

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIZILDERE (DENİZLİ) JEOTERMAL ALANININ
HİDROJEOLojİK VE HİDROJEOKİMYASAL
İNCELENMESİ

Cihan BÖLÜKBAŞ

Kasım, 2013
İZMİR

KIZILDERE (DENİZLİ) JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLÖJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programı

Cihan BÖLÜKBAŞ

Kasım, 2013

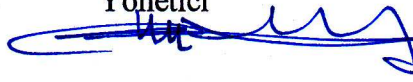
İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

CİHAN BÖLÜKBAŞ tarafından **PROF. DR. GÜLTEKİN TARCAN** yönetiminde hazırlanan **“KIZILDERE (DENİZLİ) JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Gültekin TARCAN
.....

Yönetici



Prof. Dr. Cinnat Gencel
.....
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mahmut G. Drahon
.....
Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Ayşe OKUR

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenmiş olup, 109Y315 numaralı TÜBİTAK projesinin bir parçasını oluşturur.

Tezimin hazırlanması esnasında bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Gültekin TARCAN ve Prof. Dr. Ünsal GEMİCİ hocalarıma en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın hemen her aşamasında yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini çekinmeden benimle paylaşan değerli hocam Dr. Tuğbanur ÖZEN'e, ihtiyacım olduğunda bana yardıma hazır olduğunu bildiğim Arş. Gör. A. Toygar AKAR'a ve tezimin düzenlenmesinde emeği geçen Arş Gör. Özde BAKAK'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bütün hayatım boyunca bana her tür yardımcı ve desteklerini esirgemeyen aileme ve desteklerinden ötürü değerli arkadaşlarım Murat BİLGİÇ ve Abdullah Gökem ÇİÇEKLİ'ye teşekkür ederim.

Cihan BÖLÜKBAŞ

KIZILDERE (DENİZLİ) JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, Kızıldere jeotermal alanının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik özelliklerini ortaya koymaktır.

Hazırlanan Durov diyagramında sıcak su numuneleri diyagramın sodyum - bikarbonat köşelerine yakın yerleşmiş ve kimyasal yapıları birbirine benzer çıktığı vurgulanmıştır. Yapılan Piper diyagramında ise, sıcak suların "doğada nadir bulunan aşırı yumuşak su" sınıfına girdiği, Hesaplanan Schoeller diyagramında ise, sıcak suların kimyasal yapısının genel olarak birbirine benzer olarak çıktığı göze çarpmaktadır Büyük Menderes deresinden alınan soğuk su numunesi, Durov, Piper ve Schoeller diyagramlarında karışım suyu olduğu sonucuna varılmıştır. Gerçekleştirilen izotop analizinde sıcak suların 50 yıldan daha yaşlı dolaşıma sahip olduğu ve güncel yağış suları ile karıştığı belirlenmiştir. Ayrıca jeotermal akışkanların rezervuar kayalar ile kimyasal etkileşime girdiği saptanmıştır.

Hesaplamaları yapılan jeotermometre değerleri genel olarak 180 ile 251 santigrat derece arasında değer vermiştir. Giggenbach Üçgen ve Kare diyagramları ile jeotermometrelerin kullanılabilir oldukları belirlenmiş ve bu diyagramlarla 220 ile 240 santigrat derece arasında jeotermometre değerlerine ulaşılmıştır. "Entalpi-Sodyum" karışım modelinde 206 ile 245 santigrat derece rezervuar kayaç sıcaklık aralığı tespit edilmiştir. "Entalpi-Silis" karışım modelinde ise 169 ile 274 santigrat derece aralığında rezervuar kayaç sıcaklığı hesaplanmıştır.

Kabuklaşma analizlerinde KD-1 ve R-3 kuyuları haricindeki kuyularda inhibitör kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. KD-1 kuyusunda 73, R-3 kuyusunda ise 62 santigrat derece güvenli sıcaklıklarına ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Denizli, Kızıldere, jeotermal, hidrojeoloji, hidrojeokimya

HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL STUDIES OF THE KIZILDERE (DENİZLİ) GEOTHERMAL FIELD

ABSTRACT

The purpose of the research is exhibiting features of hydrogeological, hydrogeochemical and isotopic of Kızıldere geothermal field.

The hot water samples have been placed sodium - bicarbonate edge of Durov diagram and they have similar chemical features generally on Durov diagram. According to Piper diagram, classification of the hot water samples is determined as "extremely soft water, which is rarely found in nature". The hot water samples have similar chemical features on Schoeller diagram. The sample of Büyük Menderes river is mixing water in reference to Durov, Piper and Schoeller diagrams, which have made in the study. The hot water samples have more than 50 years aged circulation and they have been determined as mixed with current raining water. Also, chemical interactions of hot water with reservoir rocks have been determined.

Results of geothermometer calculations are between 180 and 251 centigrade degrees. Usability of this results have been confirmed with using Giggenbach Triangle and Square diagrams. Geothermometer values of Giggenbach diagrams are between 220 and 240 centigrade degrees. Results of reservoir temperatures are between 206 and 245 centigrade degrees with reference to "Enthalpy-Sodium" mixing model. Results of reservoir temperatures are between 169 and 274 centigrade degrees with regard to "Enthalpy-Silica" mixing model.

According to crustration analyses, using inhibitors are recommended on all geothermal wells except KD-1 and R-3. Safety temperature of KD-1 and R-3 wells have been calculated as 73 and 62 centigrade degrees.

Keywords: Denizli, Kızıldere, geothermal, hydrogeological, hydrogeochemical

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xiii

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışma Alanının Yeri.....	1
1.3 Çalışmada Uygulanan Yöntemler	4
1.3.1 Arazi Yöntemleri	4
1.3.2 Laboratuvar Yöntemleri.....	4
1.3.3 Kullanılan Bilgisayar Programları.....	4
1.4 Çalışma Alanının Morfolojisi.....	5
1.5 Çalışma Alanının İklim ve Bitki Örtüsü.....	5

BÖLÜM İKİ - JEOLojİ..... 7

2.1 Jeolojik Tarihçe	7
2.2 Stratigrafi.....	8
2.2.1 Paleozoik Yaşlı Birimler.....	11
2.2.1.1 Menderes Masifi Metamorfikleri	11
2.2.1.2 İğdecik Formasyonu.....	12
2.2.2 Senozoik Yaşlı Birimler	12
2.2.2.1 Pliyosen Yaşlı Birimler.....	13
2.2.2.1.1 Kızılburun Formasyonu.....	13

2.2.2.1.2 Sazak Formasyonu	14
2.2.2.1.3 Kolonkaya Formasyonu	15
2.2.2.1.3 Tosunlar Formasyonu.....	15
2.2.2.2 Kuvaterner Yaşı Birimler.....	16
2.2.2.2.1 Traverten	16
2.2.2.2.2 Yamaç Molozu	17
2.2.2.2.3 Alüvyon.....	17
2.3 Yapısal Jeoloji	17
BÖLÜM ÜÇ – JEOTERMAL ENERJİ.....	20
3.1 Jeotermal Enerji, Tanımı ve Oluşumu.....	20
3.2 Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Durumu.....	23
3.3 Jeotermal Enerjinin Türkiye’deki Durumu	24
3.4 Jeotermal Suların Sınıflandırılması	26
3.5 Jeotermal Suların Kullanım Alanları.....	27
BÖLÜM DÖRT – HİDROJEOLOJİ	31
4.1 Su Noktaları.....	31
4.2 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	32
4.3 Jeotermal Alanların Yeri ve Oluşum Özellikleri.....	34
BÖLÜM BEŞ – HİDROJEOKİMYA	36
5.1 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri .	36
5.2 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözülmüş Birincil (Majör) İyonlar	39
5.2.1 Sodyum (Na^+)	39
5.2.2 Potasyum (K^+)	40
5.2.3 Kalsiyum (Ca^{++}).....	40
5.2.4 Magnezyum (Mg^{++})	40
5.2.5 Klorür (Cl^-)	41

5.2.6 Sülfat ($\text{SO}_4^{=}$)	41
5.2.7 Karbonat ($\text{CO}_3^{=}$) ve Birkarbonat (HCO_3^{-})	41
5.2.8 Silisyum (Si^{+4})	42
5.3 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş İkincil İyonlar	42
5.3.1 Lityum (Li^{+}).....	43
5.3.2 Bor (B^{+3})	43
5.3.3 Baryum (Ba^{++})	44
5.3.4 Stronsiyum (Sr^{++}).....	44
5.4 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş Minör ve İz Bileşenler	44
5.5 İnceleme Alanındaki Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri	45
5.5.1 İnceleme Alanındaki Soğuk ve Sıcak Suların İçilebilme Özellikleri	45
5.5.2 İnceleme Alanındaki Soğuk ve Sıcak Suların Wilcox Diyagramına Göre Kullanılabilirlik Özellikleri	46
5.5.3 İnceleme Alanındaki Soğuk ve Sıcak Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına Göre Kullanılabilirlik Özelliği.....	52
5.6 Soğuk ve Sıcak Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflandırması	55
5.6.1 Sertliğine Göre Su Sınıflaması	55
5.6.2 pH Değerlerine Göre Su Sınıflaması	57
5.6.3 Elektriksel İletkenlik Değerlerine Göre Su Sınıflaması	58
5.6.4 Suda Çözünmüş Toplam İyon Miktarına Göre Su Sınıflaması	58
5.6.5 Analiz Sonuçlarındaki Birincil İyon Miktarlarının Doğrudan Kullanımı ile Fasiyes Belirlenmesi	59
5.6.6 Durov Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması	60
5.6.7 Piper Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması	62
5.6.8 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram'a Göre Su Sınıflaması.....	65
5.7 İzotop Analizi	69
5.8 İnceleme Alanında Bulunan Sıcak Suların Doygunluk İndeksleri.....	71
5.8.1 İyon Etkinliği ve İyonlaşma Gücü Kavramları.....	72
5.8.2 İyon Etkinliği, İyonlaşma Gücü ve İyon Etkinlik Katsayısı Hesabı.....	72
5.8.3 Doygunluk İndeksi Hesaplaması	74
5.8.4 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularının Doygunluk İndeksleri Değerleri ..	76
5.9 Jeotermometre Türleri ve Hesaplamaları	82

5.9.1 Kimyasal Jeotermometreler	82
5.9.1.1 Niteliksel (Kalitatif) Jeotermometreler	83
5.9.1.2 Niceliksel (Sayısal) Jeotermometreler	85
5.10 Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler.....	86
5.10.1 Silis Jeotermometreleri	86
5.11 İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler.....	87
5.11.1 Na/K, Na-Li, K-Mg- K-Ca ve Na-Ca Jeotermometreleri	88
5.11.2 Na-K-Ca ve Mg Düzeltmeli Na-K-Ca Jeotermometreleri.....	88
5.12 İyon Etkinliğine Bağlı Jeotermometreler	91
5.13 Jeotermometre Hesaplamaları	91
5.14 Jeotermometre Uygulanabilirliği.....	97
5.14.1 Giggenbach Üçgen Diyagramı	98
5.14.2 Giggenbach Kare Diyagramı	100
5.15 Karışım Modelleri	102
5.15.1 Entalpi – Sodyum Karışım Modeli	102
5.15.2 Entalpi – Silis Karışım Modeli	105
5.16 Kabuklaşma Analizi	108
 BÖLÜM ALTI – SONUÇLAR VE ÖNERİLER	133
 KAYNAKLAR	143

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2 Denizli ili jeotermal alanları	3
Şekil 2.1 Denizli-Kızıldere jeotermal alanı jeolojik haritası.....	9
Şekil 2.2 Denizli jeotermal alanı stratigrafik kolon kesiti.....	10
Şekil 2.3 Kızılburun formasyonunun yüzeye mostra vermiş görünümü.....	14
Şekil 2.4 Kızılburun formasyonunun yakından görünümü.....	14
Şekil 2.5 Büyük Menderes grabeni ve Kızıldere jeotermal alanının tektonik yapısının genel gösterimi	18
Şekil 2.6 Kızıldere jeotermal alanındaki tektonik yapılar ve bazı birimler	19
Şekil 3.1 Kızıldere jeotermal alanının temsili hidrojeolojik döngüsü.....	21
Şekil 3.2 İzlanda’da püskürme anındaki bir gayzer	22
Şekil 3.3 Dünyadaki yüksek sıcaklıklı jeotermal kuşaklar	23
Şekil 3.4 Türkiye’deki genç tektonik hatlar ve sıcak su kaynaklarının dağılımı	25
Şekil 3.5 Balıkesir – Sındırgı kaplıcaları	27
Şekil 3.6 Balçova jeotermal ısı dağıtım tesisi	28
Şekil 3.7 Kızıldere jeotermal alanındaki bir üretim kuyusu	29
Şekil 4.1 Analiz edilen sıcak su numunelerinin alındığı noktalar.....	31
Şekil 4.2 Kızıldere jeotermal alanının hidrojeolojik birimleri	33
Şekil 4.3 Kızıldere jeotermal alanının taslak hidrojeolojik modeli.....	35
Şekil 5.1 Kızıldere jeotermal alanından alınan soğuk ve sıcak su numunelerinin Wilcox grafiği üzerinde dağılımı	51
Şekil 5.2 Numunelerin ABD Tuzluluk Diyagramı üzerinde gösterimi.....	54
Şekil 5.3 İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin analizlerinin Durov Diyagramı üzerindeki izdüşümleri	61
Şekil 5.4 Piper Diyagramı ve açıklaması	63
Şekil 5.5 İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin analizlerinin Piper Diyagramı üzerindeki izdüşümleri	64

Şekil 5.6 İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin analizlerinin Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram üzerindeki izdüşümleri.....	68
Şekil 5.7 İnceleme alanından alınan bazı sıcak su numunelerinin izotop analizi sonuçlarının diyagram üzerinde gösterimi	71
Şekil 5.8 İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin Giggenbach Üçgen Diyagramı üzerinde gösterimi.....	99
Şekil 5.9 İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin Giggenbach Kare Diyagramı üzerinde gösterimi.....	101
Şekil 5.10 Entalpi-Sodyum Karışım Grafiği.....	104
Şekil 5.11 Entalpi-Silis Karışım Grafiği	107
Şekil 5.12 KD-1 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı	110
Şekil 5.13 KD-13 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	111
Şekil 5.14 KD-13 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	112
Şekil 5.15 KD-14 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	113
Şekil 5.16 KD-14 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	114
Şekil 5.17 KD-14 kuyusundan alınan üçüncü numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	115
Şekil 5.18 KD-15 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	116
Şekil 5.19 KD-15 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	117
Şekil 5.20 KD-15 kuyusundan alınan üçüncü numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	118
Şekil 5.21 KD-16 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	119
Şekil 5.22 KD-16 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	120

Şekil 5.23 KD-16 kuyusundan alınan üçüncü numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	121
Şekil 5.24 KD-16 kuyusundan alınan dördüncü numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	122
Şekil 5.25 KD-20 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı	123
Şekil 5.26 KD-21 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	124
Şekil 5.27 KD-21 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	125
Şekil 5.28 KD-22 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	126
Şekil 5.29 KD-22 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	127
Şekil 5.30 KD-22 kuyusundan alınan üçüncü numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	128
Şekil 5.31 R-1 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	129
Şekil 5.32 R-1 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	130
Şekil 5.33 R-3 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı ...	131
Şekil 5.34 W-1 atık su kanalından alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı.....	132

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa

Tablo 5.1 Kızıldere jeotermal alanından alınan soğuk ve sıcak su numunelerinin kimyasal analiz sonuçları	38
Tablo 5.2 Su numunelerinin kimyasal analizlerinde saptanan bazı bileşenlerinin "Türkiye İçme Suları Standardı"ndaki izin verilen miktarları	45
Tablo 5.3 Wilcox sulama suları sınıflaması tablosu	48
Tablo 5.4 Wilcox sulama suları sınıflaması diyagramında kullanmak üzere hesaplanmış % Na değerleri.....	49
Tablo 5.5 Hesaplanmış SAR değerlerine göre sulama sularının niteliği	52
Tablo 5.6 Kızıldere jeotermal alanına ait su numunesi analizlerinin SAR değerleri hesaplamaları.....	53
Tablo 5.7 Fransız Toplam Sertlik tablosu.....	56
Tablo 5.8 Kızıldere jeotermal alanına ait su numunelerindeki Fransız Sertlik değerleri ve numune sertlik sınıflamaları.....	57
Tablo 5.9 Kızıldere jeotermal alanına ait sıcak su numunelerinin toplam iyon miktarına göre su sınıflamaları.....	59
Tablo 5.10 İnceleme alanından alınan numunelerin analizlerinden elde edilen birincil iyon miktarlarına göre fasiyes tipleri	60
Tablo 5.11 Schoeller'e göre suların klorür derişimlerine göre su sınıflama tablosu.	66
Tablo 5.12 Schoeller'e göre suların sülfat derişimlerine göre su sınıflama tablosu..	66
Tablo 5.13 Schoeller'e göre suların karbonat ve bikarbonat derişimlerine göre su sınıflama tablosu	66
Tablo 5.14 İnceleme alanından temin edilen sıcak su numunelerinin Schoeller'e göre su sınıflaması.....	67
Tablo 5.15 İnceleme alanından alınan bazı sıcak su numunelerinde yapılmış izotop analizi sonuçları	70
Tablo 5.16 İyon etkinlik katsayısı hesaplanmasında kullanılan bağıntılardaki A ve B değerleri.....	74

Tablo 5.17 KD-1, KD-13 ve KD-14 kuyularına ait sıcak sularda saptanan minerallerin doygunlukları.....	77
Tablo 5.18 KD-15 kuyusuna ait sıcak sularda saptanan minerallerin doygunlukları	78
Tablo 5.19 KD-16 kuyusuna ait sıcak sularda saptanan minerallerin doygunlukları	79
Tablo 5.20 KD-20, KD-21 ve KD-22 kuyularına ait sıcak sularda saptanan minerallerin doygunlukları.....	80
Tablo 5.21 R-1, R-3 kuyularına ve W-1 atık su kanalına ait sıcak sularda saptanan minerallerin doygunlukları.....	81
Tablo 5.22 İnceleme alanından elde edilen numunelerin kimyasal analiz verileri kullanılarak hesaplanan silis jeotermometresi değerleri	87
Tablo 5.23 İnceleme alanından elde edilen numunelerin kimyasal analiz verileri kullanılarak hesaplanan Na-K-Ca jeotermometresi değerleri	89
Tablo 5.24 Jeotermometre hesaplamaları amacıyla kullanılan bağıntılar.....	92
Tablo 5.25 KD-1, KD-13, KD-14 ve KD-15 kuyularına ait sıcak su numuneleri üzerinde yapılan jeotermometre hesaplamaları.....	93
Tablo 5.26 KD-16 kuyusuna ait sıcak su numuneleri üzerinde yapılan jeotermometre hesaplamaları.....	94
Tablo 5.27 KD-20, KD-21, KD-22, R-1 ve R-3 kuyuları ile W-1 atık su kanalına ait su numuneleri üzerinde yapılan jeotermometre hesaplamaları	95

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

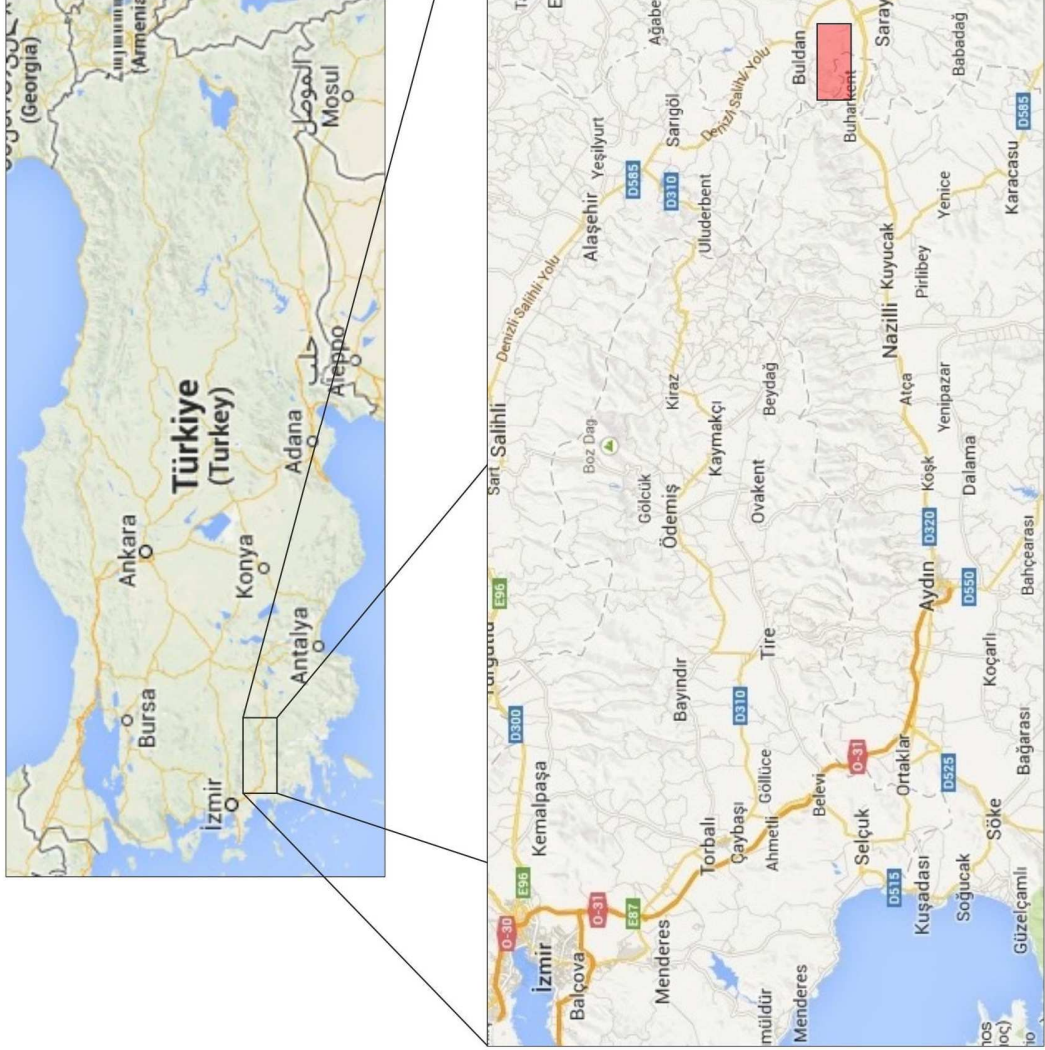
Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji öğretim programı yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma, Denizli ili sınırları içerisindeki Kızıldere jeotermal alanındaki incelemeleri ve alınan su numunelerinin laboratuvar analiz sonuçlarının yorumlanması ile bölgenin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal potansiyelini araştırmaya katkıda bulunmak amacı ile yazılmıştır.

1.2 Çalışma Alanının Yeri

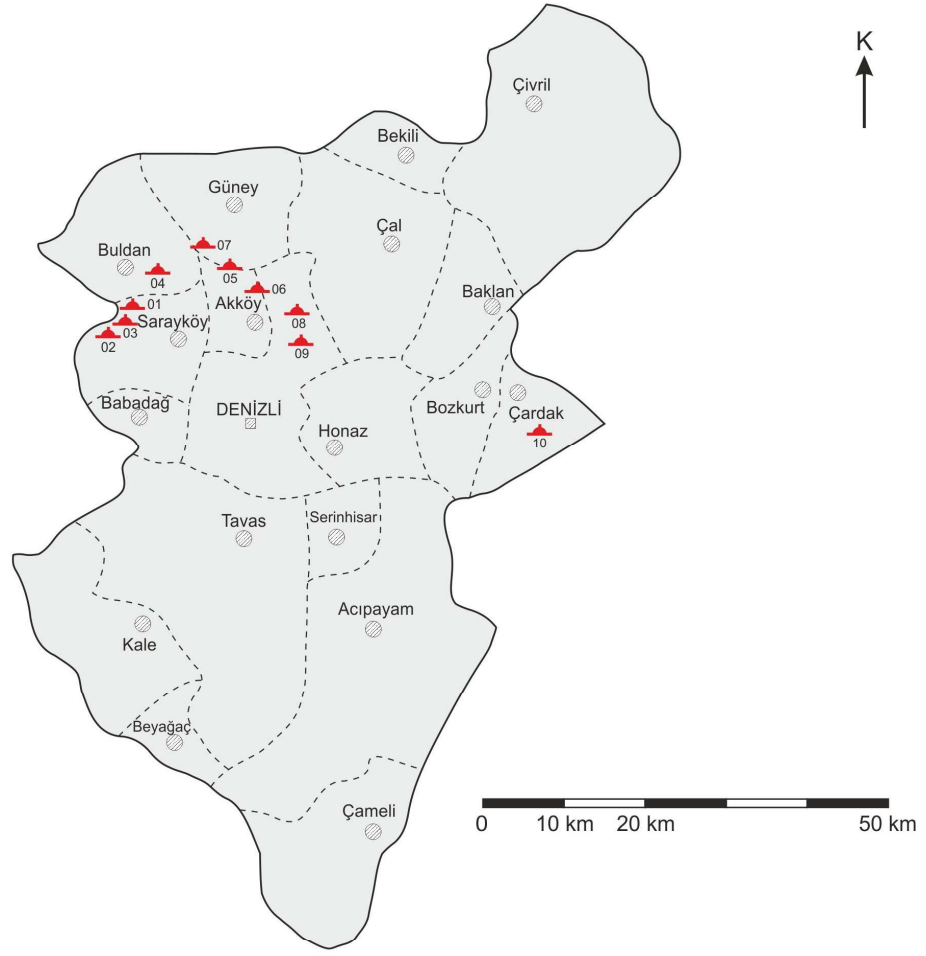
Denizli ili içerisinde, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne ait Envanter–201 kaynağında gösterilen 10 tane jeotermal alan bulunmaktadır (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü [MTA], 2005). Bu alanlardan en büyüğü ve en fazla kuyu açılmış olanı ise Kızıldere jeotermal alanıdır. Denizli-Kızıldere jeotermal alanı, sadece Denizli'nin değil, Türkiye sınırları içerisindeki bilinen en sıcak su veren jeotermal alandır. Kızıldere jeotermal alanında 1968 ile 1999 yılları arasında 21 adet kuyu açılmıştır. Bu sayı, özel sektör tarafından çok daha yukarı çekilmiştir. Bu bölgede açılmış kuyuların pek çoğu elektrik enerjisi üretimi için kullanılmaktadır.

Alanda saptanan üç rezervuarda sıcaklık testleri yapılmış ve akışkan üretimi sağlanmıştır. Birinci rezervuar sıcaklığı 198 °C, üçüncü rezervuar sıcaklığı ise 242,5 °C olarak belirlenmiştir (Şimşek, 2010). Sözü edilen sahada dördüncü rezervuarın varlığı kanıtlanmış ancak halen ayrıntılı araştırmaları devam etmektedir.

Çalışma alanı olan Kızıldere jeotermal alanının yer bulduru haritası (Şekil 1.1), Denizli ili sınırları içerisindeki jeotermal alanların listesi (Şekil 1.2) ve Türkiye sınırları içerisindeki genç tektonik hatlar ve sıcak su noktalarının dağılımını (Şimşek, 2000, Şekil 1.3) gösteren şekiller aşağıda sunulmuştur.



Şekil 1.1 Yer bulduru haritası (Google Maps'tan yararlanılmıştır).



▲ JEOTERMAL ALAN

- 01 : Kızıldere
- 02 : Babacık ve Demirtaş
- 03 : Tekkehamam, Uyuz ve İnaltı Uyuz
- 04 : Bölmekaya
- 05 : Yenice (Çizmeli) ve Kamara
- 06 : Gölemezli
- 07 : Buldan - Efe
- 08 : Karahayıt
- 09 : Pamukkale
- 10 : Çardak - Beylerli - Ilıcıpınar

Şekil 1.2 Denizli ili jeotermal alanları (MTA, 2005'ten değiştirilerek)

1.3 Çalışmada Uygulanan Yöntemler

Tezin hazırlanması kapsamında arazi çalışmaları yöntemleri, çeşitli bilgisayar programları ve laboratuvar çalışmalarından faydalanılmıştır.

1.3.1 Arazi Yöntemleri

Çalışma kapsamında yürütülen arazi yöntemlerinde özellikle su numunesi alma yöntemleri öne çıkmaktadır. Bunlardan en önemlisi, jeotermal kuyulardan su numunesi alınırken yapılan “titrasyon” deneyleridir. Titrasyon deneyinden sonra, su numunelerinin mevcut durumlarını muhafaza edebilmesi ve laboratuvar koşullarında numunelerin arazideki durumuna yakın bir sonuca ulaşılabilmesi amacı ile asitleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun yanı sıra, arazide su numunesi alınan gerek sıcak gerekse soğuk su noktalarında, numunelerin renk, koku gibi özelliklerine dikkat edilmiştir. Özellikle bulanıklığı fazla olan soğuk su noktalarında, su numuneleri alınırken bir takım taşınabilir düzenekler ile su içerisindeki çökeltilerden mümkün olduğunda temizlenmiş, daha sonrasında alınan numunelere titrasyon deneyi ve asitleme işlemleri uygulanmıştır.

1.3.2 Laboratuvar Yöntemleri

Alınan su numuneleri arazideki asitleme yapılmış hali ile laboratuvar ortamına sokulmuş ve kimyasal analiz deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunun sonucunda birincil (majör), ikincil, minör ve iz elementlerin ile bileşiklerin miktarları tespit edilmiştir. Bu analizlerin yanı sıra su numunelerinin içerisindeki belli başlı elementler için atomik absorpsiyon deneyi uygulanmıştır. Ayrıca yine laboratuvar ortamında su numuneleri üzerinde Cl^- testi yapılmıştır.

1.3.3 Kullanılan Bilgisayar Programları

Tez hazırlanması esnasında birkaç bilgisayar yazılımından yararlanılmıştır. Kullanılan bilgisayar yazılımları hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

Tez, Microsoft Office Word programı kullanılarak hazırlanmıştır. Hesaplamaların yeterli hassaslıkta yapılması ve çeşitli grafiklerin çizimi ve yorumlanması amacı ile Microsoft Office Excel programı kullanılmış ve alınan veriler tez içerisine gömülerek sunulmuştur. Tez içerisinde bulunan çizim ve grafikler CorelDRAW programı kullanılmış, küçük düzeltmeler için Adobe Illustrator ve Adobe Photoshop programları kullanılmıştır. Surfer8 programları ile yapılmıştır. Bunun yanı sıra hidrojeokimyasal ölçümlerin çeşitli hesaplamaları için AquaChem programından yararlanılmıştır. Jeotermal hesaplamalarda ise Watch programından elde edilen veriler kullanılmıştır.

