ve Kuvaterner yaşlı birimlerin killi ve siltli seviyeleri akiklöd özelliktedir. Alaşehir formasyonuna ait ikincil poroziteye sahip olmayan sıkı tutturulmuş kumtaşları, konglomera kırık ve çatlak içermeyen kireçtaşı kesimleri akifüj özellikli geçirimsiz kayaçları oluşturmaktadır. Mermerlerin altında yer alan mikaşistler ile fillitler düşük porozite ve permeabiliteye sahip ve genelde geçirimsizdirler.

3.2 Su Noktalarının Yeri ve Özellikleri

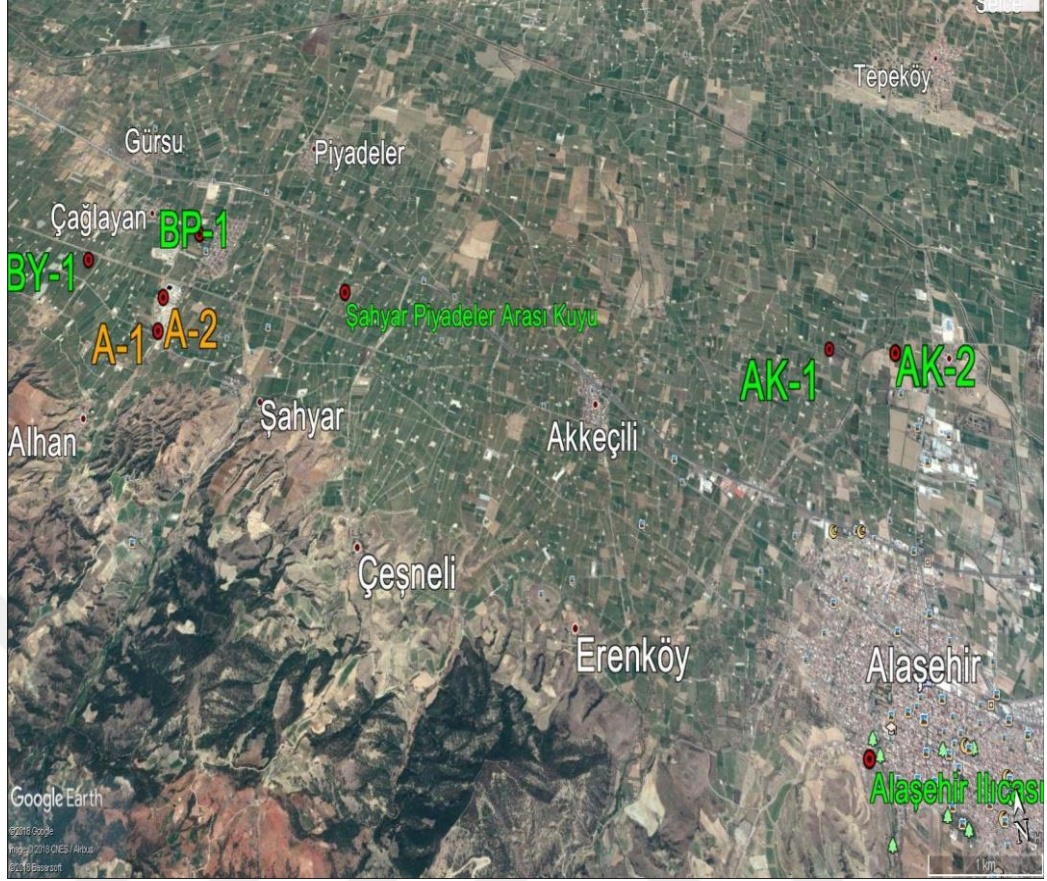
İnceleme alanında inceleme alanındaki su noktaları yüzey suları, soğuk yeraltı suları ve sıcak-mineralli sular olarak sınıflanabilir. Çalışma alanına en yakın yüzey suyu Alhan Çayı ve Şahyar Deresi'dir. Bu yüzeysel sular D-B yönünde menderesli akan Alaşehir Çayı'nın güneyden kuzeye doğru akan kollarıdır. Bölgenin tarım arazisi olmasından kaynaklı şahsa özel soğuk su kuyuları ve jeotermal elektrik enerjisi üreten firmalara ait sıcak su kuyuları oldukça fazladır. Analizleri kullanılan su noktalarının yerleri Şekil 3.1' de gösterilmiştir ve kuyulara ait bilgiler Tablo 3.1' de verilmiştir.

Alhan bölgesinde bulunan Şekil 3.2'de gerçekleşen kuyu logu verilen A-1 jeotermal kuyusu 2010 yılı verilerine göre 1200 m derinliğe ve 200 °C kuyu dibi sıcaklığına sahiptir. Karamanderesi, (2013)'te belirtilen kuyu kesitinde ilk 20 m'de zayıf akarsu sedimanları, 20-62 m arası taraça materyalleri, 62-198 m arası Kaletepe formasyonu, 198-348 m arası Gediz formasyonunun Salihli Üyesi, 348-1038 m arası

Gediz formasyonunun Hamamdere üyesi, 1038-1052 m Alaşehir formasyonu ve 1052-1198 m arası Menderes Metamorfikleri (mermer, kuvarsit ve mikaşistler) kesilmiştir. 1000 m'den sonra rezervuar zonu başlamıştır. Temelden başlamak üzere illit-klorit, illit ve kaolin alterasyon zonları gözlenmiştir. Gaz Bileşimi % 98,361 CO₂ , % 0,0031 H₂S, % 0,9229 CH₄'tür (Tut ve diğ., 2013). A-2 kuyusu 2011 yılında açılmış bir jeotermal kuyu olup, A-1 kuyusuna benzer özelliklere sahiptir. Örnekleme sırasındaki kuyu başı sıcaklığı kuyu başı basıncına bağlı olarak 149 ve 139 °C'dir.

Bülbül, 2009'dan alınan su analizlerine (5 ve 8 numaraları arasındaki örnek no.'lara ait kuyular) sahip kuyuların ve özellikleri; AK-1 kuyusu 1996 yılında MTA tarafından açılmıştır. Kuyu derinliği 750 m, kuyu dibi sıcaklığı 116 °C'dir. Gaz bileşimi % 85 CO₂, % 15 CH₄'tür (Karamandere ve diğ., 2000). AK-2 kuyusu MTA tarafından 2004 yılında açılmış, 1501 m derinlikli ve 213 °C kuyu dibi sıcaklıklı derin bir jeotermal kuyudur (Karahan, 2005). Şahyar-Piyadeler arası soğuk su kuyusunun şahsa ait sulama amaçlı açılmış bir kuyu olup, Neojen akiferlerden beslendiği belirtilmiştir. Alaşehir ılcısı Alaşehir merkeze yakın doğal çıkışlı bir kaynaktır.

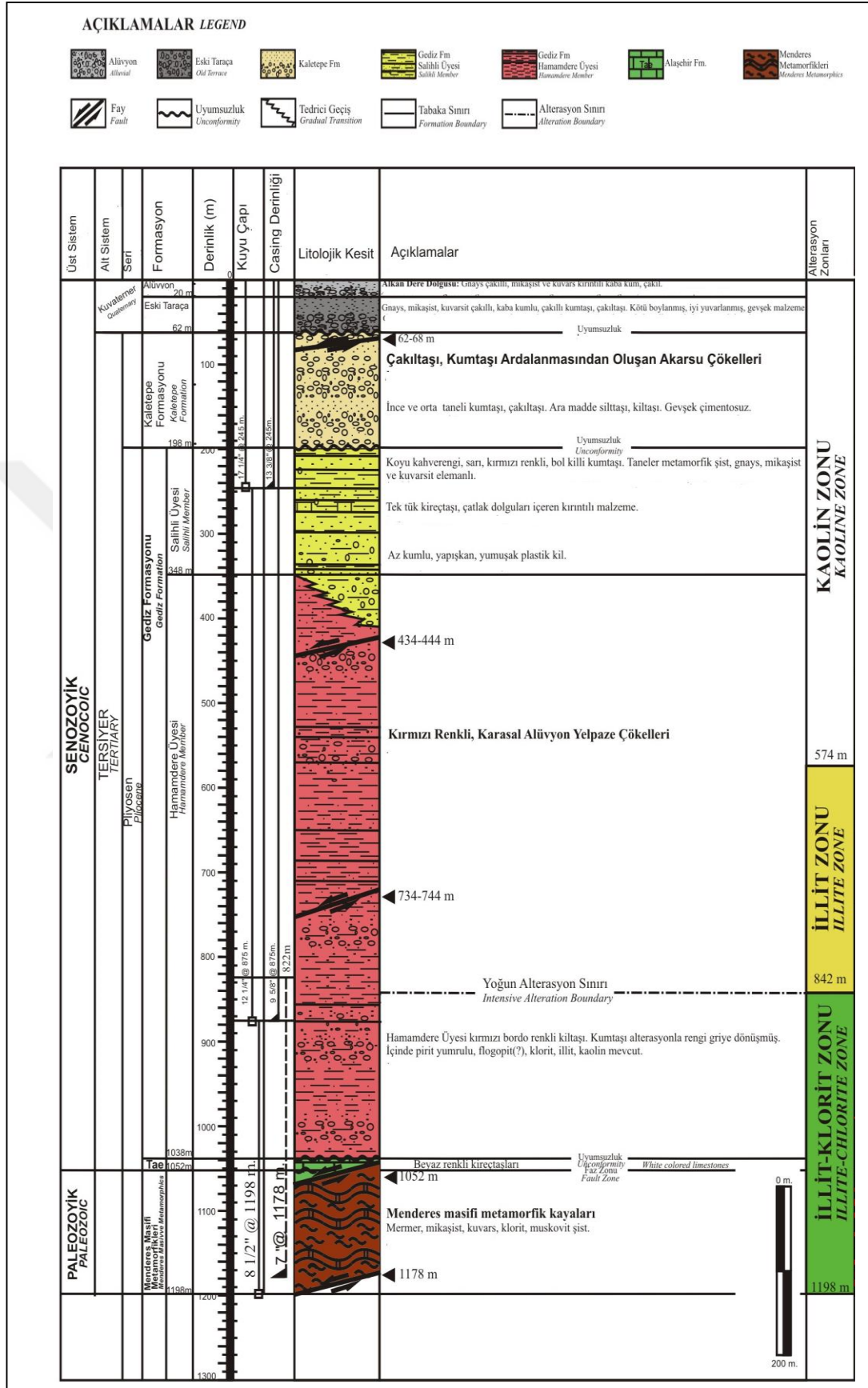
Bostancı, 2016'dan alınan (3 ve 4 örnek no.'lu kuyular) Türkerler JES'e ait BY-1 (üretim) ve BP-1 (enjeksiyon), kuyu başı sıcaklıkları sırasıyla 170 ve 68 °C olan jeotermal kuyulardır.



Şekil 3.1 Örnek noktalarını gösteren harita (Google maps, 2018)

Tablo 3.1 Çalışma alanı ve çevresindeki sıcak su noktalarının koordinatları

Örnek No.	Lokasyon	Koordinatlar		Kuyu dibi sıcaklığı (°C)	Kuyu Başı sıcaklığı (°C)	Derinlik (m)
		X	Y			
1	A-1	624870	4250739	200	168	1200
2	A-2	624923	4251152	-	149	-
3	BY-1	632768	4249298	-	179	-
4	BP-1	633480	4248950	-	68	-
5	AK-1	623841	4251588	116	-	750
6	AK-2	625201	4251716	213	-	1501
7	Şahyar-Piyadeler arası kuyu	-	-	-	21,3	-
8	Alışehir ılıcası	-	-	-	30,5	-



Şekil 3.2 A-1 kuyusuna ait gerçekleşen kuyu kesiti (Karamandere, 2010; Karamandere, 2013)

3.3 Jeotermal Sistemin Özellikleri

Yerkabuğunun, çeşitli derinliklerinde bulunan birikmiş ısıнын oluşturduğu, sıcaklıkları bölgesel atmosferik sıcaklıkların üzerinde bulunan, normal yer altı ve yer üstü sularına göre içerisinde daha fazla erimiş mineral, tuzlar ve gazları bulunduran sıcak su ve buhar jeotermal enerji olarak tanımlanabilir. Bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için yer kabuğunun derinliklerindeki ısı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan, akışkanı bünyesinde barındıran hazne (rezervuar) kaya ve ısıнын kaybını önleyen örtü kaya bulunması gerekmektedir.

3.3.1 Hazne Kaya (Rezervuar)

Çalışma alanının temelini oluşturan Menderes Masifi içerisinde karstik erime boşlukları içeren ve fay zonlarına yakın yerlerde tektonik etkilerle çatlaklı kırıklı bir yapı kazanan mermerler jeotermal açıdan bölgedeki ana rezervuar kayalardır. Bölgedeki gneyslar genelde bindirme ve kayma sonucu masiften kopan parçalar olduğundan kırıklı, çatlaklı bir yapıya sahip oldukları bölümler ve kuvarsitlerin bulunduğu fay zonları geçirimlidir.

3.3.2 Örtü Kaya

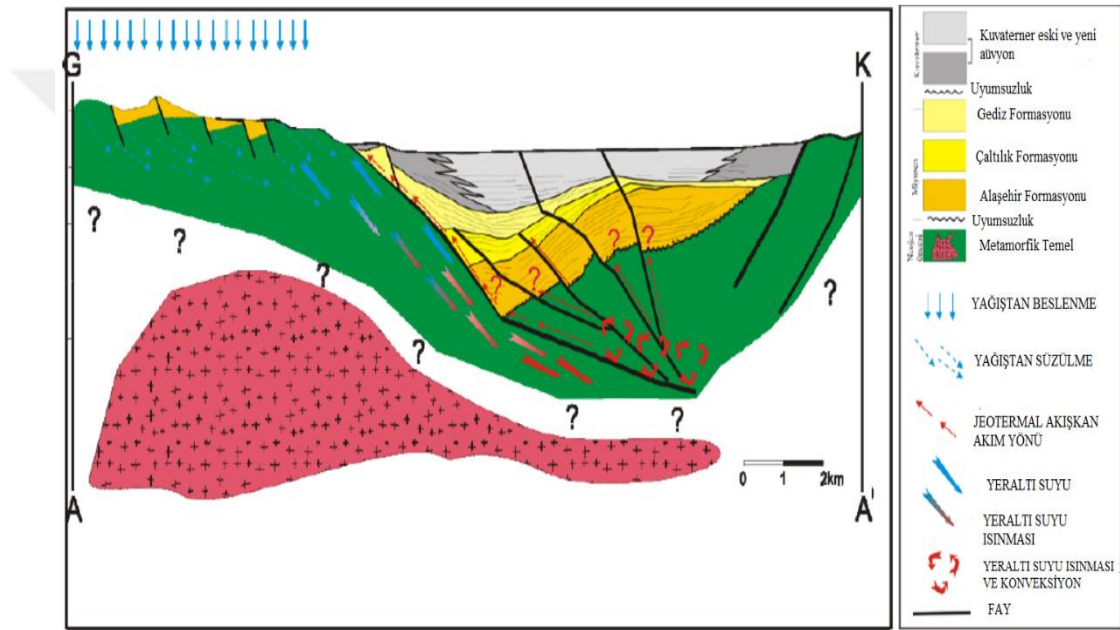
Özen, 2009 çalışmasında “Neojen yaşlı karasal tortullar içerdikleri killi seviyelerden dolayı geçirimsizlikleri oldukça düşük olup jeotermal sistemlerin örtü kayacı özelliğindedir” diyerek örtü kayacı vurgulamıştır.

Zorlu (2013), Neojen yaşlı tortullara ek olarak metamorfik temel istifindeki mermer-kireçtaşı ile ardalanmalı şist-şeyl seviyelerinin, Tersiyer istifindeki kil-killi kireçtaşı ve çamurtaşı seviyelerinin örtü kaya olabileceğini vurgulamıştır.

3.3.3 Isı Kaynağı

Isı kaynağı olarak düşünülebilecek alanda yüzlek veren granodiyorit ısı kaynağı oluşturmak için çok yaşlıdır. Çünkü bu zamana kadar derinlerdeki eşdeğeri de çoktan

soğumuş olmalıdır. İnceleme alanının kuzeyinde bulunan Kula ve Adala bazaltları genç (Kuvaterner) volkanikler olduğundan ve hatta son evresi 10 bin yıl öncesine dayandığından şu an için soğumuş bile olsa ısı kaynağı oluşturabilecek durumdadır. Ancak alandaki jeotermal sisteme olan uzaklığı ve beslenme alanının farklı yönde olması nedeniyle bu bazaltlar da inceleme alanındaki sistemlerin ısı kaynağı olarak çok uygun değildir. Bununla birlikte alanın bir graben olduğu bilinmektedir (Bülbül, 2009). Graben alanlarındaki tektonik etkilerle yükselen jeotermal gradyan sistemin ısı kaynağını oluşturmaktadır (Tarcan ve diğ., 2005).



Şekil 3.3 Çalışma alanı ve çevresinin jeotermal sistem modeli (Çiftçi ve bozkurt, 2009; Bülbül, 2009)

3.4 Meteorolojik Su Bütçesi

Çalışma alanının bağlı olduğu Manisa iline ait Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1929-2016 yılları arasındaki düzenli sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak hidrolojik bütçe elemanları Thornthwaite (1948)'e göre hesaplanmıştır (Tablo 3.2). Thornthwait'in aylık potansiyel buharlaşma-terlemeyi veren formülü:

$$Etp = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \text{ dir.} \quad (3.1)$$

$$Etp = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \text{ dir. } I = \sum i \text{ dir.} \quad (3.2)$$

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad (3.3)$$

Olup, i=sıcaklık indisidir.

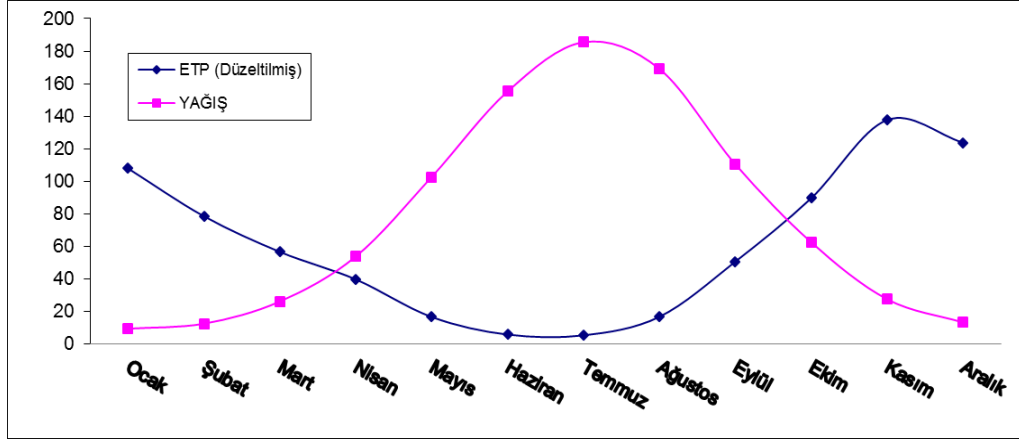
$$a = 6,75.10^{-7}.I^3 - 7,71.10^{-5}.I^2 + 1,79.10^{-2}.I + 0,412 \quad (3.4)$$

t: Aylık sıcaklık ortalaması (°C).

Etp: Aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (cm).

Önce her ay için ayrı ayrı i değerleri hesaplanmaktadır. 12 aya ait i değerleri toplanarak I elde edilir. I, a'yı veren formülde yerine konur ve a hesaplanır. A bulunduktan sonra her aya ait t değerlerine göre değişen, aylık potansiyel buharlaşma-terleme hesaplanmaktadır (Bülbül, 2009).

Tablo 3.2'de görüldüğü üzere; Alaşehir ilçesindeki yıllık toplam potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 928,281 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 377,308 mm olarak elde edilmiştir. Nisan sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr'ye eşit olur. Nisan sonuna kadar zemin rezervi doludur. Mayıs sonuna kadar yedekten kullanılmakta, Haziran başlarında zemin rezervi tükenmektedir. Haziran ayından Kasım ayına kadar zemin rezervi olmadığından tarımsal su açığı gözlenmektedir. Ocak başlarında ise zemin rezervi dolmuş olmaktadır. Bu verilere göre, Haziran başından Ekim sonuna kadar ki dönem “Kurak Dönem”, Kasım başından Nisan sonuna kadar ki dönem “Yağışlı Dönem” olarak adlandırılmıştır. Ortalama yağış ve düzeltilmiş Etp'nin aylık değişimleri Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 1929-2016 yılları arasında Manisa ilinin 87 yıllık aylık sıcaklık ve yağış ortalamalarına göre Throntwhite yöntemiyle hesaplanan buharlaşma-terleme diyagramı

Tablo 3.2 1929-2016 yılları arasında Manisa ilinin sıcaklık ve yağış ortalamalarına göre buharlaşma-terleme tablosu (Thronwhite)

AYLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
ENLEM: 38'												
Sıcaklık (°C)	6,7	7,9	11	15	20	26	28	28	23	18	12	8,2
Sıcaklık İndeksi	1,6	2	3,1	5,4	8,4	12	14	13	10	6,8	3,9	2,1
Potansiyel Buharlaşma (mm)	11	15	25	49	83	125	148	145	106	65	33	16
Enlem Düzeltme Katsayısı	0,9	0,8	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1	1	0,8	0,8
Düzeltilmiş Potansiyel Buharlaşma (mm)	9,4	13	26	54	103	155	186	169	111	63	28	13
Yağış (mm)	124	108	79	57	40	17	5,8	5,3	17	51	90	138
Zemin Rezervi (mm)	100	100	100	100	37	0	0	0	0	0	62	100
Gerçekleşen Buharlaşma (mm)	9,4	13	26	54	103	54	5,8	5,3	17	51	28	13
Eksik Su (mm)	0	0	0	0	0	102	180	164	94	12	0	0
Fazla Su (mm)	114	95	52	2,8	0	0	0	0	0	0	0	87
YAS'na sızan su	79	87	70	36	18	9,1	4,5	2,3	1,1	0,6	0,3	43

BÖLÜM DÖRT

HİDROJEOKİMYA

Hidrojeokimya yeraltı sularının kimyasal özelliklerinin ve kalitelerinin belirlenmesi, kökenlerinin araştırılması, yüzey ve yağış suları ile olası ilişkilerinin incelenmesi, yeraltı sularının kirlenmesi ve iyileştirilmesi gibi problemlerin çözülmesi ve benzeri araştırmalarda kullanılan hidrojeolojik çalışmaların vazgeçilmez bir parçasını oluşturur. Her jeotermal araştırma programının önemli bir kısmını da hidrojeokimyasal teknikler oluşturur. Özellikle derin sondaj öncesinde yeraltındaki akışkan ve derinlerdeki koşulların saptanmasında, yeni jeotermometre tekniklerin geliştirilmesiyle, ucuzluğu ve hızlı yorumlanabilmesi gibi birçok avantajı da beraberinde taşımaktadır (Tarcan, 2002).

Tez çalışması kapsamında inceleme alanını yansıtan 2 adet (inhibitörsüz) jeotermal kuyudan alınan 4 adet su örneğinin analizleri kullanılmıştır. Bu analiz sonuçları ile birlikte Bülbül (2009)'dan 2'şer adet sıcak ve soğuk su örnekleri (5-8 no.lar arası örnekler) ve Bostancı (2016)'dan 2 adet (3 ve 4 no.lu) sıcak su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları beraber değerlendirilerek alanın hidrojeokimyasal özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışma alanına ait birincil ve ikincil iyon değerlerine ait bilgiler Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1 İnceleme alanındaki su noktalarına ait birincil iyon değerleri (Derişimler mg/l cinsinden)
(*Bostancı, 2016'dan alınan analiz sonuçları, ** Bülbül, 2009'dan alınan analiz sonuçlarıdır)

Örnek No.	Örnek adı ve yeri	Tarih	Birincil iyonlar (mg/l)							
			Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	SiO ₂
1a	A-1	40229	570	100	5,65	<1	1333	174	8,8	675
1b	A-1	40836	534	90,5	2,09	<1	1389	166	10,2	366
2a	A-2	40683	550	78,9	2,27	<1	1443	182	14,6	501
2b	A-2	40812	580	85,3	2,09	<1	1383	173	15,1	504
3	BY-1*	-	534	54,8	7,93	1	1885,6	181	18,9	310
4	BP-1*	-	537	54,1	6,13	1	1721,6	168	14,3	330,1
5	AK-1 **	39143	1290	17,6	5	1,8	2929	342	280	89,7
6	AK-2	38480	926	103,5	10,8	1,4	2055	224	48	491,9
7	Şahyar-Piyadeler arası kuyu**	39160	55,1	8,4	88,3	53,2	473	27	81	28,5
8	Alaşehir ılıcası**	39602	231,5	15,9	2,8	192,3	1447	60	276	57,4

Tablo 4.2 İnceleme alanındaki su noktalarına ait ikincil iyon değerleri (Derişimler mg/l cinsinden)
(*Bostancı, 2016'dan alınan analiz sonuçları, ** Bülbül, 2009'dan alınan analiz sonuçlarıdır)

Örnek No.	Örnek adı ve yeri	İkincil İyonlar (mg/l)							
		As	B	Li	Fe	Br	Sr	Ba	Zn
1a	A-1	0,1	98,6	5,8	<0,05	0,78	-	-	-
1b	A-1	0,03	86	6,1	<0,05	0,7	0,24	1,06	0,02
2a	A-2	0,08	101	6,2	<0,05	0,9	-	-	-
2b	A-2	0,02	90	6,8	<0,05	0,7	0,26	0,89	0,03
3	BY-1*		98,1						
4	BP-1*		98,5						
5	AK-1**	0,26	15	0,64	10,39	2,213	0,46	0,891	0,021
6	AK-2**	0,791	124,1	7,72	1,073	1,344	0,52	2,319	0,008
7	Şahyar-Piyadeler arası kuyu**	0,001	1,757	0,09	0,104	0,088	0,32	0,204	0,004
8	Alaşehir ılıcası**	0	0,011	0	0,018	0,005	0,1	0,044	0,786

Suda başlıca çözünmüş (en çok çözünen) maddeler (Na, Ca, Mg, Cl, HCO₃, SO₄, SiO₂); ikincil çözünmüş maddeler (CO₃, K, Fe, B) ve az çözünmüş maddeler (örneğin, Li, Cu, Mn, Ni, Pb, vb.) arasındaki ilişkiler de hidrojeokimyasal değerlendirmelerin

önemli bir kısmını oluşturabilir. (....) Li; aslında az çözünen bileşenlerden olmakla birlikte sıcak sular için önemli bileşenlerden birisi olduğu için burada birlikte belirtilmiştir. Özetle sıcak sularda soğuk sulara oranla çok daha fazla Li bulunmaktadır. Bunda çözünürlüğünün sıcaklıkla artması kadar iyon değişim tepkimelerinin de etkisi bulunmaktadır. Sıcak sularda tüm bileşenler genellikle soğuk sulara oranla daha yüksektir. Ancak özellikle SiO₂, Na, Li ve B çok daha yüksek ve belirleyicidir. Bu 4 bileşen sıcak sular için indikatör bileşenler arasındadır. Bu değerler yüksek, ancak sıcaklığı 20 °C'den düşük olan sular da sıcak ve mineralli sular özelliğindedir (Bülbül, 2009).

İşletme durumunda olan jeotermal sistemlerde kimyasal izleyici olarak B, SiO₂ ve Cl iyonları kullanılmaktadır. Bor (B) jeotermal akışkan içerisinde Borikasit (H₃BO₃) şeklinde bulunur. Menderes masifi kayaçları içerisinde muskovit, biyotit, feldispat, hornblend ve turmanlin gibi bor içeren mineraller bulunmaktadır. Su-kayaç etkileşimi ve hazne kaya özelliği gösteren birimlerin içerisindeki gnays ve mikaşist etkisiyle çalışma alanındaki sıcak ve mineralli sular içerisinde bulunan bor miktarında artışa sebep olmuştur. Menderes masifi kıtasal rift zonlarında bulunan sıcaksuların bi karbonat tipli sular olması ve akışkan içerisinde CO₂ olması, sıcaklığın da etkisiyle bor minerallerinin çözünürlüğünü artırmaktadır.

Klorür (Cl) çözüldükten sonra başka bir mineralin bünyesine girememektedir, bundan dolayı jeotermal suyu izlemekte önemli bir parametredir. Yüksek Cl değerleri derinden ve yüksek debili beslenmeyi ifade ederken, düşük Cl değerleri yüzey sularının giriş doğrultuları hakkında bilgi vermektedir. Üretim ve enjeksiyon arasındaki ilişkiyi izlemekte yardımcı bir parametredir. Rezervuarda yüksek sıcaklıkta dengede olan amorf yapıdaki silika ve kuvars ile dengede olan akışkan içerisinde H₄SiO₄ (monosilik asit) formunda bulunmaktadır. Genel olarak B, Cl, SiO₂ değerleri sıcaklık ile doğru orantı göstermektedir.

Aquchem programıyla parametrelerden toplam katyon ve anyon miktarları mek/l olarak, TDS (toplam çözünmüş katı) mg/l olarak hesaplanmıştır. Suların kimyasal analizlerinde yapılabilecek hatalar anyon katyon dengesinden $e = ((\sum \text{katyon} - \sum \text{anyon}) / \sum \text{katyon}) \times 100$ olarak hesaplanmaktadır.

anyon)/Σiyon)x100 (mek/l)” bağıntısıyla hesaplanmıştır. Pozitif değerler katyon fazlalığını, negatif değerler ise anyon fazlalığını gösterir.

Hata yüzdesinin genellikle % 5’den düşük olması istenir. Ancak suların analizi sırasında yapılan hatalar dışında da bu oran bazen (özellikle seyreltik sularda) % 5’den yüksek olabilir. Bu durumda sularda analizi yapılmamış olan iyon türlerinden bazılarının suda baskın olduğu yorumu yapılabilir (Bülbül, 2009). Su örneklerinin fizikokimyasal özellikleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3 İnceleme alanındaki su noktalarının tanımı ve bazı genel fizikokimyasal özellikleri (Sıcaklık-T (°C), toplam katyon ve anyon derişimleri mek/L dir.) (*Bostancı, 2016’dan alınan analiz sonuçları, ** Bülbül, 2009’dan alınan analiz sonuçlarıdır)

Örnek No.	Örnek adı ve yeri	Kuyu dibi sıcaklığı (°C)	Kuyu Başı sıcaklığı (°C)	T(°C)	pH	Eh (mV)	EC (µS/cm)	Toplam Anyon (mek/l)	Toplam Katyon (mek/l)	Hata Yüzdesi (%e)	TDS (mg/l)
1a	A-1	200	168	20	7	-23,6	2490	27,87	33,28	8,85	1790
1b	A-1	-	138	20	7,3	-25	2500	27,24	32,07	8,15	1781
2a	A-2	-	149	20	7,2	-15	2550	28,11	34,74	10,55	2038
2b	A-2	-	139	20	7,3	-3,9	2560	29,10	34,62	8,66	2061
3	BY-1*	-	179		8,53	-334	2590	36,56	25,11	-18,6	1766
4	BP-1*	-	68		7,22	-277	2600	33,41	25,13	-14,1	786
5	AK-1**	116	-	21	8,14	0	4450	63,51	57,99	-4,55	2153
6	AK-2**	213	-	45	7,99	-72	3150	41,02	51,39	11,22	2675
7	Şahyar-Piyadeler arası kuyu**	-	21,3	21,3	7,16	-21	915	10,20	11,49	5,95	573
8	Alaşehir ılcısı**	-	30,5	30,5	6,82	7	2240	27,63	32,05	-7,4	1268

4.1 Kimyasal Analiz Sonuçlarının Hidrojeokimyasal Değerlendirmesi

4.1.1 Suların Fasiyes Tipine Göre Sınıflanması

Suların fasiyes tiplerini belirleyebilmek için AIH (Uluslararası Hidrojeologlar Birliği)’ nin sınıflaması kullanılmıştır. Bu sınıflamaya göre suda çözülmüş başlıca iyonların katyon ve anyonlarının % mek/l değerleri Aquachem 3.70 programıyla hesaplanmıştır. Bu sınıflamada % 20 ve % 20’den daha fazla mek/lt değerine sahip olan iyonlar, büyük değerden küçük değere olmak kaydıyla, öncelikle katyonlar

sonrasında anyonlar sınıflanarak Tablo 4.4'te gösterilmiştir. Çalışma alanındaki suların hidrokimyasal fasiyesi incelendiğinde sıcak sular Na-HCO₃, soğuk sular Ca-Mg-Na-HCO₃ ve Mg-Na-HCO₃ fasiyes tipine sahiptir.

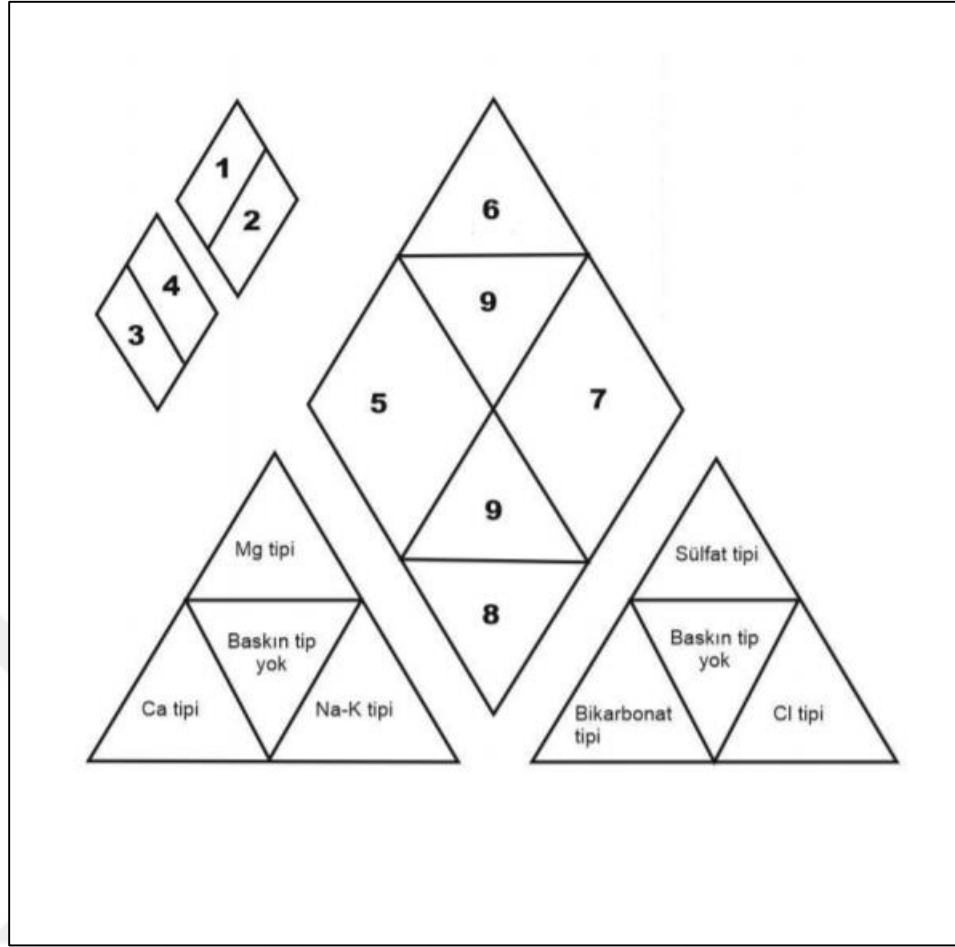
Tablo 4.4 Suların Uluslararası Hidrojeologlar Birliğine (AIH) göre sınıflandırılması

Örnek No.	Örnek adı ve yeri	Su Fasiyes Tipi
1a	A-1	Na-HCO ₃
1b	A-1	Na-HCO ₃
2a	A-2	Na-HCO ₃
2b	A-2	Na-HCO ₃
3	BY-1*	Na-HCO ₃
4	BP-1*	Na-HCO ₃
5	AK-1 **	Na-HCO ₃
6	AK-2**	Na-HCO ₃
7	Şahyar-Piyadeler arası kuyu**	Ca-Mg-Na-HCO ₃
8	Alaşehir ılıcası**	Mg-Na-HCO ₃

4.1.2 Piper Üçgen Sınıflaması

İyonların toplu olarak gösterildiği ve köken bakımından karşılaştırılmasında kolaylık sağladığı için sıklıkla kullanılan bir diyagram türüdür.

Piper diyagramı, % mek/l cinsinden anyon ve katyonların ayrı ayrı gösterildiği iki üçgenden ve tüm iyonların ortak gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlarda suların fasiyes tiplerinin saptanması, eşkenar dörtgende ise suların sınıflaması ve karşılaştırılması mümkündür. Ayrıca eşkenar dörtgen diyagram dokuz bölüme ayrılmıştır (Bülbül, 2009).

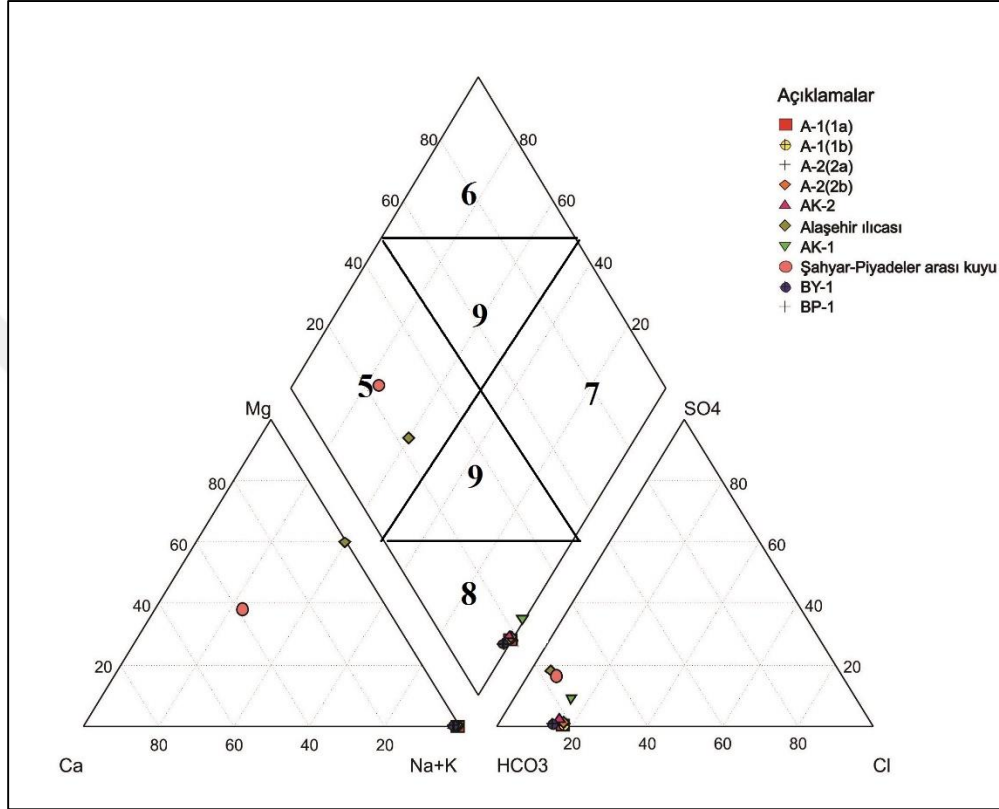


Şekil 4.1 Piper üçgen diyagramında su noktalarının sınıflandırılması (Giggenbach, 1988)

Diyagramda ayrılan bölümlerin yorumu aşağıda verilmiştir.

- 1 no'lu alan; alkali toprak elementler ($\text{Ca} + \text{Mg}$) > alkali elementler ($\text{Na} + \text{K}$).
- 2 no'lu alan; ($\text{Ca} + \text{Mg}$) < ($\text{Na} + \text{K}$).
- 3 no'lu alan; zayıf asit kökleri ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$) > güçlü asit kökleri ($\text{Cl} + \text{SO}_4$).
- 4 no'lu alan; ($\text{Cl} + \text{SO}_4$) > ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$).
- 5 no'lu alan; Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular.
- 6 no'lu alan; Karbonat olmayan sertliği % 50'den fazla olan sular.
- 7 no'lu alan; Karbonat olmayan alkalitesi % 50'den fazla olan sular. NaCl, KCl, Na_2SO_4 , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır.
- 8 no'lu alan; karbonat alkalileri % 50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer.
- 9 no'lu alan; iyonların hiçbirisi % 50' yi geçmeyen, karışık sular bu alana girer.

Şekil 4.2 incelendiğinde Çalışma alanındaki Sıcak ve mineralli sular; zayıf asit kökleri (CO_3+HCO_3)'nin güçlü asit kökleri ($\text{Cl}+\text{SO}_4$)'den fazla olduğu ve karbonat alkalilerinin % 50'den fazla olduğu sınıflara girmektedir. Soğuk sular ise karbonat sertliği % 50'den fazla olan sular sınıfına girmektedir.