1.4 Çalışma Alanının Morfolojisi

Türkiye'nin en sıcak jeotermal alanı olan Kızıldere jeotermal alanı, Denizli ili sınırları içerisindeki Kızıldere yerleşim merkezinin Doğu-Güneydoğu tarafında, Büyük Menderes Nehri'nin kuzeyinde, Büyük Menderes grabeni üzerinde yer alır. Büyük Menderes Nehri, bölgeyi iki parçaya ayırmaktadır. Kuzey kısmı Kızıldere jeotermal alanı, güney kısmı ise Tekkehamam jeotermal alanıdır.

Kızıldere jeotermal alanında bulunan jeotermal sondaj kuyularının rakımları 180 ila 210 metre arasında değişiklik gösterir. Güneyinde Büyük Menderes Nehri, kuzeyinde ise dağlık alanlar ve eskiden dere yatağı olan ancak şimdi işlevini yitirmiş vadilerden oluşur. Çevrede kuzey ve kuzeydoğusunda Cankurtaran Dağları, batısında Hamam Dağı, doğu-güneydoğu yönünde de İmam Dağı bulunmaktadır. Alanın kuzeybatı, kuzey, kuzeydoğu, doğu ve güneydoğusunda, yükseltiler arasında alana doğru iniş gösteren vadiler bulunmaktadır. Bunların en uzununu, kuzeydoğu yönündeki Gebeler Dere yatağıdır.

1.5 Çalışma Alanının İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanı, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olması ile genel Akdeniz iklimi özelliklerini yansıtmaktadır. Ege Bölgesi'ndeki dağların denize dik uzanması sonucunda, bu iklim özellikleri iç kesimlere kadar kendini göstermektedir.

Çalışma alanı morfolojik açıdan graben tabanının oluşturduğu düzlük alanlar ve horstlardan oluşan yüksek kesimler olmak üzere iki farklı morfolojik bölgeye ayrılmaktadır. Bölgede kurulu olan meteorolojik gözlem istasyonları graben düzlükleri üzerinde, yükseklikleri 25–100 m arasında değişen yerleşim alanlarında kuruludur. İnceleme alanının yakın çevresinde bulunan Denizli ve Buldan gibi göreceli olarak yüksek kotlarda yer alan istasyonlar ana graben doğrultusuna dik ve denize paralel uzanan ikincil grabenlerde kurulmuş olmaları nedeniyle yağış ve yükselti arasında bir ilişkinin kurulmasını olanaksız kılmaktadır. Bu nedenle, bölgedeki jeotermal rezervuarın beslenme alanlarını oluşturan horst kesimlere düşen yağışın miktarları hakkında fikir yürütmek mümkün değildir (Şimşek, 2010).

Şakir Şimşek'in 2010 yılında hazırlamış olduğu 107Y188 numaralı TÜBİTAK projesinde belirttiği üzere, meteoroloji istasyonlarından aldığı uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık verileri ışığında, aylık ortalama sıcaklık 0 °C nin altına düşmediği, en sıcak ayın Temmuz ve en soğuk ayın ise Ocak ayı olduğu tespit edilmiştir.

Akdeniz ikliminin etkisiyle bitki örtüsü yükseltiye bağlı olarak değişmektedir. Yükseltisi 0-600 m arasında değişen horst bölgelerinde Akdeniz ikliminin tipik bitki örtüsü olan maki toplulukları hakim iken daha yüksek kesimlerde çoğunlukla çam ağaçlarından oluşan karışık orman örtüsü bulunmaktadır. Yoğun tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü düzlük alanlarda pamuk, çeltik ve tahıl üretimi yapılmaktadır. Bunun dışında kalan yerleşim alanlarına yakın bölgelerde ise bağcılık ile birlikte incir, narenciye ve zeytincilik bölge halkının en önemli kazanç kaynakları arasındadır (Şimşek, 2010).

BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ

2.1 Jeolojik Tarihçe

Kızıldere jeotermal sahası, tektonik evrimi Paleo-Tetis ve Neo-Tetis okyanuslarının gelişimi ve yok oluş süreçleriyle kontrol edilen Batı Anadolu Bölgesi'nde yer almaktadır. Söz konusu bölge oldukça karmaşık bir tektonik tarihçeye sahip olmakla birlikte bugünkü jeolojik çerçevesi, Alpin orojenezi sırasında, Afrika ve Arap levhaları arasındaki yakınlaşma sürecine bağlı olarak şekillenmiştir (Bozkurt ve Mittwede, 2001; Okay, 1986; Şengör ve Yılmaz, 1981).

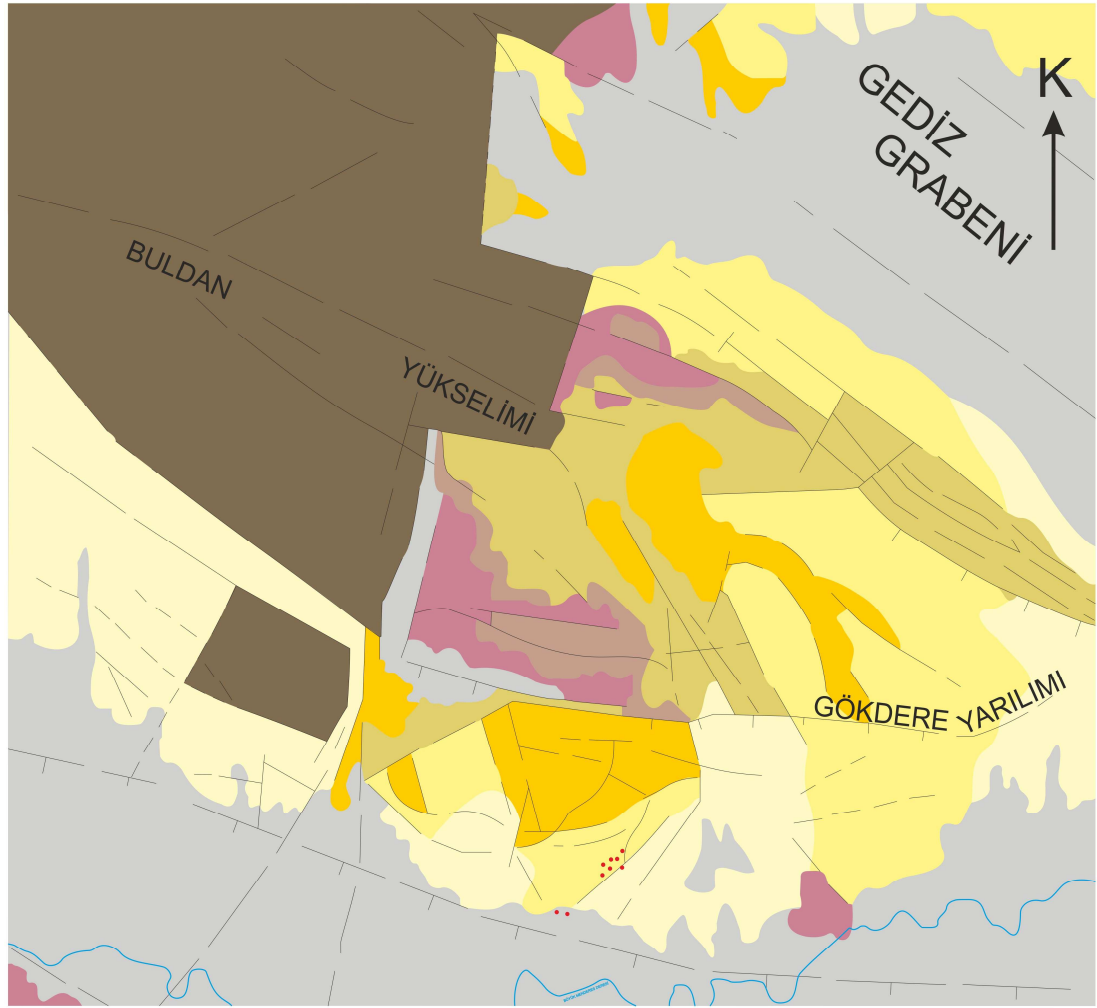
Tetis okyanusunun evrimi ile ilgili olarak Şengör, 1984 yılındaki çalışmasında Türkiye'de başlıca dört ana paleotektonik birimin bulunduğunu gösteren bir model önermiştir. Bu birimler, kuzeyden güneye doğru, Rodop-Pontid Fragmanı, Sakarya Kıtası, Kırşehir Bloğu ve Menderes-Toros Platformu olarak isimlendirilmiştir (Güleç, 2010).

Batı Anadolu bölgesinin güncel yapısal unsurlarını temsil eden graben sistemi, Orta Miyosen'deki Arap-Anadolu levhaları çarpışması sonrasında gelişen neotektonik dönemin ürünleridir (Dewey ve Şengör, 1979; Mc Kenzie, 1972). Batı Anadolu graben sistemi, dünyanın en iyi tanınan gerilme basenlerinden biri olan Ege baseninin doğu kesimini oluşturmaktadır. Bölgede süregelen gerilme rejiminin mekanizması, başlangıç tarihi ve/veya zaman içerisindeki devamlılığı halen tartışmalı konular olmakla birlikte, bu rejimin, en azından geç Miyosen'den bu yana bölgede etkinliğini sürdürmekte olduğu kabul edilmektedir (Bozkurt, Winchester ve Piper, 2000; Koçyiğit, Yusufoglu ve Bozkurt, 1999; Le Pichon ve Angelier, 1979; Seyitoğlu ve Scott, 1992; Şengör, Görür ve Şaroğlu., 1985). Ayrıca gerilme hızının Ege Denizi açıklarından Batı Anadolu bölgesine doğru azaldığı bilinmektedir (Patton, 1992; Taymaz, 1996).

Batı Anadolu graben sistemi, Türkiye’deki bilinen en yüksek entalpili jeotermal sahaları barındırmaktadır. Özellikle Büyük Menderes grabeni, bölgenin bilinen en yüksek potansiyele sahip sahalarını barındırmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen Kızıldere jeotermal sahası, Büyük Menderes grabeninin kuzey kısmında yer alır (Güleç, 2010).

2.2 Stratigrafi

Kızıldere jeotermal alanının temelini, üzerinde bulunduğu Büyük Menderes grabeninin karakteristik özelliği olan Menderes Masifi’ne ait metamorfikler oluşturur. Menderes Masifi üzerinde, uyumsuzluk ile Paleozoik yaşlı İğdecik formasyonu bulunur. İğdecik formasyonu ile üzerindeki Alt Pliyosen yaşlı Kızılkaya formasyonu arasında açısal uyumsuzluk vardır. Kızılkaya formasyonunun üzerini geçişli olarak uzanan yine Alt Pliyosen yaşlı Sazak formasyonu örter. Sazak formasyonunun üst kısmında yine geçişli bir biçimde Alt Pliyosen yaşlı Kolonkaya formasyonu bulunur. Kolonkaya formasyonunun üzerinde, açısal uyumsuzluk ile Üst Pliyosen yaşlı Tosunlar formasyonu uzanmaktadır. Tosunlar formasyonunun üzerini, uyumsuzluk ile Kuvaterner yaşlı alttan üste doğru Traverten, yamaç molozu ve alüvyon kapatmaktadır.



- | | | | |
|---|------------------------|---|-------------------|
|  | Alüvyon |  | Fay Hatları |
|  | Tosunlar Formasyonu |  | Olası Faylar |
|  | Kolonkaya Formasyonu |  | Jeotermal Kuyular |
|  | Sazak Formasyonu | | |
|  | Kızılburun Formasyonu | | |
|  | Mermer, Kuvarsit, Şist | | |
|  | Çeşitli Şistler | | |
|  | Çeşitli Gnayslar | | |

Şekil 2.1 Denizli-Kızıldere jeotermal alanı jeolojik haritası (MTA, 2005'ten değiştirilerek)

YAŞI	FORMASYON	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
SENOZOİK	KUVATERNER			Qal: Alüvyon
				Qy: Yamaç Molozu
				Qtr: Traverten
	ÜST PLİYÖSEN	TOSUNLAR	± 500 m.	AÇISAL UYUMSUZLUK
				Kumtaşı, Çakıltası, Silttaşı, Killi Kireçtaşı ar dalanması
				Kumtaşı, miltaşı; sarımsı gri, dağılgan, bol kavkılı, yanal geçişli, oygu-dolgu yapılı
				AÇISAL UYUMSUZLUK
	ALT PLİYÖSEN	KOLONKAYA	± 500 m.	Kumtaşı; sarımsı, ince-orta taneli, kötü boyamalı, kamalanmalı, orta-kalın katmanlı,
				Seyrek killi kireçtaşı bantlı
		SAZAK	150 - 350 m.	GEÇİŞLİ
				Kireçtaşı, Marn, Silttaşı, Kumtaşı
		KIZILBURUN	0-400 m.	GEÇİŞLİ
				Çakıltası, Kumtaşı, Miltaşı, Kiltası ar dalanması
PALEOZOİK	İĞDECİK			Alacalı, kırmızı, yeşil, sarı, köşeli, kötü boyamalı
				AÇISAL UYUMSUZLUK
				MERMER, KUVARSİT, FİLLİT ar dalanması
				Mermer; koyu gri, beyaz, yer yer iri kristalli, mika pullu, bol eklemli, ince-orta yapraklanmalı
PALEOZOİK	İĞDECİK			Kuvarsit; ak, boz, sert, kırılmalı, bol eklemli, mika pullu, ince-orta yapraklanmalı
				Kuvarsit, Kalkışit, Klorit, Biyolit, Muskovit, Muskovitist ar dalanması
				kahverengi, yeşil, yumuşak, gelişmiş foliasyonlu
				UYUMSUZLUK
PALEOZOİK	İĞDECİK			Kuvarsit, Mikaşist, Gnays, Amfibolit ar dalanması
				Ak kahverengi sert kuvarsitler, keskin köşeli, kırık foliasyonlu
				Benekli ve Gözlü Gnays
				Ak, boz, kötü yapraklanmalı kuvars, biyotit, muskovit, albit, plajioklas, klorit

Şekil 2.2 Stratigrafik kolon kesiti (Şimşek, 1984'ten derlenmiştir)

2.2.1 Paleozoik Yaşı Birimler

Kızıldere jeotermal alanındaki Paleozoik yaşı birimler en altta çeşitli kaynaklara göre kalınlığı 2-3 km.ye kadar ulaşan Menderes Masifi'nin Metamorfikleri bulunur. Menderes Masifi Metamorfikleri üzerinde ise, bu birimlerle uyumsuzluk gösterecek şekilde gelişmiş İğdecik formasyonu yer alır.

2.2.1.1 Menderes Masifi Metamorfikleri

Kızıldere jeotermal alanında bulunan en eski birimler, Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayaç birimleridir. Bu birimler gnays, kuvarsit, kalkışit, klorit, biyotit, muskovitşist ve mermerden ibarettir. Bu metamorfikler, yeşilşist fasiyesinin almandin-amfibolit alt fasiyesinde oluşmuşlardır. Masifi ilk defa Philipson (1915) "Lydish-Karischery Masif = Saruhan-Menteşe Masifi" adlamasıyla tektonik birim olarak tanımlamıştır. Egeran ve Yener (1947) "Menderes Kristalin Masifi" şeklinde adlandırmıştır. Ketin (1966) ise "Batı Anadolu Masifi" demiştir. Menderes Masifi üzerindeki ayrıntılı çalışmalar ise Schuiling (1962), Graciansky (1966), Scotford (1969), İzdar (1971) ve Dora (1975) tarafından yapılmıştır. Yapılan ayrıntılı çalışmalar sonucunda günümüzde de kanıtlanmış bazı bulgular elde edilmiştir. Diğer paragrafta bu bulgulara yer verilmiştir.

Menderes masifinin çekirdeğini gnayslar oluşturmaktadır. Bunlar doku ve mineral topluluklarına göre gözlü, biyotitli, migmatitik olarak ayrılmıştır. Kökenlerine göre Graciansky (1963) ve İzdar (1971) çalışmalarında orto olarak, diğer araştırma yapanlar ise parametamorfik olarak değerlendirmişlerdir (Akdeniz ve Konak, 1979; Schuiling, 1962; Akartuna, 1962; Dora, 1975). Yapılan incelemelerin çoğunluğunda çekirdek metamorfiklerinin Paleozoik yaşta olduğu belirtilmiştir (Önay, 1949; Schuiling, 1962; Akartuna, 1965; Ayan, 1973; Akdeniz ve Konak, 1979). Örtü şistleri tabakalarında fosil bulunmayan araştırmacılar bu birimlerin yaşı hakkında Triyas öncesinden Prekambriyen'e kadar bir zaman dilimini işaret etmişlerdir. İlgili tabakalarda fosil bulan Önay (1949), Boray ve diğer. (1975), Çağlayan, Öztürk,

Öztürk, Sav ve Akat (1980) ise araştırmalarında bu örtünün Paleozoik yaşta olduğunu belirtmektedir.

Çalışma alanındaki metamorfikler, ilksel kayanın kimyasına, türüne, ortamına, oluştuğu fasiyesine, geçirdikleri metamorfizmanın özelliklerine göre farklı kayaç tiplerinden oluşmuştur. Birbiri ile yanal ve dikey olarak geçişli durumdadırlar. Bölgenin istiflenmesi, aşağıdan yukarıya doğru gnayslar, kuvarsit-gnays-şist ardalanması, çeşitli şistler ve kuvarsit-mermer-şist ardalanması şeklindedir (Kel, 2011).

2.2.1.2 İğdecik Formasyonu

Mikaşist-kuvarsit-mermer ardalanmasından meydana gelen Kızıldere jeotermal alanında II. rezervuarı oluşturan İğdecik formasyonunun kalınlığı 300 m. ye ulaşmaktadır. Çalışmalar sonunda birimin Menderes masifinin doğu bölümünde çok yaygın olduğu anlaşılmıştır. Bulunduğu alanlarda rezervuar özelliğini taşımaktadır. Birimi oluşturan mikaşist, kuvarsit ve mermer katmanları birbirleri ile yanal ve dikey geçişlidirler (Süer, 2010).

Birimdeki kalın mermerler, genellikle şistlerin en üst seviyelerinde şistlerle ve kuvarsitlerle ardalanmalı olarak görülmektedir. Mermerler; genellikle koyu gri ve ak, iri kristalli, mika pullu, kırılğan, bol eklemli, ince-orta, belirgin katmanlıdır (Süer, 2010).

2.2.2 Senozoik Yaşlı Birimler

Kızıldere jeotermal alanındaki Senozoik yaşlı birimlerin en aşağıdaki formasyon, altındaki İğdecik formasyonu üzerinde açılı uyumsuzluk göstererek konumlanmış olan Alt Pliyosen yaşlı Kızılburun formasyonudur. Kızılburun formasyonunun üzerinde, bu formasyon ile geçişlilik gösteren ve Alt Pliyosen yaşındaki Sazak formasyonu yer alır. Sazak formasyonunu, üzerindeki Alt Pliyosen yaşlı Kolonkaya formasyonu yine geçişlilik göstererek takip eder. Alt Pliyosen yaşlı Kolonkaya

formasyonu ile üzerinde bulunan Üst Pliyosen yaşlı Tosunlar formasyonu arasında açılı uyumsuzluk söz konusudur. Tosunlar formasyonunun üzerinde ise uyumsuzluk gösterecek biçimde Kuvaterner yaşlı üç birim bulunmaktadır. Bunlar aşağıdan yukarıya doğru sırasıyla Traverten, Yamaç Molozu ve Alüvyon'dur (Şekil 2.2).

2.2.2.1 Pliyosen Yaşlı Birimler

Kızıldere jeotermal alanında, alttan üste doğru Alt Pliyosen yaşlı Kızılburun ve Sazak, Kolonkaya formasyonları ve Üst Pliyosen yaşlı Tosunlar formasyonu olmak üzere dört tane Pliyosen yaşlı formasyon bulunmaktadır.

2.2.2.1.1 Kızılburun Formasyonu. Kızılburun formasyonu inceleme alanında genellikle horstlarda görülmektedir. Kızıldere Köyü doğusunda Buldan Horstu üzerinde Orta Mahalle'de, Kızılburun Tepe'de, İğdecik'te ve Kabaagaç Köyü'nde mostra vermektedir (Şimşek 1985).

Tipik mevki olan Kızılburun Tepe'de, Kızılburun formasyonu metamorfikler üzerine gelen iri bloklu taban çakıldaşları ile başlar. Bunlar genellikle demir oksitle kızarıklık, gevşek tutturulmuş, kötü boylanmalı, yassı gnays, şist, kuvarsit, mermer çakıllı, oygu dolgu yapılı, çapraz katmanlanmalı, orta-kalın, belirgin katmanlıdır. Bu kırmızı iri bloklu taban çakıldaşından sonra ince taneli çakıldaş, kumtaşı, kilaşı ardalanması gelmekte, yer yer de kömür mercekleri içermektedir (Şekil 2.3-2.4, Şimşek, 1985).

Kızılburun formasyonu, Büyük Menderes grabeninin orta bölümünde kuzeye göre daha kalın çökelmiştir. Bu formasyonun yaşı Alt Pliyosen olarak belirtilmiştir (Kastelli, 1971; Şimşek, 1985).



Şekil 2.3 Kızılburun formasyonunun yüzeye mostra vermiş görünümü (Süer, 2010).



Şekil 2.4 Kızılburun formasyonunun yakından görünümü (Süer, 2010).

2.2.2.1.2 Sazak Formasyonu. Sazak formasyonu, Kızıldere jeotermal alanında I. Hazne kayayı oluşturan birimdir. Kızılburun formasyonu üzerinde bulunan ve bu formasyonla düşey yönde geçişli olan birim başlıca kireçtaşı, marn, miltaşı, kıltaşı ve diyamotitten oluşmuştur (Şimşek, 1984).

Sazak formasyonu birimleri, çalışma alanında oldukça yaygındır. Bu birimler hazne kayaç oluşumu yönünden önem taşır. Bölgede açılan bazı kuyularda, Sazak formasyonu birimlerine milttaş, kıltaşı ve kili kireçtaşı olarak rastlanmıştır, kırıklı ve eklemlili yapılarını kaybetmiş olmaları nedeni ile hazne kayaç özelliklerini yitirmişlerdir. Bu kuyularda üretim 2. hazne kayaç üzerinden sağlanmaktadır (Kel, 2011).

Sazak formasyonu birimleri, altındaki Kızılburun formasyonu birimleri ile üstündeki Kolonkaya formasyonu birimleri arasında geçişlilik göstererek uzanmaktadır (Şekil 2.2). Sazak formasyonu birimlerinin yaşı, bölgede daha önce ayrıntılı stratigrafi çalışmaları yapan Kastelli (1971) ve Taner (1974) tarafından Alt Pliyosen olarak belirlenmiştir.

2.2.2.1.3 Kolonkaya Formasyonu. İnceleme alanında Alt Pliyosen'e ait en üst birimdir. Bu birimin üzerine Üst Pliyosen yaşlı Tosunlar formasyonu düşük açılı bir uyumsuzluk gelir. Daha doğuda killi kireçtaşı ve marnlı seviyeler, jips bakımından zenginleşmektedir (Kel, 2011).

Kolonkaya formasyonu, altındaki Sazak formasyonu ile dereceli geçiş göstermekle birlikte, genellikle kumtaşı, marn aralanmasından oluşmuştur. Sazak formasyonu ile geçiş bölümünde kılavuz katman sayılabilecek bir kaç seviye halinde killi kireçtaşı katmanı görülmektedir. Bu birim de diğer Pliyosen birimleri gibi yanal fasiyes değişimleri göstermektedir. Havzanın yayılımına ve ortama göre, kumtaşı, marn, milttaş, kıltaşı ve yer yer jipsli olarak görülmektedir (Kel, 2011).

Kolonkaya formasyonunun yaşı, daha önce çalışma yapan Kastelli (1971), Erişen (1971) ve Taner (1975) tarafından Alt Pliyosen olarak belirtilmiştir.

2.2.2.1.3 Tosunlar Formasyonu. Alt Pliyosenin Kızılburun, Sazak ve Kolonkaya formasyonları veya yer yer doğrudan Menderes masifinin metamorfikleri üzerine aşıl uyumsuzluk ile gelmektedir. Bu birim, başlıca, alacalı kırmızı ve sarımsı çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı kireçtaşından oluşmuştur. Blok ve çakıllar köşeli, gevşek

tutturulmuş, kötü boylanmalı, çoğun az belirgin katmanlı eski, bir yığılma çökeli olarak görülmektedir. Tosunlar formasyonu, graben ve horstları oluşturan büyük atımlı faylarla birlikte gelişmiştir. En büyük atımlı faylar önünde en geniş yayılımı göstermektedir. Bu birimi oluşturan katmanlardaki iri blok ve çakıllar, eski topografyadan havzaya çok yakın yükseklikten taşınmış olduğunu göstermektedir (Şimşek 1985).

Tosunlar formasyonunun yaşı Üst Pliyosen olarak kabul edilmiştir (Şimşek, 1985).

2.2.2.2 Kuvaterner Yaşlı Birimler

Kızıldere jeotermal alanında Kuvaterner yaşlı birimler olarak, aşağıdan yukarıya Traverten, Yamaç Molozu ve Alüvyon birimleri bulunmaktadır.

2.2.2.2.1 Traverten. Traverten katmanı, bulunduğu yerlerde altındaki Üst Pliyosen yaşlı Tosunlar formasyonu ile uyumsuzluk göstermektedir (Şekil 2.2). Bölgede en yaygın olarak Tekkehamam ve Kızıldere sıcak su kaynakları dolayında bulunur. Kırmızı, sarımsı, boşluklu ve az dayanımlıdır. Bileşimi başlıca CaCO_3 tır. Ancak, bazı sert kısımlarda silis belirlenmiştir. Yenice dolayında ince laminalı CaCO_3 , ve aralarında çok ince FeO ve SiO_2 bantları da görülür. Bunun nedeni sıcak suyun, traverten oluşumu sırasında, çeşitli yerlere, farklı zamanlarda ulaşması nedeniyle farklı bileşimde çökel bırakmasıdır (Şimşek, 1985).

Kızıldere sıcak sularının bulunduğu alanlarda eski ve yeni sıcak su kaynakların bulunduğu kesimlerde görülen ve CaCO_3 ten oluşan travertenler içerisinde suyun bileşimine uygun jips kristalleri de görülmektedir. Tekkehamam kaplıca dolayında da traverten oluşumu görülmektedir. Traverten aralarında oolitli ve pisolitli seviyeler de vardır. Oolit ve pisolitlerin çekirdeklerinde hava kabarcıkları veya ufak kum taneleri vardır. Buradaki travertenlerin kovuklarında gazların getirdiği maddeler ve kükürt görülmektedir (Şimşek, 1985).

2.2.2.2.2 *Yamaç Molozu*. Bölgedeki yüksekliklerden ve fay şevlerinden aşındırılan gereçler yamaçlarda kısmen birikmişlerdir. Genellikle gevşek tutturulmuş, köşeli, bazen çok iri bloklu, çakıllı, kumlu, milli ve killi gereçlerden oluşmuştur. İmamdağı dolayında, Karataş köyü doğusunda, Tekke köyünde, Tırkaz köyü batısında Taşlıkaya Tepe dolayında geniş alanlar kaplamaktadır (Şimşek, 1985).

2.2.2.2.3 *Alüvyon*. Derelerin grabenlerdeki düzlere açıldığı bölümlerde geniş alüvyon yelpazeleri gelişmiştir. Buldan Horstu'ndan ovalara açılan derelerin ağızlarında daha geniş alüvyon yelpazeleri vardır. Buradan açılan dereler aynı zamanda grabenlerdeki nehirleri de güneye ötelemektedir. Bu durum Kızıldere alüvyon yelpazesinde tipiktir. Kızıldere köyünün Büyük Menderes Vadisi'ne açıldığı en geniş alüvyon yelpazesinin eni 3 km kadardır. Gebeler Deresi'nin Büyük Menderes Nehri'ne açıldığı bölümde de geniş alüvyon yelpazeleri bulunmaktadır (Şimşek, 1985).

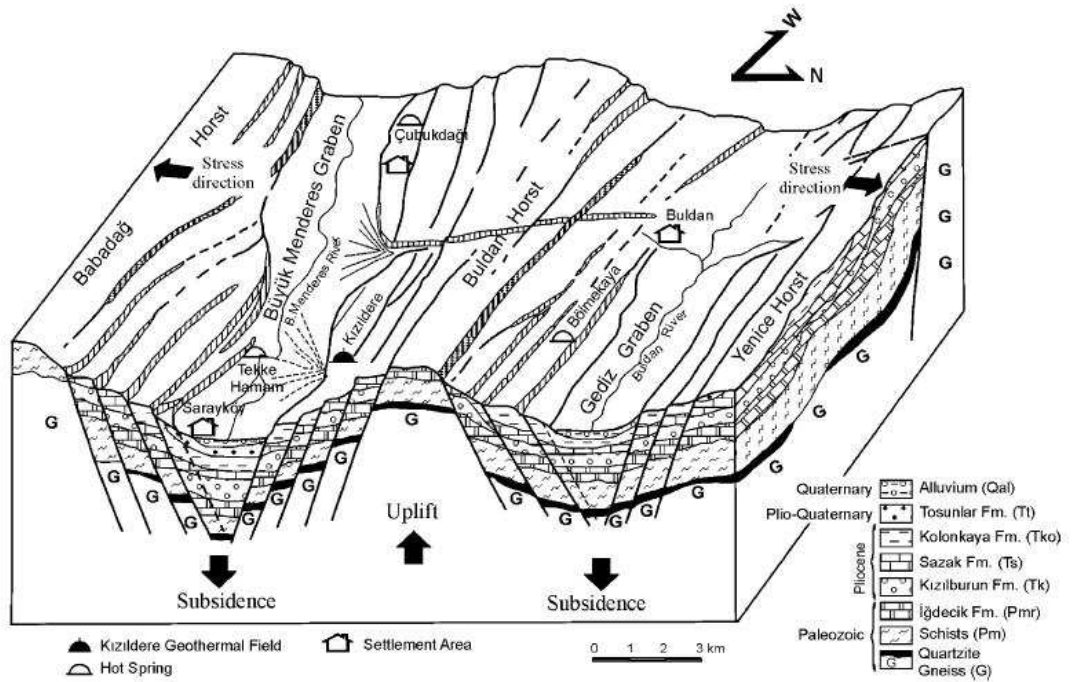
2.3 Yapısal Jeoloji

Ege graben sisteminin içerisindeki grabenlerin kenar faylarının hemen hepsi, eğimleri derine doğru hızla azalan listrik (kürek şekilli) normal faylardır. Bu faylar geometrileri gereği yüzeyde ölçülebilen atımlardan çıkarılabilecek yatay genişleme değerlerinin çok üstünde genişleme (açılma) gösterirler. Elde edilen jeolojik ve jeofizik verilerle Ege grabenler bölgesinin, oluşumundan bu yana % 50 oranında K-G genişleme geçirdiği anlaşılmaktadır. Büyük Menderes vadisinde (Yenice) genişleme oranı % 12 bulunmuştur (Şimşek, 1985).