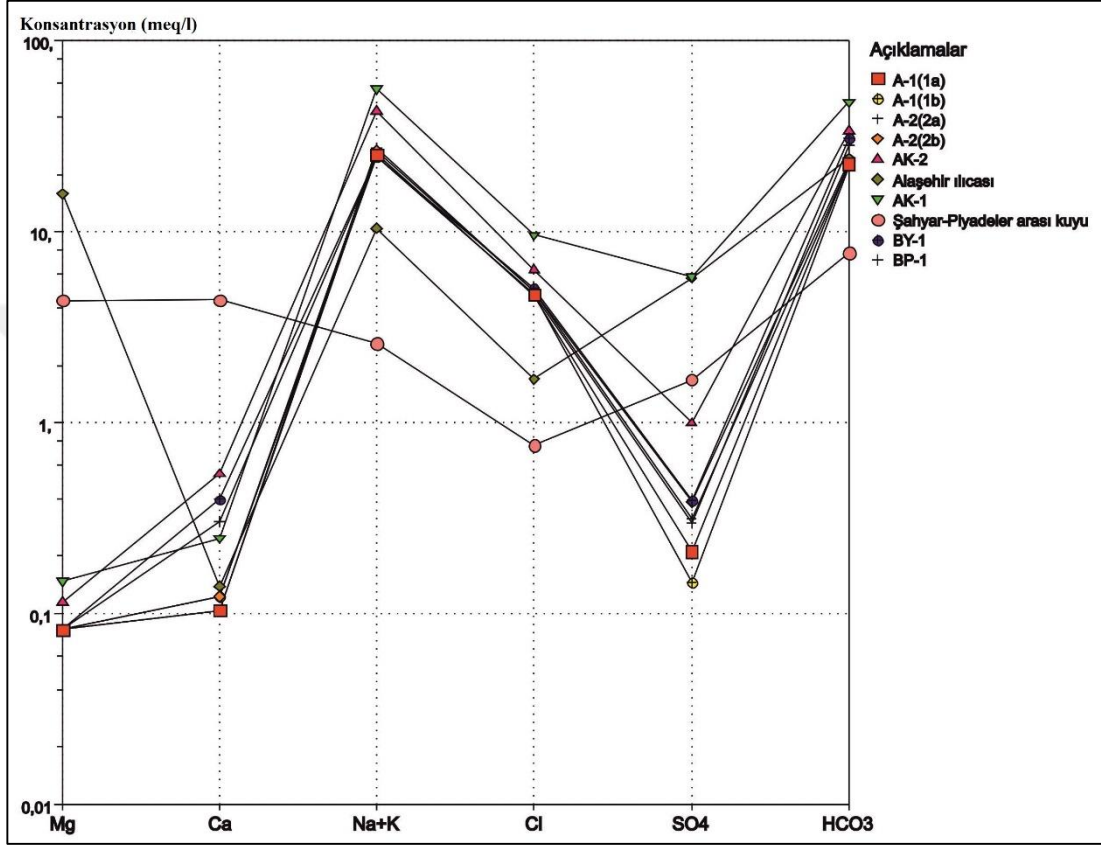


Şekil 4.2 İnceleme alanında örneklenen suların piper üçgen diyagramındaki sınıflaması (derişimler % mek/lt cinsinden)

4.1.3 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagrama Göre Suların Sınıflandırılması

Düşey eksenini logaritmik, yatay eksenini aritmetik ölçekli kâğıtlar üzerine eşit aralıklarla yatay eksen üzerine sırası ile $r\text{Ca}$, $r\text{Mg}$, $r(\text{Na}+\text{K})$, $r\text{Cl}$, $r\text{SO}_4$ ve $r(\text{CO}_3+\text{HCO}_3)$ iyonları yerleştirilir. Her bir iyonun mek/l (r) değerleri logaritmik düşey eksenlere işaretlenerek birleştirilir. Böylece suların kimyasal özellikleri kırık çizgilerle tanımlanmış olur. Yarı logaritmik diyagramlarda, farklı sular ilk bakışta ayırt edilebilir. Buna karşın yüzde ile gösterilen diyagramlarda, kökenleri ve kimyasal özellikleri çok farklı olan sular bir arada bulunabilir (Şahinci, 1986).

Çalışma alanında örneklenen sular Scholler yarı logaritmik diyagramına göre değerlendirilmiştir ve sıcak ve mineralli suların hâkim katyonları $[Na+K]$, hakim anyonları $[Cl]$ ve $[HCO_3]$ olduğu, soğuk suların ise hakim katyonları $[Ca]$ ve $[Mg]$, hakim anyonları $[HCO_3]$ olduğu görülmüştür (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 İnceleme alanındaki suların schoeller yarı logaritmik diyagramda gösterimi

4.1.4 Suların Sertliği

Suların sertliği, başta kalsiyum, magnezyum ve bikarbonat iyonları olmak üzere kalsiyum ve magnezyum sülfat, kalsiyum ve magnezyum klorür, kalsiyum ve magnezyum nitrat ve az miktarda da demir, alüminyum ve stronsiyum iyonlarından ileri gelmektedir. Suların sertliği karbonat ve karbonat olmayan sertlik olmak üzere ikiye ayrılır (Tarcan, 2002).

Suların sertliği su içinde çözünmüş halde bulunan kalsiyum ve magnezyum bileşiklerinden ileri gelmektedir. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonatların neden olduğu sertlik geçici sertliktir ve kaynatılarak giderilebilmektedir. Kalsiyum ve magnezyumun sülfat, klorür ve nitrat gibi diğer tuzlarından ileri gelen sertlik ise kaynatılarak giderilmez ve kalıcı sertlik adını alır. Suların sertliğinin belirlenmesi için Alman, İngiliz, Fransız sertliği gibi çeşitli sınıflamalar bulunmaktadır. Bu çalışmada suların sertlikleri Fransız sertliği sınıflamasına göre belirlenmiştir. Geçici ve kalıcı sertliğin toplamı suyun toplam sertliğini verir ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir. Toplam sertlik “ $5 \times (rCa+rMg)$ (r=meq/l)” (Bülbül, 2009).

Çalışma alanına ait örneklerin Fransız sertlikleri Tablo 4.5’te belirtilmiştir. Çalışma alanındaki jeotermal sular çok yumuşak sınıfına girerken, soğuk sular oldukça sert ve çok sert sınıfına girmektedir.

Tablo 4.5 İnceleme alanındaki suların sertlik değerleri

Örnek No.	Örnek adı ve yeri	Fransız Sertliği	Suyun Sınıflaması
1a	A-1	0,93	Çok Yumuşak
1b	A-1	1,03	Çok Yumuşak
2a	A-2	0,93	Çok Yumuşak
2b	A-2	1,03	Çok Yumuşak
3	BY-1*	2,39	Çok Yumuşak
4	BP-1*	1,94	Çok Yumuşak
5	AK-1**	1,99	Çok Yumuşak
6	AK-2**	3,27	Çok Yumuşak
7	Şahyar-Piyadeler arası kuyu**	43,91	Oldukça Sert
8	Alaşehir ılıcası**	79,8	Çok Sert

4.2 Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri

4.2.1 İçme Sularının Özellikleri

TS 266 (2005)'e göre inceleme alanındaki sular değerlendirildiğinde; EC, bor, klorür, sodyum, amonyum değerleri limit değerler üzerinde bulunduğu için içme suyu olarak kullanıma uygun değildir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6 İçme suyu kalite parametreleri (TS 266 (2005)'ya göre)

Özellik	Değer, en çok		Birim
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Tip 1	Sınıf 2 Tip 2	
Antimon	5	5	mg/L
Arsenik	10	10	mg/L
Benzen	1	1	mg/L
Bor	1	1	mg/L
Bromat	10	10	mg/L
Kadmiyum	5	5	mg/L
Krom	50	50	mg/L
Bakır	100	2000	mg/L
Siyanür	50	50	mg/L
Florür	1	1,5	mg/L
Kurşun	10	10	mg/L
Cıva	1	1	mg/L
Nikel	20	20	mg/L
Nitrat	25	50	mg/L
Selenyum	10	10	mg/L
Alüminyum, en çok	200	200	mg/L
Amonyum, en çok	0,05	0,5	mg/L
Klorür, en çok	30	250	mg/L
İletkenlik 20 °C' de, en çok	650	2500	mS/cm
pH	6,5<pH<9,5	6,5<pH<9,5	pH birimi
Demir, en çok	50	200	mg/L
Mangan, en çok	20	50	mg/L
Sülfat, en çok	25	250	mg/L
Sodyum, en çok	100	200	mg/L

4.2.2 Kullanma (Sulama) Sularının Özellikleri

4.2.2.1 Suların Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

Tuzlu sulardaki sodyum, zemindeki kalsiyum iyonlarıyla yer değiştirerek toprak geçirgenliğini ve havalanmasını azaltır, böylece dolaylı olarak bitkilerin gelişmesi yavaşlar (Şahinci, 1991).

Tablo 4.7'ye göre Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların kötü özellikte sulama suyu sınıfına girerken, soğuk sular çok iyi özellikte sulama sınıfındadır.

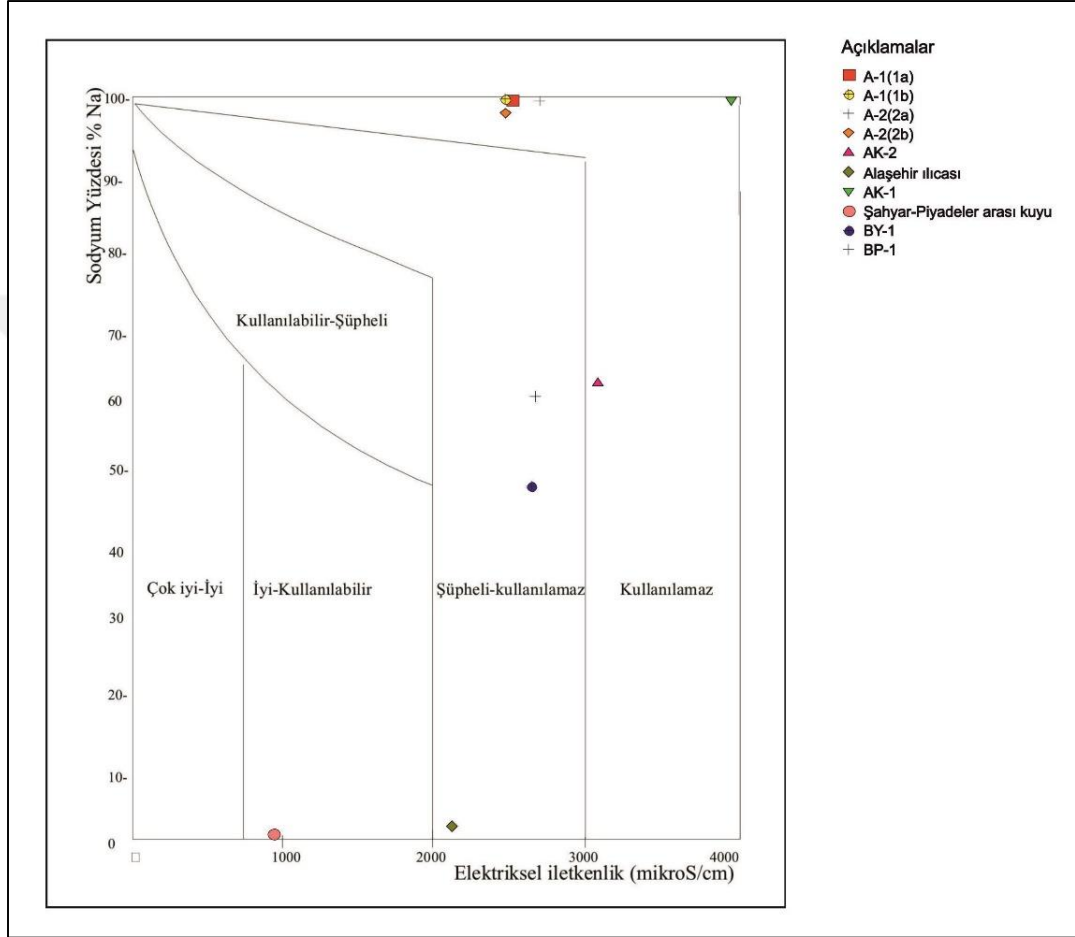
Tablo 4.7 İnceleme alanında örneklenen suların SAR'a göre sınıflaması

Örnek No.	Örnek adı ve yeri	%SAR	Sınıflandırma
1a	A-1	76,05	Kötü özellikte sulama suyu
1b	A-1	70,42	Kötü özellikte sulama suyu
2a	A-2	82,6	Kötü özellikte sulama suyu
2b	A-2	75,81	Kötü özellikte sulama suyu
3	BY-1*	47,51	Kötü özellikte sulama suyu
4	BP-1*	53,02	Kötü özellikte sulama suyu
5	AK-1**	125,82	Kötü özellikte sulama suyu
6	AK-2**	70,43	Kötü özellikte sulama suyu
7	Şahyar-Piyadeler arası kuyu**	1,14	Çok iyi özellikte sulama suyu
8	Alaşehir ılıcası**	3,6	Çok iyi özellikte sulama suyu

4.2.2.2 Sulama Sularının Wilcox Diyagramına Göre Sınıflandırılması

Suyun kimyasal analizinden hesaplanan % Na değeri düşey eksene işaretlenerek bu noktadan yatay eksene paralel çizilir. EC değeri de yatay eksende bulunarak bu noktadan yatay eksene dik çıkılır ve paraleli kestiği nokta suyun özelliğini verir. Bu

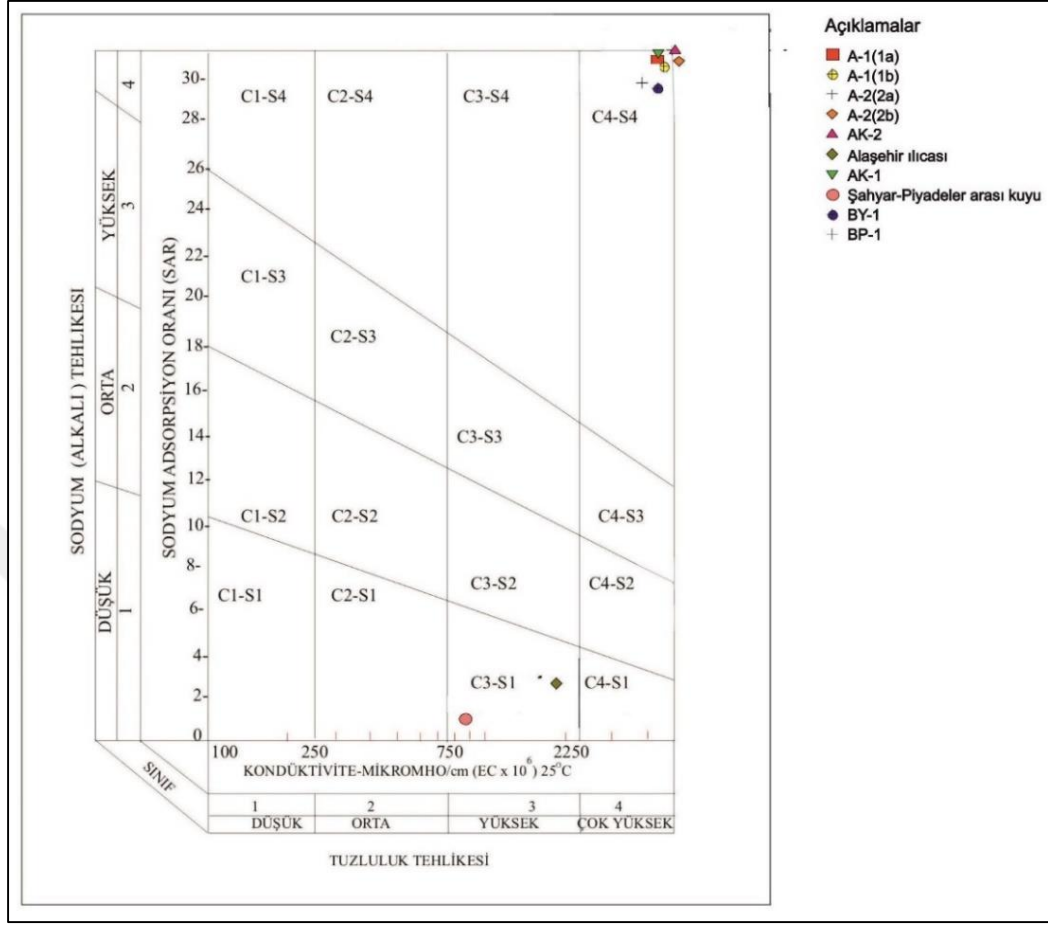
diyagramdan sulama suları doğrudan yorumlanabilir (Şahinci, 1991). Çalışma alanındaki jeotermal suların Wilcox diyagramındaki dağılımları Şekil 4.4'te görüldüğü üzere Şahyar-Piyadeler arası kuyu dışındakiler “şüpheli, kullanılamaz” ve “kullanılamaz” özelliktedir.



Şekil 4.4 İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramına göre sınıflandırılması

4.2.2.3 Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarına Diyagramına Göre Sınıflandırılması ve Sodyum Tehlikesi (SAR)

İnceleme alanında örneklenen suların ABD tuzluluk diyagramına göre sınıflaması Şekil 4.5'te verilmiştir. ABD tuzluluk diyagramında inceleme alanındaki soğuk sular C3-S1 alanında yoğunlaşmaktadır, yani bu alandaki sular her türlü sulamada kullanılabilirler ancak sıcak ve mineralli sular C4-S4 alanının da dışında kalmış ve sulamada kullanılamaz özelliktedir.



Şekil 4.5 İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk diyagramına göre sınıflaması

4.3 Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermometre uygulamaları, jeotermal sahalarda kaynak olarak ya da sondajlar yardımıyla yüzeyleyen sıcak akışkanın kimyasal özelliklerinden yararlanarak rezervuar (hazne) sıcaklığının tahmin edilmesi esasına dayanmaktadır (Tarcan, 2002).

Bu çalışmada inceleme alanını yansıtan su örneklerinden yola çıkılarak hazne kaya sıcaklıklarını tahmin ederken kimyasal jeotermometre uygulamaları ile birlikte kombine (birleşik) jeotermometre ve mineral denge-sıcaklık diyagramı jeotermometresi uygulamalarından yararlanılmıştır.

4.3.1 Kimyasal Jeotermometreler

Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklığının tahmin edilmesi termal suların uygun şekilde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Jeotermal kaynakların araştırılmasında jeokimyanın en önemli uygulamalarından birisi kimyasal jeotermometreler ile akışkanın yeraltındaki sıcaklığının tahmin edilmesidir. Kimyasal jeotermometreler sıcaklığa bağlı su-kayaç dengesine dayalıdır ve su kayaç ilişkisindeki son denge sıcaklığını verir (Tarcan, 2003). İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların akifer sıcaklıklarının tahmin edilmesinde kullanılan kimyasal jeotermometre hesaplamalar Tablo 4.9’da verilmiştir.

4.3.1.1 Niteliksel (Kalitatif) Jeotermometreler

Kalitatif jeotermometrelerin çoğu uçucu maddelerin sıcak akışkanlarda ve zeminde göreceli miktarlarına, dağılımlarına veya zemin gazlarındaki oranlarına dayanır. Termal akışkanlarda bulunan bazı element, bileşik ve oranların sıcaklık hakkında verdikleri göreceli bilgiler aşağıda belirtilmiştir (Tarcan, 2002)

SiO₂: Akifer sıcaklığı hakkında en iyi bilgi veren silistir ve kuvarsın dengelenmesi yüksek sıcaklıkta gerçekleşir. Yüksek sıcaklıktaki suda, yaklaşık 180 °C de başlayan silis çökmesi, sıcaklığın düşmesi ile hızla artar. Klorürce fakir, asit sular 100 °C civarında kayalardaki silikatları bozundurarak amorf silisçe çok zenginleşebilir. 140 °C nin üzerinde, örtü kaya tıkkama malzemesi olarak genellikle kuvars ve kalsedon izlenir. Opal, kristobalit örtü kaya oluşturmuşsa düşük sıcaklığı belirler. Doğal gayzerlerde, yüzeyde amorf silis veya kristalleşmiş silis çökelleri, hazne kaya sıcaklığının 180 °C veya daha fazla olabileceğini gösterir (Tarcan, 2002). Alaşehir-Piyadeler jeotermal alanında rezervuar kayacı olan Menderes Metamorfitleti içerisinde bulunan kuvarsitten kaynaklı silis değerleri 300-500 ppm arasında değişmektedir. Kabuk önleyici kimyasallar kullanılmaması durumunda kuyu içerisinden başlayarak enjeksiyona kadar silisli minerallerin çökeldiği görülmektedir. Oluşan bu silis çökelleri hazne kaya sıcaklığının 180 °C veya daha fazla olabileceğini göstermektedir.

Klorür: Akifer sıcaklığı 150 °C üzerindeki sularda, genellikle 150 ppm den fazla klorür (kökeni deniz suyu olanlar dışında), ender olarak yüksek sıcaklıklı su sistemlerde (200 °C nin üzerinde) ise 40 ppm in altındadır. Klorür, sıcak su sistemi ile buhar sistemini ayıran en önemli kriterdir. Birçok klorür tuzları sıcak sularda çözünür ve sıcak sistemlerde bol bulunur. 400 °C’de bile klorür tuzlarının uçuculuğu önemsizdir. Bu nedenle, düşük basınçlı buhar sistemlerinde klorür azdır, 50 ppm in üzerinde klorür izlenirse sıcak su sistemini belirler (Şahinci,1991b). Çalışma sahasını yansıtan analiz sonuçlarında Cl değerleri ortalama 170 ppm’dir. Sahadaki Cl değerlerinin yüksek olması kıtasal kabuk kökenli kayalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

B, NH₄, H₂S, Hg, Cl, Na, K, Li, Rb, Cs, As: Bu gibi element ve bileşiklerin bir veya bir kısmının suda fazla bulunması, akifer sıcaklığının yüksek olabileceğini gösterir (Tarcan, 2002). Çalışma sahasını yansıtan sıcak su analiz sonuçlarında bahsi geçen tüm element ve bileşikler soğuk su analiz sonuçlarına göre yüksek değerler vermektedir, bu durum Alaşehir-Piyadeler jeotermal sahasının yüksek akifer sıcaklığına sahip olduğunu göstermektedir.