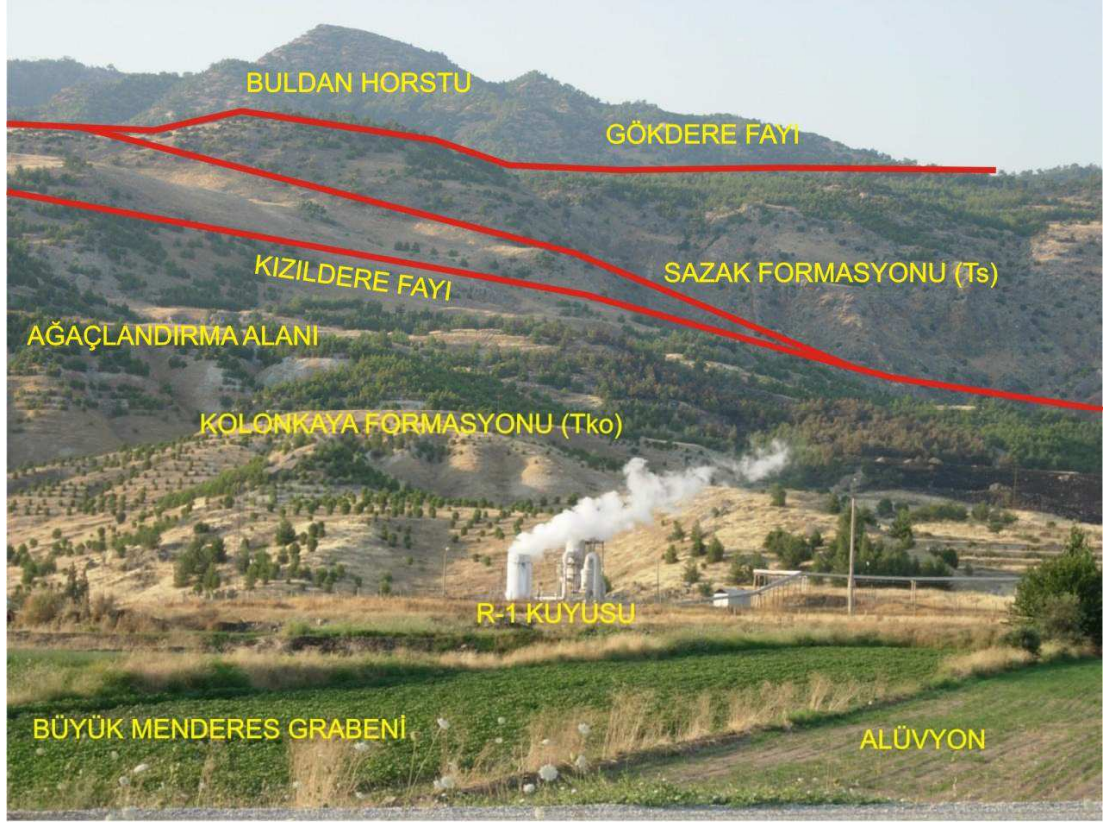
Ancak grabenin orta kesiminde genişleme oranı daha büyüktür. En belirgin özellik, D-B yönlü uzanan çok sayıda graben bulunmasıdır. Fay düzlemi çözümü diyagramları genel bir K-G gerilme olduğunu göstermektedir. Ancak bölgede, K-G doğrultulu normal atımlı fayların bulunması ve komşu alanlarda birbirine paralel, K-G doğrultulu Karacasu, Akçay, Çine ve Köşk grabenlerinin görülmesi, bölgede K-G gerilmeyle aynı değerde olmamakla beraber önemli bir D-B doğrultulu gerilmenin de varlığını göstermektedir (Mc Kenzie, 1972).

Kızıldere jeotermal alanında değişik zamanlarda kaya türlerinde farklı doğrultuda ve tipte kıvrımlar görülmektedir. Pliyosen  okellerinde izlenebilen kıvrımların genel gidişleri tektonik hatlara ve morfolojiye uygun olup genellikle D-B ve B-KB – D-GD doğrultuludur. Asimetrik kıvrım tipi çoğunluktadır. Yerel olarak diz şeklinde, devrik ve yatık kıvrımlar gelişmiştir (şimşek, 1985).

Kızıldere jeotermal alanındaki grabenler kuzeyden güneye doğru Bakırçay, Gediz, Küçük Menderes ve B   k Menderes grabenleri olup, kenar faylarının eğimleri derine doğru azalan normal eğim atımlıdır. Bu fayların doğrultuları D-B ile D-GD – B-KB yönündedir. Ayrıca K-G doğrultulu faylar da bulunmaktadır. Bu grabenlerin arasında, yalnızca Kızıldere bölgesinde yerel ters faylar bulunmaktadır (şimşek, 1985).



şekil 2.5 B   k Menderes grabeni ve Kızıldere jeotermal alanının tektonik yapısının genel gösterimi (şimşek, 1985).



Şekil 2.6 Kızıldere jeotermal alanındaki tektonik yapılar ve bazı birimler (Şimşek, 2005).

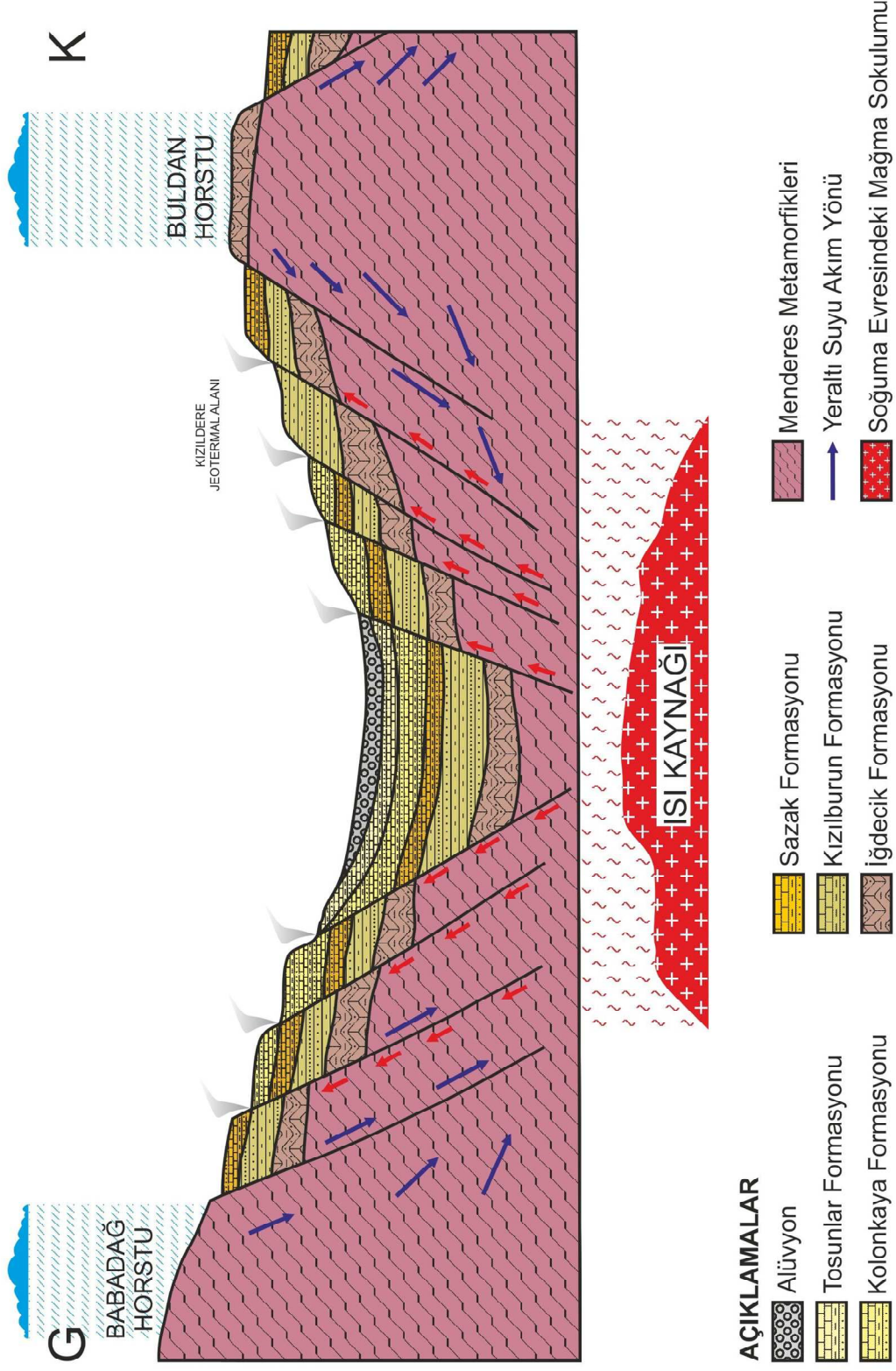
BÖLÜM ÜÇ

JEOTERMAL ENERJİ

3.1 Jeotermal Enerji, Tanımı ve Oluşumu

Dünya üzerinde ilk zamanlardan beri, çeşitli nedenlerle yeraltındaki magma volkanlar şeklinde yeryüzünde ulaşmışlardır. Bu olaylar, yeraltındaki magmanın yerkabuğu içerisine sokulum yaptığı ve bu sokulumların zaman zaman yeryüzüne ulaştığı veya yeryüzüne yaklaştığının kanıtı sayılabilir. Magma sokulum yaptıktan sonra ulaştığı derinlikte ilerlemesini durdurur ve soğumaya başlar. Bu soğuma süresi, magma kütlesinin büyüklüğüne bağlı olarak yüzyıllar alır. Bu soğuma esnasında, magmanın ulaştığı derinliğin yakınlarında bir akifer bulunması sonucunda, bu akiferin ihtiva ettiği su kütlesi ısınmaya başlar. Akifer içerisinde bulunan bu sıcak suya “jeotermal su” adı verilir. Jeotermal suların çeşitli sondaj teknikleri ile yeryüzüne çıkarılması ve bu jeotermal suyun kullanılması sonucunda elde edilen enerjiye ise “jeotermal enerji” adı verilir.

Bir bölgenin jeotermal enerji potansiyeli olabilmesi için; bir hazne kayaca, bir örtü kayaca ve soğumakta olan bir magmatik kütleye ihtiyaç vardır. Hazne kayacık, yeraltındaki kırık ve çatlaklarından yeraltında doğru süzölen suların toplandığı akifer görevi görür. Örtü kayacık, altındaki hazne kayacık gözeneklerinde bulunan ısınmış suyun, sıcak etkisi ile ortaya çıkan gazların basıncı vasıtasıyla tekrar yeryüzüne doğru yükselmesini engelleyerek suyun hazne kayacıkta kalmasını sağlar. Soğumakta olan magmatik kütle ise hazne kayacıkta suyun ısınması için ısı kaynağı vazifesi görür.



Şekil 3.1 Kızıldere jeotermal alanının temsili hidrojeolojik döngüsü (Şimşek, 1984 ve Ente Nazionale per l'Energia Elettrica Unita Nazionale Geotermica [ENEL], 1988'den değiştirilerek)

Jeotermal enerji potansiyeli olan akiferlerdeki suların % 90'ından fazlası, yeraltındaki kırık ve çatlaklar vasıtasıyla yeryüzünden derinlere doğru ilerleyen sular oluşturur. Jeotermal suların içerisinde en çok meteorik ve yer yer deniz suyu karışımı olmak üzere, eser miktarda da magmatik, fosil ve metamorfik sular da bulunabilir. Jeotermal sular, beslendiği bölgenin kendine has bileşiminin yanı sıra, hazne kayacın bileşimini de ihtiva eder.

Hazne kayaç içerisindeki jeotermal su, yüksek basınç altında olmasından ötürü yüksek sıcaklıklarda sıvı fazda bulunur. Bu sular atmosfer ortamına çıktığında veya yeraltındaki kırık ve çatlakları kullanarak yeryüzüne yakın derinliklere, basıncın ve çevre ısısının nispeten çok daha az olduğu noktalara ulaştığında jeotermal suların bileşimindeki gazlar gaz fazına geçer ve jeotermal suların yeryüzüne püskürmesine neden olurlar. Bu tip oluşumlara “gayzer” adı verilir. Yeraltında jeotermal su ile birlikte gelen gazlar birikir, biriken gazların oluşturduğu basınç yeterli seviyeye ulaştığında, yeryüzüne sıcak su püskürtür.

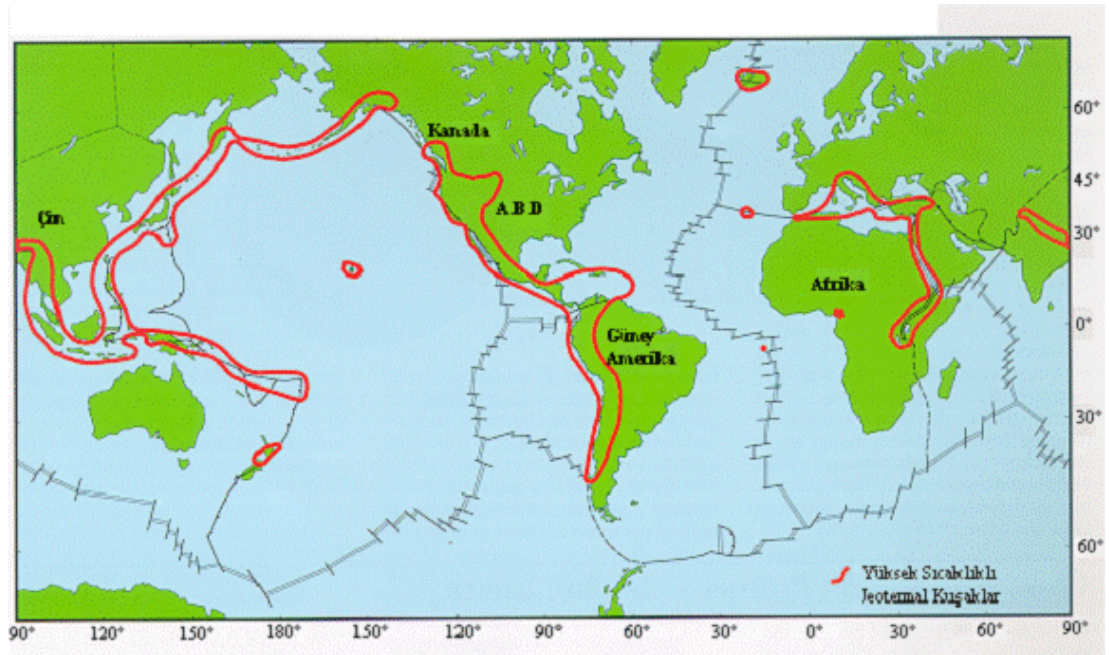


Şekil 3.2 İzlanda'da püskürme anındaki bir gayzer

3.2 Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Durumu

Jeotermal enerji kullanımının tarihçesine bakıldığında, M.Ö. 10000 yıllarında bile belli başlı ülkeler tarafından çeşitli amaçlarla kullanıldığını belgeleyen kanıtlar bulunabilir. Ancak jeotermal potansiyelinin elektrik üretimi amacı ile kullanımı 1900'lü yıllarda başlamıştır.

Jeotermal enerji üretilebilecek en uygun noktalar, günümüzde de halen devam eden kıta hareketlerinin yoğun halde yaşandığı dalma-batma ve çarpışma zonları üzerinde bulunan ülkelerdir. Bunların arasında ilk akla gelenler olarak “ateş çemberi” olarak bilinen, sürekli olarak dalma-batma olayının devam ettiği hattaki ülkeler sayılabilir.



Şekil 3.3 Dünyadaki yüksek sıcaklıklı jeotermal kuşaklar

Jeotermal enerjinin kullanımının en yaygın olduğu ülkeler; ABD, İzlanda, Filipinler, Endonezya gibi volkanik aktivitelerin halen devam ettiği veya yeraltındaki halen tamamen soğumamış sıcak zonların bulunduğu bölgelerdir. Her geçen yıl, jeotermal enerji potansiyelinin yüksek olduğu ülkelere, ülkemiz de dahil olmak üzere, jeotermal kaynaklı üretilen ısı ve elektrik enerjisi kullanımı çok daha

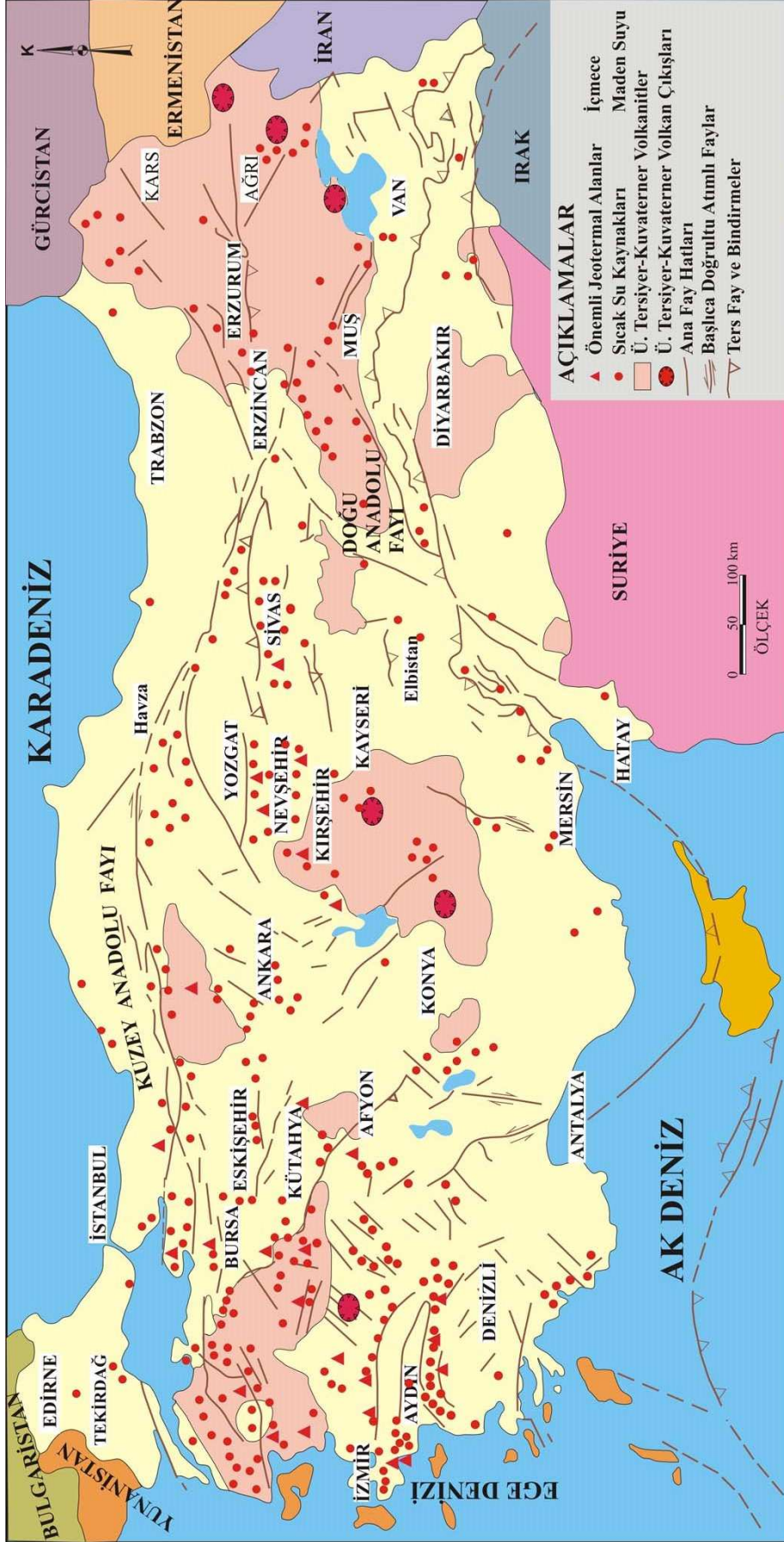
artmaktadır. Bunun nedeni, jeotermal enerjinin bugünkü imkânlarla doğaya zarar vermeden üretilmesi ve süregelen bir enerji olmasından kaynaklanmaktadır.

Jeotermal enerji kullanımında örnek verilmesi gerekirse, dünyadan en iyi örnek İzlanda olacaktır. İzlanda, bilindiği üzere halen aktif bir volkana ev sahipliği yapmaktadır. Bu durum, ülkenin bulunduğu coğrafyanın altında halen devam eden yoğun volkanik aktivitenin varlığına işaret eder. Yüksek volkanik aktivite, jeotermal enerji üretilmesi için yüksek ısı kaynağı anlamına gelir. İzlanda’da bu potansiyel, mümkün olabilen her amaçla kullanılmakta ve daha da geliştirilmeye devam edilmektedir. Öyle ki, İzlanda’da jeotermal enerjinin sunduğu olanaklar, bu avantajı bir turizm şekline çevirmiş, jeotermal enerjinin kendi yararlarının yanı sıra ülke ekonomisine de önemli katkılar sağlamıştır.

3.3 Jeotermal Enerjinin Türkiye’de Durumu

Ülkemizde pek çok fay hattı bulunmaktadır. Sürekli hareket halinde olan bu hatlar, yeraltında mağmatik bir aktivitenin olduğuna işaret sayılabilir. Her ne kadar ülkemizde halen devamlılığını koruyan bir volkanik faaliyet bulunmuyor olsa da, yeraltında daha önceden sokulum yapan veya halen sokuluma devam eden mağmatik kütleler, soğuma evresinde olup sıcak zonlar oluşturmaktadır.

Türkiye sınırları içerisinde jeotermal akışkanın pek çok kullanım alanı bulunmaktadır. Ülkemizde genel olarak kullanılabilir jeotermal akışkan sıcaklığı orta-düşük seviyededir. Ancak bugüne kadar keşfedilmiş jeotermal akışkan sıcaklığı bakımından yüksek olan bölgelerimiz, fay zonlarının oldukça sık olduğu Ege Bölgesi sınırları içerisine yer almaktadır.



Şekil 3.4 Türkiye'de genç tektonik hatlar ve sıcak su kaynaklarının dağılımı (MTA, 2012).

Jeotermal akışkanın ülkemizde en yüksek sıcaklıkta elde edilebilen bölgesi kuşkusuz Büyük Menderes grabeni üzerinde tespit edilmiş jeotermal sahalardır. Bunların arasında en yüksek sıcaklığa sahip sahası, jeotermal akışkanın 200–242 °C arasında sıcaklıkta elde edilebildiği Denizli-Kızıldere jeotermal alanıdır. Bu bölgeyi 200–232 °C sıcaklıklar arasında jeotermal akışkan elde edilebilen Aydın-Germencik jeotermal alanı takip eder.

Denizli-Kızıldere jeotermal alanı, Türkiye'nin en eski ve en çok araştırılmış jeotermal sahalarından biridir. Bölgedeki ilk jeotermal kuyunun açılması amacı ile yapılan çalışmalar 1965 yılında başlamış ve ilk kuyu 1968 yılında MTA bünyesinde açılmıştır. Bölgede, MTA tarafından 21 kuyu açılmıştır. Bugün özel sektör tarafından işletilen jeotermal sahadaki kuyu sayısı bu sayıyı çok yukarı çekmiş ve sürekli olarak kuyu sayısı artış göstermeye devam etmektedir. Kızıldere sahasının yanı sıra bölgedeki diğer jeotermal sahalarda da özel sektör tarafından açılmış kuyular vardır.

3.4 Jeotermal Suların Sınıflandırılması

Jeotermal akışkanlar genel olarak, 20 °C sıcaklığın üzerindeki mineralli sular şeklinde tanımlanabilir. Jeotermal sular, aynı soğuk sularda olduğu gibi içerdikleri mineral-iyon içeriğine göre adlandırılırlar. Bu adlandırmaları yapabilmek için, jeotermal akışkanın hidrojeokimyasal analizlerinden elde edilebilecek bulgular kullanılmak suretiyle çeşitli diyagramlardan yararlanılır. Analizlerden elde edilen veriler. Piper, Durov, Scholler diyagramları gibi çeşitli diyagramlar üzerinde kullanılır. Bu sınıflamanın yanı sıra, jeotermal akışkanlardaki çözünmüş gaz içeriğine göre de sınıflandırılabilir.

Jeotermal sular, üzerinde yapılan hidrojeokimyasal analizlerin sonucuna göre kullanılabilirlik bakımından da sınıflandırılabilir. Ancak, genellikle jeotermal suların analizlerinden alınan veriler uygun diyagramlar kullanıldığında, çoğunlukla yüksek tuzluluk ve mineral konsantrasyonları nedeniyle tarımsal veya genel kullanım amacı ile kullanımının uygun olmadığı ortaya çıkmaktadır.

3.5 Jeotermal Suların Kullanım Alanları

Jeotermal suların, kuyudan çıkarılan sıcaklığına göre çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır.

Ülkemizdeki sıcak su çıkan bölgeleri, genel olarak orta-düşük sıcaklıklarda olmasından ötürü, genellikle jeotermal akışkanlardan kaplıcalar yolu ile faydalanılmaktadır. Düşük sıcaklıklı olarak adlandırılan 20–70 °C sıcaklık aralığındaki jeotermal suların elde edildiği sahaların çokluğu, kaplıca kullanımını yaygınlaştırmıştır. Kaplıcalar, Türkiye’nin hemen her yerinde bulunmaktadır. Kuyulardan çıkan jeotermal su, bazı arıtım işlemlerinden geçtikten sonra kaplıca suyu olarak kullanıma sunulmuştur. Kaplıcalardaki jeotermal su, içerdikleri mineraller sayesinde çeşitli rahatsızlıkların tedavilerinde sıkça kullanılan yöntemlerden biridir. Bunun yanı sıra, kaplıcaların ülkemiz turizmindeki katkısı yadsınamaz.



Şekil 3.5 Balıkesir – Sındırgı kaplıcaları

Orta sıcaklıklı olarak adlandırılan 70-150 °C aralığında sıcaklığa sahip jeotermal akışkanlar, genellikle konut ısıtma ve seracılık amacı ile kullanılmaktadır. Jeotermal kuyu üzerinde yerleştirilen inhibitörler sayesinde jeotermal akışkanın ısısı devir daim suyuna transfer edilmek suretiyle konut ve sera ısıtma sistemi işlemi gerçekleştirilmektedir. Jeotermal suyun sisteme direk verilmesindeki sakınca, içerdiği yüksek miktardaki mineralin çökerek sistemde tıkanma ve arıza yapma ihtimalinin yüksek olmasıdır. Bu tip sistemlerde kullanılan inhibitörler belirli aralıklarla önceden hazırlanan bazı asit karışımların içerisinde bekletilerek çökelmiş olan tortular ortadan kaldırılır. Bu işlem, yine Ege Bölgesi'nde kullanılmakta ve yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Jeotermal suların konut ve sera ısıtmalarındaki en iyi örnek, İzmir-Balçova jeotermal alanıdır. Balçova jeotermal alanı, çeşitli derinliklerde 100–145 °C sıcaklıkta jeotermal akışkan elde edilen, dünyanın en büyük jeotermal kaynaklı ısıtma sistemlerinden biri olarak sayılabilir. Yine bir diğer örnek olarak Denizli ili içerisindeki orta sıcaklıkta jeotermal akışkan elde edilen sahalar verilebilir. Bugün Denizli ilindeki konutların ve sera tarlalarının bir kısmı jeotermal kaynaklı ısıtma sistemi vasıtasıyla ısıtılmakta, bu sistemin bütün il içerisinde yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.



Şekil 3.6 Balçova jeotermal ısı dağıtım tesisi

Yüksek sıcaklık olarak tabir edilen 150 °C sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklardaki jeotermal akışkanın elde edildiği sahalarda ise elektrik enerjisi elde edilmektedir. Bunun en iyi örneği, Türkiye'nin en sıcak jeotermal akışkana sahip sahası olan Denizli-Kızıldere jeotermal alanıdır. MTA tarafından 1984 yılı itibari ile bölgede

Jeotermal enerji santrali ile elde edilebilen elektrik enerjisi 20MWe iken, özel sektörün bölgeye olan katkısı sayesinde 2013 yılı sonu tahminleri 80MWe civarındadır. Bunun yanı sıra, yine Büyük Menderes grabeni üzerinde yer alan diğer sahalarda da üretilen elektrik enerjisi miktarının artış göstermesi için çalışmalar devam etmekte, yeni sahalarda yeni santraller kurulması için girişimler sürmektedir.



Şekil 3.7 Kızıldere jeotermal alanındaki bir üretim kuyusu

Daha eski zamanlarda kuyulardan elde edilen jeotermal akışkanlar, özellikle yüksek sıcaklıklı sahalarda, kullanım sonrasında eldeki jeotermal su yatakları üzerinden uzaklaştırılıyordu. Ancak bu işlemin tarım arazilerinde verdiği zararlar öğrenildikten sonra, üretim yapılan bazı kuyuların, su çekme yerine tekrar su basma olarak çalıştırılması sonucu jeotermal akışkan atığı derdi ortadan kalktı. Kuyulardan çekilen jeotermal akışkanın, tekrar akifere geri basılması olayına “reenjeksiyon” adı verilmektedir. Günümüzdeki jeotermal sahaların hemen hepsi reenjeksiyon sistemine sahip olup doğaya zarar vermeden işlevini gerçekleştirmektedir. Reenjeksiyon işleminin en önemli kısmı, reenjeksiyon kuyularının üretim kuyularından uzakta olması gerekmesidir. Böylelikle hem üretim kuyularının sıcaklıkları düşmemiş olur,

hem de boşaltılan akifere kullanılan su tekrar basılarak, basılan jeotermal su üretim kuyularına ulaşana dek tekrar istenen sıcaklığa erişmiş duruma gelir.