Na/K oranı: Bu oranın yüksekliği, genellikle akifer sıcaklığının fazla olabileceğini işaret eder. Özellikle bu oran, 20/1-8/1 arasında anlamlıdır. Bu oran ile hesaplanan akifer sıcaklığı, suyun geldiği başlangıç derinlik veya yatay uzaklığın sıcaklığını tanımlar. Yüzeydeki sıcak suyun kimyasal tahlillerine göre silis jeotermometresi ile hesaplanan akifer sıcaklık değeri, Na/K ile bulunandan küçük ise, akışkanın hazne kayadan yüzeye gelişi sırasında soğuk sular ile karışmış olabileceği vurgulanır (Tarcan, 2002). Çalışma alanındaki sıcak sulara ait Na/K oranları 5/1- 9/1 arasında değişmektedir. Jeotermometre hesaplamalarına göre Na/K değerleri, silis jeotermometrelerine göre daha yüksek değerler vermektedir, soğuk su karışımı ihtimali vardır.

Cl/(HCO₃+CO₃): Bu oran yüksek ise akifer sıcaklığı fazla olabilir (Tarcan, 2002). Karbonatlı bileşikler genel olarak soğuk sularda daha iyi çözünmektedir ancak çalışma alanındaki hazne kaya mermerce zengin olduğundan dolayı asidik koşullardaki

rezervuar ortamında HCO_3^- 'ce zenginleşmektedir. $\text{Cl}/(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-})$ değeri ortalama 0.1' dir.

Mg ve Mg/Ca Oranı: Mg miktarı ve Mg/Ca oranı küçük ise akifer sıcaklığı yüksek olabilir (Tarcan, 2002). Çalışma alanındaki sıcak sulardaki Mg miktarı soğuk sulara göre oldukça düşük olması akifer sıcaklığının yüksek olabileceğine işaret etmektedir.

Cl/SO₄ Oranı: Bu oran yüksek ise akifer sıcaklığı yüksektir (Tarcan, 2002). SO₄ soğuk sulara daha iyi çözünmektedir. Çalışma sahasındaki Cl/SO₄ oranı sıcak sulara soğuk sulara göre daha fazladır, bu durum akifer sıcaklığının yüksek olacağını göstermektedir.

4.3.1.2 Niceliksel (Sayısal) Jeotermometreler

Sayısal jeotermometrelerin kullanılması esnasında bazı varsayımlar göz önünde bulundurulur. Sıcak sulardaki kimyasal bileşenlerin oluşması için gereken kimyasal tepkimeler, akifer ile su arasında gerçekleşmektedir. Sıcaklık saptanmasında gerekli bileşenlerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi hazne kayaçta bol miktarda bulunur. Akifer sıcaklığında kayaç ile su arasında denge gerçekleşmiştir. Akiferlerden yüzeye ulaşan sıcak suyun soğuması sonucunda kimyasal yapısında değişiklik gerçekleşmez veya yeni bir kimyasal denge oluşmaz. Akifer den gelen sıcak suların, soğuk yeraltı ve yüzey suları ile bir karışımı söz konusu değildir. Sayısal kimyasal jeotermometrelerin, çözünürlüğe, iyon derişimine ve iyon etkinliğine bağlı olmak üzere genel olarak üç kısmı ayrılır (Tarcan, 2004).

4.3.2 Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler

4.3.2.1 Silis Jeotermometreleri

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, akifer (hazne) sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler 150-225 °C

sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225 °C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sulara gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır. Silisin bu özelliğinden yola çıkılarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır (Tarcan, 2002).

4.3.2.2 İyon Derişimine Bağlı Jeotermometreler

4.3.2.2.1 Na/K, Na-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca jeotermometreleri. Bu jeotermometreler suda fazla miktarda Ca iyonu bulunuyorsa, akifer (hazne) sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, $\log(\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na})$ değerinin 0.5'ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350 °C sıcaklıktaki bir akiferden gelen sulara daha iyi sonuçlar vermektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen birçok kimyasal jeotermometre bağıntıları aşağıda özetlenmiştir (Tarcan, 2004).

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

$$t^{\circ}\text{C} = [1647 / (\log (\text{Na}/\text{K}) + \beta \log (\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na}) + 2,24)] - 273,15 \quad (4.1)$$

Bağıntıda Na, K, Ca, mol/l olarak alınır. β bir katsayıdır. Eğer $\log (\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na})$ değeri (-) ise $\beta= 1/3$, (+) ise $\beta=4/3$ olarak bağıntıya konur. Ayrıca $\beta=4/3$ olarak hesaplanan akifer sıcaklığı 100 °C'den fazla ise $\beta=1/3$ alınarak akifer sıcaklığı tekrar hesaplanabilir (Tarcan, 2004).

4.3.2.2.3 *Magnezyum Düzeltmeli (R) Na-K-Ca Jeotermometresi*. Fournier, 1979'a göre Na-K-Ca jeotermometre bağıntısında bazı koşullarda düzeltmeler yapılmasını önermişlerdir. Buna göre düzeltme katsayısı (R), $R = (Mg / Mg + Ca + K) \times 100$ bağıntısı ile bulunur.

Bağıntıda iyonlar mek/l olarak ele alınır. Eğer R, 50' den büyük ise, suların oldukça soğuk bir ortamdan geldiği ve akifer sıcaklığının, kaynakta ölçülen sıcaklığa yakın olduğu düşünülebilir. Bu nedenle Na-K-Ca bağıntısından elde edilen yüksek akifer sıcaklıklarında bazı düzeltmeler yapılması gereklidir. Bulunan akifer sıcaklığı 70 °C' nin altında ise düzeltme yapılmaz. Tersine akifer sıcaklığı 70 °C den fazla ve 5-50 arasında veya daha yüksek ise aşağıda belirtilen bağıntılardan yararlanarak düzeltme hesaplanabilir ve akifer (hazne) sıcaklığından çıkarılır. Bağıntılarda t°C: magnezyum düzeltme sıcaklığı (°C); R: düzeltme katsayısı; T: Na-K-Ca jeotermometresinde hesaplanan akifer sıcaklığıdır (°K) (Tarcan,2004).

$$t^{\circ}C = 10,66 - 4,741R + 325,87 (\log R)^2 - [1,032 \times 10^5 (\log R)^2 / T] - [1,968 \times 10^7 \times (\log R)^2 / T^2] + 1,605 \times 10^7 (\log R)^3 / T^2 \quad (4.2)$$

Tablo 4.8 Kimyasal jeotermometre hesaplamaları

NO	Jeotermometreler	Sıcaklık (°C)	Referans
1	SiO ₂ (Kuvars- buhar kaybı olmadan)	$t=1309/(5,19-\text{LOG}(\text{SiO}_2))-273,15$	Fournier 1977
2	SiO ₂ (Kuvars-max buhar kaybı)	$t=1522/(5,75-\text{LOG}(\text{SiO}_2))-273,15$	Fournier 1977
3	SiO ₂ (Kalsedon)	$t=-42,2+(0,28831*\text{SiO}_2)-3,6686*10^{-4}*(\text{SiO}_2)^2+3,1665*10^{-7}*(\text{SiO}_2)^3+77,034*\text{LOG}(\text{SiO}_2)$	Fournier and Potter, 1982
4	SiO ₂ (Kuvars)	$t=-53,5+(0,11236*\text{SiO}_2)-0,5559*10^{-4}*(\text{SiO}_2)^2+0,1772*10^{-7}*(\text{SiO}_2)^3+74,36*\text{LOG}(\text{SiO}_2)$	Fournier and Potter, 1982
5	SiO ₂ (Kuvars)	$t=-42,198+(0,28831*\text{SiO}_2)-3,6686*10^{-4}*(\text{SiO}_2)^2+3,1665*10^{-7}*(\text{SiO}_2)^3+77,034*\text{LOG}(\text{SiO}_2)$	Fournier and Potter, 1982
6	SiO ₂ (Kuvars)	$t=-55,3+(0,3659*\text{SiO}_2)-5,3954*10^{-4}*(\text{SiO}_2)^2+5,5132*10^{-7}*(\text{SiO}_2)^3+74,36*\text{LOG}(\text{SiO}_2)$	Arnorsson et al. 1988
7	SiO ₂ (Kuvars)	$t=-66,9+(0,1378*\text{SiO}_2)-4,9727*10^{-5}*(\text{SiO}_2)^2+1,0468*10^{-8}*(\text{SiO}_2)^3+87,841*\text{LOG}(\text{SiO}_2)$	Arnorsson et al. 1989
8	SiO ₂ (Kalsedon)	$t=1032/(4,69-\text{LOG}(\text{SiO}_2))-273,15$	Fournier 1977
9	SiO ₂ (Kalsedon, kondaktif soğuma)	$t=1112/(4,91-\text{LOG}(\text{SiO}_2))-273,15$	Arnorsson et al., 1983
10	SiO ₂ (Moganit)	$t=-30,7+(0,5311*\text{SiO}_2)+1,2578*10^{-4}*(\text{SiO}_2)^2-5,9241*10^{-7}*(\text{SiO}_2)^3+19,576*\text{LOG}(\text{SiO}_2)$	Gislason et al. 1996
11	SiO ₂ (α kristobalit)	$t=1000/(4,78-\text{LOG}(\text{SiO}_2))-273,15$	Fournier 1977
12	SiO ₂ (β kristobalit)	$t=781/(4,51-\text{LOG}(\text{SiO}_2))-273,15$	Fournier 1977
13	SiO ₂ (Amorf silika)	$t=731/(4,52-\text{LOG}(\text{SiO}_2))-273,15$	Fournier 1977
14	SiO ₂ (Amorf silika)	$t=-121,6+(0,2694*\text{SiO}_2)-1,8101*10^{-4}*(\text{SiO}_2)^2+7,5221*10^{-8}*(\text{SiO}_2)^3+55,114*\text{LOG}(\text{SiO}_2)$	Arnorsson, 1995
15	SiO ₂ (Kalsedon-buhar kaybı)	$t=1021/(4,69-\text{LOG}(\text{SiO}_2))-273,15$	Arnorsson et al., 1983
16	SiO ₂ (Kuvars-buhar kaybı)	$t=1164/(4,9-\text{LOG}(\text{SiO}_2))-273,15$	Arnorsson et al., 1983
17	SiO ₂ (Kalsedon)	$t=1101/(0,11-\text{LOG}(\text{I}_2))-273,15$	Arnorsson et al., 1983
18	Na/K	$t=856/(0,857+\text{LOG}(\text{Na/K}))-273,15$	Truesdell, 1976
19	Na/K	$t=1217/(1,438+\text{LOG}(\text{Na/K}))-273,15$	Fournier 1979
20	Na/K	$t=833/(0,78+\text{LOG}(\text{Na/K}))-273,15$	Tonani, 1980
21	Na/K	$t=933/(0,993+\text{LOG}(\text{Na/K}))-273,15$	Arnorsson et al, 1983
22	Na/K	$t=1319/(1,699+\text{LOG}(\text{Na/K}))-273,15$	Arnorsson et al, 1983
23	Na/K	$t=1178/(1,47+\text{LOG}(\text{Na/K}))-273,15$	Nieva and Nieva, 1987
24	Na/K	$t=1390/(1,75+\text{LOG}(\text{Na/K}))-273,15$	Giggenbach et al.,1988
25	Na-K-Ca (mmol)	$t=[1647/\text{LOG}(\text{Na/K})+B \text{ LOG}(\text{SQRT}(\text{Ca/Na}+2,24))]-273,15$	Fournier ve Truesdell (1973)
26	Na-K-Ca (R)(Mg Düzeltmeli)	$R = (\text{Mg} / \text{Mg} + \text{Ca} + \text{K}) \times 100$	Fournier ve Potter (1979)
27	K-Mg	$t=2330/(7,35+\text{LOG}(\text{K}^2/\text{Mg}))-273,15$	Fournier, 1991
28	Li/Mg	$t=2200/(5,47+\text{LOG}(\text{Li/Mg}))-273,15$	Kharaka and Mariner, 1989
29	Na/Li	$t=1590/(0,779+\text{LOG}(\text{Na/Li}))-273,15$	Kharaka et al., 1982
30	Na/Li (Cl<0,3 mol/kg)	$t=1000/(-0,38+\text{LOG}(\text{Na/Li}))-273,15$	Fouillac and Michard, 1981
31	Na/Li (Cl>0,3mol/kg)	$t=1195/(0,13+\text{LOG}(\text{Na/Li}))-273,15$	Fouillac and Michard, 1981
32	Na-Ca	$t=1096,7/(3,08-\text{LOG}(\text{Na/Ca}^{0,5}))-273,15$	Tonani, 1980
33	K-Ca	$t=1930/(3,861-\text{LOG}(\text{K/Ca}^{0,5}))-273,15$	Tonani, 1981
34	Na/K	$t=908/(0,692+\text{LOG}(\text{Na/K}))-273,15$	Arnorsson et al, 1983
35	Na/K	$t=777/(0,7+\text{LOG}(\text{Na/K}))-273,15$	Fournier & Truesdell 1973
36	Na/K	$t=1180/(1,31+\text{LOG}(\text{Na/K}))-273,15$	Fournier & Potter 79
37	Mg/Li	$t=1900/(4,67+\text{LOG}(\text{Mg}^{0,5}/\text{Li}))-273,15$	Kharaka and Mariner, 1989
38	Li	$t=2258/(1,44-\text{LOG}(\text{Li}))-273,15$	Fouillac and Michard, 1981
39	K-Mg	$t=4410/(13,95-\text{LOG}(\text{K}^2/\text{Mg}))-273,15$	Giggenbach et al., (1983)

Tablo 4.9 İnceleme alanındaki suların kimyasal jeotermometrelerle hesaplanan akifer sıcaklıkları

NO	JEOTERMOMETRELER	A-1 (1a)	A-1 (1b)	A-2 (2a)	A-2 (2b)	BY-1	BP-1	AK-1	AK-2	REFERANSLAR
		SICAKLIKLAR								
1	SiO ₂ (Kuvars- buhar kaybı olmadan)	225	225	253	255	212	217	131	251	Fournier 1977
2	SiO ₂ (Kuvars-max buhar kaybı)	204	205	226	228	194	198	128	225	Fournier 1977
3	SiO ₂ (Kalsedon)	227	227	259	261	213	218	131	256	Fournier and Potter, 1982
4	SiO ₂ (Kuvars)	172	172	192	194	162	165	101	191	Fournier and Potter, 1982
5	SiO ₂ (Kuvars)	227	227	259	261	213	218	131	256	Fournier and Potter, 1982
6	SiO ₂ (Kuvars)	224	224	264	267	208	214	119	260	Arnorsson et al. 1988
7	SiO ₂ (Kuvars)	203	203	229	231	190	195	117	227	Arnorsson et al. 1989
8	SiO ₂ (Kalsedon)	212	212	246	249	196	202	104	243	Fournier 1977
9	SiO ₂ (Kalsedon, kondaktif soğuma)	201	201	231	233	187	192	103	228	Arnorsson et al., 1983
10	SiO ₂ (Moganit)	202	202	246	249	177	186	56	243	Gislason et al. 1996
11	SiO ₂ (α kristobalit)	178	178	208	211	164	169	81	206	Fournier 1977
12	SiO ₂ (β kristobalit)	128	128	159	161	114	119	32	156	Fournier 1977
13	SiO ₂ (Amorf silika)	100	101	129	131	87	92	12	127	Fournier 1977
14	SiO ₂ (Amorf silika)	98	98	127	129	84	89	9	124	Arnorsson, 1995
15	SiO ₂ (Kalsedon-buhar kaybı)	207	207	241	243	191	197	100	238	Arnorsson et al., 1983
16	SiO ₂ (Kuvars-buhar kaybı)	225	225	257	259	210	216	122	254	Arnorsson et al., 1983
17	SiO ₂ (Kalsedon)	200	201	231	233	186	191	102	228	Arnorsson et al., 1983
18	Na/K	253	247	234	248	191	189	41	200	Truesdell, 1976
19	Na/K	278	274	263	274	228	227	95	236	Fournier 1979
20	Na/K	264	258	243	259	198	196	42	208	Tonani, 1980
21	Na/K	256	251	238	252	198	196	53	207	Arnorsson et al, 1983
22	Na/K	261	257	248	258	218	216	97	224	Arnorsson et al, 1983
23	Na/K	253	249	238	249	206	204	80	213	Nieva and Nieva, 1987
24	Na/K	278	275	265	275	234	233	111	241	Giggenbach et al.,1988
25	Na-K-Ca (mmol)	315	309	304	311	256	258	150	265	Fournier ve Truesdell (1973)
26	Na-K-Ca (R)(Mg Düzeltmeli)	310	280	298	306	226	226	103	242	Fournier ve Potter (1979)
27	K-Mg	-72	-71	-71	-72	-58	-58	-30	-66	Fournier, 1991
28	Li/Mg	70	70	71	68	-	-	154	76	Kharaka and Mariner, 1989
29	Na/Li	314	314	301	317	-	-	116	286	Kharaka et al., 1982
30	Na/Li (Cl<0,3 mol/kg)	700	698	642	713	-	-	143	586	Fouillac and Michard, 1981
31	Na/Li (Cl>0,3mol/kg)	504	503	473	511	-	-	137	441	Fouillac and Michard, 1981
32	Na-Ca	1867	1681	2028	1801	1094	1201	3165	1467	Tonani, 1980
33	K-Ca	662	633	650	648	477	492	378	544	Tonani, 1981
34	Na/K	263	258	245	259	202	200	53	212	Arnorsson et al, 1983
35	Na/K	255	249	234	250	187	185	30	197	Fournier & Truesdell 1973
36	Na/K	294	289	278	290	240	238	99	249	Fournier & Potter 79
37	Mg/Li	238	236	234	242			108	222	Kharaka and Mariner, 1989
38	Li	231	229	227	234			139	243	Fouillac and Michard, 1981
39	K-Mg	180	177	177	180	148	148	103	165	Giggenbach et al., (1983)

Kimyasal jeotermometre sonuçları incelendiğinde;

Silis jeotermometreleri hesaplamalarında Alhan bölgesindeki kuyuların sıcaklıkları 186-225 °C arasında değişirken ortalama rezervuar sıcaklığı 196 °C'dir. AK-1 kuyusu için ortalama sıcaklık değeri 118 °C, AK-2 kuyusu için ortalama sıcaklık değeri 231 °C'dir.

Kasyon jeotermometre hesaplamalarında, Na/K jeotermometrelerinde Alhan bölgesi için ortalama sıcaklık değeri 238°C hesaplanmıştır. Na/K jeotermometreleri AK-1 ve AK-2 kuyuları için daha uygundur. Na-K-Ca jeotermometreleri ortalama 271 °C değeri verirken, bilinen rezervuar sıcaklıklarının oldukça üzerindedir. Alaşehir-Piyadeler jeotermal alanı abartılı sonuçlar gözardı edildiğinde belirlenen en yüksek hazne sıcaklığı 280 °C'dir. Rezervuar sıcaklığı bilinen kuyulardan yola çıkıldığında çalışma alanı için silis jeotermometrelerini kullanmak daha doğru olacaktır.

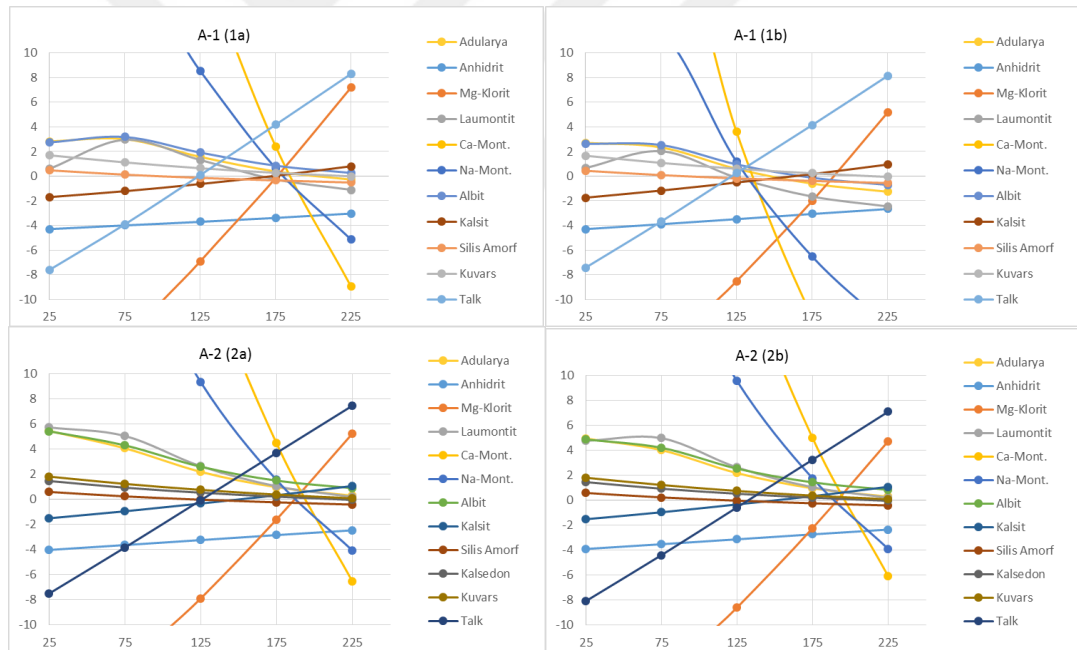
4.3.3 Mineral Denge–Sıcaklık Diyagramı Jeotermometresi

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

Suyun kimyasal analiz sonucundan yola çıkılarak her bir mineralin çeşitli sıcaklıklarda doygunluk indekslerinin hesaplanmasıyla sıcaklık-SI diyagramları çizilerek yorumlanır. SI=0 olduğu durumlarda kesişen doğrular hazne sıcaklığını vermektedir.