Jeotermal akışkanların kullanımı esnasında kaybedilen ısı enerjisi, bünyesinde çözünmüş halde bulunan minerallerin bir kısmının sistem boruları içerisinde çökelmesine neden olmaktadır. Bu durumun önüne geçebilmek için, minerallerin çökelme sıcaklığından yüksek bir sıcaklıkta tekrar reenjeksiyon yoluyla geri gönderilmesi çözümüne ulaşılmıştır. Bu işlemin hangi sıcaklıkta yapılacağı ise, çeşitli hesaplamalar ile elde edilen jeotermometreler ile belirlenmektedir. Bu kavrama ilerideki konularda değinilecektir.

BÖLÜM DÖRT HİDROJEOLOJİ

4.1 Su Noktaları

İnceleme alanı olan Kızıldere jeotermal alanı üzerinden alınan sıcak su numunelerinin temin edildikleri yerler, numune alım koordinatlarının topoğrafik harita üzerine düşürülmesi ve bu verilerin "Google Maps" uygulamasının uydu fotoğrafları üzerinde yerleştirilmesi yolu ile tespit edilerek gösterilmiştir (Şekil 4.1).



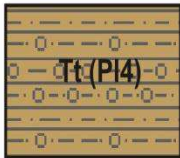
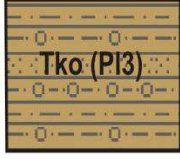
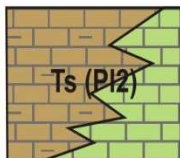
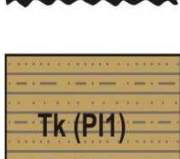
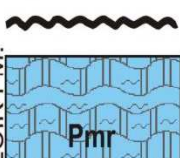
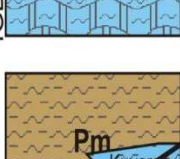
Şekil 4.1 Analiz edilen sıcak su numunelerinin alındığı noktalar (Google Maps'tan yararlanılmıştır).

4.2 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Kızıldere jeotermal alanı üzerinde yapılan çalışmalar, şu ana kadar 4 akiferin varlığı tespit edilmiş, son tespit edilen akiferin çalışmaları devam etmektedir.

İlk akifer, Sazak formasyonuna ait kayaçlarda bulunmaktadır. Yüksek gözenek yapısına sahip kireçtaşı tabakasına sahip bu tabakalara, yanal olarak ve üst kısımlarına bulunan ve içerisinde kil barındıran tabakalar örtü kayaç görevi görmektedir.

Bölgede bulunan diğer akiferler, geçirimsizliği yok veya çok az olan metamorfik kayaçların olduğu İğdecik formasyonu ve Menderes Metamorfikleri'ni oluşturan kayaçlar içerisinde bulunur. Buradaki akiferler, kademeli şekilde gelişen normal ve ters fayların derinlere uzanması sonucu ortaya çıkan kırık ve çatlak hatlarıdır.

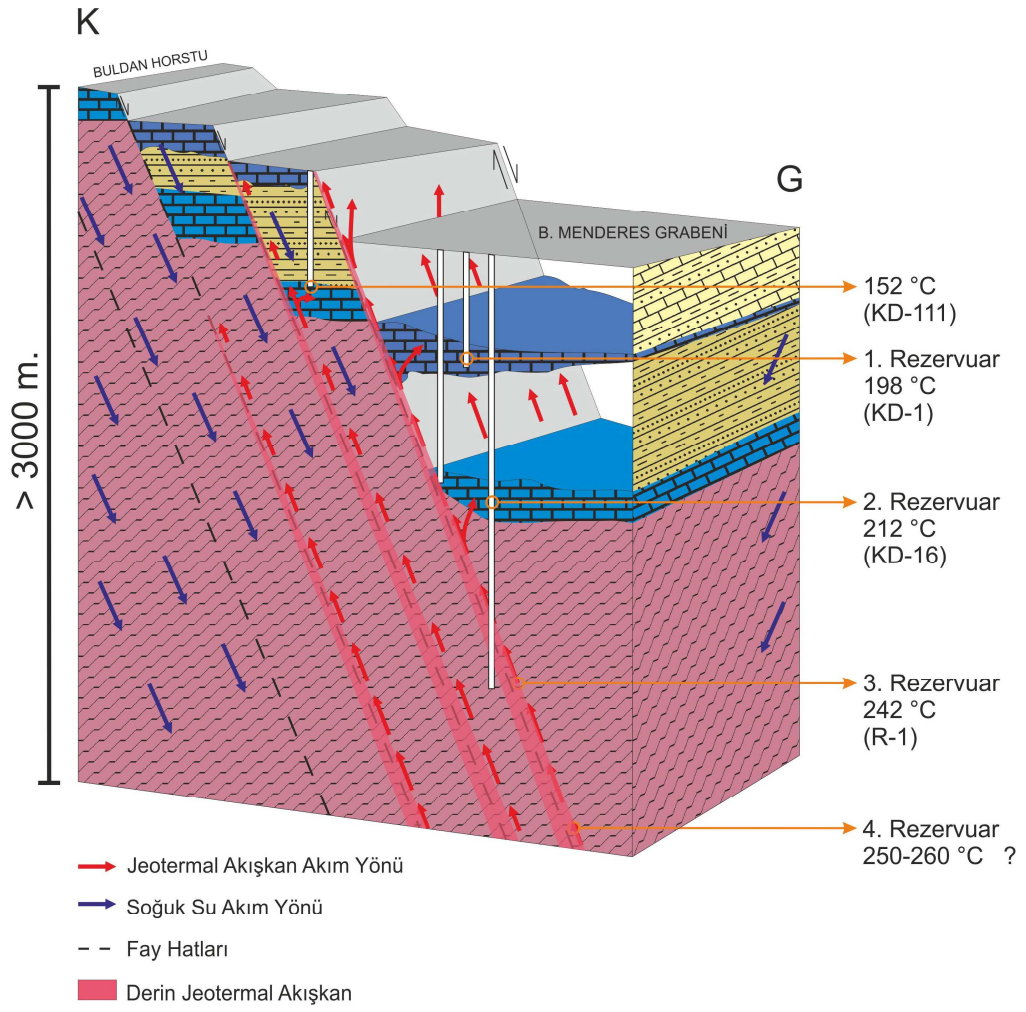
Kuvaterner Quaternary	Pliyosen Pliocene	I. ÖRTÜ KAYA I. CAP ROCK	TOSUNLAR FM.		Alüvyon Alluvium	GEÇİRİMLİ Permeable
					Uyumsuzluk Unconformity	
					Kaba çakıl-kum-kil Coarse grain gravel sand-clay	GEÇİRİMSİZ, ÇAKIL KUM SEVİYELERİ GEÇİRİMLİ Impermeable, Grain sand levels permeable
					Uyumsuzluk Unconformity	
					Çakıltaşı, kumtaşı, kil Conglomerate, sandstone, clay	GEÇİRİMSİZ Impermeable
					Kireçtaşı, marn Limestone, marl	GEÇİRİMSİZ, KİREÇTAŞLARI GEÇİRİMLİ Impermeable, Limestones permeable
					Uyumsuzluk Unconformity	
					Çakıltaşı, kil, silt, kumtaşı Conglomerate, clay, silt Sandstone	GEÇİRİMSİZ Impermeable
					Uyumsuzluk Unconformity	
					Mermer-şist-kuvarsit Marble-quartzite-schist	GEÇİRİMLİ Permeable
Paleozoyik Paleozoic	MENDERES METAMORFİTLERİ MENDERES METAMORPHICS	III. ÖRTÜ KAYA III. CAP ROCK III. REZERVUAR III. RESERVOIR	İĞDECİK FM.		Şist Schist	GEÇİRİMSİZ Fayzonları geçirimli Impermeable Fault zones permeable
					Kuvarsit Quartzite	
					Kuvarsit Quartzite	GEÇİRİMSİZ, KUVARSİT-GNAYS GEÇİRİMLİ ? Impermeable, Quartzite-gneiss permeable ?
					Gnays Gneiss	

Şekil 4.2 Kızıldere jeotermal alanının hidrojeoloji birimleri (Tut, Haizlip ve Garg, 2013).

4.3 Jeotermal Alanların Yeri ve Oluşum Özellikleri

Kızıldere jeotermal alanı, Türkiye'deki en eski ve en karmaşık jeotermal sahalarından biridir. Kuzey Anadolu Fay Hattı'nın verdiği atım etkisi ile Ege Bölgesi üzerinde oluşan fayların konumu ve üzerine etki eden kuvvetlerin etkisi sebebi ile Ege Bölgesi üzerinde çeşitli horst ve grabenlerin oluşmasına neden olmuştur. Bu grabenlerin en büyüğü ve en önemlisi, üzerinde Kızıldere jeotermal alanının ve farklı birkaç jeotermal sahanın da olduğu Büyük Menderes grabenidir.

Ege Bölgesi üzerindeki yoğun tektonik kuvvet, fayların bölgenin Kuzey-Güney yönünde genişlemesine neden olacak şekilde oluşmasına neden olmuştur. Bu sayede pek çok büyük ve küçük fay meydana gelmiş, bunlar da karmaşık fay sistemlerini ortaya çıkarmışlardır. Bu fay sistemleri üzerinde yer alan Kızıldere jeotermal alanı, sistematik şekilde gelişmiş fay sistemlerinin oluşturduğu kırık ve çatlakların sayesinde yeryüzü sularının yeraltına sızmasını sağlamıştır. Sızan suların yeraltındaki magmatik aktivitenin etkisi ile ısınması sonucu jeotermal akışkan oluşmuş, yine aynı yolla yer yer dışarı çıkan, jeotermal akışkanın ısınması sonucu ortaya çıkan gazlar, bölgedeki jeotermal avantajın varlığını kanıtlamıştır (Şekil 3.1).



Şekil 4.3 Kızıldere jeotermal alanının taslak hidrojeolojik modeli (Kaya, 2009).

BÖLÜM BEŞ

HİDROJEOKİMYA

5.1 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Suların Hidrojeokimyasal Özellikleri

Jeotermal sahalardaki jeotermal akışkanlar, bulundukları hazne kayacın bileşimi ile etkilenerek hidrojeokimyasal etkileşime girer. Jeotermal sahalardaki rezervlerin tamamına yakını, bölgeye düşen yağışlar neticesinde beslenir. Bu yağış esnasında bölgeye ulaşan yağmur sularının büyük bir kısmı yerkabuğunun ilgili bölgesindeki gerilmeler neticesinde oluşan çatlak ve kırıklar vasıtasıyla, bir kısmı da yüzey veya yüzeye çok yakın konumdaki geçirgenliği yüksek olan stratigrafik tabakaların içlerindeki boşlukları kullanarak derinlere doğru ilerler. Bu ilerleme esnasında yanından veya içinden geçtiği kayacın kimyasından etkilenmesi sonucunda çeşitli iyon alışverişinde bulunarak ilerler. Hazne kayaca ulaşan yağmur suları, hazne kayac ile etkileşime geçen jeotermal akışkana katılarak, yeni bir hidrojeokimyasal özellikler kazanır. Jeotermal akışkanlarda, yukarıda anlatılan nedenlerden ve yüksek sıcaklık ve basınç etkisinden ötürü çözünmüş mineral içeriği yüksektir. Bu tip sular, içeriği nedeniyle içme ve sulama suları olarak kullanılamayacak kadar sert ve tuzluluk seviyesi yüksek sulardır.

İnceleme alanı olan Kızıldere jeotermal alanındaki jeotermal akışkanlar da, bir jeotermal akışkandan beklendiği üzere yüksek mineral yoğunluğuna sahiptir. Kızıldere jeotermal alanını, Türkiye sınırları içerisindeki diğer jeotermal sahalardan ayıran en önemli özelliği ise, Türkiye'nin en sıcak jeotermal akışkana sahip olan bölgesi olmasıdır. Yüksek sıcaklık, jeotermal akışkanın yüksek çözünmüş mineral konsantrasyonuna sahip olabileceği anlamına gelmektedir. Ancak bu ifade, çözünmüş mineral miktarı sıcaklık ile doğru orantılı olarak yükselmesi anlamına gelmemektedir. Jeotermal akışkanlardaki çözünmüş mineral miktarı, sıcaklığın etkisinin yanında hazne kayacın bileşimine ve yeraltındaki çözünmüş mineral miktarı farklı olan muhtemel bir karışım suyu kimyasına da bağlıdır. Örnek vermek gerekirse, bu tez kapsamında Kızıldere jeotermal alanından elde edilen jeotermal akışkan numuneleri ile aynı zamanlarda alınan Aydın-Salavatlı jeotermal alanından

elde edilen jeotermal akışkan numunelerinin analizi sonucunda elde edilen verilere göre, Salavatlı jeotermal alanında bulunan en sıcak (174 °C) jeotermal kuyu olan AS-4 kuyusundan aynı gün alınan jeotermal akışkanın analizinde Na^+ 1141 mg/l, HCO_3^- 2774 mg/l ve SiO_2 208,5 mg/l sonucuna ulaşılmış iken, Kızıldere jeotermal alanındaki en sıcak (242 °C) jeotermal kuyu olan R-1 kuyusundan yine aynı gün alınan jeotermal akışkanın analizinde Na^+ 1161 mg/l, HCO_3^- 2406 mg/l ve SiO_2 396 mg/l sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlara göre, arasında oldukça yüksek sıcaklık farkı bulunmasına rağmen iki ayrı bölgedeki iki ayrı kuyudan elde edilen analiz verileri arasındaki fark, her mineral için beklendiği seviyede değildir.

Kızıldere jeotermal alanından elde edilen jeotermal akışkanlardan alınan numuneleri üzerinde yapılan analizlerin sonuçları incelendiğinde, genel olarak diğer mineral değerlerinin yanı sıra Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} ve SiO_2 değerlerinin yüksekliği göze çarpmaktadır.

Kızıldere jeotermal alanından elde edilen jeotermal akışkanların yüksek mineral konsantrasyonuna sahip olmasının oluşturduğu en büyük sorun, jeotermal akışkanın elektrik enerjisi üretmek amacı ile kullanımı esnasında sıcaklığının düşmesi neticesinde, içeriğinde bulunan mineral yoğunluğunun bir kısmının çökmesi ve boruların iç kesimlerinde katmanlar şeklinde birikmesidir. Bu olaya “kabuklaşma” denmektedir. Kabuklaşma sorunundan kurtulmak amacı ile çeşitli solüsyonlar hazırlanmaktadır. Solüsyonlar, kuyudan çıkarılan jeotermal akışkan ile etkileşime sokularak, solüsyonun hitap ettiği mineralin kabuklaşmasının önüne geçilmiş olur. Si gibi, henüz çeşitli solüsyonlar kullanılarak kabuklaşmanın önüne geçilemediği tipteki minerallerin kabuklaşmalarından sakınmak için ise, jeotermal akışkan mineralin kabuklaşmaya başladığı sıcaklığın üzerindeki bir sıcaklığa kadar kullanılır ve kabuklaşmanın görüleceği sıcaklığa ulaşılmadan reenjeksiyon işlemi yapılır. Her mineral için ayrı formül kullanılarak hesaplanan bu sıcaklıklara kısaca “jeotermometre” adı verilir. Her mineral için ayrı bir değer olarak hesaplanabilen bu sıcaklıklardan, en yüksek sıcaklıkta kabuklaşmaya başlayan mineralin jeotermometre değeri esas alınır. Jeotermometre kavramı, ilerideki konularda ayrıntılı biçimde anlatılacaktır.

Tablo 5.1 Kızıldere jeotermal alanından alınan soğuk ve sıcak su numunelerinin kimyasal analiz sonuçları

Örnekleme Yeri	T (°C)	pH (-log H ⁺)	EC μS/cm	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SiO ₂ mg/l	Li ⁺ mg/l	B ³⁺ mg/l	Ba ⁺⁺ mg/l	Sr ⁺⁺ mg/l
KD-1	203	8,1	4190	1347	136	9,3	0,4	100	810	2197	301	5,124	30,040	0,088	1,63
KD-13	196	8,5	4050	1217	115	13,5	0,6	87	693	2831	270	3,517	17,042	0,083	1,78
	193	8	4500	1174	120	15,4	1,0	75	411	2220	259	3,682	18,960	0,091	1,96
KD-14	208	7,7	4370	1297	139	8,9	0,4	101	732	3041	294	3,965	19,952	0,082	1,29
	208	7,99	4760	1312	145	10,6	2,0	141	287	2457	295	4,176	23,228	0,078	1,55
	208	8,09	4840	1193	62	27,1	9,9	56	487	2425	255	1,548	15,870	0,080	4,70
KD-15	208	8,4	4270	1309	128	10,6	0,5	92	832	2444	302	3,475	20,068	0,084	1,51
	208	8,06	4780	1321	139	8,2	1,0	83	570	2166	310	3,830	23,238	0,102	1,65
	208	8,32	4840	1183	111	61,6	7,2	50	427	2705	299	1,718	20,650	0,089	3,06
KD-16	207	8,3	4250	1302	133	11,2	0,4	94	723	2774	297	3,770	21,295	0,085	1,57
	207	8,03	4750	1299	143	9,1	1,0	85	441	2319	312	3,994	23,212	0,078	1,66
	207	7,98	4780	1265	139	8,3	0,5	85	333	2716	312	3,864	23,962	0,100	1,63
KD-20	207	8,08	4280	1170	52	25,9	6,4	54	468	2689	290	1,557	20,120	0,082	2,59
	204	8,4	4220	1246	121	11,6	0,5	98	816	2587	264	3,498	19,119	0,073	1,47
KD-21	205	8,4	4190	1282	125	10,9	0,5	92	768	2306	288	3,459	18,033	0,083	1,55
	205	8,07	4620	1143	112	69,0	7,1	44	402	2264	283	1,452	21,000	0,102	3,09
KD-22	204	8,1	4120	1291	128	13,2	0,6	88	708	2258	306	3,502	17,061	0,082	1,81
	204	7,96	4500	1244	130	10,2	1,0	81	423	2193	281	3,840	19,581	0,105	1,92
	204	8,17	4520	1214	126	10,8	0,4	82	324	2319	278	3,611	19,198	0,100	1,89
R-1	242	7,9	5480	1534	207	3,0	1,0	96	381	2978	478	5,646	29,799	0,020	0,48
	242	7,92	5540	1161	106	15,3	5,0	45	396	2406	267	1,621	19,670	0,097	3,63
R-3	241	7,59	4620	1273	90	19,3	1,0	91	555	2066	249	3,099	16,969	0,075	2,17
W-1 Atık	45	8,9	4600	1420	141	13,1	1,0	83	852	2270	287	5,084	26,278	0,082	1,87
B. Menderes D. (Kabaşgöç M.)	23	7,75	1427	138	9	132,5	89,5	100	401	427	29	0,089	0,617	0,059	2,38

* Koyu renkli kısımlar, "Türkiye İçme Suları Standardı"nda belirlenmiş sınırlamaların üzerinde olan bileşen ve özelliklerdir.

5.2 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş Birincil (Majör) İyonlar

Jeotermal sahalardaki kuyulardan elde edilen jeotermal akışkanlarda bulunan Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, $\text{CO}_3^{=}$, HCO_3^- ve Si^{+4} iyonları birincil (majör) iyonlardır. Bu iyonların miktarları, analizlerde mg/l cinsinden gösterilir. Birincil iyonların miktar verileri, içlerinde jeotermometre uygulamaları da dahil olmak üzere pek çok hesaplamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Kızıldere jeotermal alanındaki soğuk ve sıcak suların kimyasal analizlerinden elde edilen birincil iyonlar; Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$ ve HCO_3^- iyonları ve SiO_2 bileşenidir.

Kızıldere jeotermal alanına ait numunelerde bulunan, birincil (majör) iyonlar olarak nitelendirilen iyonlar hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

5.2.1 Sodyum (Na^+)

Sodyum miktarı en fazla deniz suyunda, NaCl şeklinde bulunmaktadır ve bu miktar 10.000 mg/l seviyelerindedir. Yeraltı sularında ise çoğunlukla plajiyoklazların ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışır. Bazı kaynaklarda, magmatik ve metamorfik kayalardan kaynaklanan sodyum miktarının 1-20 mg/l arasında olduğu belirtilmiştir (Tarcan, 2004).

Yeraltı sularındaki sodyumun varlığı; sodyum içeren mineral cinsine ve miktarına, pH düzeyine, bozunma süresine, yeraltı sularının akım hızına, ortamdaki kalsiyum iyon derişimine, yapay ve doğal kirlenme gibi etkenlere bağlıdır. Yeraltı suları sulama amaçlı kullanıldığında ise özellikle killi topraklarda kullanımlarda sudaki sodyum miktarı çok önemlidir (Tarcan, 2004).

5.2.2 Potasyum (K^+)

Potasyum ve sodyum iyonlarının miktarları yer kabuğunda yaklaşık olarak eşit miktarlarda bulunmaktadır. Ancak magmatik kayalar sodyum açısından, çökel kayalar ise potasyum açısından zengindir. Deniz suyundaki sodyum miktarı ise potasyum miktarının yaklaşık 28 katıdır. Yer kabuğundaki potasyum miktarının büyük bir kısmı feldispatlardan kaynaklanmaktadır (Tarcan, 2004).

5.2.3 Kalsiyum (Ca^{++})

Kalsiyumun yeraltı sularına katılmasındaki en büyük etken; kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jips kayaları ile yeraltı sularının etkileşime girmesidir. Bu kayaların yanı sıra magmatik ve metamorfik kayaç mineralleri olan apatit, vollastonit, florit, amfibol ve piroksen grupları ile bazı feldispatların bozunması sonucu ortaya çıkan kalsiyum iyonları da yeraltı sularına katılır (Tarcan, 2004).

Suda bulunan H^+ iyonu, kalsiyumun eritilmesini kolaylaştırır. Bunun yanı sıra atmosfer basıncının ve sıcaklığın artması, sudaki kalsiyum miktarının artmasına neden olur. Genel olarak yeraltı sularında Ca^{++} miktarı 10-100 mg/l aralığında olup, bu miktarın yer yer 500-1000 mg/l düzeyine ulaştığı da görülebilmektedir (Tarcan, 2004).

5.2.4 Magnezyum (Mg^{++})

Kalsiyumun ardından yeraltı sularında en fazla bulunan katyon magnezyumdur. Magnezyumun yeraltı sularına katılması; dolomit ve evaporitlerin yanı sıra magmatik kayaç mineralleri olan olivin, biyotit ve hornblend mineralleri ile metamorfik kayaç mineralleri olan serpantin, talk ve tremolit minerallerinin yeraltı suları ile etkileşime girmesi sonucu meydana gelir (Tarcan, 2004).

Deniz sularında bulunan Mg^{++} iyonları, normal sulara nazaran Ca^{++} iyonlarından 5 kat daha fazla bulunmaktadır. Mg^{++} iyonları, genel olarak yeraltı sularında 10-100

mg/l civarında bulunur. Bu miktarın 125 mg/l değerinden fazla bulunması sonucunda sulara acılaşma meydana gelir. Mg^{++} iyonlarının suda bulunması, sodyum tehlikesini düşürür (Tarcan, 2004).

5.2.5 Klorür (Cl^-)

Klorürün yeraltı sularındaki kaynakları; deniz suları, evaporitler, yağmur ve kar suları veya atmosfer olabilir. Bunların içinde yeraltı sularına en fazla klorür sağlayan deniz sularıdır. Bundan dolayı, kıyılardan iç kesimlere gidildikçe yeraltı sularındaki klorür miktarlarında önemli azalmalar görülür. Klorürün yeraltı sularındaki miktarı ortalama 1 mg/l iken, deniz suyunda bu oran 20.000 mg/l düzeylerine çıkabilmektedir. Genellikle kurak bölgelerde, yağışlı bölgelerden daha fazla miktarda klorür içeriği mevcuttur. Klorür içeren suların içilebilir olması için, klorür miktarının 200-600 mg/l aralığında olması istenir (Tarcan, 2004).

5.2.6 Sülfat (SO_4^{--})

Yeraltı sularına dahil olan sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidrit kayaçları karşılamaktadır. Bunların yanı sıra az miktarda piritin oksidasyonu neticesinde meydana gelen demir sülfattan, magnezyum sülfattan ve sodyum sülfattan da yeraltı sularına sülfat eklenebilir. İçme suları içerisindeki sülfat miktarının 200-400 mg/l aralığında olması istenir. İçme suyu için belirlenen bu miktar, tarımsal sulama amacı için 500 mg/l oranına kadar kullanılabilir. Bu düzeyin üzerine çıkan sülfat miktarı zararlı olmaya başlar.

5.2.7 Karbonat (CO_3^{--}) ve Birkarbonat (HCO_3^-)

Yeraltı sularında bulunan karbonat ve bikarbonat iyonlarının büyük bir kısmı atmosfer ve toprakta bulunan CO_2 ve karbonatlı kayaçların erimesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, karbonat ve bikarbonat iyonlarının miktarı; topraktaki CO_2 miktarına ve yeraltı suyunun pH'ın bağlıdır. Yeraltı sularının bünyesindeki bikarbonat miktarı genel olarak 10-800 mg/l arasında değişmekte olup, bu miktarın

400 mg/l ve üzerindeki oranlarına ender rastlanılır. İçme sularındaki karbonat ve bikarbonat miktarlarının 300-500 mg/l olması istenmektedir (Tarcan, 2004).

5.2.8 Silisyum (Si^{++})

Çoğunlukla kullanılan “silis” sözcüğünün karşılığı SiO_2 bileşiğidir ve doğal sularda silisyumun yerine kullanılır. Fakat SiO_2 , hidratlaşmış durumlarda H_4SiO_4 ya da $Si(OH)_4$ biçiminde karşımıza çıkabilir. Silikat minerallerinin kimyasal bozunumu sonucunda ortaya çıkan silis miktarı, doğal sulardaki silis miktarının büyük bir kısmını oluşturur. Doğal sulardaki silis miktarı genel olarak 1-30 mg/l aralığındadır. Bu oran yüzey sularında 4 mg/l iken, yeraltı sularında 17 mg/l düzeyindedir. Silisin ortamdaki miktarını etkileyen bir başka faktör ise suyun pH'ıdır. Asidik ortamlarda çözünürlüğü düşen silis, pH'ın yükselmesi sonucunda silisin çözünürlüğü artar, pH'ın 9'un üzerinde olması durumunda ise silis çözünürlüğü önemli miktarda yükselir (Tarcan, 2004).

5.3 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş İkincil İyonlar

Jeotermal sahalarda bulunan kuyulardan elde edilen akışkanlardan alınan numuneler üzerinde yapılan analizlerde ortaya çıkan, miktarları genellikle 0,01-10 mg/l arasında değişen, Fe^{++} (nadiren Fe^{+3}), Al^{+3} , As^{+} , B^{+3} , Zn^{++} , Cd , Pb^{++} (nadiren Pb^{+4}) gibi, yeraltındaki hazne kayaçlardan veya hazne kayaçların beslenimi sırasında süzülen yeraltı sularının çeşitli kayaçlarla etkileşime geçerek yeraltı suyunun taşıdığı, genellikle düşük seviyelerde olup, spesifik sahalarda yüksek miktarlarda bulunan bu tip iyonlar ikincil iyonlardır. Analiz sonuçları, iyonların numunelerdeki miktarına göre mg/l, ppm ve ppb cinsinden gösterilebilir.

Kızıldere jeotermal alanı içerisindeki bazı kuyulardan alınan jeotermal akışkanlar üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen ikincil iyonlar Li^{+} , B^{+3} , Ba^{++} , Sr^{++} iyonlarıdır. Kızıldere jeotermal alanına ait numunelerde bulunan, ikincil iyonlar olarak nitelendirilen bileşenler hakkında kısaca bilgi ilerideki sayfalarda verilmiştir.

5.3.1 Lityum (Li^+)

Lityum iyonları, yeraltı sularında genellikle düşük seviyede bulunur. Kökeni ise, bünyesinde lityum içeren magmatik ve metamorfik kayalardır. Lityum iyonlarının insan sağığı üzerinde zehirleyici etkisi olmasından ötürü, yüksek seviyelerde olması istenmez.

5.3.2 Bor (B^{+3})

Bor, mika ve serpantin minerallerini içeren kayalarda oldukça fazladır. Fillosilikatlar bünyelerinde diğeri silikatlara nazaran daha yüksek miktarda bor taşırlar. Özellikle muskovit, paragonit, serizit, illit, montmorillonit ve serpantin borca zengindir. Gnays ve şistler ise çoğunlukla borca fakirdirler. Kil oluşumları olan (çamur ve şeyl gibi) tortul kayalar içerisinde en fazla bor içeren tabakalardır (Tarcan, 2004).

Akarsularda denizlere oranla bor miktar 400 kat daha fazladır. Akarsulardaki bor; magmatik, metamorfik ve tortul kayaların hidrotermal bozulmaları neticesinde ortaya çıkar. Bazı durumlarda ise hidrotermal sularda çözünmüş durumda bulunan bor akarsulara katılır. Göllerde ise bor miktarı oldukça farklıdır. En fazla sodalı, en az $CaCl_2$ ve magnezyumlu göl sularında bor bulunur. Özellikle sodalı yeraltı sularında bor miktarı oldukça yüksektir. Ca-Mg ve klorürlü sularda ise bor miktarı bir hayli düşüktür (Tarcan, 2004).

Termal sular, bünyelerinde yüksek miktarda bor bulundurur. Jeotermal sahalardaki gibi sıcak kayalarda yüksek oranda bulunan bor, çoğunlukla suyun geldiğı hazne kayadan kaynaklanmaktadır (Tarcan, 2004).

Kurak iklimlerdeki akarsuların bünyelerindeki bor miktarı nemli iklimlerdeki akarsulara nazaran daha yüksektir. Okyanus sularında ise ortalama 4,45 ppm dolaylarında bor bulunur. Deniz suyunun bor içeriğı 5 mg/l düzeylerindedir. İçme sularında ise bor miktarının 1,0 mg/l düzeyinin altında olması istenir. Ayrıca bor,

önemli bir bitki beslenme elementidir. Sulama suyunda ise borun 2,0 mg/l miktarından fazla olması durumunda bitkiler zarar görür. Hatta bazı bitkiler, 1,0 mg/l oranından çok daha düşük miktarlardaki bor içeriğinden bile zarar görebilirler (Tarcan, 2004).

5.3.3. Baryum (Ba^{++})

Baryum, bir toprak alkali grubu üyesi olup doğada yüksek reaktivitelerden dolayı element halinde bulunmaz. Aktif bir element olup hava, su ve asitlerle kolayca reaksiyon verebilir. Yeraltı suyu ile etkileşime geçen baryum, hidrojen (H^+) ve hidroksit (OH^-) iyonları oluşturur. Baryum karbonatları ısı karşısında kolay ayrışmasına karşın Baryum Karbonat ($BaCO_3$) en zor ayrışanıdır. Baryum Sülfatlar ise hemen hemen hiç erimez. Baryumun doğada en fazla bulunan kaynağı Barit mineralleridir. Baryumun hemen hemen bütün bileşikleride insan sağlığı üzerinde zehirli etkisi vardır. Bu nedenle özellikle içme ve kullanma sularında olmaması, olacaksa da milyonda ve/veya milyarda bir değerlerde olması istenir.

5.3.4 Stronsiyum (Sr^{++})

Stronsiyum, aynı baryum ve kalsiyum gibi suyu ayrıştırarak hidrojen ve hidroksit açığa çıkarır. Toprak alkali metali olan stronsiyum, kimyasal olarak son derece reaktiftir.

5.4 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş Minör ve İz Bileşenler

Minör ve iz bileşenler olarak tabir edilen iyonlar, jeotermal sahalardaki kuyulardan elde edilmiş jeotermal akışkan numuneleri üzerinde yapılan analizler sonucunda ulaşılmış verilerdeki, miktarı genel olarak 0,0001–0,01 mg/l aralığında bulunan iyonlar minör iyonlardır. Genellikle 0,001 mg/l değerinden daha küçük miktarda ortaya çıkan iyonlar da iz bileşenler olarak sınıflandırılır (Tarcan, 2004). Alınan jeotermal numuneleri üzerinde yapılan analiz çalışmalarının sonucunda, 0,01 mg/l değerinde ve bu değerden daha düşük miktarda bileşen görülmemiş, varsa dahi

analiz yöntemlerinde kullanılan metotlar nedeni ile hesaplanamayacak kadar küçük miktarlarda bulunabilir.

5.5 İnceleme Alanındaki Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri

Bu başlık altında, Kızıldere jeotermal alanı içerisinde yer alan kuyulardan, farklı zamanlarda alınan jeotermal akışkan numuneleri ve Büyük Menderes Deresi'nden temin edilen bir numune üzerinde yapılan analizlerde elde edilen veriler ışığında, jeotermal sahadan çıkarılan sıcak suyun içilebilme ve kullanılabilme özellikleri irdelenmiştir.

5.5.1 İnceleme Alanındaki Soğuk ve Sıcak Suların İçilebilme Özellikleri

Türkiye'deki içme suları, 1997 yılında tamamlanarak yayınlanan ve 2005 yılında üzerinde güncelleştirme yapılan "Türkiye İçme Suları Standardı" tablosuna göre irdelenerek değerlendirilir. Aşağıda, Kızıldere jeotermal alanından elde edilen numunelerde karşılaşılan bileşenlerin, "Türkiye İçme Suları Standardı"ndaki izin verilen azami miktarları gösterilmiştir (Tablo 5.2).

Tablo 5.2 Su numunelerinin kimyasal analizlerinde saptanan bazı bileşenlerinin "Türkiye İçme Suları Standardı"ndaki izin verilen azami miktarları (Türk Standartları 266 [TS-266], 2005)

Türk Standartlarındaki Müsaade Edilebilecek Bazı Azami Değerler		
	Sınıf 1 ve Sınıf 2 Suları Tip 1	Sınıf 2 Suları Tip 2
Sıcaklık °C	25	25
pH	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$
Na Miktarı mg/l	100	200
K Miktarı mg/l	12	12
Ca Miktarı mg/l	200	100
Mg Miktarı mg/l	50	30
Cl Miktarı mg/l	30	250
SO ₄ Miktarı mg/l	25	250
B Miktarı mg/l	1	1
Ba Miktarı mg/l	0,3	0,1

Yukarıda, "Türkiye İçme Suları Standardı"nda verilen bazı bileşenlerin izin verilen azami miktarları verilmiştir. Tablo 5.1'de verilen analiz sonuçlarında elde

edilen bileşenler ve özelliklerin "Türkiye İçme Suları Standardı"nda belirtilmiş sınırlamaların üzerinde olanları kalın renkte verilmiştir.

Kızıldere jeotermal alanındaki kuyulardan, içlerinde aynı kuyulardan farklı zamanlarda alınan jeotermal akışkan numunelerinin de bulunduğu numunelerin analiz sonuçlarında elde edilen bazı bileşenlerin ve özelliklerin, "Türkiye İçme Suları Standardı"nda verilen bileşenlerin ve özelliklerin azami miktarları karşılaştırıldığında; pH özelliği ve Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , Ba^{++} iyonlarının miktarları, içme suyu olarak kullanılabilir seviyelerde olmasına rağmen, EC özellikleri ile Na^+ , K^+ , $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- , Li^+ , B^{+3} iyonları ve SiO_2 düzeyleri, inceleme alanından elde edilen sıcak suların içilebilir olarak kullanılmasını mümkün kılmamaktadır.

Büyük Menderes deresinden alınan soğuk su numunesinde ise; $\text{SO}_4^{=}$ iyonu haricindeki bütün miktarlar, içme suyu olarak kullanılabilir düzeyde olmasına rağmen, $\text{SO}_4^{=}$ iyonu miktarı izin verilen miktarın çok üzerinde olmasından ötürü, Büyük Menderes deresindeki suların içme suyu olarak kullanılmasının sakıncalı olduğu sonucuna varılmıştır.

5.5.2 İnceleme Alanındaki Soğuk ve Sıcak Suların Wilcox Diyagramına Göre Kullanılabilirlik Özellikleri

Wilcox diyagramı kullanılarak tarımsal amaçlı sulama suları sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma esnasında; su numunelerinin analizleri sonucu elde edilen verilerden suyun elektriksel iletkenliği ile sodyum yüzdesi, bor miktarı, klorür miktarı ve sülfat miktarı gibi nitelikleri kullanılır.

Wilcox diyagramına göre sulama sularının sınıflandırılması esnasında, numune analizleri sonucunda elde edilen bileşenlerin miktarları, mek/l cinsinden alınarak kullanılır.

Sodyum yüzdesi hesaplaması, aşağıdaki formül kullanılarak yapılır (Tarcan, 2004).

$$\%Na = \frac{100 * (rNa + rK)}{(rNa + rK + rCa + rMg)} \quad (\text{Tarcan, 2004}) \quad (5.1)$$

Wilcox sulama suları tablosu, analiz sonuçları ile karşılaştırabilmek amacı ile Tablo 5.3'de verilmiştir. Buna ilaveten bölgeden elde edilen soğuk ve sıcak su numuneleri yukarıda ifade edildiği şekilde hesaplanmış ve Tablo 5.4 üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 5.3'de verilen bilgilere istinaden Tablo 5.1'de verilen su numunesi analizleri sonuçlarındaki bor miktarlarına göre tarımsal amaçlı kullanım esnasındaki seçilmesi gereken bitki türleri hakkında da yorum yapılabilir. Buna göre, Kızıldere jeotermal alanından temin edilen sıcak su numunelerinin yüksek bor miktarları nedeni ile en dayanıklı bitki türleri için dahi tarımsal amaçlı kullanımının mümkün olmadığı görülmektedir.

Aynı tablolardaki bilgilere göre, Büyük Menderes deresinden alınan soğuk su numunesindeki bor miktarına göre, Büyük Menderes deresi suyunun her tür bitki tipi için tarımsal amaçlı kullanılabilir olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Wilcox sulama suları sınıflamasının yapılabilmesi için gerekli olan % Na hesaplaması (Tablo 5.4) ve ilgili diyagram (Şekil 5.1) konu içeriğinde verilmiştir.

Tablo 5.3 Wilcox sulama suları sınıflaması tablosu

Suyun Sınıfı	% Na mek/l	rCl mek/l	rSO ₄ mek/l	EC µS/cm	Suda Bulunan Bor Miktarı		
					Duyarlı Bitkiler mg/l	Yarı Dayanıklı Bitkiler mg/l	Az Dayanıklı Bitkiler mg/l
Çok İyi	< 20	< 4	< 4	< 250	< 0,33	< 0,67	< 1,00
İyi	20 - 40	4 - 7	4 - 7	250 - 750	0,33 - 0,67	0,67 - 1,33	1,00 - 2,00
Kullanılabilir	40 - 60	7 - 12	7 - 12	750 - 2000	0,67 - 1,00	1,33 - 2,00	2,00 - 3,00
Şüpheli	60 - 80	12 - 20	12 - 20	2000 - 3000	1,00 - 1,25	2,00 - 2,50	3,00 - 3,75
Kullanılamaz	> 80	> 20	> 20	> 3000	> 1,25	> 2,50	> 3,75

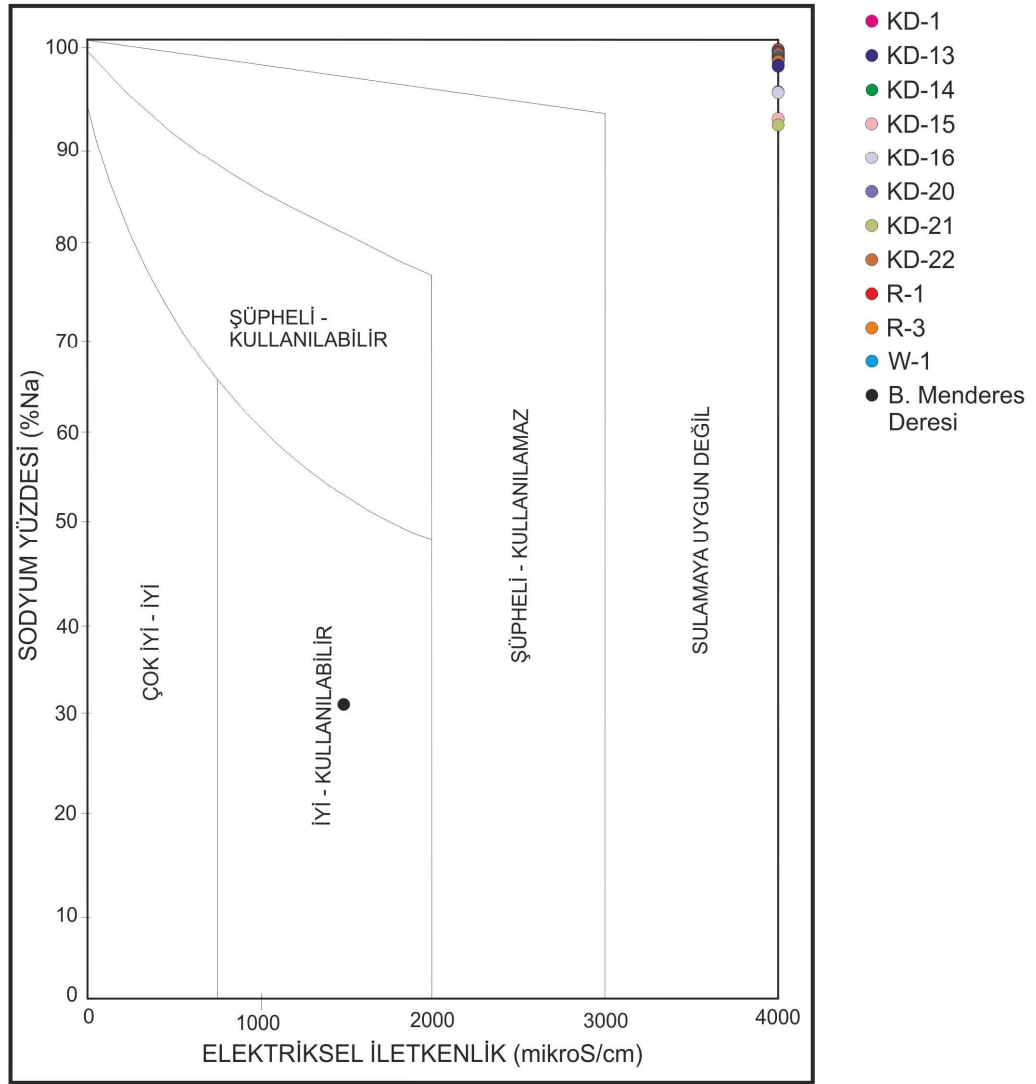
Tablo 5.4 Wilcox sulama suları sınıflaması diyagramında kullanılmak üzere hesaplanmış % Na değerleri

Örneklenme Yeri	rNa	rK	rCa	rMg	rCl	rSO ₄	% Na
	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	
KD-1	58,57	3,47	0,46	0,03	2,82	16,86	99,2
KD-13	52,91	2,94	0,67	0,05	2,45	14,42	98,7
	51,04	3,07	0,77	0,08	2,11	8,55	98,5
KD-14	56,39	3,55	0,44	0,03	2,85	15,23	99,2
	57,04	3,71	0,53	0,16	3,97	8,05	98,9
KD-15	51,86	1,58	1,35	0,81	1,58	10,14	96,1
	56,91	3,28	0,53	0,04	2,59	17,29	99,1
	57,43	3,55	0,41	0,08	2,34	11,86	99,2
KD-16	51,45	2,85	3,07	0,59	1,41	8,89	93,7
	56,61	3,41	0,56	0,03	2,65	15,05	99,0
	56,48	3,66	0,45	0,08	2,39	9,18	99,1
	55,00	3,55	0,41	0,04	2,39	6,93	99,2
KD-20	50,85	1,32	1,29	0,52	1,52	9,74	96,6
	54,17	3,10	0,58	0,04	2,76	16,98	98,9
KD-21	55,74	3,19	0,54	0,04	2,59	15,98	99,0
	49,69	2,87	3,44	0,59	1,24	8,37	92,9
KD-22	56,13	3,27	0,66	0,05	2,48	14,73	98,8
	54,09	3,32	0,51	0,08	2,28	8,80	99,0
R-1	52,78	3,22	0,54	0,03	2,31	6,74	99,0
	66,70	5,29	0,15	0,08	2,70	7,93	99,7
R-3	50,48	2,72	0,76	0,41	1,27	8,24	97,8
W-1 Atık	55,35	2,30	0,96	0,08	2,56	11,55	98,2
	61,74	3,60	0,65	0,08	2,34	17,73	98,9
B. Menderes D.	6,00	0,23	6,61	7,37	2,82	8,35	30,8

Yukarıda verilen Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 üzerindeki verilerin ışığında, Kızıldere jeotermal alanından alınan sıcak su numunelerinin üzerinde yapılan analizlerin sonucunda elde edilen verilere dayanarak, bölgedeki sıcak sular hakkında Wilcox sulama suları tablosuna göre sonuç çıkarılabilir. Bu sonuç ışığında, sıcak suların hepsi için sulama amacı ile kullanılması mümkün olmadığı sonucuna varılabilir. Ayrıca yüksek % Na seviyesi nedeniyle, sulama suları olarak kullanımı da mümkün görünmemektedir.

Büyük Menderes Deresi'nden alınan soğuk su numunesinin analizlerindeki verilerin kullanılması ve hesaplama sonucundaki % Na miktarının düşük çıkması ile varılabilecek sonuç, dere suyunun sulama amacı ile kullanılabilirliğinin mümkün olduğu sonucudur.

Aşağıda, Wilcox sulama sınıflandırması tablosu ile Tablo 5.4 üzerinde yapılan işlemlerin ve Tablo 5.1'deki verilen analiz sonuçlarının bir yorumu olarak, numune analizlerinin kullanılması ile elde edilen sayısal veriler Wilcox grafiği üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Kızıldere jeotermal alanından alınan soğuk ve sıcak su numunelerinin Wilcox grafiği üzerinde dağılımı

Wilcox sulama suları sınıflaması grafiğinde çıkan sonuçlara göre, Kızıldere jeotermal alanındaki sıcak suların hiçbirinin sulamaya uygun olmadığı yorumu yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra Büyük Menderes deresindeki suyun ise tarımsal amaçlı kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

5.5.3 İnceleme Alanındaki Soğuk ve Sıcak Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına Göre Kullanılabilirlik Özelliği

Sulama sularında sodyum miktarı çok önemlidir. Sulama amacı ile kullanılacak olan suyun bünyesinde bulunabilecek yüksek miktardaki sodyum toprağın yapısını bozarak, toprağın geçirgenliğini azaltır. Bunun yanı sıra sulama sonrasında zeminin üst seviyelerinde soğurulan yüksek miktardaki sodyum, toprak üzerinde hava geçirimsizliğini engelleyecek sert bir tabaka oluşturur ve bunun sonucunda bitki köklerinin havalanması engellenir. Buna ek olarak, yüksek miktardaki sodyum bitkilerin yaşam ortamına zehirleyici etkilere neden olur. Ekilecek olan bitkiler hangi türden olursa olsun, ekilecek alan sodyum açısından doymuş ise bitkiler çok az gelişir veya gelişme gösteremezler (Tarcan, 2004).

Sulama amacı ile kullanılacak suyun bünyesinde var olabilecek sodyumun tehlikesinden kaçınmak üzere, sudaki sodyum absorpsiyon oranı (SAR) hesaplaması yapılır. Bu hesaplama, bölgeden alınan yeraltı suyu numunelerinin analizleri sonucu elde edilen veriler kullanılarak yapılır. Sodyum Absorpsiyon Oranı (Sodium Absorption Ratio = SAR), aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır. Hesaplamalardaki iyon değerleri, mek/l değerleri alınarak kullanılır.

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{(rCa + rMg)}{2}}} \quad (\text{Tarcan, 2004}) \quad (5.2)$$

Sodyum Absorpsiyon Oranı hesaplamaları sonucunda elde edilen SAR değerleri, aşağıdaki tablo kullanılarak yorumlanır.

Tablo 5.5 Hesaplanan SAR değerlerine göre sulama sularının niteliği (Tarcan, 2004)

Suyun Niteliği	SAR
	%
Çok İyi Özellikte Sulama Suları	< 10
İyi Özellikte Sulama Suları	10 - 18
Orta Özellikte Sulama Suları	18 - 26
Kötü Özellikte Sulama Suları	> 26

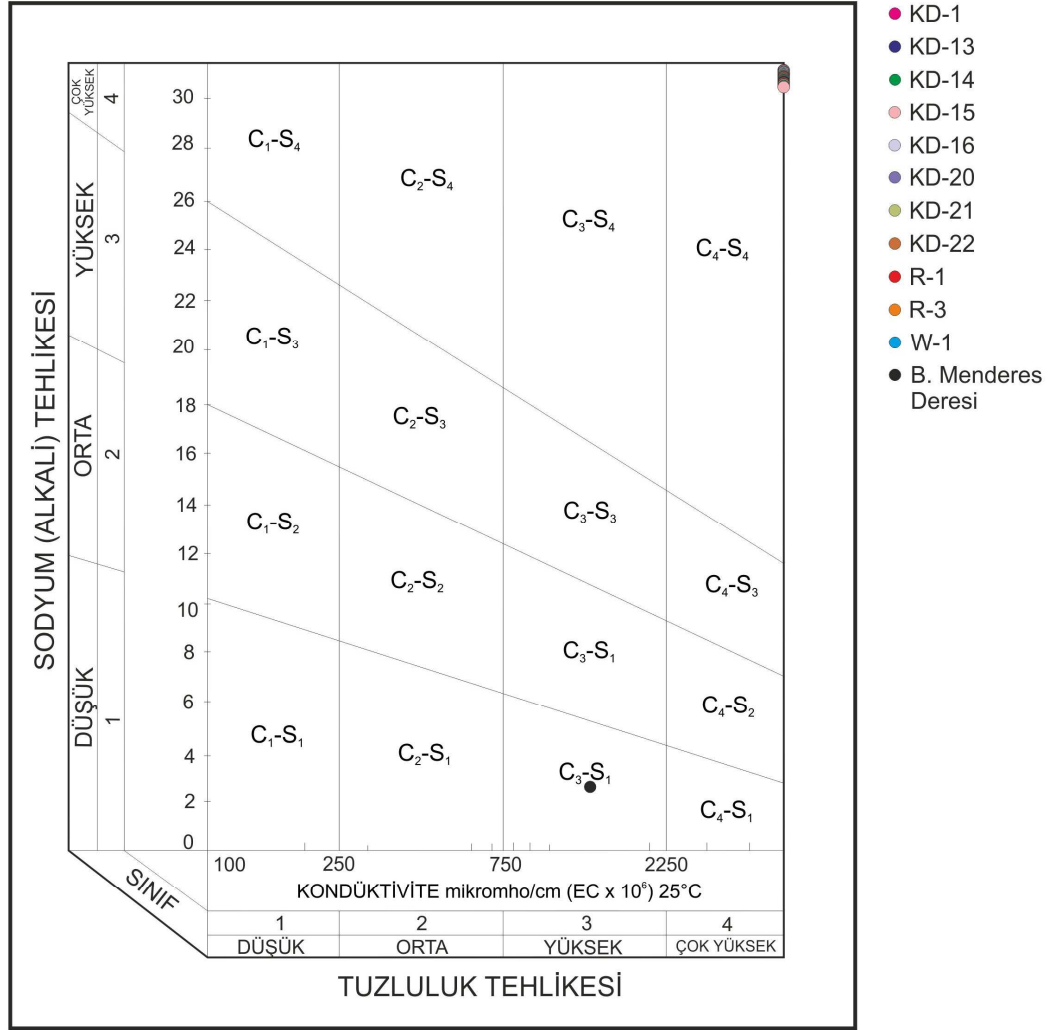
Kızıldere jeotermal alanından alınan sıcak su numuneleri ve Büyük Menderes Deresi'nden temin edilen soğuk su numunesi üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen verilerin SAR hesaplamalarındaki sonuçları Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6 Kızıldere jeotermal alanına ait su numunesi analizlerinin SAR değerleri hesaplamaları

Örnekleme Yeri	SAR
KD-1	117,5
KD-13	88,0
	78,3
KD-14	115,5
	96,9
	49,8
KD-15	106,6
	115,9
	38,0
KD-16	104,1
	109,1
	115,3
	53,4
KD-20	97,3
KD-21	103,1
	35,0
KD-22	94,4
	99,5
	98,7
R-1	99,5
	65,9
R-3	76,6
W-1 Atık	101,8
B. Menderes D.	2,5

Verilen Tablo 5.5 ile Tablo 5.6 arasındaki değerlerin hesaplanması sonucunda, inceleme alanındaki sıcak suların tarımsal sulama amacı ile kullanılabilirliği konusunda yorum yapılabilir. Bu yorum sonucunda, Kızıldere jeotermal alanından temin edilen sıcak suların tarımsal sulama amacı ile kullanımına uygun olmadığı söylenebilir. Ancak, bölgenin hemen güneyinden geçen Büyük Menderes Deresi'nden alınan soğuk su numunesinin analizlerinden elde edilecek yorumda, Na miktarı açısından rahatlıkla kullanılabilir olmasının yanı sıra, tuzluluk miktarının yüksek olmasından ötürü kısıtlı kullanımı söz konusu olduğu sonucuna varılabilir.

Hesaplamaların anlamlarını görsel olarak ifade edebilmek adına, hesaplanana değerler aşağıdaki ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerinde yerleştirilmiştir (Şekil 5.2).



- C₁:** Az tuzlu sular; Her toprakta, tüm bitkilerin sulamasına uygundur.
- C₂:** Orta tuzlu sular; orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.
- C₃:** Tuzlu sular; akaçlaması kötü olan arazilerde sulamada kullanılmaz. Tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir.
- C₄:** Çok tuzlu sular; geçirgenliği ve akaçlaması çok iyi topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlamak için bol su verilmelidir.
- S₁:** Az sodyumlu sular; Tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir.
- S₂:** Orta sodyumlu sular; geçirgen veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir.
- S₃:** Yüksek sodyumlu sular; birçok toprak cinsinde sodyum tehlikesi yaratabilir.
- S₄:** Çok yüksek sodyumlu sular; genel olarak sulama için uygun değildir. Ancak suyun toplam tuz miktarı düşük ise, sulamada kullanılabilir.

Şekil 5.2 Numunelerin ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerinde gösterimi

ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı sonucuna göre (Şekil 5.2), Kızıldere jeotermal alanındaki sıcak sular hiçbir şekilde tarımsal amaçla kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır.

Şekil 5.2'deki Büyük Menderes deresine ait soğuk su sonucuna göre ise, tuza dayanıklı bitkiler üzerinde tarımsal sulama amacı ile kullanılabileceği belirtilmiştir. Bunun yanı sıra Büyük Menderes deresi suyunun her tür tarım arazisinde sulama suyu olarak kullanılamayacağı, akaçlamaları iyi olan tipteki toprakların bulunduğu tarım alanlarında kullanılması için elverişli olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda bol sulama işlemleri gerçekleştirilmelidir.

5.6 Soğuk ve Sıcak Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflandırması

Bu başlık altında, Kızıldere jeotermal alanı içerisinde temin edilen sıcak su numunelerinin çeşitli teknikler, farklı diyagramlar ve tablolar kullanılarak fasiyes tipleri ve sınıflandırmaları yapılmıştır.

5.6.1 Sertliğine Göre Su Sınıflaması

Sertlik, su içerisinde çözünmüş durumdaki Ca ve Mg iyonlarının meydana getirdiği bileşiklerden gelen bir özelliktir. Bu bileşiklerin bir çoğu Ca ve Mg iyonlarının oluşturduğu klorürler, sülfatlar, bikarbonatlar ve nitratlardır. Ca ve Mg bikarbonat bileşiklerinden meydana gelen sertlikler, suyun ısıtılması sonucunda CaCO_3 ve MgCO_3 olarak çökertilmesi ile ortamdan uzaklaştırılmış olur. Bu nedenle Ca ve Mg iyonlarının bikarbonat bileşiklerinden kaynaklanan sertliklere “geçici sertlik” adı verilir. Suyun ısıtılması işlemi yüksek maliyete neden olmasından ötürü, ısıtılma işlemi yerine suya çeşitli kimyasallar eklenmesi yoluna gidilir. Bu yöntemde, suya amonyak ve sönmüş kireç eklendiğinde geçici sertliğe neden olan bileşikler karbonat tuzları biçiminde çökelir (Tarcan, 2004).

Su içerisinde bulunan ve ısıtılma yöntemi ile uzaklaştırılamayan, Ca ve Mg bikarbonat bileşiklerinden farklı tuzlardan ileri gelen sertliğe ise “kalıcı sertlik”

denir. Bu sertlik seviyesinin düşürülmesi amacıyla suya Na_2CO_3 eklenir. Kalıcı ve geçici sertliklerin toplamı “toplam sertlik” kavramını ortaya çıkarır (Tarcan, 2004).

Suların sertliği, “Toplam Fransız Sertliği” olarak tanımlanmıştır ve Fransız Sertliği tablosuna göre suların sertlik sınıflaması yapılabilir (Tablo 5.7). Toplam sertlik kavramı aşağıdaki formül yolu ile hesaplanabilir. Hesaplamalardaki iyon değerleri mek/l olarak kullanılır (Tarcan, 2004).

$$\text{Toplam Sertlik} = 5 \times (\text{rCa}^{++} + \text{rMg}^{++}) \quad (\text{Tarcan, 2004}) \quad (5.3)$$

Tablo 5.7 Fransız Toplam Sertlik tablosu (Tarcan, 2004)

Su Sınıflaması	Fransız Sertliği
Çok Yumuşak	< 7,2
Yumuşak	7,2 - 14,5
Az Sert	14,5 - 21,5
Oldukça Sert	21,5 - 32,5
Sert	32,5 - 54
Çok Sert	> 54

Suların sertliğini gidermek amacı ile sulara çeşitli bileşikler ilave edilebilir. Bunlardan boraks ($\text{Na}_2\text{BO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), trisodyum fosfat (Na_3PO_4), sodyum metasilikat ($\text{Na}_2\text{S}_{13} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) gibi bileşikler, bazik özelliklerinden dolayı suyun ihtiva ettiği bikarbonat bileşiklerini ve karbonat tuzlarını meydana getirerek çökeller oluşturur. Bu bileşiklerin anyonları ise Ca iyonları ile birleşmek suretiyle çözünmeyen çökeller oluştururlar (Tarcan, 2004).

Aşağıda, Kızıldere jeotermal alanından alınan sıcak su numunelerinin ve Büyük Menderes Nehri’nden temin edilen numunenin analizleri sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak hesaplanan Fransız toplam sertlik verileri ve numunelerin sertlik su sınıflamaları sunulmuştur (Tablo 5.8).

Tablo 5.8 Kızıldere jeotermal alanına ait su numunelerindeki Fransız Sertlik değerleri ve numune sertlik sınıflamaları

Örnekleme Yeri	Toplam Sertlik	Sertlik Su Sınıfları
KD-1	2,5	Çok Yumuşak Su
KD-13	3,6	Çok Yumuşak Su
	4,3	Çok Yumuşak Su
KD-14	2,4	Çok Yumuşak Su
	3,5	Çok Yumuşak Su
	10,8	Yumuşak Su
KD-15	2,8	Çok Yumuşak Su
	2,5	Çok Yumuşak Su
	18,3	Az Sert Su
KD-16	3,0	Çok Yumuşak Su
	2,7	Çok Yumuşak Su
	2,3	Çok Yumuşak Su
	9,1	Yumuşak Su
KD-20	3,1	Çok Yumuşak Su
KD-21	2,9	Çok Yumuşak Su
	20,1	Az Sert Su
KD-22	3,5	Çok Yumuşak Su
	3,0	Çok Yumuşak Su
	2,9	Çok Yumuşak Su
R-1	3,0	Çok Yumuşak Su
	5,9	Çok Yumuşak Su
R-3	5,2	Çok Yumuşak Su
W-1 Atık	3,7	Çok Yumuşak Su
B. Menderes D.	69,9	Çok Sert Su

Fransız sertliği kavramı kısaca 1000 ml suda 10 mg CaCO_3 miktarına karşılık gelmektedir. Fransız sertliği dışında farklı sertlik tipleri de mevcuttur. Örneğin, bir Alman Sertliği; 1000 ml sudaki 10 mg Ca miktarı olarak hesaplanır. Bir İngiliz Sertliği ise 700 ml suda 10 mg CaCO_3 miktarı olarak tanımlanmaktadır (Tarcan, 2004).