SI denge doğrusunun aşağısında (negatif kısımda) olabilecek kesişmeler farklı sıcaklıktaki akışkanların karışımını ve dolayısıyla bu akışkanların sıcaklıklarını belirtebilir. Denge doğrusunun yukarısında gerçekleşen kesişimler sudan buhar ayrılması ile farklı sıcaklık karışımlarını gösterebilir (Reed ve Spycher, 1984).

Çalışma alanında A-1 kuyusunun diyagramları incelendiğinde 175 °C’ de SI=0 noktasında birçok mineralin kesiştiği görülmektedir. 125 °C’de denge doğrusunun üzerinde mineral kesişimleri sudan buhar ayrılma durumunun olduğunu göstermektedir. A-2 kuyusuna ait grafikler incelendiğinde 190 °C civarında denge doğrusu üzerinde mineraller kesişmektedir. Ancak farklı sıcaklıklarda denge doğrusu üzerinde ve altında çakışmalar olması farklı sıcaklıktaki akışkanların karıştığını ifade edebilir (Şekil 4.6)



Şekil 4.6 Çalışma alanındaki A-1 ve A-2 kuyularının farklı tarihlerde örneklenen sıcak suları için WATCH-2003 programında hazırlanmış doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramları

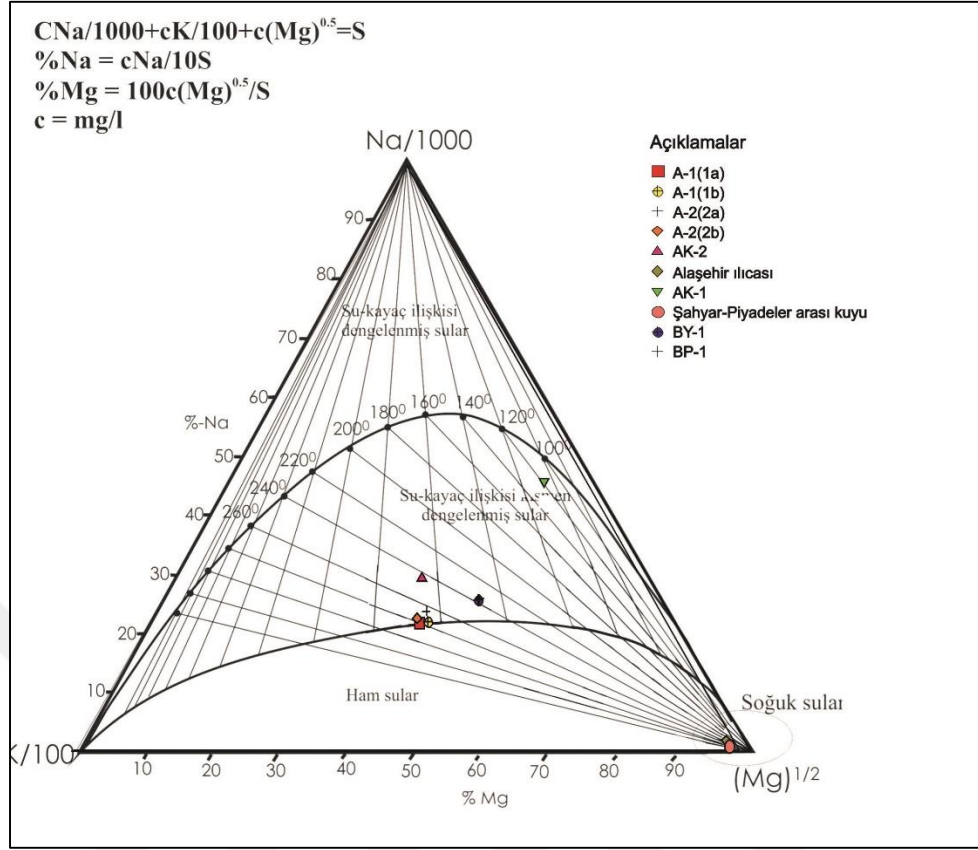
4.3.4 Birleşik (Kombine) Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermometrelerin sıcak suyun kimyasal yapısına bağlı olarak uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından grafiksel modeller geliştirilmiştir.

Burada üçgen şekilli diyagram verilmiştir. Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen üçgen diyagram sıcak suların akifer (hazne) sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiştir. Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınanmaktadır (Bülbül, 2009).

Çalışma alanındaki sular Na-K-Mg üçgeninde değerlendirildiğinde, sıcak ve mineralli suların kısmen dengelenmiş sular bölgesinde, soğuk sular ham su bölgesinde yer almaktadır (Şekil 4.7). Birleşik jeotermometre uygulamasında sıcaklık verilerine göre A-1 ve A-2 kuyuları 280 °C, AK-2, BY-1 ve BP-1 kuyuları 240 °C, AK-1 kuyusu 120 °C civarındadır. A-1 ve A-2 kuyuları için kimyasal jeotermometreler ile belirlenen maksimum hazne 280 °C ile birbirini destekleyen sonuçlar vermiştir. Tarcan, 2004'e göre Alaşehir jeotermal sahasını da kapsayan Batı Anadolu'daki tüm jeotermal sahalarda sular genel olarak Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen üçgen diyagramda ham sular ve kısmen dengelenmiş sular bölgelerine düşmektedir. Bu durumun jeotermal sahalarda konduktif ve adiyabatik soğuma, iyon değişimi, çökelme, buharlaşma ve karışımdan kaynaklı olabileceği üzerinde durulmuştur.

Çalışma alanının Kuzeydoğusunda bulunan jeotermal alanda yapılan sondajlarla 280 °C sıcaklık değeri elde edilmiştir, bu da jeotermometre hesaplamalarının güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir.



Şekil 4.7 İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki görünümü

4.3.5 Karışım Modelleri

Jeotermal sular yüzeye erişirken belli oranlarda soğuk sularla karışarak, mevcut sıcaklığından daha düşük değerlerle yüzeye ulaşırlar. Suyun sıcaklığının değişmesiyle kimyasal özellikleride değişir. Jeotermal sistemin hazne kaya sıcaklığı ve karışım oranlarının belirlenmesi için çeşitli karışım modelleri oluşturulmuştur. Bu bölümde “Entalpi-Silis” karışım modeli ile ilgili çalışma yapılmıştır.

4.3.5.1 Entalpi- Silis Karışım Modeli

Sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan silis-entalpi karışım modeli (entalpi-silis diyagramı kullanılarak) karışım öncesi sıcaklık-buhar kaybının olduğu ve olmadığı her iki durumda da uygulanabilmektedir (Fournier, 1977b).

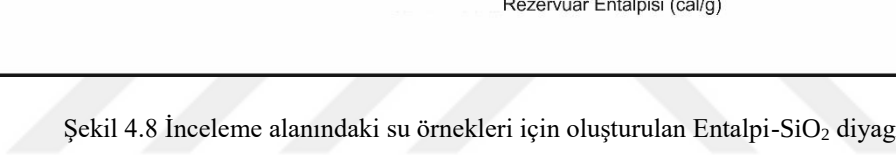
Diyagram üzerinde sıcak su örneklerinin SiO_2 (mg/l) değerleri, sıcaklık değerleri ve soğuk su örneğinin değerleri noktalar şeklinde işaretlenir. Sıcak su noktaları, ortalama soğuk su noktası ile işaretlenerek sıcak su doğruları çizilir. Bu doğrulardan, kuvars çözünürlüğü eğrisini kesenler eğriyi kestikleri noktadan x eksenine dik inilerek su örnekleri için hazne kayaç sıcaklığı saptanır.

Kuvars çözünürlüğü eğrisini kesmeyen sıcak su doğruları için, 100 cal/g değerine dik olan sabit doğru kestirilir, yatay olarak kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktaya kadar devam edilerek, kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktadan dik çizilerek hazne kayaç sıcaklığına ulaşılır.

Güneş, 2006'ya göre diyagramlar belirli öngörü ve limitler sınırında çalışarak yorumlanmaktadır. SiO_2 -entalpi diyagramı limitleri aşağıda verilmektedir;

- Karışımından sonra ısı kaybı yoktur (bu durum görecelidir) (Güneş, 2006).
- Rezervuar akışkanı içindeki Si içeriği kuvarsın çözünürlüğü ile sağlanmaktadır (Menderes masifi kuvars içermektedir) (Güneş, 2006).
- Haznede oluşmuş denge koşullarındaki SiO_2 içeriğinde karışım öncesi veya sonrasında çökelim veya çözünme yoktur (çökelimler kuvarsın sıcaklığa bağlı çözünürlüğü ve diğer bazı temel kimyasal süreçler ile kontrol edilmektedir) (Güneş, 2006).

Grafikte, numunelerin sıcaklık değeri olarak örnekleme seperatöründeki ve savak ölçümündeki sıcaklıkları alınmıştır. BY-1 ve BP-1 kuyuları için Na-K-Mg üçgen diyagramıyla uyumlu yaklaşık 240-250 °C arasında sıcaklık değeri elde edilmiştir. A-1 ve A-2 kuyuları için silis-entalpi diyagramında örnekleme seperatöründen alınan numunelerin analiz sonuçlarındaki konsantrasyonları grafikte gösterilememesinden dolayı aynı tarihte 100 °C'de atmosfer koşullarında (savaktan) alınan örneklerin analiz sonuçlarındaki silis konsantrasyon değerleri (A-1 kuyusu için SiO_2 değeri: 415 mg/l, A-2 kuyusu için SiO_2 değeri: 575 mg/l) kullanılmıştır. A-1 kuyusu için yaklaşık 220 °C, A-2 kuyusu için 245 °C elde edilmiştir. Alhan bölgesindeki kuyular için 220- 245 °C arasında hazne sıcaklıkları elde edilmiştir (Şekil 4.8). Kuyu dibi sıcaklıklarıyla



Şekil 4.8 İnceleme alanındaki su örnekleri için oluşturulan Entalpi-SiO₂ diyag

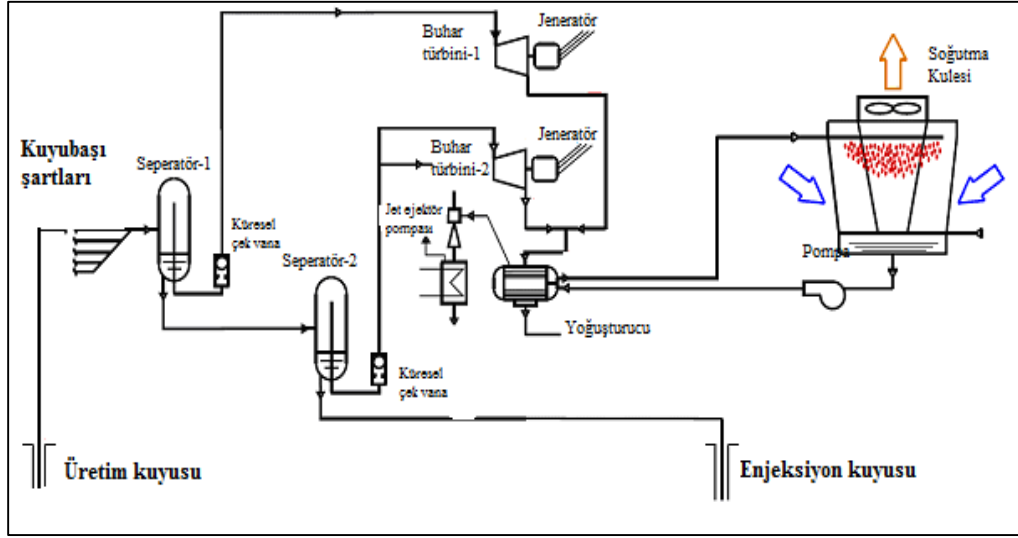
BÖLÜM BEŞ

SULARIN MİNERAL DOYGUNLUK

ÖZELLİKLERİ

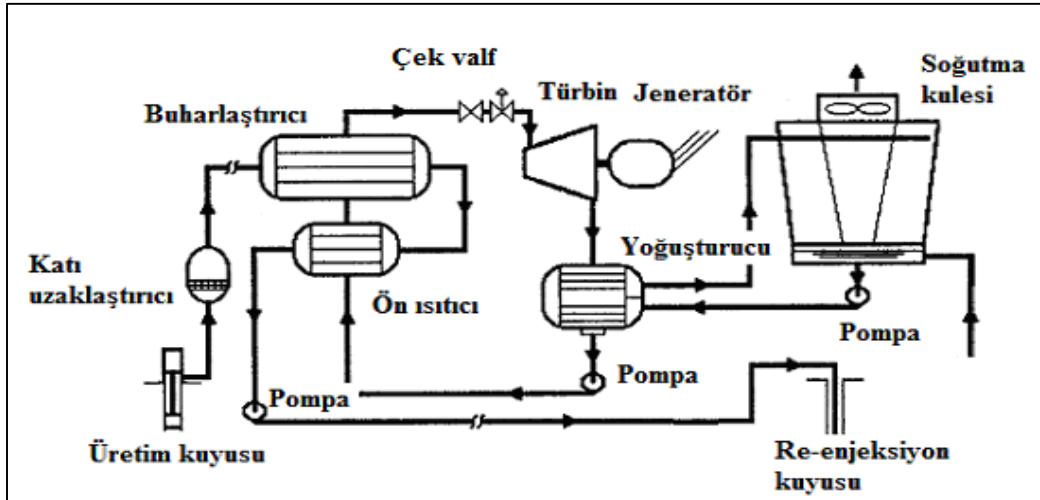
Türkiye’ de özellikle Batı Anadolu Bölgesinde hali hazırda işletilen ve yatırımları devam eden şirketlerde santral tipine rezervuar sıcaklığına bağlı olarak karar verilmektedir. Rezervuar sıcaklıkları 200 °C’den düşük olan sahalarda Binary (ikili çevrim) santraller kurulurken, 200 °C’den yüksek sıcaklıklarda Flaş tip santraller tercih edilmektedir.

Suyun hakim olduğu jeotermal kaynaklarda sıvı-buhar karışımı ve/veya kuyudan yükselirken 2 faza dönüşmesi gerçekleştiğinden, buharın türbine gönderilmeden önce sudan ayrılması gerekmektedir. Bu sebepten, bu tür jeotermal akışkanlardan elektrik üretimi sırasında ayırıştırıcı (separator) kullanılmaktadır. Tek separatorlü ve iki separatorlü olan modelleri mevcuttur. Bir separatorün kullanıldığı sistemler Tek Flaşlı “Single Flash” olarak anılırlar. Böyle bir jeotermal çevrimde akışkan separatorde ayrıştırıldıktan sonra buhar türbine, sıvı kısım ise formasyona geri basılmaktadır. İki fazlı akışkanlardan daha fazla enerji elde edebilmek için iki kademeli separasyon sistemiyle birlikte çift giriş basıncına sahip türbinler kullanılır. “Double Flash” olarak ifade edilen çift flaşlı sistemlerde, birinci kademe ayrışımından sonra alınan sıcak su ikinci kademe separasyondan geçirildikten sonra, elde edilen buhar daha düşük basınçlı ikinci bir türbine gönderilerek ya da aynı türbinin düşük basınçlı kademesine gönderilerek daha fazla elektrik enerjisi üretilir. Türbinin dışarı boşalım (egzost) kısmını atmosfer basıncının altında tutabilmek için, buhar içinde bulunan CO₂, H₂S gibi yoğunlaşmayan gazların ayrıştırılması gerekmektedir. Yoğunlaşmayan bu gazları ayırmak için kondansörde bir pompa ya da ejektör kullanılmalıdır (Kıvanç ve Serpen, 2011).



Şekil 5.1 Çift flaş modeli akış diyagramı (Kıvanç ve Serpen, 2011)

Düşük sıcaklıklı ($<180\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve sıvı ağırlıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi için, jeotermal akışkandan ikinci bir çalışma sıvısına ısı geçişinin bir ısı değiştiricide sağlanması ve ikinci sıvının da türbinde genişip yoğuşturucuda faz değiştirmesiyle ortaya çıkan artık ısının soğutma kulesinden atılması sonucu tamamlanan kapalı devre, bir Rankine çevrimidir. İkili (binary) çevrimlerde ikincil akışkan olarak genellikle, n-pentan, izo-pentan, izo-bütan gibi hidrokarbonlar kullanılmaktadır. Kullanılan ikincil akışkanlar suya göre daha düşük kaynama sıcaklıklarına sahip oldukları için, rezervuar sıcaklığı düşük olan jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi sağlanmaktadır (Kıvanç ve Serpen, 2011).



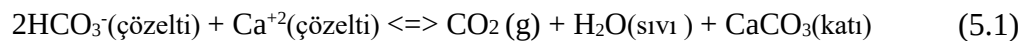
Şekil 5.2 İkili (Binary) çevrim akış diyagramı (Kıvanç ve Serpen, 2011)

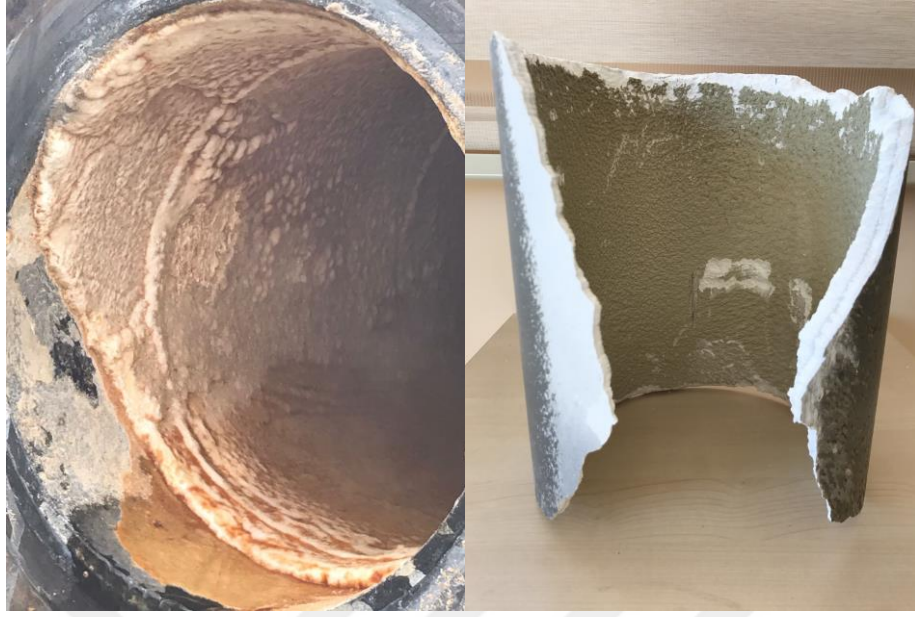
İki farklı enerji çevrimin kullanıldığı enerji sistemleri, enerji verimliliğinin artırılması ve santrallerin iç tüketimlerinin düşürülmesi amacıyla bazı yatırımcılar tarafından dünyada ve Türkiye’de kullanılmaktadır. İkili, flaş ve çoklu flaş sistemleriyle elektrik üreten enerji santrallerinde akışkan ve elektrik üretimlerinin kesintisiz ve sürdürülebilir olabilmesi, jeotermal akışkanın üretim kuyusundan yüzeye çıkmasıyla başlayıp, buharı alınmış atık akışkanın re-enjeksiyon kuyularına iletilmesine dek ilerleyen süreçte, akışkanın farklı sıcaklık, basınç ve pH ortamlarında korozyon ve kabuklaşma oluşturma potansiyeli, oluşabilecek bu kabuklaşma tiplerinin her jeotermal sistem için kendine özgü olduğunun anlaşılmasına ve buna göre araştırma yapılmasına direkt olarak bağlıdır (Haklıdır, 2017).

5.1 Suların Kabuklaşma Özellikleri

Herhangi bir mineralin sudaki çözünürlüğü, sıcaklık, basınç, pH ve redokspotansiyeline (Eh) bağlıdır. Çözünürlüğü kontrol eden bu parametrelere bağlı olarak mineraller suda çözünürler veya çökelirler. Bu konuda hazırlanmış programlar, denge ayrıştırma hesapları, sıvı fazdaki serbest iyon ve iyon çiftlerini hesaplamaktadır. Çökelme koşulları ve çökelebilecek mineraller de saptanabilmektedir. Bu programlar herhangi bir basınç ve sıcaklık koşullarındaki akışkan kimyasını kullanarak, (geriye) rezervuara doğru veya (ileri) kullanım aşamalarında suyun kimyasının nasıl değişeceğini hesaplamaktadır (Aksoy 2007).

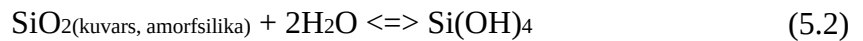
Jeotermal alanlarda kalsiyum, silisyum, sülfür ve sülfid çökelmeleri en çok karşılaşılan türlerdendir. Kalsiyum karbonat jeotermal sularda çok bol bulunan bir bileşiktir. Kalsit, aragonit ve vaterit kalsiyum karbonatın mineral çeşitleridir. Vaterit çok kararlı değildir ve kalsite dönüşür. Sonuç olarak kalsiyum karbonat, kalsit ve aragonit formlarında çökelir (Şekil 5.3). Kalsit çözünürlüğü, kısmi karbon dioksit basıncı ile ilgilidir. Karbon dioksit kısmi basıncı azalırken, CO₂ (gaz) buhar fazına süratle geçer, akışkanın pH’ı yükselir. Akışkan kalsite karşı aşırı doygun hale gelir ve kalsit çökelir. Kalsit çökmesi (Nicholson, 1993):





Şekil 5.3 Kalsiyumkarbonat çökellerinden görünüm (Kişisel arşiv, 2018)

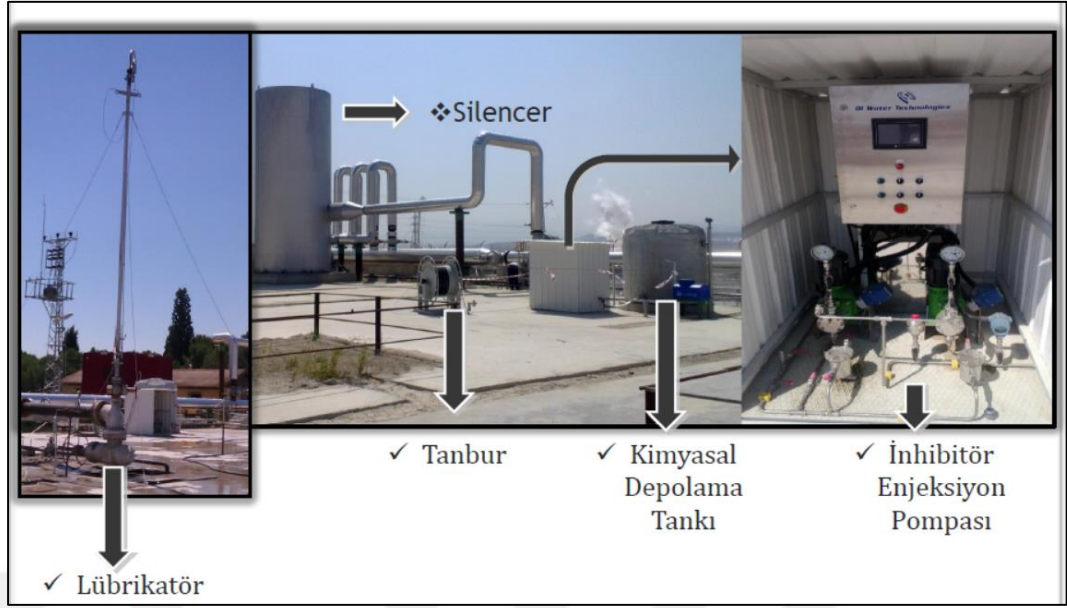
Silika kabuklaşması, jeotermal santrallerin en önemli sorunudur. Silika rezervuarda denge halinde bulunur. Sıcaklık arttıkça çözünen silika miktarı artar ve bu nedenle rezervuar sıcaklığını tahmin etmek için iyi bir jeotermometredir. Silikaya doymuş olan jeotermal su, buharlaştıktan sonra silikaya aşırı doymuş hale gelir ve silika çökelmeye başlar. Silika çökmesi başlıca pH, sıcaklık, silika konsantrasyonuna ve diğer minerallerin ve tuzların etkisine bağlıdır. Santraller, diğer jeotermal tesislere göre daha yüksek sıcaklıkla kaynaklar üzerine kurulduğundan, silika kabuklaşması özellikle elektrik santrallerinin sorunu olmaktadır (Şekil 5.4). Jeotermal sularda silika genellikle 700 ppm den azdır, çünkü silika çözünürlüğü 340 °C’de 770 ppm de maksimum noktaya ulaşır ve daha sonraki sıcaklıklarda azalır. Jeotermal sularda tipik olarak 100-300 ppm arasında bulunur (Nicholson 1993). Silika kuvars, kalsedon, kristobalit ve amorf silika formlarındadır. Her birinin sudaki çözünürlüğü farklıdır. Rezervuarda, yüksek sıcaklıkta amorf silika veya kuvarsla dengede olan jeotermal akışkandaki silika, monosilik asit formundadır (Nicholson, 1993).





Şekil 5.4 Mg-Silikat çökelmelerinden bir görünüm (Kişisel arşiv, 2018)

Gaz kaçıışının sınırlanması ve buna bağılı olarak minerallerin doygunluğına erişmesine neden olan pH değıışiminin kontrol altına alınması ile özellikle CaCO_3 kabuklaşması önlenabilir. Ancak, akışkanın pH değıerini düşürerek CaCO_3 çökelimini durdurma işlemi, SiO_2 'in düşük pH değıerlerinde çökelimi ile sonuçlanır. İzlenecek strateji, sistemin çalışmasında doğrudan etkilidir ve önemli ekonomik değıerler getirir. Jeotermal akışkanın kimyasal bileşimi değıeri ve pH kontrolü kabuklaşmayı engellemenin en önemli yoludur. pH değıerinin, jeotermal akışkana teknik asitler ilave ederek sağılanması pahalı bir işlemdir. Kabuk engelleyicilerinin (inhibitörler) kullanımı, kabuklaşma problemlerinin çözümünde en yaygın ve yararlı yöntemdir. Çok çeşitli inhibitörler arasından en uygun ve ekonomik olanını seçmek ve ayrıca ortamda kullanılması düşünölen metalik malzemelerle korozyon testleri yaparak en olası inhibitör miktarının tespit edilmesi önemlidir (Güneş, 2006). Şekil 5.5'te jeotermal santrallerde üretim kuyularında kullanılan inhibitör dozaj sistemlerinin görüntöleri verilmiştir.



Şekil 5.5 Üretim kuyularında bulunan inhibitör dozaj sistemleri (Tut, 2013)

5.2 Mineral Doygunluk İndeksi Hesaplamaları

Suların mineral doygunlukları su içindeki iyonların ve minerallerin Gibbs serbest enerjileri ile iyon etkinliklerinin bilinmesiyle ilişkilidir. Bir mineralin sudaki çözünürlük durumunun bir ifadesi olan doygunluk indeksi değeri $\log(Q/K)$ ya da $\log(IAP/K)$ şeklinde gösterilebilen bir logaritmik kavramdan oluşur. Her mineral için sıcaklıkla ve kısmen de basınçla değişen değerler içerir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan doygunluk indeksi (Dİ ya da SI) sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanır (Tarcan, 2002):

- $SI=0$ ise su ilgili mineral ile dengededir (doygundur)
- $SI>0$ ise su ilgili mineral ile aşırı doygundur (minerali çökeltici özelliktedir)
- $SI<0$ ise su ilgili mineral ile doygun değildir (minerali çözündürücü özelliktedir)

Çalışma alanında sıcak ve mineralli sularda kabuklaşmaya sebep olabilecek minerallerin doygunluk indeksleri Watch23 kimyasal türleştirme programında 150 °C' den 70 °C'ye 10 adımda soğutulularak hesaplanmıştır.

Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’de A-1 kuyusunun mineral doygunlukları incelendiğinde kalsiyum içeriği fazla olan minerallerin (anhidrit, kalsit, florit, wollastonit gibi) çözündürücü özellikte gözükmetedir, bunun sebebi örnekleme sırasında kuyuda inhibitör kullanılmadığı için kuyu içerisinde Kalsiyumlu minerallerin örnek alınan noktaya kadar kuyu içerisinde ve yüzey hatlarında çökmüş olmasından kaynaklıdır. Sodyum, magnezyum, alüminyum (adularya, albit, mikroklin vb.) ve silikatlı (kuvars, kalsedon) minerallerin neredeyse hesaplama aralığında, amorf silikanın ise 90 °C’den itibaren çöktürücü özellikte olduğu görülmüştür (Şekil 5.6 ve Şekil 5.7).

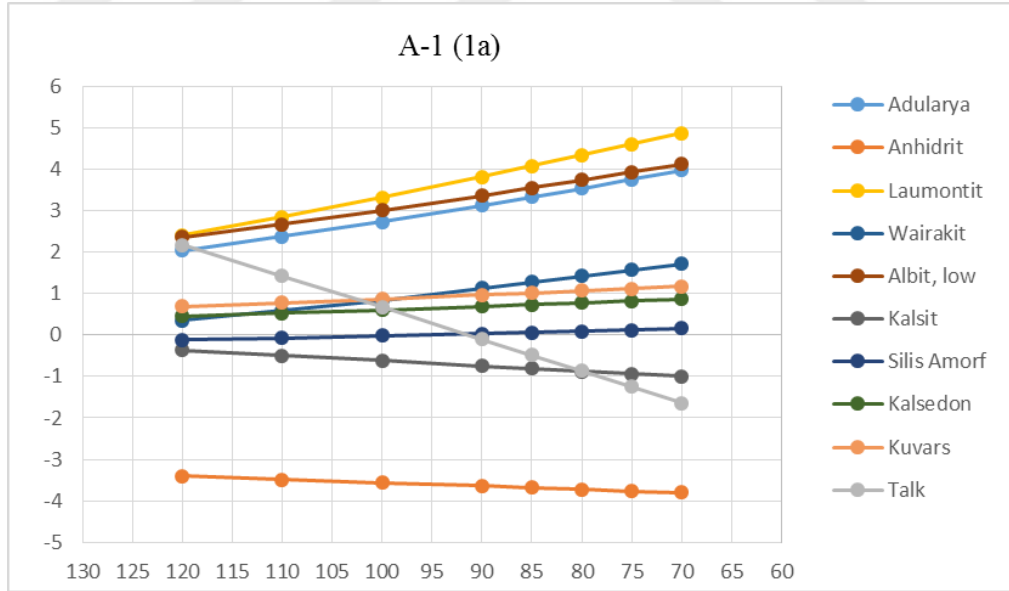
Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’te A-2 kuyusunda da örnek alımı sırasında herhangi bir inhibitör kullanılmadığı için kalsiyum karbonat kuyu içi ve yüzey hatlarında çökmüştür. Bu durum analiz sonuçlarına düşük konsantrasyon şeklinde yansımaları kalsiyum içeriği fazla olan minerallerin (anhidrit, kalsit, florit, wollastonit) doygunluk indekslerinde her sıcaklıkta çözücü özellikte çıkmasına sebep olmuştur. Sodyum, magnezyum, alüminyum silikatlı (adularya, albit, mikroklin vb.) ve silikatlı (kuvars, kalsedon) minerallerin neredeyse hesaplama aralığında, amorf silikanın ise 110 °C’den itibaren daha düşük sıcaklıklarda çöktürücü özellikte olduğu görülmüştür (Şekil 5.8 ve Şekil 5.9).

Jeotermal sahalarda enjeksiyon sıcaklığına karar verilirken göz önünde bulundurulacak en önemli parametre amorf silikanın doygun hale geldiği sıcaklıktır. Alhan Bölgesindeki kuyuların doygunluk indeksleri incelendiğinde A-1 kuyusu için nihai enjeksiyon sıcaklığı 90 °C, A-2 kuyusu için nihai enjeksiyon sıcaklığı 110 °C olduğu gözükmetedir. Ancak santral kurulurken üretim kuyularının ağırlıkça ortalama kimyasal değerleri ile hesaplamalar yapılarak enjeksiyon sıcaklığına karar verilmektedir.

İşletme koşullarında kuyu içerisinde kaynama noktasından itibaren kalsiyum karbonat mineralleri oluşmaya başlamaktadır. Bu yüzden kaynama noktasının 50-100 m altından fosfat ve poliakrilatlı bir kimyasal basılarak kabuk oluşumu önlenmelidir. Yüzey hatlarında ve sıcaklık düşüşün olduğu yerlerde silikatlı minerallerin çökelişini önlemek amacıyla polimer baskın kimyasallar kullanmak faydalı olacaktır.

Tablo 5.1 A-1 (1a) kuyusu mineral doygunluk indeksleri

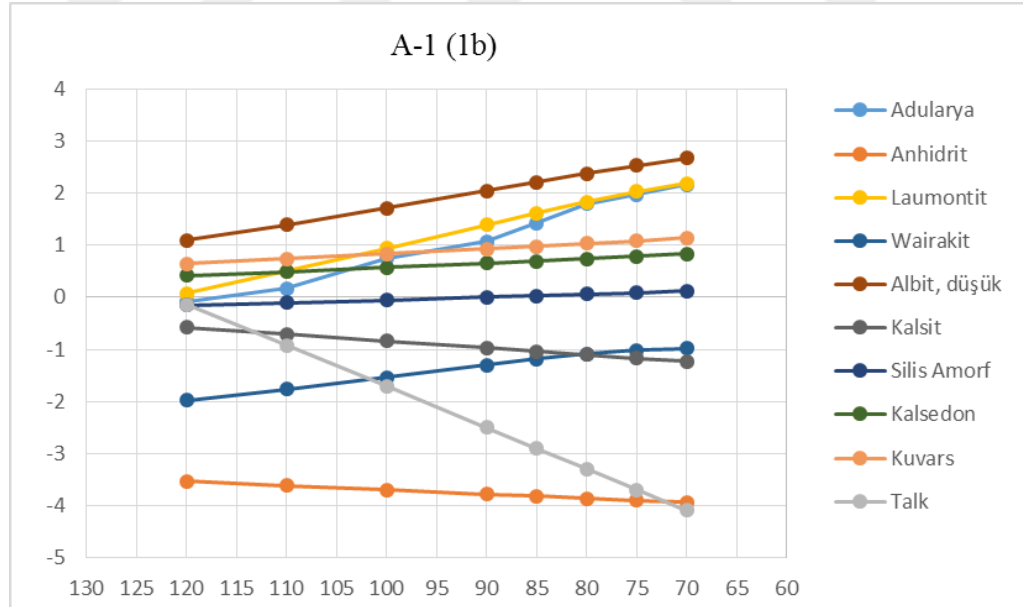
	A-1 (1a)									
Sıcaklık (°C)	150	140	120	110	100	90	85	80	75	70
pH	6,935	6,883	6,799	6,765	6,735	6,71	6,7	6,692	6,685	6,681
Adularya	1,19	1,446	2,036	2,371	2,735	3,126	3,331	3,542	3,757	3,977
Anhidrit	-3,162	-3,242	-3,402	-3,483	-3,562	-3,643	-3,682	-3,723	-3,763	-3,803
Mg-Klorit	-0,017	-1,263	-3,658	-4,83	-6,001	-7,178	-7,77	-8,368	-8,973	-9,591
Laumontit	1,299	1,634	2,405	2,843	3,313	3,814	4,075	4,34	4,608	4,874
Ca- Montmor	8,753	11,896	18,949	22,916	27,198	31,782	34,178	36,625	39,112	41,599
Na-Montmor.	3,735	5,342	8,949	10,978	13,169	15,514	16,74	17,995	19,269	20,546
Wairakit	-0,202	-0,046	0,346	0,581	0,841	1,123	1,27	1,419	1,568	1,712
Krizotil	1,616	0,729	-1,055	-1,967	-2,899	-3,853	-4,338	-4,827	-5,321	-5,82
Albit, low	1,598	1,831	2,367	2,672	3,003	3,358	3,544	3,736	3,93	4,127
Kalsit	0,014	-0,117	-0,369	-0,495	-0,621	-0,746	-0,809	-0,872	-0,934	-0,996
Florit	-2,208	-2,156	-2,044	-1,981	-1,915	-1,845	-1,809	-1,77	-1,733	-1,695
Mikroklin	2,257	2,568	3,278	3,679	4,111	4,575	4,818	5,068	5,323	5,583
K-Montmor.	2,584	4,212	7,871	9,929	12,152	14,532	15,777	17,05	18,344	19,642
Muskovit	3,912	4,531	5,945	6,749	7,623	8,564	9,057	9,563	10,076	10,592
Wollastonit	-2,971	-3,253	-3,824	-4,121	-4,426	-4,743	-4,906	-5,07	-5,238	-5,407
Silis Amorf	-0,255	-0,212	-0,12	-0,07	-0,018	0,037	0,065	0,095	0,124	0,155
Analsim	0,94	1,104	1,49	1,711	1,953	2,213	2,349	2,488	2,629	2,77
Kalsedon	0,251	0,315	0,452	0,527	0,605	0,687	0,729	0,774	0,818	0,865
Mg-Montmor.	10,078	13,144	20,037	23,923	28,122	32,621	34,974	37,377	39,82	42,266
Prehnit	-0,566	-0,661	-0,753	-0,758	-0,739	-0,702	-0,678	-0,653	-0,629	-0,611
Kuvars	0,443	0,519	0,683	0,772	0,865	0,963	1,013	1,065	1,118	1,172
Zoisit	-1,29	-1,329	-1,3	-1,236	-1,145	-1,032	-0,97	-0,909	-0,85	-0,802
Talk	4,418	3,665	2,176	1,427	0,67	-0,096	-0,482	-0,866	-1,252	-1,637



Şekil 5.6 A-1 (1a) kuyusu mineral doygunluk indeksleri

Tablo 5.2 A-1 (1b) kuyusu mineral doygunluk indeksleri

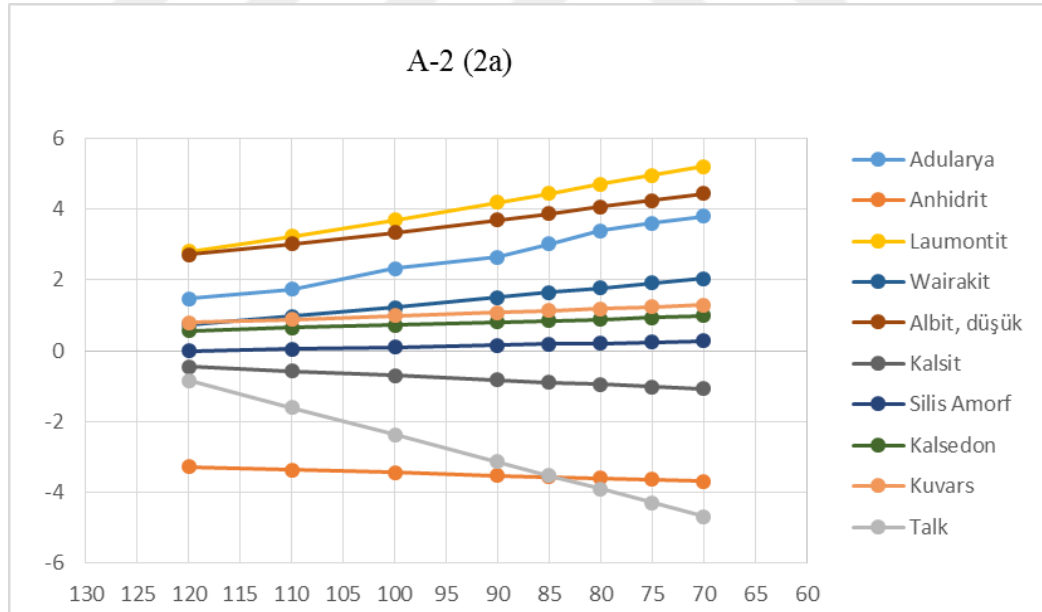
A-1 (1b)										
Sıcaklık (°C)	150	140	120	110	100	90	85	80	75	70
pH	6,7	6,647	6,557	6,517	6,483	6,454	6,442	6,432	6,424	6,419
Adularya	-0,077	0,174	0,749	1,074	1,422	1,791	1,978	2,165	2,344	2,508
Anhidrit	-3,277	-3,361	-3,528	-3,611	-3,692	-3,775	-3,815	-3,857	-3,898	-3,938
Mg-Klorit	-5,384	-6,66	-9,154	-10,392	-11,634	-12,892	-13,534	-14,193	-14,883	-15,622
Laumontit	-0,981	-0,659	0,081	0,497	0,936	1,391	1,617	1,834	2,029	2,184
Ca- Montmor.	-4,591	-1,5	5,446	9,326	13,46	17,78	19,96	22,088	24,085	25,815
Na-Montmor.	-3,015	-1,433	2,123	4,108	6,226	8,44	9,558	10,653	11,684	12,582
Wairakit	-2,482	-2,339	-1,978	-1,765	-1,536	-1,3	-1,188	-1,087	-1,011	-0,978
Krizotil	-0,56	-1,463	-3,301	-4,246	-5,21	-6,192	-6,689	-7,188	-7,691	-8,198
Albit, düşük	0,348	0,576	1,097	1,391	1,707	2,04	2,208	2,376	2,534	2,676
Kalsit	-0,18	-0,313	-0,576	-0,708	-0,84	-0,971	-1,036	-1,102	-1,167	-1,23
Florit	-2,211	-2,162	-2,054	-1,993	-1,928	-1,86	-1,824	-1,786	-1,749	-1,709
Mikroklin	0,99	1,296	1,991	2,382	2,798	3,24	3,465	3,691	3,91	4,114
K-Montmor.	-4,183	-2,58	1,028	3,043	5,192	7,441	8,579	9,692	10,742	11,662
Muskovit	0,896	1,505	2,894	3,678	4,518	5,4	5,847	6,284	6,692	7,045
Wollastonit	-3,407	-3,695	-4,285	-4,593	-4,91	-5,236	-5,403	-5,571	-5,742	-5,914
Silis Amorf	-0,287	-0,244	-0,153	-0,103	-0,052	0,003	0,031	0,06	0,089	0,12
Analsim	-0,278	-0,119	0,252	0,463	0,691	0,928	1,047	1,162	1,268	1,353
Kalsedon	0,219	0,283	0,419	0,494	0,571	0,653	0,695	0,739	0,783	0,83
Mg-Montmor.	-3,566	-0,552	6,235	10,034	14,085	18,321	20,458	22,542	24,497	26,185
Prehnit	-3,218	-3,331	-3,472	-3,51	-3,532	-3,55	-3,564	-3,592	-3,644	-3,739
Kuvars	0,411	0,487	0,65	0,739	0,831	0,929	0,979	1,03	1,083	1,137
Zoisit	-4,817	-4,876	-4,901	-4,875	-4,834	-4,794	-4,785	-4,798	-4,85	-4,969
Talk	2,178	1,409	-0,136	-0,919	-1,709	-2,503	-2,901	-3,296	-3,691	-4,084