5.6.2 pH Değerlerine Göre Su Sınıflaması

Suların pH değerleri, kısaca sudaki H^+ iyonu miktarı olarak tanımlanabilir. Bu miktar, “ $-\log \text{H}^+$ ” işlemi ile hesaplanır. Genel pH çizelgesine göre pH değerleri 1 ile 14 arasında sayısal değerler ile ifade edilir. 1-7 arasındaki değere sahip sular (ortamlar) “asidik”, 7 ile 14 arasındaki değerlere sahip sular (ortamlar) ise “bazik” olarak nitelendirilir. pH değerinin 7,0 olduğu sular (ortamlar) ise, “nötr” olarak belirtilir.

İnceleme alanından elde edilen numunelerinin verilen pH miktarlarına (Tablo 5.1) göre, Kızıldere jeotermal alanından alınan soğuk ve sıcak suların bazik özellik gösterdiği saptanmıştır.

5.6.3 Elektriksel İletkenlik Değerlerine Göre Su Sınıflaması

Elektriksel iletkenlik değeri kısaca, cisimlerin elektriği iletebilme kuvveti olarak tanımlanabilir. Özgül elektriksel iletkenlik ise, 1 cm³ hacimdeki suyun elektriksel iletkenlik değerine denir. Birimi $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 'dir, ancak pek çok analiz sonucunda da görüldüğü üzere $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak da bilinir. Suyun elektriksel iletkenlik değeri; içerdği iyonların cinsine, iyon derişimlerine ve su sıcaklığına göre farklılık gösterir.

Daha önceki sayfalarda irdelenen “Wilcox Sulama Suları Sınıflaması” konusunda da geçtiğı üzere, sular elektriksel iletkenlik değerlerine göre de sınıflandırılabilirler (Tablo 5.3). İnceleme alanına ait numunelerin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri, Tablo 5.1’de sunulmuştur. Buna göre; yalnızca Büyük Menderes Deresi’nden alınan soğuk su numunesi “kullanılabilir” sınıfında yer alır. Sıcak su numunelerinin hepsi elektriksel iletkenlik değerleri, bu suları “kullanılamaz” sınıfına sokmaktadır.

5.6.4 Suda Çözünmüş Toplam İyon Miktarına Göre Su Sınıflaması

Pek çok su tipi için kullanılabilen su sınıflamalarından biri de çözünmüş toplam iyon miktarına göre su sınıflamasıdır. Bu sınıflamadaki hesaplama; analiz sonucunda elde edilen bütün iyon ve bileşik miktarlarının mg/l değerleri kullanılır. İnceleme alanına ait sıcak su numunelerinin analizleri sonucu elde edilen verilerin çözünmüş toplam iyon miktarına göre sınıflaması verilmiştir (Tablo 5.9).

Bu sınıflamaya göre, Kızıldere jeotermal alanından elde edilen soğuk ve sıcak suların hepsi "Hafif Tuzlu Su" olarak belirtilmiştir (Tablo 5.9).

Tablo 5.9 Kızıldere jeotermal alanına ait sıcak su numunelerinin toplam iyon miktarına göre su sınıflamaları

Örnekleme Yeri	Toplam İyon Miktarı	Su Sınıflaması
	mg/l	
KD-1	4.937,0	Hafif Tuzlu Su
KD-13	5.249,7	Hafif Tuzlu Su
	4.299,6	Hafif Tuzlu Su
KD-14	5.638,5	Hafif Tuzlu Su
	4.678,3	Hafif Tuzlu Su
	4.536,6	Hafif Tuzlu Su
KD-15	5.143,1	Hafif Tuzlu Su
	4.627,1	Hafif Tuzlu Su
	4.869,8	Hafif Tuzlu Su
KD-16	5.361,5	Hafif Tuzlu Su
	4.638,4	Hafif Tuzlu Su
	4.888,8	Hafif Tuzlu Su
	4.778,9	Hafif Tuzlu Su
KD-20	5.168,3	Hafif Tuzlu Su
KD-21	4.895,1	Hafif Tuzlu Su
	4.349,5	Hafif Tuzlu Su
KD-22	4.815,2	Hafif Tuzlu Su
	4.388,5	Hafif Tuzlu Su
	4.378,8	Hafif Tuzlu Su
R-1	5.713,7	Hafif Tuzlu Su
	4.426,6	Hafif Tuzlu Su
R-3	4.366,1	Hafif Tuzlu Su
W-1 Atık	5.100,2	Hafif Tuzlu Su
B. Menderes D.	1.329,1	Hafif Tuzlu Su

5.6.5 Analiz Sonuçlarındaki Birincil İyon Miktarlarının Doğrudan Kullanımı ile Fasiyes Belirlenmesi

İnceleme alanından alınan sıcak su numuneleri üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen iyon miktarlarının mg/l cinsinden değerleri doğrudan kullanılarak sıcak su fasiyesi belirlenebilir. Bu işlem, diğer iyonlardan yüksek miktarda olan iki katyon ve iki anyon iyonu kullanılarak yapılır. Buradaki dikkat edilecek husus, miktarları fazla olan iyonlardan önce katyon iyonlarının, daha sonra anyon iyonlarının kullanılmasıdır. Aşağıdaki tabloda inceleme alanından alınan numunelerin analiz sonuçları ve bu sonuçlara göre belirlenmiş fasiyes tipleri mevcuttur (Tablo 5.10).

Tablo 5.10 İnceleme alanından alınan numunelerin analizlerinden elde edilen birincil iyon miktarlarına göre fasiyes tipleri

Örnekleme Yeri	Fasiyes Tipleri
KD-1	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
KD-13	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
KD-14	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
KD-15	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
KD-16	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
KD-20	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
KD-21	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
KD-22	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
R-1	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$
R-3	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
W-1 Atık	$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$
B. Menderes D.	$\text{Mg}^+ - \text{Ca}^+ - \text{Na}^+ - \text{SO}_4^{=} - \text{HCO}_3^-$

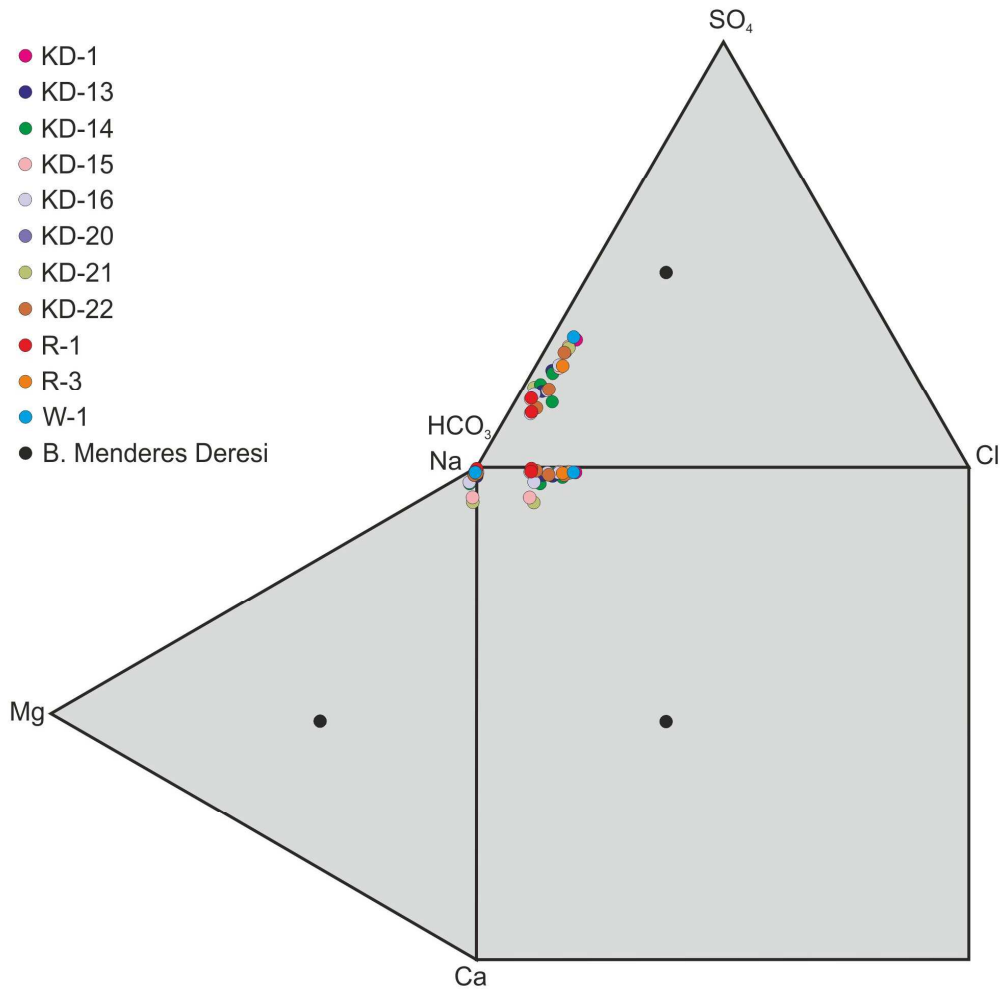
Kızıldere jeotermal alanından alınan sıcak su numunelerinin fasiyes tipleri genel olarak birbirine benzer çıkmıştır. Buna göre, inceleme alanındaki sıcak suların rezervuar kayaçlarının kimyasal bileşimleri birbirine benzerdir yorumu yapılabilir. Büyük Menderes deresine ait soğuk su numunesi ise fasiyes tipi bakımından karışım suyu olarak kabul edilebilir.

5.6.6 Durov Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması

Durov Diyagramı kullanımında, numune analizi sonuçlarının mek/l değerlerinin yüzdeleri alınır. Diyagram üzerinde bulunan katyon ve anyonlar için olan üçgenlerin ucundaki bileşenlerin mek/l değerlerinin birbirlerine göre yüzdeleri hesaplanarak

analiz sonuçları teker teker iki üçgen üzerinde yerleştirilir. Daha sonra katyon ve anyon için hazırlanan üçgenlerin üzerlerinde işaretlenen analiz sonuçları, diyagramda bulunan bu üçgenlerin birer kenarlarını oluşturduğu kare alanda hizalanarak işaretlenir. Bu işlem sonucunda, numunelerin birbirine göre içerdikleri bileşenlere göre durumu incelenebilir.

Aşağıda, üzerinde inceleme alanından alınan sıcak su numunelerinden elde edilen analiz sonuçlarının bulunduğu Durov Diyagramı bulunmaktadır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin analizlerinin Durov Diyagramı üzerindeki izdüşümleri

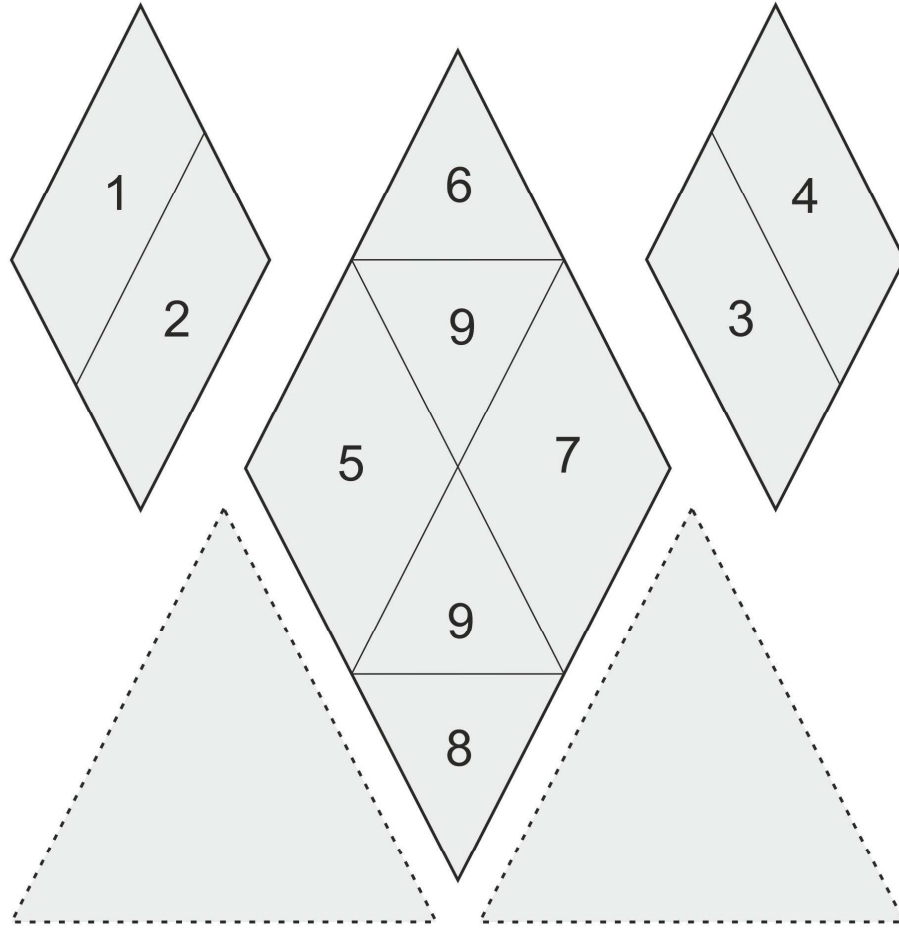
Durov diyagramına göre; Kızıldere jeotermal alanındaki sıcak sular taşıdıkları iyonlar bakımından yaklaşık olarak aynı kimyaya sahip olduğu yorumu getirilebilir. Büyük Menderes deresine ait soğuk su numunesi ise, grafiğin ortalarında yer almakta ve karışım suyu olarak yorumlanabilmektedir (Şekil 5.3).

5.6.7 Piper Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması

Piper Diyagramı, su sınıflaması için kullanılan diyagramların arasında en sık kullanılan ve en kapsamlı bilgi veren diyagramlardan biridir. Diyagram üzerindeki değerler, bileşenlerin mek/l değerlerinin katyon ve anyonların kendi aralarındaki yüzeleri alınarak kullanılır. Bu diyagram, numune analiz sonuçlarının üzerinde katyon ve anyon bileşenleri için hazırlanmış iki adet üçgen üzerinde yerleştirilmesi sonrasında üçgenler üzerinde işaretlenen noktalar diyagramın orta kısmındaki eşkenar dörtgen üzerinde hizalanarak kullanılır.

Piper Diyagramı'nın orta kısmındaki eşkenar dörtgen çeşitli bölgelerden oluşmuştur. Bu bölgelerin herhangi birinin üzerine düşen su numunesi, bölgenin belirttiği su sınıflaması içerisine dahil olur. Aşağıda, Piper Diyagramı üzerindeki bölgeler ve sınıflama tanımları yer almaktadır (Şekil 5.4).

Ayrıca Kızıldere jeotermal alanından alınan soğuk ve sıcak su numunelerinin analiz sonuçları, Piper diyagramı üzerine düşürülmüş ve yorumlanmıştır (Şekil 5.5).



1 Numaralı Alan: Alkali Toprak Elementleri ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) > Alkali Elementler ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)

2 Numaralı Alan: Alkali Toprak Elementleri ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) < Alkali Elementler ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)

3 Numaralı Alan: Zayıf Asit Kökleri ($\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$) > Güçlü Asit Kökleri ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{--}$)

4 Numaralı Alan: ($\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{--}$) > ($\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$)

5 Numaralı Alan: Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular

6 Numaralı Alan: Karbonat olmayan, sertliği %50'den fazla olan sular

7 Numaralı Alan: Karbonat olmayan, alkalitesi %50'den fazla olan sular

NaCl, KCl, Na₂SO₄, alkaliler ve güçlü asitler egemendir.

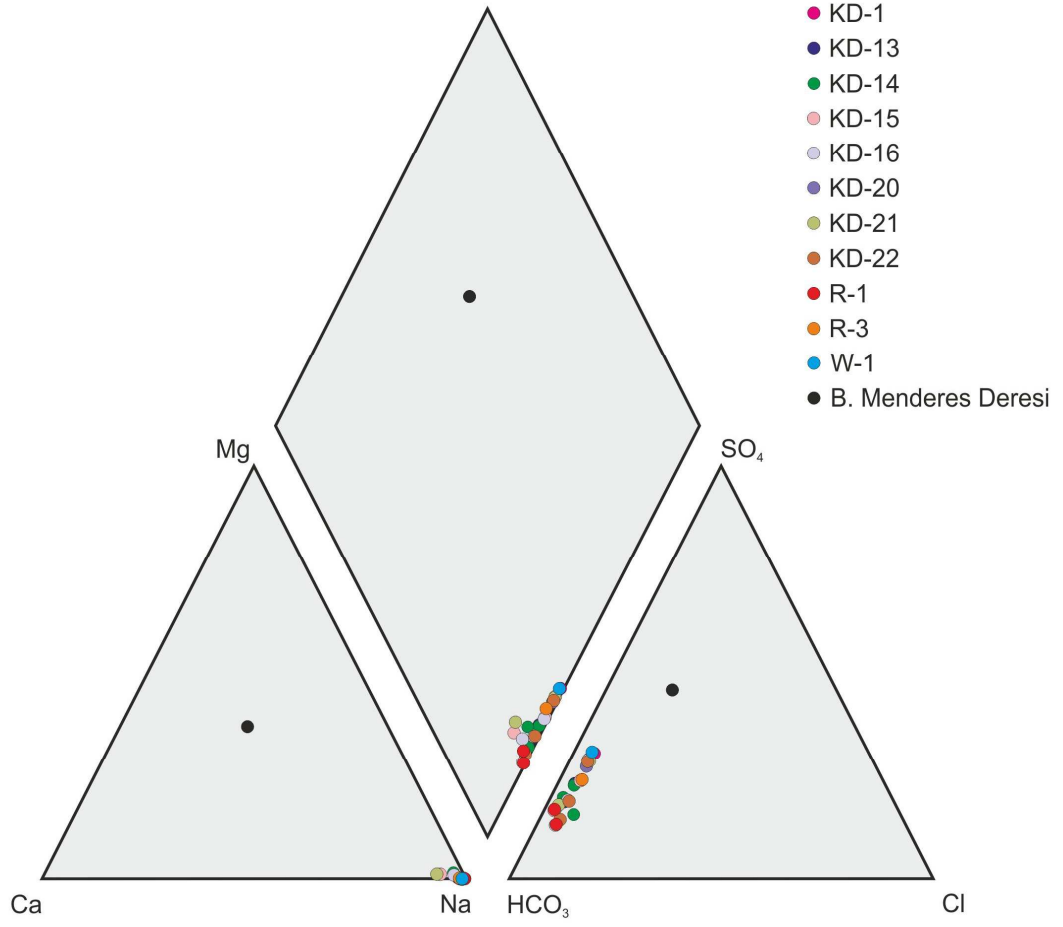
Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır.

8 Numaralı Alan: Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular

Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer.

9 Numaralı Alan: İyonlarının hiçbirini %50'yi geçmeyen, karışık sular bu alana girer.

Şekil 5.4 Piper Diyagramı ve açıklaması (Tarcan, 2004).



Şekil 5.5 İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin analizlerinin Piper Diyagramı üzerindeki izdüşümleri

İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin analizleri sonucunda elde edilen verilerin piper diyagramı üzerine düşürülmesi sonucunda aşağıdaki sınıflandırmalar yapılabilir (Şekil 5.5).

1 Numaralı Alan (Büyük Menderes Deresi'ne ait soğuk su numunesi): Alkali toprak elementleri (Ca ve Mg iyonları), alkali elementlerden (Na ve K iyonları) fazladır.

2 Numaralı Alan (Bütün sıcak su numuneleri): Alkali elementler (Na ve K iyonları), alkali toprak elementlerinden fazladır.

3 Numaralı Alan (bütün sıcak su numuneleri): Zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden fazladır.

8 Numaralı Alan (bütün sıcak su numuneleri): Karbonat alkalileri % 50'den fazla olan sular.

5.6.8 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram'a Göre Su Sınıflaması

Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram kullanılırken, analiz sonuçlarının mek/l değerleri alınır ve diyagramın düşey ekseninde bulunan logaritmik kısmında ilgili numunenin ilgili bileşenine ait miktar mek/l değerinde işaretlenir. Her numune için ayrı ayrı yapılan bu noktalama işaretleri sonucunda, aynı numunenin aynı noktaları çizgilerle birleştirilir. Bu işlem sonucunda her numune için ayrı bir grafik elde edilir ve bu sayede numunelerin birbirine göre durumları incelenebilir.

Diyagramda oluşturulan grafikler sayesinde numunelerin kimyasal özellikleri kırık çizgilerle tanımlanmış olur. Diyagram üzerinde oluşan diyagramlarda, benzer kırık çizgiler oluşturan suların benzer kökenlere sahip olduğu yorumu yapılabilir. Yine diyagram üzerinde oluşan grafiklerdeki benzer pik veren numuneler için, aynı hazneye ve aynı beslenme alanına sahip sular yorumu da yapılabilir. Böylelikle, yarı logaritmik diyagram üzerinde farklı kökenlere sahip sular rahatlıkla ayırt edilebilir (Tarcan, 2004).

Schoeller, hazırladığı yarı logaritmik diyagramın yanı sıra suları Klorür, Sülfat ve Karbonat+Bikarbonat derişimlerine göre de sınıflandırmıştır. Bu sınıflamada, suların analiz sonuçlarını mek/l ölçü biriminde alarak çeşitli tablolar hazırlamış ve bu tablolara göre su sınıflamasını gerçekleştirmiştir.

Tablo 5.11 Schoeller’e göre suların klorür derişimine göre su sınıflama tablosu

Su Sınıflaması	Sudaki Klorür (Cl ⁻) Miktarı
	mek/l
Hiper Klorürlü	> 700
Klorotalasik	700 - 420
Klorürce Zengin	420 - 140
Orta Klorürlü	140 - 40
Oligoklorürlü	40 - 15
Olağan Klorürlü	< 15

Tablo 5.12 Schoeller’e göre suların sülfat derişimine göre su sınıflama tablosu

Su Sınıflaması	Sudaki Sülfat (SO ₄ ²⁻) Miktarı
	mek/l
Hiposülfatlı	> 58
Sülfatlı	58 - 24
Oligosülfatlı	24 - 6
Olağan Sülfatlı	< 6

Tablo 5.13 Schoeller’e göre suların karbonat ve bikarbonat derişimlerine göre su sınıflama tablosu

Su Sınıflaması	Sudaki Karbonat ve Bikarbonat Miktarı
	(CO ₃ ⁼ + HCO ₃ ⁻)
	mek/l
Hiper Karbonatlı	> 7
Olağan Karbonatlı	7 - 2
Az Karbonatlı	< 2

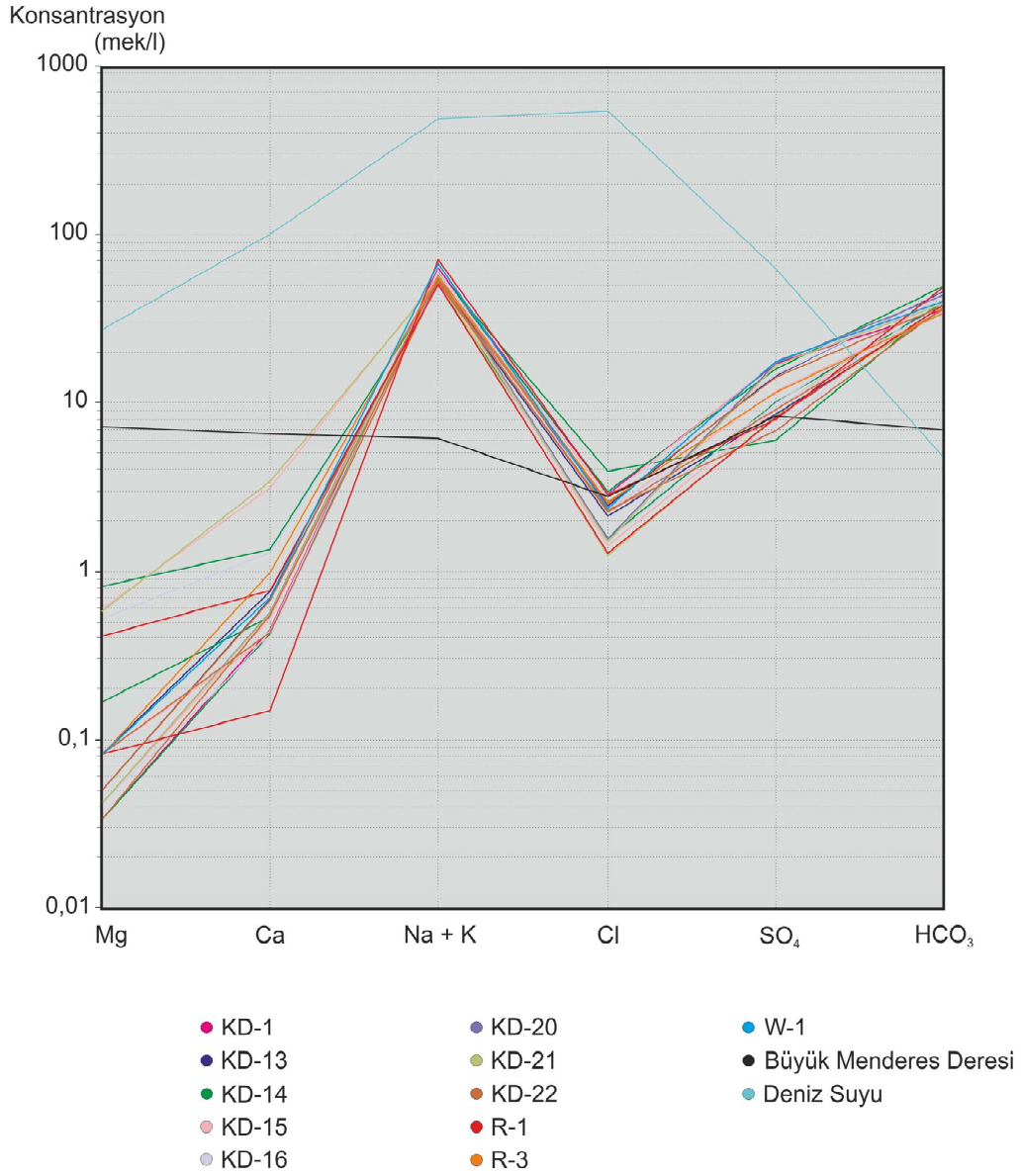
İnceleme alanından alınan soğuk ve sıcak su numunelerinin analizleri sonucu elde edilen verilerin bu sınıflamalarda kullanılan mek/l değerleri Tablo 5.4’te verilmişti. Bu değerleri kullanarak, numunelerin Schoeller’e göre sınıflandırmaları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 5.14).

Tablo 5.14 İnceleme alanından temin edilen sıcak su numunelerinin Schoeller'e göre su sınıflamaları

Örnekleme Yeri	Klorür Miktarına Göre Su Sınıflaması	Sülfat Miktarına Göre Su Sınıflaması	Karbonat ve Bikarbonat Miktarına Göre Su Sınıflaması
KD-1	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
KD-13	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
KD-14	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
KD-15	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
KD-16	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
KD-20	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
KD-21	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
KD-22	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
R-1	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
R-3	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
W-1 Atık	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Hiper Karbonatlı Sular
B. Menderes D.	Olağan Klorürlü Sular	Oligosülfatlı Sular	Olağan Karbonatlı Sular

Schoeller'e göre yapılan su sınıflamalarında, inceleme alanı olan Kızıldere jeotermal alanından alınan sıcak su numunelerinin hepsi klorür miktarına göre "olağan klorürlü sular", sülfat miktarına göre "oligosülfatlı sular", karbonat ve bikarbonat miktarına göre "hiper karbonatlı sular" sınıfına dahil olduğu tespit edilmiştir. Büyük Menderes deresine ait soğuk su numunesi ise klorür miktarına göre "olağan klorürlü sular", sülfat miktarına göre "oligosülfatlı sular", karbonat ve bikarbonat miktarına göre "olağan karbonatlı sular" sınıfında olduğu görülmüştür.

İnceleme alanından alınan sıcak su numuneleri üzerinde yapılan analizlerin sonuçları, aşağıdaki Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram üzerine düşürülmüştür (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin analizlerinin Schoeller Yarı Logaritmik Diyagram üzerindeki izdüşümleri

Schoeller üzerine düşürülen Kızıldere jeotermal alanına ait sıcak su numunelerinin pikler yaklaşık olarak birbirine benzemektedir. Taşıdıkları iyon bakımından yaklaşık aynı olan bu sıcak suların, benzer rezervuar kayalara sahip olduğu söylenebilir (Şekil 5.6).

Schoeller diyagramı üzerindeki Büyük Menderes deresine ait olan soğuk su numunesine göre, soğuk suların taşıdığı iyon miktarları birbirine benzer seviyede

olmasından ötürü bu numunenin bir karışım suyu olduğu sonucuna varılmıştır. Klorür ve sülfat iyonları bakımından sıcak su numuneleri ile benzer özellik göstermesinin sebebi olarak, Kızıldere jeotermal alanında reenjeksiyon işlemi basılamayan ve üretim artığı olarak kalan jeotermal akışkanların Büyük Menderes deresine aktarılması gösterilebilir.

5.7 İzotop Analizi

Jeotermal akışkanlar üzerinde yapılan izotop analizleri, sıcak suların dahil olduğu jeotermal sistemlerin hidrojeolojik özelliklerini belirlemek amacı ile kullanılır. Analizlerde kullanılan izotoplar; oksijen-18 (^{18}O), döteryum ($^2\text{H}=\text{D}$) ve trityum ($^3\text{H}=\text{T}$) izotoplarıdır. Duraylı olan ^{18}O ve D izotopları, jeotermal akışkanların kökenlerini belirlemede ve beslenme alanlarını tespit etmekte kullanılabilir. T izotopları ise, suların yaşlarını tayin etmek konusunda kullanılmaktadır.

Yeraltı sularındaki izotop miktarlarının en büyük kaynağı olan okyanuslarda, kararlı izotop konsantrasyonları sabittir ve diğer su tipleri üzerinde uygulanan izotop analizleri, δ değerleri sıfır olarak kabul edilmiş olan okyanus suları, yani SMOW (Standard Mean Ocean Water)'a göre incelenmektedir.

Trityum atomları, doğada 1.10^{-15} oranında bulunmaktadır. Su içerisindeki trityum konsantrasyonu, her 10^{18} sayıdaki hidrojen atomuna karşılık gelen bir trityum atomunun bulunması "1 trityum birimi" olarak tanımlanır ve "TU" olarak gösterilir. T atomunun radyoaktif olmasından ötürü miktarındaki zamansal değişme kullanılarak yeraltındaki suların bağıl yaşı hesaplanabilir (Çifter ve Sayın, 2002).