Şekil 5.7 A-1 (1b) kuyusunun mineral doygunluk indeksleri

Tablo 5.3 A-2 (2a) kuyusunun mineral doygunluk indeksleri

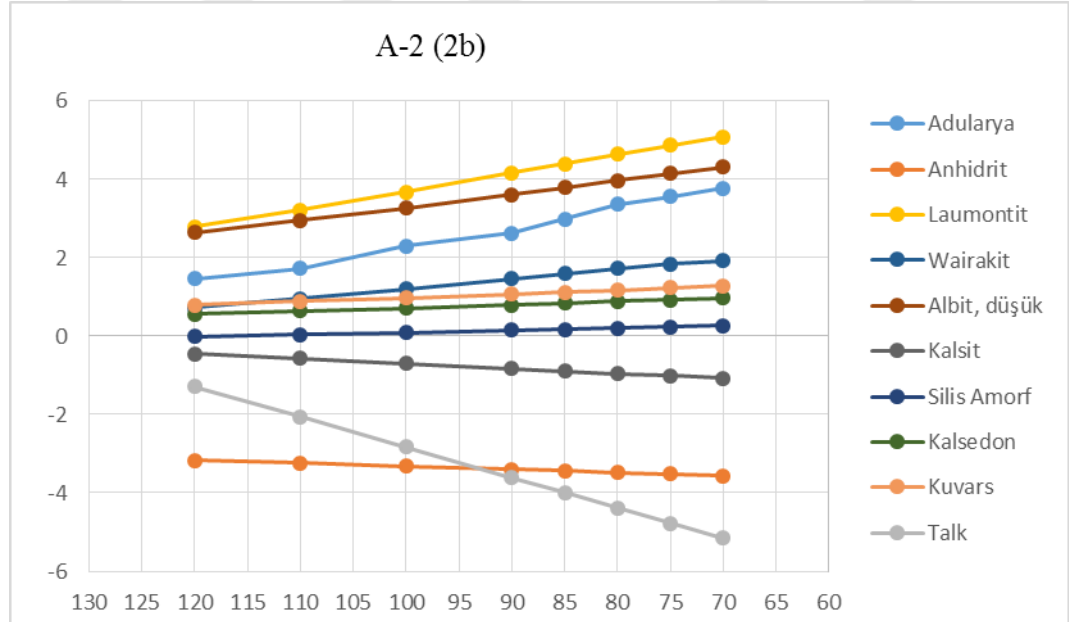
Sıcaklık (°C)	150	140	120	110	100	90	85	80	75	70
pH	6,865	6,815	6,73	6,695	6,664	6,639	6,628	6,619	6,612	6,608
Adularya	1,481	1,736	2,322	2,655	3,016	3,403	3,604	3,811	4,021	4,232
Anhidrit	-3,042	-3,123	-3,284	-3,364	-3,443	-3,523	-3,563	-3,603	-3,643	-3,682
Mg-Klorit	-5,416	-6,658	-9,056	-10,236	-11,417	-12,606	-13,207	-13,813	-14,431	-15,065
Laumontit	1,704	2,037	2,802	3,236	3,7	4,192	4,447	4,705	4,962	5,212
Ca- Montmor	11,881	15,002	22,018	25,964	30,214	34,748	37,106	39,501	41,914	44,293
Na-Montmor.	5,33	6,926	10,514	12,532	14,706	17,026	18,233	19,462	20,699	21,922
Wairakit	0,203	0,357	0,743	0,974	1,228	1,501	1,642	1,784	1,922	2,05
Krizotil	-1,654	-2,538	-4,321	-5,236	-6,172	-7,13	-7,616	-8,107	-8,602	-9,101
Albit, düşük	1,951	2,183	2,715	3,018	3,346	3,697	3,879	4,067	4,256	4,445
Kalsit	-0,071	-0,2	-0,452	-0,578	-0,704	-0,829	-0,892	-0,955	-1,018	-1,079
Florit	-2,281	-2,229	-2,116	-2,053	-1,986	-1,916	-1,88	-1,841	-1,805	-1,767
Mikroklin	2,548	2,858	3,564	3,963	4,392	4,852	5,091	5,337	5,587	5,838
K-Montmor.	4,116	5,734	9,374	11,421	13,627	15,982	17,209	18,455	19,712	20,956
Muskovit	4,295	4,911	6,317	7,116	7,983	8,912	9,398	9,892	10,389	10,881
Wollastonit	-3,02	-3,301	-3,873	-4,171	-4,478	-4,796	-4,959	-5,124	-5,292	-5,461
Silis Amorf	-0,135	-0,092	0	0,05	0,102	0,157	0,185	0,214	0,243	0,275
Analsim	1,173	1,336	1,718	1,937	2,176	2,431	2,564	2,7	2,835	2,968
Kalsedon	0,371	0,435	0,572	0,647	0,725	0,807	0,849	0,893	0,937	0,985
Mg-Montmor.	12,204	15,249	22,106	25,971	30,138	34,587	36,902	39,254	41,624	43,96
Prehnit	-0,449	-0,546	-0,645	-0,655	-0,643	-0,615	-0,598	-0,581	-0,568	-0,566
Kuvars	0,563	0,639	0,803	0,892	0,985	1,083	1,133	1,184	1,237	1,292
Zoisit	-1,127	-1,17	-1,149	-1,092	-1,009	-0,909	-0,856	-0,806	-0,764	-0,739
Talk	1,388	0,639	-0,85	-1,603	-2,364	-3,134	-3,521	-3,907	-4,293	-4,679



Şekil 5.8 A-2 (2a) kuyusunun mineral doygunluk indeksleri

Tablo 5.4 A-2 (2b) Jeotermal kuyu mineral doygunluk indeksleri

	A-2 (2b)									
Sıcaklık (°C)	150	140	120	110	100	90	85	80	75	70
pH	6,81	6,759	6,671	6,633	6,601	6,573	6,561	6,553	6,546	6,541
Adularya	1,47	1,724	2,307	2,637	2,994	3,374	3,571	3,769	3,967	4,158
Anhidrit	-2,9	-3,007	-3,166	-3,246	-3,324	-3,403	-3,442	-3,482	-3,521	-3,56
Mg-Klorit	-6	-7,258	-9,689	-10,888	-12,089	-13,301	-13,915	-14,541	-15,185	-15,861
Laumontit	1,7	2,034	2,794	3,225	3,682	4,163	4,408	4,651	4,883	5,094
Ca- Montmor	12,3	15,425	22,445	26,382	30,604	35,069	37,363	39,654	41,898	44,003
Na-Montmor.	5,49	7,083	10,673	12,685	14,845	17,13	18,305	19,481	20,633	21,719
Wairakit	0,2	0,354	0,735	0,963	1,21	1,472	1,603	1,73	1,843	1,932
Krizotil	-2,1	-2,951	-4,754	-5,681	-6,627	-7,592	-8,082	-8,575	-9,072	-9,572
Albit, düşük	1,89	2,123	2,652	2,952	3,276	3,62	3,797	3,977	4,153	4,323
Kalsit	-0,1	-0,192	-0,446	-0,573	-0,7	-0,827	-0,889	-0,952	-1,015	-1,077
Florit	-2,1	-2,067	-1,952	-1,888	-1,82	-1,749	-1,713	-1,676	-1,641	-1,607
Mikroklin	2,54	2,846	3,549	3,945	4,37	4,823	5,058	5,295	5,533	5,764
K-Montmor.	4,32	5,939	9,581	11,623	13,814	16,135	17,328	18,523	19,695	20,802
Muskovit	4,37	4,985	6,39	7,185	8,045	8,959	9,43	9,902	10,362	10,796
Wollastonit	-3,1	-3,374	-3,953	-4,253	-4,563	-4,883	-5,047	-5,212	-5,381	-5,55
Silis Amorf	-0,1	-0,097	-0,005	0,045	0,097	0,151	0,179	0,209	0,238	0,269
Analsim	1,12	1,281	1,66	1,876	2,111	2,36	2,488	2,615	2,739	2,852
Kalsedon	0,37	0,43	0,567	0,642	0,72	0,801	0,843	0,888	0,932	0,979
Mg-Montmor.	12,6	15,606	22,466	26,322	30,46	34,84	37,09	39,337	41,538	43,601
Prehnit	-0,5	-0,612	-0,721	-0,738	-0,736	-0,721	-0,714	-0,713	-0,725	-0,762
Kuvars	0,56	0,634	0,798	0,887	0,98	1,077	1,127	1,179	1,232	1,286
Zoisit	-1,1	-1,193	-1,181	-1,131	-1,06	-0,978	-0,94	-0,913	-0,907	-0,941
Talk	0,97	0,216	-1,294	-2,058	-2,83	-3,607	-3,997	-4,386	-4,774	-5,161



Şekil 5.9 A-2 (2b) kuyusunun mineral doygunluk indeksleri

BÖLÜM ALTI

İZOTOP JEOKİMYASI

İzotoplar bir elementin atom numarası aynı, atomik kütlesi farklı olan atomlarıdır ve kabaca radyoaktif ve duraylı (kararlı) izotoplar olarak ikiye ayrılmaktadır. Radyoaktif izotoplar, bozuşma ile başka bir elemente dönüşürken, duraylı izotoplar radyoaktif bozuşma göstermezler. Jeotermal çalışmalarda akışkan kökenlerine ilişkin olarak hidrojeolojik koşulları ve akışkan özelliğine etkiyen fiziko – kimyasal süreçleri irdelemede en çok kullanılan izotoplar; hidrojen ve oksijen elementlerinin duraylı izotoplarıdır. Hidrojen elementinin doğada 2 adet duraylı (^1H = Hidrojen ve ^2H =D=Döteryum) ve 1 adet radyoaktif (^3H = T= Tritiyum) izotopu mevcuttur. Oksijen elementinin doğal olarak bulunan duraylı izotopları ise ^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O izotoplarıdır. Jeokimyasal uygulamalarda jeotermal akışkan örneklerinin duraylı oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri, aşağıdaki formüllerde verildiği gibi, referans standart bileşimlerden olan sapmalar şeklinde delta parametresi (δ) ile ifade edilir. Referans olarak kullanılan standart Craig (1961) tarafından tanımlanmış “Standart Ortalama Okyanus Suyu” (Standart Mean Ocean Water: SMOW) bileşimidir. SMOW; okyanus sularının ortalama izotop bileşimini yansıtmakta ve $\delta \text{D}=0 \text{ ‰}$ ve $\delta ^{18}\text{O}=0 \text{ ‰}$ değerleriyle tanımlanmaktadır (Güleç ve Mutlu, 2002).

$$\text{D(‰)} = \frac{(\text{D/H})_{\text{örnek}} - (\text{D/H})_{\text{standart}}}{(\text{D/H})_{\text{standart}}} * 1000 \quad (6.1)$$

$$^{18}\text{O (‰)} = \frac{(^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})_{\text{örnek}} - (^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})_{\text{standart}}}{(^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})_{\text{standart}}} * 1000 \quad (6.2)$$

Suyun farklı izotopik moleküllerinin buhar basıncı, izotoplarının kütleleri ile ters orantılıdır. Bu nedenle suyun buharlaşma sürecinde buhar fazı hafif izotoplarca (H ve ^{16}O) zenginleşirken, ağır izotoplar (D ve ^{18}O) geriye kalan artık sıvı fazında derişmektedir. Su buharının yoğunlaşması ile oluşan ilk yağmur damlacıkları D ve ^{18}O gibi ağır izotoplarca zenginken, yağış devam ettikçe buhardan D ve ^{18}O ayrışması da devam etmekte ve sonuçta geri kalan buhar fazı hafif izotoplar olan H ve

^{16}O izotoplarınca derişmektedir. Dolayısıyla havadaki buhar fazı bu negatif değerlere sahip oldukça yağışlarda da zaman içinde negatif $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri gelişir. Dünya üzerinde farklı lokasyonlardan alınan çok sayıdaki yağış (yağmur, kar) suyunda yapılmış izotop analizleri meteorik suların $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerlerinin $\delta \text{D} = 8(\delta^{18}\text{O}) + 10$ denklemi ile tanımlanan (Craig, 1961) çizgisel bir ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu denklem “Dünya Meteorik Su Doğrusu” olarak bilinmektedir (Güleç ve Mutlu, 2002). $\delta \text{D} = 8 * (\delta^{18}\text{O}) + 22$ şeklinde ifade edilen Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (Gat ve Garmi, 1970) da kullanılmıştır.

Tablo 6.1 Çalışma alanındaki suların izotop analiz sonuçları (*Bostancı, 2016’dan alınan analiz sonuçları, ** Bülbul, 2009’dan alınan analiz sonuçlarıdır)

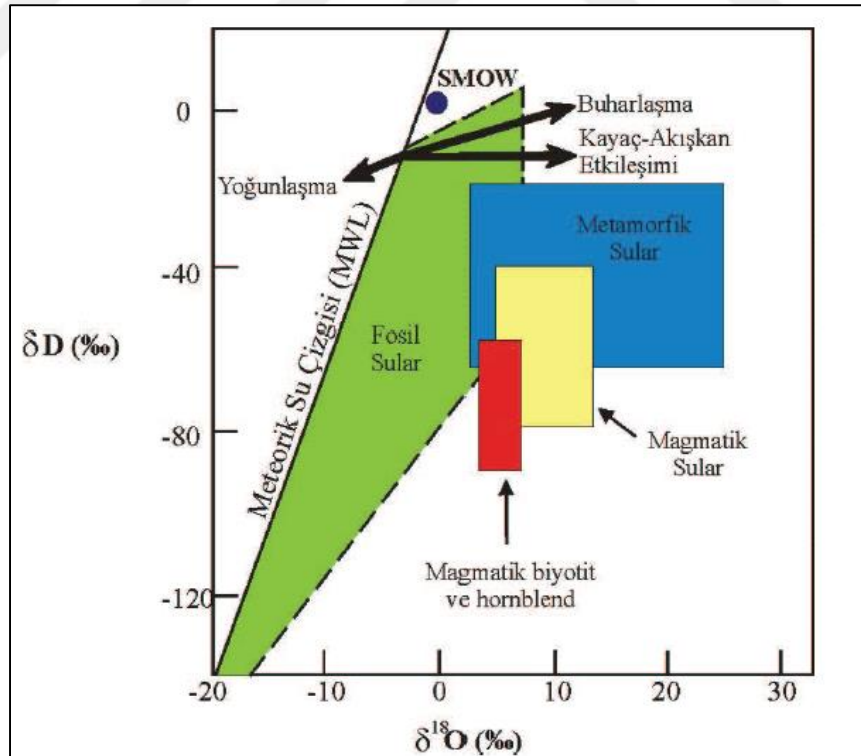
Örnek No.	Örnek adı ve yeri	İZOTOP ANALİZLERİ	
		18O	D
1a	A-1	-2,33	-48,55
1b	A-1	-2,32	-47,18
2a	A-2	-1,97	-51,25
2b	A-2	-1,94	-50,41
3	BY-1*		
4	BP-1*		
5	AK-1 (Kavaklıdere Belediyesi j. son.)**	-4,69	-62,82
6	AK-2 (Kavaklıdere derin jeotermal sondaj)**	-1,96	-40,67
7	Şahyar-Piyadeler arası kuyu**		
8	Alaşehir ılıcası**	-8,88	-50,23

Jeotermal alanlarda ağır izotoplar açısından zengin kayaçlar ile jeotermal akışkan arasındaki etkileşim sonucu akışkan ağır izotoplarca zenginleşmekte ve bileşimi ^{18}O ’ce pozitif değerlere doğru kaymaktadır. Hidrojen ise kayaçların ana bileşimlerinden biri olmadığından, su kayaç etkileşimi jeotermal suların D değerlerini değıştirmemektedir (Nicholson,1993).

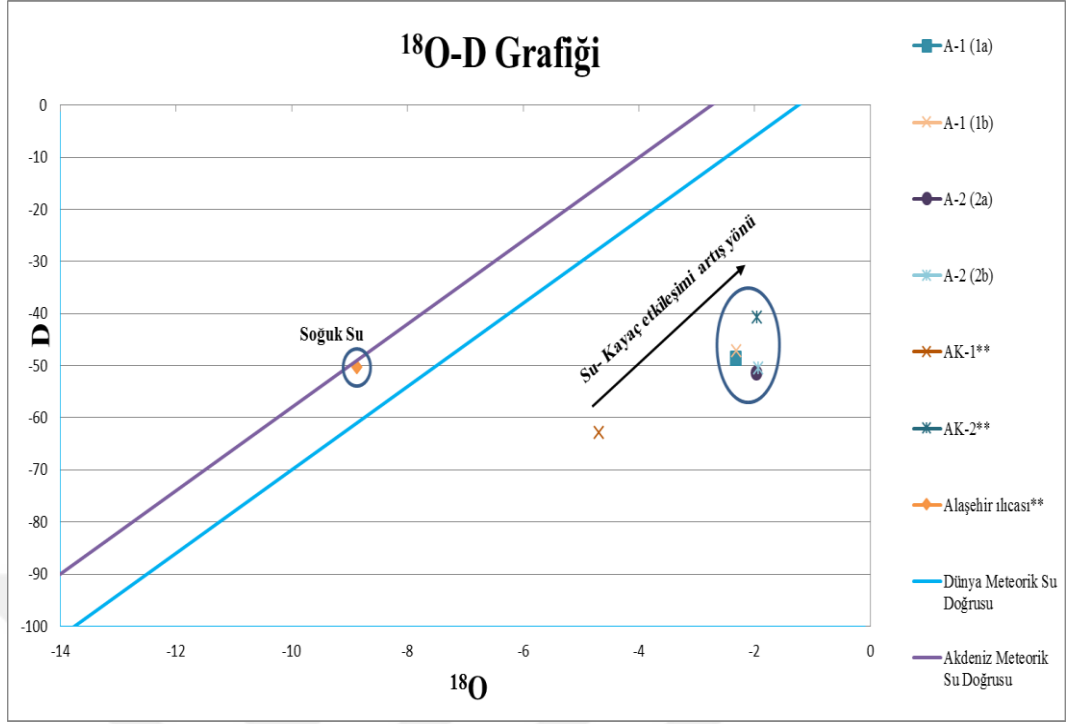
Çalışma alanındaki termal sulara AK-1 dışında ^{18}O değerleri -2,33 ile -1,94, D değerleri ise -51,25 ile -40,67 arası değişim göstermektedir. (Tablo 6.1).

Şekil 6.2’de çalışma alanındaki suların hepsi meteorik su doğrularının altında kalması suların meteorik kökenli olduğunu göstermektedir. AK-1 dışındaki jeotermal kuyularda ^{18}O ve ^2H diyagramında en fazla sapma göstermesi yüksek hazne sıcaklığı ve su-kayaç etkileşiminin fazla olduğunu göstermektedir, AK-1 kuyusu diğer kuyulara göre daha düşük sıcaklığa ve su-kayaç etkileşimine sahip olduğu yorumlanmaktadır. Alaşehir ılıcası ise meteorik çizgiler e yakın çıkmıştır.

Mağmatik kökeni yansıtan suların ^{18}O değerleri +5 çıkmaktadır. Bu nedenle zenginleşme mağmatik kökenle açıklanamaz. Yukarıda değinilen jeotermal sulara ^{18}O zenginleşmesi olmakla birlikte, sıcaklık artışıyla su kayaç etkileşimi nedeniyle O içeren minerallerin daha çok çözünmesini yansıtan bir ^{18}O zenginleşmesini belirtmektedir (Bülbül, 2009).



Şekil 6.1 Farklı su kaynaklarının izotop bileşimini ve fiziko-kimyasal süreçlerin su bileşimi üzerinde etkilerini gösteren δD - δ¹⁸O diyagramı (Güleç ve Mutlu, 2002)



Şekil 6.2 Çalışma alanındaki suların ¹⁸O-D ilişkisi ve çeşitli meteorik su doğrularına göre konumları ($\delta D = 8 * (\delta^{18}O) + 10$) Dünya Meteorik Su Doğrusu (Craig 1961). ($\delta D = 8 * (\delta^{18}O) + 22$) ise Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (Gat ve Carmi 1970)

BÖLÜM YEDİ

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek lisans kapsamında yapılan tez çalışmasının çalışma alanı, Manisa il merkezine 90 km uzaklıkta bulunan Alaşehir ilçesinin güneybatısında kalmakta olup İzmir L20-b2-b3 paftasında yer almaktadır. Bu alan içerisinde tez çalışması çerçevesinde, jeoloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya ve izotop jeokimyası yönünde çalışmalar yapılmıştır. Çalışma alanında daha önceden ele alınmış kimyasal analiz sonuçları ile dört adet yeni kimyasal analiz sonuçları beraber ele alınarak çalışma alanı değerlendirilmiştir. Buna göre;

Alaşehir ilçesindeki yıllık toplam potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 928,281 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 377,308 mm olarak elde edilmiştir. Nisan sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr'ye eşit olur. Nisan sonuna kadar zemin rezervi doludur. Mayıs sonuna kadar yedekten kullanılmakta, Haziran başlarında zemin rezervi tükenmektedir. Haziran ayından Kasım ayına kadar zemin rezervi olmadığından tarımsal su açığı gözlenmektedir. Ocak başlarında ise zemin rezervi dolmuş olmaktadır. Bu verilere göre, Haziran başından Ekim sonuna kadar ki dönem “Kurak Dönem”, Kasım başından Nisan sonuna kadar ki dönem “Yağışlı Dönem” olarak adlandırılmıştır.

Çalışma alanı hidrojeolojik olarak değerlendirildiğinde; Menderes Masifi içerisinde karstik erime boşlukları içeren mermer ve fay zonlarına yakın yerlerde tektonik etkilerle çatlaklı-kırıklı yapı kazanan kuvarsit, mikaşist ve gnayslar da hazne kaya, Neojen yaşlı karasal tortullar içerdikleri killi seviyelerden dolayı örtü kaya özelliğindedir. Jeotermal sistemin ısı kaynağının tektonik etkilerle incelen kıtasal kabuk ile yükselen jeotermal gradyan olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanındaki suların Uluslararası Hidrojeolojlar Birliğine göre sınıflandırıldığında sıcak sular Na-HCO_3 'lı, soğuk sular Ca-Mg-Na-HCO_3 'lı sulardan oluştuğu görülmüştür.

Çalışma alanındaki sular Piper diyagramında değerlendirildiğinde; sıcak sular zayıf asit kökleri(CO_3+HCO_3)'nin güçlü asit kökleri ($\text{Cl}+\text{SO}_4$)'den fazla olduğu ve karbonat alkalilerinin %50'den fazla olduğu sınıflara girmektedir. Soğuk sular ise Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular sınıfına girmektedir. Scholler yarı logaritmik diyagramına göre değerlendirilen inceleme alanı sularında hâkim katyon $[\text{Na}+\text{K}]$, hakim anyon $[\text{Cl}]$ ve $[\text{HCO}_3]$ 'tür. Scholler yarı logaritmik diyagramında değerlendirilen sıcak ve mineralli suların hâkim katyonları $[\text{Na}+\text{K}]$, hakim anyonları $[\text{Cl}]$ ve $[\text{HCO}_3]$, soğuk suların ise hakim katyonları $[\text{Ca}]$ ve $[\text{Mg}]$, hakim anyonları $[\text{HCO}_3]$ 'tür.

Çalışma alanındaki suların kimyasal analizleri kullanım suyu açısından değerlendirildiğinde; suların sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve kullanılmaya uygunlukları açısından sıcak suların kötü özellikte sulama suyu sınıfına girerken Alaşehir ılıcası ve Şahyar piyadeler arası kuyu çok iyi özellikte sulama suyu özelliğindedir. Wilcox diyagramına göre sulama suyu açısından sınıflandırılmasında da benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Jeotermal alanlarda akifer sıcaklığı için kullanılan pratik yöntem olan jeotermometre uygulamalarıyla, hazne kaya sıcaklıkları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kimyasal jeotermometre hesaplamalarında gerçeğe en yakın sonucun hem kuyu dibi hazne sıcaklığı hem de kimyasal analiz sonuçları bilinen A-1 kuyusunun ($200\text{ }^{\circ}\text{C}$) sonuçları da göz önüne alındığında silis jeotermometre tahminlerinin daha uygun olduğu görülmüştür. Silis jeotermometrelerine göre sıcaklıkların $180\text{-}230\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değiştiği tahmin edilebilir. Na/K, Na-K-Ca jeotermometreleri gerçek değerlerin oldukça üzerinde sonuçlar vermiştir. Çalışma alanındaki sular Na-K-Mg üçgeninde değerlendirildiğinde soğuk suların ham su bölgesinde, sıcak ve mineralli suların kısmen dengelenmiş sular bölgesinde yer almaktadır. Birleşik jeotermometre uygulamasında sıcaklık verilerine göre jeotermal kuyuların sıcaklıkları $240\text{-}280\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındadır, ancak bu değerler kuyu içerisinde ölçülen değerlerin oldukça üzerindedir ve bölgede daha yüksek sıcaklıklı zonların bulunduğunu anlatmaktadır. Mineral doygunluklarına bağlı jeotermometre hesaplamalarında A-1 kuyusu için $175\text{ }^{\circ}\text{C}$, A-2 kuyusu için $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değerleri bulunmuştur. Silis entalpi diyagramına

göre ise A-1 kuyusu için 220 °C, A-2 ve BY-1 kuyuları için 240-250 °C arası sıcaklıklar elde edilmiştir.

Çalışma alanında sıcak ve mineralli sularda kabuklaşmaya sebep olabilecek minerallerin doygunluk indeksi hesaplamaları WATCH23 kimyasal türleştirme programında 70-150°C aralığında 10 farklı sıcaklıkta incelenmiştir. A-1 ve A-2 kuyuları örnekleme sırasında inhibitör kullanılmayan kuyulardır. Kalsit minerali kuyu içerisinde gaz ayrımının olduğu yerden itibaren çökelme eğilimine girmektedir. Bu durum analiz sonuçlarına düşük konsantrasyon şeklinde yansımaları kalsiyum içeriği fazla olan minerallerin (anhidrit, kalsit, florit, wollastonit) doygunluk indekslerinde her sıcaklıkta çözücü özellikte çıkmasına sebep olmuştur. Sodyum, magnezyum, alüminyum (adularya, albit, mikroklin vb.) ve silikatlı (kuvars, kalsedon) minerallerin neredeyse hesaplama aralığında çöktürücü özellikte olduğu görülmüştür. Amorf silikanın doygunluk indeksine bağlı olarak A-1 kuyusu için enjeksiyon sıcaklığı 90 °C A-2 kuyusu için 120 °C olduğu görülmüştür. Ancak santral kurulurken üretim kuyularının ağırlıkça ortalama kimyasal değerleri ile hesaplamalar yapılarak enjeksiyon sıcaklığına karar verilmektedir.

Çalışma alanındaki sularda termal ^{18}O -D izotop analizleri değerlendirildiğinde AK-1 dışında ^{18}O değerleri -2,33 ile -1,94, D değerleri ise -51,25 ile -40,67 arası değişim göstermektedir. Çalışma alanındaki sular meteorik kökenlidir. Alhan bölgesindeki kuyularda jeotermal kuyularda ^{18}O ve ^2H diyagramında en fazla sapma göstermesi yüksek hazne sıcaklığı ve su-kayaç etkileşiminin fazla olduğunu göstermektedir, AK-1 kuyusu diğer kuyulara göre daha düşük sıcaklığa ve su-kayaç etkileşimine sahip olduğu yorumlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aksoy, N. (2007). Jeotermal sahalarda kabuklaşma ve çözüm yöntemleri. 8. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON)*, İzmir. Jeotermal eğitim semineri, 143-153.
- Arnorsson, S. (1983). Chemical equilibria in Icelandic geothermal systems-implications for chemical geothermometry investigations. *Geothermics* 12.2-3: 119-128.
- Arnórsson, S. (1989). Deposition of calcium carbonate minerals from geothermal waters theoretical considerations. *Geothermics* 18.1:33-39.
- Arnorsson, S. ve Andrésdóttir, A. (1995). Processes controlling the distribution of boron and chlorine in natural waters in Icelve, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 20(59), 4125-4146.
- Arnórsson, S. (2000). Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use: sampling methods, data handling, interpretation. *International Atomic Energy Agency*, Vienna, STI/PUB/1086, 351.
- Back, W. (1996). Hydrochemical facies and groundwaterflow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. U.S. *Geology Survey Professional Paper*, 498-A, 42.
- Bostancı, Y. (2016). *Alaşehir (Manisa) ve Yakın Çevresi Jeotermal Sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Bülbül, A. (2009). *Alaşehir (Manisa) sıcak ve soğuk su sistemlerinin Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal açıdan incelenmesi*. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

- Canik, B. (2003). *Hidrojeoloji* (2. Baskı). Ankara: Ertem Matbaası, 229-252.
- Calmbach, L. (1999). AquaChem Computer Code-Version 3.7.42, *Waterloo Hydrogeologic*, Ontario, Canada.
- Clark, I. ve Fritz, P. (1997), Environmental isotopes in hydrogeology, *Lewis Publishers*, 327.
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133, 1702-B.
- Çiftçi, N. B. (2007). *Geological Evolution of the Gediz Graben, SW Turkey: Temporal and Spatial Variation of the Graben*. Doktora Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Çiftçi, N. B. ve Bozkurt. E. (2009). Structural evolution of the Gediz Graben, SW Turkey: temporal and spatial variation of the graben basin. *Basin Research*. 10. 1111. 1365-2117.
- Deniz, O. (2002). *Alaşehir İlçesi ve Çevresinin Jeolojisi ve Genç Tektoniği*. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Dirik, K. (2011). *Yeraltı suları ders notları*. Hacettepe Üniversitesi, Ankara
- Dora, O. Ö., Kun, N. ve Candan, O. (1990). Metamorphic history and geotectonic evolution of the Menderes Massif. *International Earth Sciences Congress On Aegean Regions*, İzmir. 2, 102-115.
- Ediger, V. Ş., Batı, Z. ve Yazman, M. (1996). Paleopalynology of possible hydrocarbon source rocks of the Alaşehir-Turgutlu area in the Gediz Graben (Western Anatolia), *TPJD Bülteni*, 8/1, 94-112

Egeran, N. ve Yener, H. (1944). *Notes explicatives de la Carte Géologique de la Turquie, Feville İzmir*. Maden Tetkik ve Arama.

Emre, T. (1996). Gediz Grabeni'nin jeolojisi ve tektonigi. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 171-185.

Emre, T. ve Sözbilir, H. (1995). Field Edivence For Metamorphic Core Complex, Detachment Faulting and Accomodation Faults in the Gediz and Büyük Menderes Grabens, Western Anatolia: *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region Proceedings*, İzmir, 1, 73-93

Erguvanlı, K. ve Yüzer, E. (1973). *Yeraltısuları jeolojisi (Hidrojeoloji)*. İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, İstanbul.

Evirgen, M. M. (1983). Ödemiş–Bayındır-Turgutlu-Salihli arasında kalan bölgenin (Menderes Masifi) metamorfizması hakkında ön sonuçlar. *IV. Ege Bölgesi Jeoloji Sempozyumu*, 169,176.

Filiz, Ş. ve Tarcan, G. (1995). High boron content in the aquifer systems of the Gediz basin (on the Aegean region of Turkey), In: *Proc. Internat. Earth Sci. Colloquium on the Aegean Region* (Piskin, G., Ergün, M., Savascin, M.Y., Tarcan, G.,-eds), 681-692, İzmir.

Fournier, R. O. (1977a). A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. In: *Proceedings of the Symp. on Geoth. Energy*, Cento Scientific Programme, Ankara, 133-143.

Fournier, R. O. (1979). A revised equation for the Na-K geothermometer. *GeothermalRes. Council Trans.*, 3, 221-224.

Fournier, R. O. (1990). Interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. In *1990 International Symposium on Geothermal Energy 14(2)*, 1421-1425.

Fournier, R. O., ve Potter, R. W. (1982). A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geothermal Research Concil Bull.* 11, 3-9.

Fournier, R. O. ve 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.

Gatt, J. R., Carmi, I. (1970). Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea. *Jo. Geophys. Res.* 75, 3032-3048.

Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B. L., ve Truesdell, A. H., (1983). Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana. *Geothermics*, 5, 51-62.

Giggenbach, W. F. (1988). Geothermal solute equilibria. derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52(12), 2749-2765.

Güleç, N. ve Mutlu, H. (2002). *Jeotermal alanlarda izotop jeokimyası*, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Notları içinde (74-103), İzmir.

Güneş, C. (2006). *Gediz Kaplıcaları' nın (Kütahya) hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Haklıdır, F., Uzun, A., Şengün, R., ve Güney, A. (2013). Gediz Grabeni-Alaşehir Jeotermal Sahasına Ait İlk Değerlendirmeler. In: 66. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 1-5 Nisan 2013, Ankara.

Haklıdır, S. F. (2017). Batı Anadolu'da Yüksek Sıcaklıklı Jeotermal Sistemlerde Gözlenen Kabuklaşma Türleri ve Kabuklaşma Oluşumunun Kontrolünün

Sağlanması Kullanılan Sistemler; Kızıldere-II (Denizli) Jeotermal Güç Santrali
Örneği, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 60, 363-382

Hem, J. D. (1985). Study ve interperation of the chemical characteristics of natural
water. 3rd ad. U.S. *Geol. Survey Water Supply*, 2254

Hitchon, B., Perkins, E. H. ve Gunter, W.D. (1999). Introduction to Ground Water
Geochemistry, Geoscience Publishing Ltd., Sherwood Park, Alberta, Canada.

I.A.E.A. (1981). Stable isotope hydrology. Deuterium ve oxygen- 18 in water cycle.
In: Gat, J.R., Gonfiantini, R. (Eds.), *International Atomic Energy Agency Technical
Report*, No.210, Vienna, 339.

IAH (1979). Map of mineral ve thermal water of Europe. Scale 1:500.000,
International Association of Hydrogeologists, United Kingdom.

İztan, H. ve Yazman, M. (1990). Geology and hydrocarbon potential of the Alaşehir
(Manisa) area, western Turkey. *Proceeding of International Earth Sciences
Congres on Aegean regions*, London, 152, 639-54.

Karahan, Ç. (2005). Alaşehir-Kavaklıdere-Kurudere Sıcak Su Sondajı (AK-2) Kuyu
Bitirme Raporu, *MTA Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı*.

Karamanderesi, İ. H. (1971). H. KaramanderesiTurgutlu-Salihli (Manisa ili) arası
Gediz nehri güneyinin jeoloji, hidrojeoloji ve jeotermik etüdüne ait rapor. *Maden
Tetkik Arama, Rap. No. 4684*. Ankara (yayınlanmamış).

Karamanderesi, İ. H. (1996). Kavaklıdere (Manisa-Alaşehir) beldesi AK-1 sıcak su
arama sondajı bitirme raporu: *MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 10022*,
(yayımlanmamış).

Kaplıcalar Yönetmeliği (2001). T. C. Sağlık Bakanlığı, *Resmi Gazete*, sayı: 24472.

- Keren, R. ve Mezuman, U. (1981). Boron adsoption by clay minerals using a phenomenological equation. *Clays ve Clay Minerals*, 29, 198-204.
- Kıvanç, A. H ve Serpen, U. (2011). Jeotermal santrallerin karşılaştırılması, *X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 13-16 Nisan, İzmir
- Koçyiğit, A. (1984). Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levhaiçi yeni tektonik gelişim, *Bull. Geol. Soc. Turkey*, 27. 1–16.
- Mahon, W. A. J. (1966). Silica in hot water discharged from drillholes at Wairakei, New Zealand. *NzJ Science*, 9(1), 165-144.
- Nicholson, K. (1993). *Geothermal fluids, chemistry ve exploration techniques*. Springer-Verlag, Berlin, 263.
- Özen, T. (2009). *Salihli Jeotermal Alanlarının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelenmesi*. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Parkhurst, D. L. (1995). *User's guide to PHREEOC-a computer program for speciation, reaction path, adjective-transport, and inverse geochemical calculations*. In US Geological Survey Report.
- Parkhurst D.L., ve Appelo, C.A.J. (1999). User's guide to PHREEQC (version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, ve inverse geochemical calculations. U.S. *Geological Survey Water-Resources Investigations Report* 99-4259, USGS, Reston, Virginia, 1-312.
- Piper, A. M. (1979). Interpretation of water analyses. *Geol. Surv. Water Res. Div. No.12*.

- Purvis, M., & Robertson, A. (2005). Sedimentation of the Neogene–Recent Alaşehir (Gediz) continental graben system used to test alternative tectonic models for western (Aegean) Turkey. *Sedimentary Geology*, 173, 373-408.
- Reed, M., ve Spycher, N. (1984). *Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution*. *Geochimica. Cosmochimica Acta*, 48, 1479-1492.
- Sağlık Bakanlığı (2003). *İçilebilir nitelikteki suların istihsalı, ambalajlanması, satışı ve denetlenmesi hakkında yönetmelik*, Çevre Sağlığı Daire Başkanlığı Su Güvenliği ve Sağlığı Şube Müdürlüğü, Ankara, 22.
- Sarıkaya, M. A. (2004). Gediz detachment zone: Fault rock stratigraphy and tectonic significance. *Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University*, 30 (2004), 63-79.
- Seyitoğlu, G., ve Scott, B. C. (1996). The age of the Alaşehir graben (West Turkey) and its tectonic implications, *Geological Journal*, 31, 1-11.
- Seyitoğlu, G., Tekeli., O., C, Emen, I., Şen, S., ve Işık, V. (2002). The role of the flexural rotation/rolling hingemodel in the tectonic evolution of the Alaşehir graben, western Turkey. *Geological Magazine* 139, 15–26.
- Şahinci, A. (1986). *Yeraltısuları jeokimyası*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları. No: MM/JEO- 86 EY 99, İzmir.
- Şahinci, A. (1991). *Doğal Suların Jeokimyası*. D.E.Ü. Müh. Mim. Fak. Yayınları, İzmir, 175-244.
- Şengör, A. M. C., Satır, M. ve Akkök, R. (1984). Timing of tectonic events in the Menderes massif, Western Turkey: Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics*, 3, 693-707.

- Tarcan, G. (2002). *Jeotermal su kimyası*. Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Kitabı. Editörler: Savaşçın, M.Y., Güleç, N., Şişek, Ş., Parlaktuna, M., Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- Tarcan, G. (2003). *Jeotermal Su Kimyası Ders Notları*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100-Bornova-İzmir.
- Tarcan, G. (2004). *Jeotermal su kimyası ders notları*. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Thronthwaite, C.W. (1948). *An approach toward a rational classification of climate*, *Geograph. Rev.*, 38, 55-94.
- Truesdell, A. H., (1976). Summary of section III geochemical techniques in exploration. In: Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources. San Francisco, 1975, Vol.1, Washington D.C., U. S. Government Printing Office.
- Türk Standartları 266 (TS-266) (2005). *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, Sular-İçme ve Kullanma Suları*, Ankara.
- Yılmaz, Y., Genç, S. C., Gürer, O. F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., et al. (2000). When did the western Anatolian grabens begin to develop? In: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), Tectonics ve magmatism in Turkey ve the surrounding area, Geological Society Special Publication 173, *Geological Society*, London, 353–384.
- Yaman, D. (2005). *Menderes Masifi Kıtasal Rift Zonlarında Yeralan Jeotermal Sulardaki Yüksek Bor Değerlerinin Kökeni*. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Yazman, M. (1998). *Alaşehir Grabeninin değerlendirme raporu*, TPAO Ankara, 3864, 146.

Zorlu ÇED raporu, (2013). *ZORLU Jeotermal Enerji Elektrik Üretim A.Ş, 45 MWe Alaşehir jeotermal enerji santrali projesi Çevresel Etki Değerlendirmesi başvurusu*, Ankara