İzotop analizlerinde elde edilen trityum miktarları, trityum izotopunun yarılanma zamanı kullanılarak suların yaşını belirlemede kullanılmaktadır. 0 TU - 0,5 TU miktardaki trityum içeriğine sahip olan sular çok yaşlı (50 yıldan daha yaşlı), 0,5 TU - 1,5 TU miktarda trityum saptanan sular orta yaşlı (10-50 yıl), 1,5 TU - 6 TU miktarda trityum taşıyan sular ise güncel yağış suyu ile yaşlı su karışımı (5-10 yıl) olarak yorumlanabilmektedir (Yıldız ve diğer., 2008).

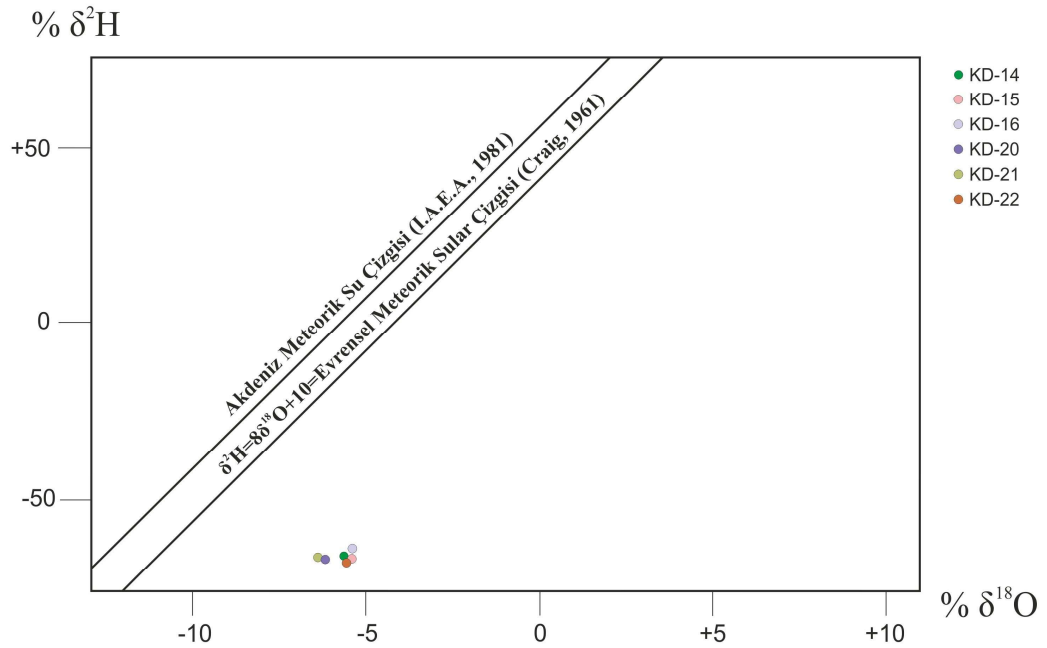
İnceleme alanından elde edilen bazı sıcak su numuneleri üzerinde izotop analizleri yapılmış ve bulunan sonuçlar tablo halinde sunulmuştur ve yorumlanmıştır. (Tablo 5.15).

Tablo 5.15 İnceleme alanından alınan bazı sıcak su numunelerinde yapılmış izotop analizi sonuçları

Örnekleme Yeri	T (°C)	$\delta^2\text{H}$ ‰SMOW	St. Sapma	$\delta_{18}\text{O}$ ‰SMOW	St. Sapma	T (TU)	TU hata
KD-14	64,7	-56,94	0,06	-5,68	0,02	0,31	0,26
KD-15	68,2	-57,26	0,59	-5,47	0,3	1,06	0,28
KD-16	73,6	-55,96	0,07	-5,42	0,1	1,1	0,28
KD-20	54,8	-57,37	0,26	-6,23	0,1	0,7	0,27
KD-21	70	-57,07	0,41	-6,48	0,2	0,74	0,28
KD-22	77	-57,68	0,15	-5,61	0,1	0,12	0,25

Kızıldere jeotermal alanından alınan sıcak su numuneleri üzerinde yapılan izotop analizlerinde, saptanan T değerleri kullanılarak bölgedeki sıcak suların dolaşımının 50 yıldan daha yaşlı olduğu, 0,5 TU değerinin üzerinde çıkan T değerlerinin de, sıcak suların güncel yağış suları ile karışımından kaynaklandığı söylenebilir.

İzotop analizlerinde saptanan ^{18}O ve D izotopları, üzerinde önceden hesaplanmış "Akdeniz Meteorik Su Çizgisi" (International Atomic Energy Agency [I.A.E.A.], 1981) ve "Evrensel Meteorik Su Çizgisi" (Craig, 1961) verileri bulunan " ^{18}O - D diyagramı" üzerinde yerleştirilerek, jeotermal akışkanların bulunduğu derin dolaşımli jeotermal sistemlerin hidrojeolojik özellikleri saptanabilmektedir. Kızıldere jeotermal alanı içerisindeki bazı kuyulardan alınmış sıcak su numunelerinin bir kısmı üzerinde, Tablo 5.15 üzerinde verilen ^{18}O - D verileri kullanılarak izotop analizleri yapılmış ve bu sonuçlar diyagram üzerinde gösterilmiştir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 İnceleme alanından alınan bazı sıcak su numunelerinin izotop analizi sonuçlarının diyagram üzerinde gösterimi

Derin dolaşımly yeraltı suyu sistemlerinde, rezervuar kayaçların bünyesindeki mineraller, yeraltı suları ile etkileşir. Bu etkileşim esnasında, D miktarı sabit kalırken, rezervuar kayaçlardaki minerallerde bulunan ve yeraltı sularında oksijen nedeni ile ^{18}O izotopunda artış gözlenir. Bu durum, rezervuar kayaç ile yeraltı suyunun kimyasal etkileşimde olduğunu göstermektedir. KD-14, KD-15, KD-16, KD-20, KD-21 ve KD-22 kuyularından alınan numunelerin izotop analizleri diyagram üzerine düşürüldüğünde elde edilen sonuca göre; bölgede sıcak sular ile kayaçların etkileşimde olduğu, bu nedenle suların oksijence zenginleştiği söylenebilir.

5.8 İnceleme Alanında Bulunan Sıcak Sularının Doygunluk İndeksleri

Kızıldere jeotermal alanı içerisindeki kuyulardan alınan sıcak su numunelerinin analizleri sonucunda elde edilen veriler ışığında, aynı kuyulardan farklı zamanlarda alınan numuneler de dahil olmak üzere her numune üzerinde, önemli mineral ve

mineral grupları baz alınarak doygunluk hesaplamaları yapılmış ve bu sonuçlar bu başlık altında tablolar halinde sunulmuştur.

5.8.1 İyon Etkinliği ve İyonlaşma Gücü Kavramları

İyon etkinliği, üzerinde hesaplama yapılan numunenin ihtiva ettiği iyonların tepkime anındaki hareketlerinin miktarını belirtir. Numune üzerinde laboratuvar ortamında yapılan analiz sonuçlarında elde edilen değerler, hesaplanan iyon veya bileşiğin gerçek görünümünü göstermemektedir. “mg/l”, “Molarite” ve diğer ölçü birimleri ile yapılan analiz derişim birimleri, yalnızca iyonun görünür (zahiri) derişimini vermektedir. İyon etkinliği ise, numune içerisindeki iyonların gerçek derişimini göstermektedir. Diğer bir deyişle iyon etkinliği, numune içerisindeki iyonların analiz sonuçlarındaki değerlerini, gerçek derişimlerine dönüştürme yoludur (Tarcan, 2004).

İyon etkinliği her bir iyon için hesaplanabilir. İyonlaşma gücü ise bütün numuneyi kapsayan tuzlulukla ilişkili termodinamik bir terimdir. Yüksek iyon etkinliği olan iyonlara sahip bir numunenin iyonlaşma gücü yüksektir denilebilir.

Seyreltik suların iyonlaşma gücü düşük, derişik sularınsa iyonlaşma güçleri yüksek değerlerdedir. Örnek olarak; deniz sularının iyonlaşma gücü 0,7 mol civarında iken, seyreltik tatlı suların (göl, akarsu ve yeraltı suları gibi) iyonlaşma güçleri 0,003 – 0,01 mol aralığında değerlerler gösterebilmektedir (Tarcan, 2004).

5.8.2 İyon Etkinliği, İyonlaşma Gücü ve İyon Etkinlik Katsayısı Hesabı

Bir iyonun etkinliği, aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanır (Tarcan, 2004).

$$a_i = M_i \times \gamma_i \quad (5.4)$$

a_i : İyon Etkinliği

γ_i : İyon Etkinlik Katsayısı

M_i : İyonun Molarite Cinsinden Değeri

İyonlaşma gücü “I” harfi ile gösterilir ve aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır (Tarcan, 2004).

$$I = \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2 \quad (5.5)$$

I: İyonlaşma Gücü

C_i: İyonun Molarite Olarak Derişimi

Z_i: İyonun Değerliğı

Numune içerisindeki major bileşenlerin analiz verileri dikkate alındığında, major bileşenlerin molarite değerleri kullanılarak iyonlaşma gücü aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir (Tarcan, 2004).

$$I = \frac{1}{2} [(Na.1^2) + (K.1^2) + (Ca.2^2) + (Mg.2^2) + (HCO_3.1^2) + (Cl.1^2) + (SO_4.2^2) + (CO_3.2^2)] \quad (5.6)$$

İyon etkinlik katsayısı hesaplanmasında, numune için hesaplanan iyonlaşma gücü değeri kullanılır. Bu değerin büyüklüğüne göre iyon etkinlik katsayısının hesaplanması amacı ile kullanılan iki bağıntı mevcuttur (Tarcan, 2004).

(1) Davies Bağıntısı ($I > \frac{1}{2}$):

$$\log \gamma_i = -A \cdot Z_i^2 \left[\left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} \right) - 0,2 \cdot I \right]$$

(2) Debye-Hückel Bağıntısı ($I < \frac{1}{2}$):

$$\log \gamma_i = -A \cdot Z_i^2 \frac{\sqrt{I}}{1 + B \cdot r_0 \cdot \sqrt{I}}$$

Debye-Hückel bağıntısı içerisinde kullanılan r_0 değeri, hidratlaşma yarıçapıdır. K^+ ve Cl^- iyonları için 3, Na^+ , HCO_3^- ve $SO_4^{=}$ iyonları için 4, Ca^{++} iyonu için 6, Mg^{++} iyonu için 8, $CO_3^{=}$ iyonu için ise 4,5 alınmalıdır (Tarcan, 2004).

İyon etkinlik katsayısı hesaplaması için kullanılan bağıntılardaki A ve B değerleri, tablo halinde sunulmuştur (Tablo 5.16).

Tablo 5.16 İyon etkinlik katsayısı hesaplanmasında kullanılan bağıntılardaki A ve B değerleri (Helgeson, Kirkham ve Flower, 1981).

t °C	A	B
0	0,4913	0,3247
10	0,4976	0,3261
20	0,5050	0,3276
30	0,5135	0,3291
40	0,5231	0,3307
50	0,5336	0,3325
60	0,5450	0,3343
70	0,5573	0,3362
80	0,5706	0,3381
90	0,5848	0,3401
100	0,5998	0,3422
110	0,6158	0,3443
120	0,6328	0,3465
130	0,6507	0,3487
140	0,6697	0,3510
150	0,6898	0,3533
160	0,7111	0,3556
170	0,7336	0,3580
180	0,7575	0,3605
190	0,7829	0,3629
200	0,8099	0,3655
210	0,8387	0,3681
220	0,8697	0,3707
230	0,9030	0,3734
240	0,9391	0,3762
250	0,9785	0,3792
260	1,0218	0,3822
270	1,0699	0,3855
280	1,1238	0,3889
290	1,1850	0,3926

5.8.3 Doygunluk İndeksi Hesaplaması

Analiz sonuçları yapılmış numunelerin mineral doygunlukları, numune içerisinde ihtiva eden iyonların v minerallerin Gibbs serbest enerjileri (ΔG^0) ile iyon etkinliklerinin bilinmesi ile alakalıdır. Numune içerisindeki bir kimyasal tepkimenin Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0) ile tepkimedeki iyon ve bileşiklerin derişimleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi genel bir denklemlle yazılabilir (Tarcan, 2004).

$$\Delta G^0 = -R.T.\ln K \quad (5.7)$$

ΔG^0 : Gibbs Serbest Enerjisi

R: Gazların Sabiti (0,001987 kcal/mol)

T: Sıcaklık Derecesi (Kelvin)

K: Tepkimenin Denge Sabiti

Standart koşullarda gerçekleşen herhangi bir kimyasal tepkime;



biçiminde yazılabilir. Denge sabiti ile tepkime bileşenlerinin derişimleri arasındaki ilişki; tepkimeye giren bileşenlerin iyon etkinlikleri ile tepkimeden çıkan bileşenlerin iyon etkinlikleri dikkate alındığında aşağıdaki biçimde gösterilebilir (Tarcn, 2004).

$$K = \frac{((a_Y)Y)^y ((a_Z)Z)^z}{((a_B)B)^b ((a_C)C)^c} \quad (5.9)$$

K: Tepkime Denge Sabiti

a: İyon Etkinliği

Yukarıda Gibbs serbest enerjisi bağıntısı üzerinde ile tepkime denge sabiti bağıntısı yerleştirilir ve formül ondalık logaritmaya çevrildiğinde aşağıdaki bağıntı elde edilir (Tarcn, 2004).

$$\log \left[\frac{((a_Y)Y)^y ((a_Z)Z)^z}{((a_B)B)^b ((a_C)C)^c} \right] = \frac{-\Delta G^0}{1,3641} \quad (5.10)$$

Elde edilen denklemde, tepkimeye giren ve tepkimeden çıkan bileşenlerin dengede olduğu müddetçe eşitliğin her iki yanının değerleri aynıdır. Denge durumunun değişmesi durumunda ise eşitlik bozularak, değeri yüksek olan taraf yönünde değişecektir. Bu yönün tahmin edilmesi, mineral doygunluğu hesaplamalarının temelini oluşturur (Tarcn, 2004).

Bu hesaplamalardan yola çıkılarak doygunluk indeksi (SI) kavramı geliştirilmiştir. Aşağıda bağıntısı mevcuttur (Tarcn, 2004).

$$SI = \frac{\log\left[\frac{((a_Y)Y)^y ((a_Z)Z)^z}{((a_B)B)^b ((a_C)C)^c}\right]}{\frac{-\Delta G^0}{1,3641}} = \log\left(\frac{Q}{K}\right) \quad (5.11)$$

SI: Doygunluk İndeksi

Q: Tepkime Oranı

Tepkimedeki mineraller katı faz durumunda ise bütün katıların iyon etkinlikleri “1” olarak kabul edildiğinden denge sabiti;

$$K = ((a_Y)Y)^y ((a_Z)Z)^z \quad (5.12)$$

olarak yazılacağından SI bağıntısı aşağıdaki şekilde düzenlenir (Tarcan, 2004).

$$SI = \frac{\log\left[\frac{((a_Y)Y)^y ((a_Z)Z)^z}{IAP}\right]}{\frac{-\Delta G^0}{1,3641}} = \log\left(\frac{IAP}{K}\right) \quad (5.13)$$

IAP: Tepkimeden Çıkan Bileşenlerin İyon Etkinlikleri Toplamı

Tepkimedeki her bir bileşen için doymuluk indeksi değeri hesaplanır. Elde edilen değerler, aşağıdaki gibi yorumlanır.

SI < 0 : Numune ilgili mineral bakımından doymun değildir.

SI = 0 : Numune ilgili mineral bakımından doymundur.

SI > 0 : Numune ilgili mineral bakımından aşırı doymundur.

5.8.4 İnceleme Alanındaki Sıcak Sularının Doymuluk İndeksleri Değerleri

İnceleme alanı olan Kızıldere jeotermal alanı içerisinde bulunan kuyulardan temin edilen, aynı kuyulardan farklı zamanlarda alınan jeotermal akışkan numuneleri de dahil olmak üzere, bütün numuneler üzerinde çeşitli mineraller baz alınarak doymuluk indeksi değeri hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar ve ölçülebilen minerallerin doymuluk durumları tablolar halinde sunulmuştur (Tablo 5.17-Tablo 5.21).

Tablo 5.17 KD-1, KD-13 ve KD-14 kuyularına ait sıcak sularda saptanan minerallerin doygunlukları

		MINERALLER	log K	log Q	SI	AÇIKLAMALAR
KD-1		Anhidrit	-7,260	-8,261	-1,001	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,598	-13,344	-1,746	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,202	-2,476	-0,274	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,342	-2,476	-0,134	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,329	0,927	-7,402	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,438	-2,029	-12,467	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	17,135	2,923	-14,212	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,794	-2,476	-0,682	Bu mineral doygun değildir.
KD-13	Numune 1	Anhidrit	-7,138	-8,057	-0,919	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,431	-12,669	-1,238	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,237	-2,515	-0,278	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,382	-2,515	-0,133	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,466	1,773	-6,693	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,721	0,543	-10,178	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	17,488	5,573	-11,915	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,817	-2,515	-0,698	Bu mineral doygun değildir.
	Numune 2	Anhidrit	-7,086	-8,191	-1,105	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,360	-13,110	-1,750	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,252	-2,259	-0,007	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,400	2,529	4,929	Bu mineral aşırı doygunudur.
		Vollastonit	8,526	0,825	-7,701	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,845	-1,586	-12,431	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	17,642	3,473	-14,169	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,827	-2,529	-0,702	Bu mineral doygun değildir.
KD-14	Numune 1	Anhidrit	-7,348	-8,711	-1,363	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,718	-13,830	-2,112	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,178	-2,492	-0,314	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,314	-2,492	-0,178	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,233	-0,063	-8,296	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,240	-4,276	-14,516	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	16,889	0,708	-16,181	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,778	-2,492	-0,714	Bu mineral doygun değildir.
	Numune 2	Anhidrit	-7,348	-8,770	-1,422	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,718	-13,459	-1,741	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,178	-2,491	-0,313	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,134	-2,491	-0,357	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,233	0,704	-7,529	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,240	-0,044	-10,284	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	16,889	4,937	-11,952	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,778	-2,491	-0,713	Bu mineral doygun değildir.
	Numune 3	Anhidrit	-7,348	-8,090	-0,742	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,718	-12,941	-1,223	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,178	2,554	4,732	Bu mineral aşırı doygunudur.
		Kuvars	-2,314	-2,554	-0,240	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,233	1,277	-6,956	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,240	2,176	-8,064	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	16,889	7,284	-9,605	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,778	-2,554	-0,776	Bu mineral doygun değildir.

Tablo 5.18 KD-15 kuyusuna ait sıcak sularda saptanan minerallerin doygunlukları

		MINERALLER	log K	log Q	SI	AÇIKLAMALAR
KD-15	Numune 1	Anhidrit	-7,348	8,210	15,558	<i>Bu mineral aşırı doygunudur.</i>
		Kalsit	-11,718	-13,030	-1,312	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Kalsedon	-2,178	-2,480	-0,302	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Kuvars	-2,314	-2,480	-0,166	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Vollastonit	8,233	1,603	-6,630	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Talk	10,240	0,103	-10,137	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Krizotil	16,889	5,064	-11,825	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Silis (Amorf)	-1,778	-2,480	-0,702	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
	Numune 2	Anhidrit	-7,348	-8,523	-1,175	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Kalsit	-11,718	-13,495	-1,777	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Kalsedon	-2,178	-2,469	-0,291	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Kuvars	-2,314	-2,469	-0,155	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Vollastonit	8,233	0,826	-7,407	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Talk	10,240	-0,675	-10,915	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Krizotil	16,889	4,263	-12,626	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Silis (Amorf)	-1,778	-2,469	-0,691	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
	Numune 3	Anhidrit	-7,348	-7,752	-0,404	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Kalsit	-11,718	-12,329	-0,611	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Kalsedon	-2,178	-2,485	-0,307	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Kuvars	-2,314	-2,485	-0,171	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Vollastonit	8,233	2,173	-6,060	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Talk	10,240	3,498	-6,742	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Krizotil	16,889	8,468	-8,421	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>
		Silis (Amorf)	-1,778	-2,485	-0,707	<i>Bu mineral doygun değildir.</i>

Tablo 5.19 KD-16 kuyusuna ait sıcak sularda saptanan minerallerin doygunlukları

		MINERALLER	log K	log Q	SI	AÇIKLAMALAR
KD-16	Numune 1	Anhidrit	-7,330	-8,298	-0,968	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,694	-13,094	-1,400	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,183	-2,486	-0,303	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,320	-2,486	-0,166	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,252	1,349	-6,903	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,279	-0,799	-11,078	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	16,938	4,174	-12,764	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,781	-2,486	-0,705	Bu mineral doygun değildir.
	Numune 2	Anhidrit	-7,330	-8,603	-1,273	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,694	-13,469	-1,775	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,183	-2,465	-0,282	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,320	-2,465	-0,145	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,252	0,774	-7,478	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,279	-0,775	-11,054	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	16,938	4,156	-12,782	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,781	-2,465	-0,684	Bu mineral doygun değildir.
	Numune 3	Anhidrit	-7,330	-8,840	-1,510	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,694	-13,562	-1,868	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,183	-2,465	-0,282	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,320	-2,465	-0,145	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,252	0,555	-7,697	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,279	-1,948	-12,227	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	16,938	2,982	-13,956	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,781	-2,465	-0,684	Bu mineral doygun değildir.
	Numune 4	Anhidrit	-7,330	-8,150	-0,820	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,694	-12,957	-1,263	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,183	-2,497	-0,314	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,320	-2,497	-0,177	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,252	1,246	-7,006	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,279	1,714	-8,565	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	16,938	6,707	-10,231	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,781	-2,497	-0,716	Bu mineral doygun değildir.

Tablo 5.20 KD-20, KD-21 ve KD-22 kuyularına ait sıcak sularda saptanan minerallerin doygunlukları

		MINERALLER	log K	log Q	SI	AÇIKLAMALAR
KD-20		Anhidrit	-7,277	-8,145	-0,868	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,622	-12,944	-1,322	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,197	-2,534	-0,337	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,336	-2,534	-0,198	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,309	1,540	-6,769	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,398	-0,258	-10,656	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	17,086	4,810	-12,276	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,791	-2,534	-0,743	Bu mineral doygun değildir.
KD-21	Numune 1	Anhidrit	-7,295	-8,165	-0,870	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,646	-12,982	-1,336	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,193	-2,497	-0,304	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,331	-2,497	-0,166	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,290	1,607	-6,683	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,358	0,017	-10,341	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	17,037	5,012	-12,025	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,788	-2,497	-0,709	Bu mineral doygun değildir.
	Numune 2	Anhidrit	-7,295	-7,695	-0,400	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,646	-12,520	-0,874	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,193	-2,505	-0,312	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,331	-2,505	-0,174	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,290	1,713	-6,577	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,358	1,875	-8,483	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	17,037	6,885	-10,152	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,788	-2,505	-0,717	Bu mineral doygun değildir.
KD-22	Numune 1	Anhidrit	-7,277	-8,176	-0,899	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,622	-13,201	-1,579	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,197	-2,470	-0,273	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,336	-2,470	-0,134	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,309	1,080	-7,229	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,398	-1,382	-11,780	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	17,086	3,558	-13,528	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,791	-2,470	-0,679	Bu mineral doygun değildir.
	Numune 2	Anhidrit	-7,277	-9,161	-1,884	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,622	-14,405	-2,783	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,197	-2,507	-0,310	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,336	-2,507	-0,171	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,309	-1,239	-9,548	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,398	-6,604	-17,002	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	17,086	-1,591	-18,677	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,791	-2,507	-0,716	Bu mineral doygun değildir.
	Numune 3	Anhidrit	-7,277	-8,545	-1,268	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-11,622	-13,206	-1,584	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,167	-2,512	-0,345	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,336	-2,512	-0,176	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	8,309	1,090	-7,219	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	10,398	-1,265	-11,663	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	17,086	3,759	-13,327	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,791	-2,512	-0,721	Bu mineral doygun değildir.

Tablo 5.21 R-1, R-3 kuyularına ve W-1 atık su kanalına ait sıcak sularda saptanan minerallerin doygunlukları

		MINERALLER	log K	log Q	SI	AÇIKLAMALAR
R-1	Numune 1	Anhidrit	-7,959	-9,857	-1,898	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-12,565	-14,514	-1,949	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,027	-2,325	-0,298	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,146	-2,325	-0,179	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	7,619	0,267	-7,352	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	8,964	0,141	-8,823	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	15,313	4,792	-10,521	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,678	-2,325	-0,647	Bu mineral doygun değildir.
	Numune 2	Anhidrit	-7,959	-9,003	-1,044	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-12,565	-13,776	-1,211	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,027	-2,578	-0,551	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,146	-2,578	-0,432	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	7,619	0,854	-6,765	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	8,964	1,459	-7,505	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	15,313	6,616	-8,697	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,678	-2,578	-0,900	Bu mineral doygun değildir.
R-3		Anhidrit	-7,941	-8,924	-0,983	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-12,540	-13,993	-1,453	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-2,031	-2,607	-0,576	Bu mineral doygun değildir.
		Kuvars	-2,151	-2,607	-0,456	Bu mineral doygun değildir.
		Vollastonit	7,636	0,316	-7,320	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	9,000	-2,621	-11,621	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	15,357	2,594	-12,763	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-1,681	-2,607	-0,926	Bu mineral doygun değildir.
W-1		Anhidrit	-4,911	-6,562	-1,651	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsit	-8,666	-10,490	-1,824	Bu mineral doygun değildir.
		Kalsedon	-3,351	-2,347	1,004	Bu mineral aşırı doygundur.
		Kuvars	-3,691	-2,347	1,344	Bu mineral aşırı doygundur.
		Vollastonit	12,812	4,174	-8,638	Bu mineral doygun değildir.
		Talk	19,760	7,408	-12,352	Bu mineral doygun değildir.
		Krizotil	29,060	12,103	-16,957	Bu mineral doygun değildir.
		Silis (Amorf)	-2,556	-2,347	0,209	Bu mineral aşırı doygundur.

Watch-2005 programı kullanılarak yapılan mineral doygunluk hesaplamalarında, sıcak su numunelerinde anhidrit, kalsit, kalsedon, kuvars, vollastonit, talk, krizotil ve amorf silis mineralleri saptanmıştır. KD-13, KD-14 ve KD-15 kuyularına ait birer numunede birer mineral (KD-13'ün numunesinde kuvars, KD-14'ün numunesinde kalsedon, KD-15'in numunesinde anhidrit) ve W-1 atık kanalından alınan sıcak su numunesinde 3 mineralin (kalsedon, kuvars ve amorf silis) aşırı doygun olduğu tespit edilmiştir. Aynı numunelerdeki diğer mineraller ile bahsedilmeyen numunelerdeki bütün mineraller, doygunluk altı değerler sunmuştur.

5.9 Jeotermometre Türleri ve Hesaplamaları

Jeotermometrelerin genel amacı, jeotermal alanda tespit edilen jeotermal akışkanın bulunduğu akiferin sıcaklığını belirlemektir (Tarcan, 2004).

Jeotermal alanlardan yüzeye ulaşan sıcak suların, sıcaklığına bağlı olarak çeşitli kullanım alanları mevcuttur. Ancak maalesef jeotermal akışkanlar, hazne sıcaklıkları ile yüzeye ulaşmamaktadır. Doğal olarak yüzeye ulaşan sıcak sular, yüzeye ilerlerken yer yer bulunan yeraltı suları ile farklı oranlarda karışarak ve yüzeye yaklaşımları nedeni ile etkilendikleri atmosfer basıncı nedeni ile önemli oranda ısı ve basınç kaybı meydana gelebilmektedir. Bu nedenle yüzeye ulaşan sıcak suyun derinlerdeki hazne kayadaki sıcaklığı şüphesiz çok daha yüksektir.

Jeotermal alanlardaki hazne kayalara ulaşabilmek amacı ile yapılan sondajlar oldukça maliyetli ve çok zaman tüketen faaliyetler olduğundan, öncelikle ulaşılmak istenen jeotermal akışkanın haznesi üzerinde fizibilite çalışmaları yapılarak, hangi sıcaklıklar ile karşılaşılacağı önceden tahmin edilmekte, böylelikle yapılacak çalışma bu yönde ilerleyebilmektedir. Jeotermal akışkanın haznesi üzerinde yapılan bu çalışmalarının en önemlilerinden biri, hazne sıcaklığını tahmin esasına dayanan işte bu jeotermometre çalışmalarıdır.

Hazne kayacık ile ilgili gerçek verilere ancak sondaj hazne kayaca ulaştığında, kuyu incelemesi yapılarak elde edilir. Ama sondaj işlemi hem yüksek maliyetli hem de çok zaman alan bir işlem olması nedeni ile bilimsel çalışmaların olumlu sonuç verdiği noktalarda sondaj düşünülmeli, bu çalışmaların verdiği sonuçların değerlendirilmesi ile düşük maliyetle yüksek verim sağlanması amaçlanmalıdır.

5.9.1 Kimyasal Jeotermometreler

Kimyasal jeotermometreler, diğer jeotermometre yöntemlerine göre daha ucuz ve daha kısa sürede yapılabilir. Bu sebeple, kimyasal jeotermometreler jeotermal alanlardaki yapılan çalışmalarda rahatlıkla kullanılabilir.

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

5.9.1.1 Niteliksel (Kalitatif) Jeotermometreler

Niteliksel (kalitatif) jeotermometrelerin büyük bir kısmı uçucu bileşenlerin sıcak sulardaki ve zemindeki göreceli miktarlarına, dağılımlarına veya zemin gazlarındaki oranlarına dayanır. Sıcak akışkanlarda bulunan bazı element ve bileşiklerinin oranlarının sıcaklık hakkında verdikleri göreceli bilgiler bu başlık altında sunulmuştur (Tarcan, 2004).

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 asitli sular 100 °C civarında kayalarındaki silikat miktarlarını bozundurarak amorf silisçe çok zenginleşebilir. 140 °C nin üzerinde, genellikle kuvars ve kalsedon çökelişi gerçekleşir. Opal ve kristobalit örtü kayalar oluşturmuş ise düşük sıcaklığı gösterir. Doğal gayzerlerin yüzeylerinde oluşmuş amorf silis ve kristalleşmiş silis çökelimleri, hazne kayalar sıcaklığının 180 °C veya daha fazla olabileceğini işaret eder (Tarcan, 2004).

Cl: Akifer sıcaklıklarının 150 °C nin üzerindeki, kökeni deniz suyu olan sular dışındaki sulara, genellikle 150 mg/l miktarından fazla klorür gözlenebilir. Ender olarak 200 °C nin üzeri gibi yüksek sıcaklıklardaki klorür miktarı 40 mg/l miktarının altındadır. Klorür, sıcak su sistemleri ile buhar sistemlerini ayıran en önemli bileşendir. Klorür tuzlarının birçoğu sıcak sulara çözünür ve jeotermal sistemlerde bolca bulunur. 400 °C nin üzerindeki klorür tuzlarının uçuculuğu önemsiz miktardadır. Bu nedenle, düşük basınçlı buhar sistemlerinde klorür miktarı düşüktür. 50 mg/l miktarının üzerinde klorür izlenirse sıcak su sistemini işaret eder (Şahinci, 1991b).

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

Na/K Oranı: Bu oranın yüksekliği, genel olarak akifer sıcaklığının da yüksek olabileceğini belirtir. Özellikle oranın 8/1 ile 20/1 aralığında olması anlamlıdır. Bu oran ile hesaplanan akifer sıcaklığı, sıcak suyun geldiği başlangıç derinlik sıcaklığını veya yatay uzaklığın sıcaklığını belirler. Yüzeyden elde edilen sıcak su üzerinde yapılan analizler sonucunda elde edilen silis jeotermometresi ile hesaplanan akifer sıcaklık değeri, Na/K ile bulunandan küçük ise, akışkanın hazne kayaçtan yüzeye gelişi esnasında soğuk sular ile karışmış olabileceği yorumu yapılabilir (Tarcan, 2004).

Traverten Çökelleri: Akifer sıcaklığının düşük olduğuna (yaklaşık 100 °C) işaret eder. Ancak ender olarak bikarbonatlı sular yeraltında soğuduktan sonra kireçtaşları içerisinden geçmiş ise, hazne kayaç sıcaklıklarının yüksek olabileceği vurgulanır (Tarcan, 2004).

Cl/(HCO₃ + CO₃): Bu oranın yüksek olması, akifer sıcaklığının yüksek olabileceğini belirtir (Tarcan, 2004).

Mg ve Mg/Ca Oranı: Mg miktarı ve Mg/Ca oranı düşük ise, akifer sıcaklığının yüksek olabileceğini gösterir (Tarcan, 2004).

Cl/SO₄ Oranı: Bu oranın yüksek olması durumunda, akifer sıcaklığının da yüksek olabileceği göz önüne alınmalıdır (Tarcan, 2004).

Cl/F Oranı: Bu oran yüksek ise, akifer sıcaklığı da yüksek olabilir (Tarcan, 2004).

H₂/(Buhar Dışındaki Diğer Gazlar) Oranı: Bu oran yüksek ise, akifer sıcaklığı da yüksek olabilir. Sıcaklığın düşmesi sonucu hidrojen miktarı, diğer gazlara oranla düşer (Tarcan, 2004).

5.9.1.2 Niceliksel (Sayısal) Jeotermometreler

Sayısal jeotermometrelerin kullanılması esnasında bazı varsayımlar göz önünde bulundurulur. Bunlar (Tarcan, 2004):

- 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.
- Akiferden 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.

Yukarıda belirtilen varsayımların ilk 3 tanesi, ileride anlatılacak olan SiO_2 ve Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılır. Son iki varsayım ise tam olarak gerçeği yansıtmamaktadır, zira akiferden yüzeye doğru ilerleyen sıcak suyun soğuması ve/veya soğuk sular ile karışımı sonucunda kimyasal yapıları değişebilir (Tarcan, 2004).

Sayısal kimyasal jeotermometreler, çözünürlüğe, iyon derişimine ve iyon etkinliğine bağlı olmak üzere genel olarak üç kısmı ayrılır (Tarcan, 2004).

5.10 Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler

Çözünürlüğe bağlı jeotermometre olarak kuvarsa çözünürlüğüne bağlı jeotermometre geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometre aynı zamanda silis jeotermometreleri olarak da geçer.

5.10.1 Silis Jeotermometreleri

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, hazne sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmakta olup, 150 °C ile 225 °C sıcaklık aralığında iyi sonuç vermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda, sıcak suyun hazne kayaktan yüzeye doğru hareketi esnasında hızlı silis çökelimleri gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225 °C nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kayaç sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirkenki soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır (Tarcan, 2004).

Aşağıda bağıntısı mevcut olan silis jeotermometresindeki SiO₂ değeri mg/l olarak alınır.

$$t^{\circ}\text{C} = \left(\frac{1291,8}{5,117 - \log(\text{SiO}_2)} \right) - 273,15 \quad (\text{Tarcan, 2004}) \quad (5.14)$$

Tablo 5.22 İnceleme alanından elde edilen numunelerin kimyasal analiz verileri kullanılarak hesaplanan silis jeotermometresi değerleri

Örnekleme Yeri	Bilinen Kuyu Dibi Sıcaklıkları	Silis Jeotermometresi Sonuçları
	(°C)	(°C)
KD-1	203	216,4
KD-13	196 - 193	207,9
		204,5
KD-14	208	214,5
		214,8
		203,4
KD-15	208	216,6
		218,9
		215,9
KD-16	207	215,4
		219,5
		219,5
		213,6
KD-20	204	206,1
KD-21	205	212,9
		211,4
KD-22	204	217,8
		211,0
		210,1
		256,8
R-1	242	207,0
R-3	241	201,5
W-1 (Atık)	45	212,7

Çözünürlüğe bağlı jeotermometre olarak hesaplanmış silis jeotermometreleri hesaplama sonuçları Tablo 5.22'de sunulmuştur. Bilinen kuyu dibi sıcaklıkları verilen tablodaki değerler ile karşılaştırma yapıldığında genel olarak kullanılabilir sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. R-1 kuyusuna ait ikinci numunenin ve R-3 kuyusuna ait numunenin silis jeotermometre değerleri istisna oluşturmuş, bilinen kuyu dibi sıcaklıklarının altında değerler vermiştir. W-1 atık kanalına ait numunenin silis jeotermometresi sonucunda ise, atık kanalına gönderilen (farklı rezervuarlardan elde edilen) sıcak sulara ait genel bir rezervuar sıcaklığı tahmini verilmiştir.

5.10.2 İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler

İyon değişim denge sabitleri sıcaklığın etkisindedir. Suda iyon değişimine uğrayan birçok mineral bulunur ve bunlardan yararlanılarak birçok jeotermometre bağıntısı geliştirilmiştir (Tarcın, 2004).

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

Bu jeotermometreler, su içerisinde yüksek miktarda Ca^{++} iyonu bulunduğu takdirde sıcaklık hesaplamalarında yüksek değer verirler (Tarcan, 2004).

Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, su içerisinde karbonat çökelmelerinin oluşmaması, “ $\log(\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na})$ ” değerinin 0,5 değerinden düşük olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü ve 180 °C ile 350 °C sıcaklıktaki bir akiferden gelen sularda daha iyi sonuçlar vermektedir (Tarcan, 2004). İlgili bileşenler kullanılarak oluşturulan jeotermometre bağıntıları ile hesaplanan sıcaklık değerleri, ileride toplu halde sunulmuştur (Tablo 5.23).

İnceleme alanından alınan numunelerin analiz sonuçlarında Li elementine rastlanmaması nedeni ile, lityum ile ilgili herhangi bir jeotermometre hesabı teze eklenmemiştir.

5.11.2 Na-K-Ca ve Mg Düzeltmeli Na-K-Ca Jeotermometreleri

Analiz sonuçlarında, özellikle Ca/Na (mmol/l) oranının birden büyük olduğu durumlarda Na/K jeotermometre bağıntıları akifer sıcaklığı hesaplamalarında çok yüksek değerler vermektedir. Bu sorunu gidermek amacı ile aşağıdaki bağıntı oluşturulmuştur (Fournier ve Truesdell, 1973). Bağıntıda Na, K ve Ca değerleri mmol/l olarak alınır.

$$t^{\circ}\text{C} = \left(\frac{1647}{\log\left(\frac{\text{Na}}{\text{K}}\right) + \beta \cdot \log\left(\frac{\sqrt{\text{Ca}}}{\text{Na}}\right) + 2,24} \right) - 273,15 \quad (5.15)$$

$$\log\left(\frac{\sqrt{\text{Ca}}}{\text{Na}}\right) < 0 \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{1}{3}$$

$$\log\left(\frac{\sqrt{Ca}}{Na}\right) > 0 \quad \Rightarrow \quad \beta = \frac{4}{3}$$

“ $\beta = \frac{4}{3}$ ” değeri kullanılarak hesaplanan akifer sıcaklığı 100 °C den yüksek ise,

“ $\beta = \frac{1}{3}$ ” alınarak akifer sıcaklığı tekrar hesaplanabilir (Tarcın, 2004).

Tablo 5.23 İnceleme alanından elde edilen numunelerin kimyasal analiz verileri kullanılarak hesaplanan Na-K-Ca jeotermometresi değerleri

Örnekleme Yeri	Bilinen Kuyu Dibi Sıcaklıkları	Na-K-Ca Jeotermometresi Sonuçları
	(°C)	(°C)
KD-1	203	201,4
KD-13	196 - 193	197,6
		202,2
KD-14	208	205,2
		207,0
		164,8
KD-15	208	199,8
		204,1
		196,7
KD-16	207	202,4
		206,8
		206,7
		156,7
KD-20	204	199,3
KD-21	205	199,4
		199,1
KD-22	204	200,3
		203,6
		203,2
R-1	242	219,7
		195,7
R-3	241	181,2
W-1	45	200,5

İyon değişimine bağlı jeotermometre olarak hesaplanmış Na-K-Ca jeotermometre değerleri hesaplanmış ve Tablo 5.23'te sunulmuştur. Bilinen kuyu dibi sıcaklıkları verilen tablodaki değerler ile karşılaştırma yapıldığında genel olarak kullanılabilir sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. KD-14 kuyusuna ait üçüncü numunenin, R-1 kuyusuna ait her iki numunenin ve R-3 kuyusuna ait numunenin Na-K-Ca jeotermometre sonuçları istisna oluşturmuş, bilinen değerlerin çok altında sıcaklık

değerlerine ulaşılmıştır. Buradan çıkarılacak sonuç, R-1 ve R-3 gibi diğer kuyulara nazaran daha yüksek kuyu dibi sıcaklıkları bulunan jeotermal akışkanlar için bu jeotermometre hesaplamaları doğru sonuçlar vermemektedir. W-1 atık kanalına ait numunenin Na-K-Ca jeotermometresi sonucunda ise, atık kanalına gönderilen (farklı rezervuarlardan elde edilen) sıcak sulara ait genel bir rezervuar sıcaklığı tahmini verilmiştir.

Mg düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometresi hesaplamalarında, daha önce hesaplanmış olan Na-K-Ca jeotermometresi değerleri kullanılır. Önceden hesaplanan bu değerler üzerinde bazı koşullarda düzeltme yapılması uygun görülmüş ve bu düzeltme için bir düzeltme katsayısı ve yeni bağıntılar oluşturulmuştur (Fournier ve Potter, 1979).

$$R = \left(\frac{rMg}{rMg + rCa + rK} \right) \cdot 100 \quad (5.16)$$

R: Düzeltme Katsayısı

Bağıntıdaki iyonlar mek/l biriminde alınır. Şayet $R > 50$ ise, örnek alınan suyun oldukça soğuk bir ortamdan geldiği ve akifer sıcaklığının kaynakta ölçülen sıcaklığa yakın olduğu düşünülebilir. Bu durumda önceden hesaplanan Na-K-Ca jeotermometresi değeri olarak elde edilen yüksek hazne kayaç sıcaklıklarında bazı düzeltmeler yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. R değeri 5 ile 50 arasında ise ve akifer sıcaklığı $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ den yüksek ise aşağıda belirtilen bağıntılar kullanılarak düzeltme yapılması ve akifer sıcaklıklarından çıkarılması gereklidir. Akifer sıcaklığı $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ nin altında ise düzeltme yapılmaz (Tarcan, 2004).

$R > 5$ ise;

$$\begin{aligned} t^{\circ}\text{C} = & (10,66) - (4,741 \cdot R) + (325,87 \cdot (\log R)^2) \\ & - \left(\frac{1,032 \cdot 10^5 \cdot (\log R)^2}{T} \right) - \left(\frac{1,968 \cdot 10^7 \cdot (\log R)^2}{T^2} \right) \\ & + \left(\frac{1,605 \cdot 10^7 \cdot (\log R)^3}{T^2} \right) \end{aligned}$$

$0,5 < R < 5$ ise;

$$t^{\circ}\text{C} = (-1,03) + (59,971 \cdot (\log R)) + (145,05 \cdot (\log R)^2) \\ - \left(\frac{36711 \cdot (\log R)^2}{T} \right) - \left(\frac{1,67 \cdot 10^7 \cdot (\log R)}{T^2} \right)$$

$t^{\circ}\text{C}$: Düzeltmiş Hazne Kayaç Sıcaklık Miktarı

R: Düzeltme Katsayısı

T: Daha Önceden Hesaplanmış Olan Na-K-Ca Jeotermometre Değeri

İnceleme alanına ait analiz sonuçları kullanılarak Mg düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometresi hesaplanmış, fakat neticeler hazne sıcaklıklarının çok altında çıkması nedeni ile teze eklenmemiştir.

5.12 İyon Etkinliğine Bağlı Jeotermometreler

İyon etkinliğine bağlı jeotermometrelerde, sıcak akışkanların kimyasal analizlerinde bulunan iyon değerleri yerine bu iyonların iyon etkinlik değerleri kullanılır.

5.13 Jeotermometre Hesaplamaları

Jeotermometre hesaplamaları için kullanılan bağıntılar aşağıda mevcuttur (Şekil 5.24). Değiniilmemiş jeotermometre bağıntıları arasından, hesaplama sonrasında hazne sıcaklığının çok altında ve çok üstünde sonuç veren bağıntılar teze eklenmemiştir.

İnceleme alanından alınan jeotermal akışkanlar üzerinde yapılan analizlerde elde edilen veriler kullanılarak bazı jeotermometre hesaplamaları yapılmıştır (Tablo 5.25-Tablo 5.27).

Tablo 5.24 Jeotermometre hesaplamaları amacıyla kullanılan bağıntılar

NO	JEOTERMOMETRELER	SICAKLIK (°C)		Kullanılan Birim	KAYNAKÇA
1	SiO ₂ (Amorf Silis)	(731/(4,52-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Fournier, 1977
2	SiO ₂ (α Kristobalit)	(1000/(4,78-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Fournier, 1977
3	SiO ₂ (β Kristobalit)	(781/(4,51-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Fournier, 1977
4	SiO ₂ (Kalsedon)	(1032/(4,69-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Fournier, 1977
5	SiO ₂ (Kalsedon, İletken Soğuma)	(1112/(4,91-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Amorsson ve diğer., 1983
6	SiO ₂ (Kalsedon)	(1101/(0,11-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mmol/l	Amorsson ve diğer., 1983
7	SiO ₂ (Kuars)	(1309/(5,19-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Fournier, 1977
8	SiO ₂ (Kuars Buhar Kaybı)	(1522/(5,75-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Fournier, 1977
9	SiO ₂ (Kuars Buhar Kaybı)	(1264/(5,31-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Amorsson ve diğer., 1983
10	SiO ₂ (Kuars Buhar Kaybı)	(1021/(4,69-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Amorsson ve diğer., 1983
11	SiO ₂ (Kuars Buhar Kaybı)	(1164/(4,9-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Amorsson ve diğer., 1983
12	SiO ₂ (Kuars Buhar Kaybı)	(1468/(5,7-LOG(SiO ₂)))	-273,15	mg/l	Amorsson ve diğer., 1983
13	Na/K	(933/(0,933+LOG(Na/K)))	-273,15	mg/l	Amorsson ve diğer., 1983
14	Na/K	(1319/(1,699+LOG(Na/K)))	-273,15	mg/l	Amorsson ve diğer., 1983
15	Na/K	(777/(0,7+LOG(Na/K)))	-273,15	mg/l	Amorsson ve diğer., 1983
16	Na/K	(856/(0,857+LOG(Na/K)))	-273,15	mg/l	Truesdell, 1976
17	Na/K	(1217/(1,483+LOG(Na/K)))	-273,15	mg/l	Fournier, 1979b
18	Na/K	(1178/(1,47+LOG(Na/K)))	-273,15	mg/l	Nieva & Nieva, 1987
19	Na/K	(1390/(1,75+LOG(Na/K)))	-273,15	mg/l	Giggenbach ve diğer., 1983
20	Na/K	(833/(0,78+LOG(Na/K)))	-273,15	mg/l	Tonani, 1980
21	Na/K	(1180/(1,31+LOG(Na/K)))	-273,15	mg/l	Fournier & Potter, 1979
22	Na/K	(908/(0,692+LOG(Na/K)))	-273,15	mmol/l	Fournier, 1979a

Tablo 5.25 KD-1, KD-13, KD-14 ve KD-15 kuyularına ait sıcak su numuneleri üzerinde yapılan jeotermometre hesaplamaları

NO	JEOTERMOMETRELER	KD-1	KD-13		KD-14			KD-15		
			Numune 1	Numune 2	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 1	Numune 2	Numune 3
1	SiO ₂ (Amorf Silis)	84,9	76,9	73,7	83,1	83,3	72,7	85,1	87,2	84,4
2	SiO ₂ (α Kristobalit)	161,3	152,7	149,2	159,4	159,6	148,1	161,5	163,8	160,8
3	SiO ₂ (β Kristobalit)	111,3	102,6	99,2	109,4	109,6	98,1	111,5	113,8	110,7
4	SiO ₂ (Kalsedon)	193,5	183,8	180,0	191,3	191,6	178,7	193,7	196,3	192,9
5	SiO ₂ (Kalsedon, İletken Soğuma)	184,2	175,5	172,1	182,3	182,5	171,0	184,4	186,6	183,6
6	SiO ₂ (Kalsedon) (mmol)	183,6	174,9	171,4	181,7	181,9	170,3	183,8	186,1	183,1
7	SiO ₂ (Kuars)	209,6	201,4	198,1	207,8	208,0	197,1	209,8	211,9	209,1
8	SiO ₂ (Kuars Buhar Kaybı)	192,1	185,5	182,9	190,6	190,8	182,0	192,2	193,9	191,7
9	SiO ₂ (Kuars Buhar Kaybı)	173,2	166,0	163,1	171,6	171,8	162,1	173,4	175,3	172,8
10	SiO ₂ (Kuars Buhar Kaybı)	188,5	178,9	175,1	186,4	186,6	173,9	188,7	191,3	187,9
11	SiO ₂ (Kuars Buhar Kaybı)	207,5	198,4	194,8	205,5	205,7	193,6	207,7	210,1	207,0
12	SiO ₂ (Kuars Buhar Kaybı)	182,5	176,0	173,4	181,1	181,3	172,5	182,7	184,4	182,1
13	Na/K	210,2	203,5	211,9	217,1	220,6	147,5	207,4	215,1	203,0
14	Na/K	216,0	211,2	217,3	221,1	223,5	168,9	214,0	219,6	210,8
15	Na/K	184,6	177,5	186,5	192,1	195,9	118,3	181,6	189,9	176,9
16	Na/K	188,4	181,9	190,2	195,4	198,8	126,5	185,7	193,4	181,3
17	Na/K	217,5	212,2	218,9	223,0	225,7	166,5	215,3	221,4	211,8
18	Na/K	204,3	199,1	205,6	209,7	212,3	154,4	202,1	208,1	198,7
19	Na/K	232,8	227,9	234,1	237,9	240,4	184,8	230,7	236,4	227,5
20	Na/K	195,5	188,5	197,3	202,9	206,5	130,2	192,5	200,7	187,9
21	Na/K	238,2	232,4	239,8	244,4	247,5	181,5	235,8	242,6	231,9
22	Na/K (mmol)	264,3	255,9	266,5	273,2	277,6	186,1	260,7	270,6	255,2
BİLİNER KUYU DİBİ SICAKLIKLARI		203 °C	196 °C - 193 °C		208 °C			208 °C		

Tablo 5.26 KD-16 kuyusuna ait sıcak su numuneleri üzerinde yapılan jeotermometre hesaplamaları

NO	JEOTERMOMETRELER	KD-16			
		Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
1	SiO ₂ (Amorf Silis)	83,9	87,8	87,8	82,2
2	SiO ₂ (α Kristobalit)	160,3	164,4	164,4	158,4
3	SiO ₂ (β Kristobalit)	110,2	114,4	114,4	108,4
4	SiO ₂ (Kalsedon)	192,3	196,9	196,9	190,2
5	SiO ₂ (Kalsedon, İletken Soğuma)	183,1	187,3	187,3	181,3
6	SiO ₂ (Kalsedon) (mmol)	182,5	186,7	186,7	180,7
7	SiO ₂ (Kuvars)	208,6	212,5	212,5	206,8
8	SiO ₂ (Kuvars Buhar Kaybı)	191,3	194,4	194,4	189,9
9	SiO ₂ (Kuvars Buhar Kaybı)	172,4	175,8	175,8	170,8
10	SiO ₂ (Kuvars Buhar Kaybı)	187,3	191,9	191,9	185,3
11	SiO ₂ (Kuvars Buhar Kaybı)	206,4	210,8	210,8	204,5
12	SiO ₂ (Kuvars Buhar Kaybı)	181,7	184,8	184,8	180,3
13	Na/K	212,0	220,2	220,0	134,4
14	Na/K	217,3	223,2	223,1	158,6
15	Na/K	186,6	195,4	195,2	104,7
16	Na/K	190,3	198,4	198,2	113,6
17	Na/K	218,9	225,4	225,2	155,5
18	Na/K	205,7	212,0	211,8	143,7
19	Na/K	234,1	240,1	239,9	174,4
20	Na/K	197,4	206,1	205,8	116,8
21	Na/K	239,9	247,1	246,9	169,4
22	Na/K (mmol)	266,6	277,1	276,8	170,2
BİLİNER KUYU DİBİ SICAKLIKLARI		207 °C			

Tablo 5.27 KD-20, KD-21, KD-22, R-1 ve R-3 kuyuları ile W-1 atık su kanalına ait sıcak su numuneleri üzerinde yapılan jeotermometre hesaplamaları

NO	JEOTERMOMETRELER	KD-20	KD-21			KD-22			R-1		R-3	W-1 (Atık)
			Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 1	Numune 2		
1	SiO ₂ (Amorf Silis)	75,2	81,5	80,2		86,2	79,7	78,9	124,0	76,0	70,9	81,3
2	SiO ₂ (α Kristobalit)	150,8	157,7	156,3		162,8	155,8	154,9	202,9	151,8	146,2	157,5
3	SiO ₂ (β Kristobalit)	100,8	107,7	106,2		112,7	105,7	104,8	153,5	101,7	96,2	107,4
4	SiO ₂ (Kalsedon)	181,8	189,4	187,8		195,1	187,3	186,3	240,1	182,8	176,6	189,2
5	SiO ₂ (Kalsedon, İletken Soğuma)	173,7	180,6	179,1		185,6	178,6	177,7	225,3	174,6	169,1	180,3
6	SiO ₂ (Kalsedon) (mmol)	173,1	180,0	178,5		185,1	178,0	177,1	225,1	174,0	168,4	179,8
7	SiO ₂ (Kuvars)	199,7	206,2	204,8		210,9	204,3	203,5	248,2	200,5	195,2	206,0
8	SiO ₂ (Kuvars Buhar Kaybı)	184,1	189,3	188,2		193,1	187,9	187,2	222,5	184,8	180,5	189,2
9	SiO ₂ (Kuvars Buhar Kaybı)	164,4	170,2	169,0		174,4	168,6	167,8	207,3	165,2	160,5	170,0
10	SiO ₂ (Kuvars Buhar Kaybı)	176,9	184,5	182,9		190,1	182,4	181,4	234,6	177,9	171,8	184,3
11	SiO ₂ (Kuvars Buhar Kaybı)	196,5	203,7	202,2		209,0	201,7	200,7	251,0	197,4	191,6	203,5
12	SiO ₂ (Kuvars Buhar Kaybı)	174,6	179,8	178,7		183,6	178,3	177,7	212,8	175,3	171,1	179,6
13	Na/K	206,4	206,6	207,5		208,3	214,3	213,6	244,4	200,1	174,6	208,6
14	Na/K	213,3	213,4	214,1		214,7	219,0	218,5	240,3	208,7	189,7	214,9
15	Na/K	180,6	180,8	181,8		182,6	189,1	188,3	221,8	173,8	146,7	182,9
16	Na/K	184,8	184,9	185,8		186,6	192,6	191,9	222,5	178,5	153,2	186,9
17	Na/K	214,6	214,7	215,4		216,0	220,8	220,2	244,1	209,5	189,0	216,3
18	Na/K	201,4	201,5	202,2		202,9	207,5	206,9	230,3	196,5	176,4	203,1
19	Na/K	230,0	230,2	230,8		231,4	235,8	235,3	257,4	225,4	206,1	231,6
20	Na/K	191,6	191,8	192,7		193,6	199,9	199,1	231,7	185,0	158,3	193,9
21	Na/K	235,0	235,1	235,9		236,6	241,9	241,3	268,2	229,3	206,4	236,9
22	Na/K (mmol)	259,6	259,8	261,0		262,0	269,6	268,7	308,2	251,6	219,6	262,3
BİLİNE KUYU DİBİ SICAKLIKLARI		204 °C	205 °C			204 °C			242 °C		241 °C	45 °C

Sıcak su numuneleri üzerinde hesaplaması yapılmış jeotermometre değerleri, bilinen kuyu dibi sıcaklıkları ile birlikte verilerek karşılaştırma yapma imkanı sağlanmıştır. Bu hesaplamalar esnasında aynı kuyuya ait bazı numunelerde aynı jeotermometre bağıntıları ile çok farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu farklılıklar, aynı jeotermal kuyulardan farklı zaman dilimlerinde alınan sıcak su numunelerinin analiz sonuçlarından kaynaklanmaktadır. Bu tip farklılıklar, genellikle numune temin edildiği esnadaki kuyunun durumundan (faal olup olmaması, bakım zamanlamaları vb.) kaynaklanmaktadır. Hesaplanmış bütün jeotermometrelerin genel olarak sonuçları ele alındığında, kuyu dibi sıcaklıklarına bir türlü ulaşamayan R-1 kuyusunun 2. numunesi ile R-3 kuyusuna ait numune, analiz sonuçlarından ve bu sonuçların nedenlerinden kaynaklanan farklılıklar örnek olarak gösterilebilir.

Bağıntılardan elde edilen jeotermometrelerin bilinen kuyu dibi sıcaklıkları ile karşılaştırılması sonucunda; genel olarak, bilinen kuyu dibi sıcaklıklarına en uygun jeotermometre değerlerine 7 (kuvars) numaralı bağıntının sonuçlarında rastlanmıştır. Silis jeotermometrelerinden 4 (kalsedon), 7 (kuvars), 8 (kuvars buhar kaybı), 11 (kuvars buhar kaybı) ve 12 (kuvars buhar kaybı) numaralı jeotermometreler ve Na/K jeotermometrelerinden 11, 13, 14, 18, ve 20 numaralı jeotermometreler ile, bilinen kuyu dibi sıcaklık değerlerine yakın jeotermometre değerlerine ulaşılmıştır.

Bunlara ek olarak Na/K jeotermometrelerinden 15 ve 16 numaralı bağıntılar, 200 °C sıcaklık değerinin çok üzerindeki hazne sıcaklık hesaplamaları hariç, dar bir sıcaklık aralığında kabul edilebilir sonuçlar verebilmiştir. Sözü edilen bağıntılar, yüksek sıcaklıklı (R-1 ve R-3 gibi) kuyularda bilinen kuyu dibi sıcaklıklarına yakın değerler sunamamıştır. Buna karşılık olarak 17 numaralı bağıntı, düşük sıcaklıklar haricinde, 200 °C nin üzerinde rezervuar sıcaklığına sahip kuyular için kullanılabilir denilebilir.

Diğer taraftan, 1 (amorf silis), 2 (α -Kristobalit) ve 3 (β -Kristobalit) numaralı silis jeotermometre hesaplamaları, bilinen kuyu dibi sıcaklıklarının oldukça altında değer verdiği, bu sebeple ilgili bağıntıların sonuçlarının kullanılamaz olduğu görülmüştür. Silis jeotermometrelerinden 5 (kalsedon, iletken soğuma), 6 (kalsedon-mmol), 9

(kuvars buhar kaybı), 10 (kuvars buhar kaybı) ve 12 (kuvars buhar kaybı) numaralı bağıntılar, ilk 3 bağıntı kadar düşük olmasa da bilinen kuyu dibi sıcaklıklarından daha düşük sonuçlar vermesinden ötürü yine bilinen kuyu dibi sıcaklıklarına yakın değerler taşımamaktadır. Na/K jeotermometrelerinden 19, 21 ve 22 numaralı bağıntılar ise, bilinen kuyu dibi sıcaklıklarından çok daha yüksek değerler vererek, bu bağıntıların mevcut rezervuar sıcaklıklarının hesaplanması için uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bu bağıntılar zaman zaman, R-1 kuyusundaki ilk numune gibi yüksek sıcaklıklarda iyi verim verebiliyorken, R-3 kuyusunda ise aynı verim sağlanamamıştır. Dolayısıyla, sözü edilen jeotermometre hesaplamalarının yüksek sıcaklıklarda dahi kullanımına kuşku ile yaklaşılabilceği yorumu yapılabilir.

Hesaplanan ve bilinen kuyu dibi sıcaklıklarına yakın değerler veren jeotermometre sonuçlarına dayanarak, numunesi alınmış bütün jeotermal kuyular için rezervuar sıcaklıklarının 180 °C ile 251 °C sıcaklık aralığı arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Yapılan jeotermometre hesaplamalarının, her ne kadar bilinen jeotermometre değerlerine ulaşp ulaşmadığı yorumlanmış olsa dahi, sıcak su numunelerinin üzerinde jeotermometre hesaplamaları yapılabilirliği de irdelenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, sıcak su numuneleri üzerinde jeotermometre uygulanabilirliği, diyagramlar ile desteklenerek işlenmiş ve yorumlanmıştır.

5.14 Jeotermometre Uygulanabilirliği

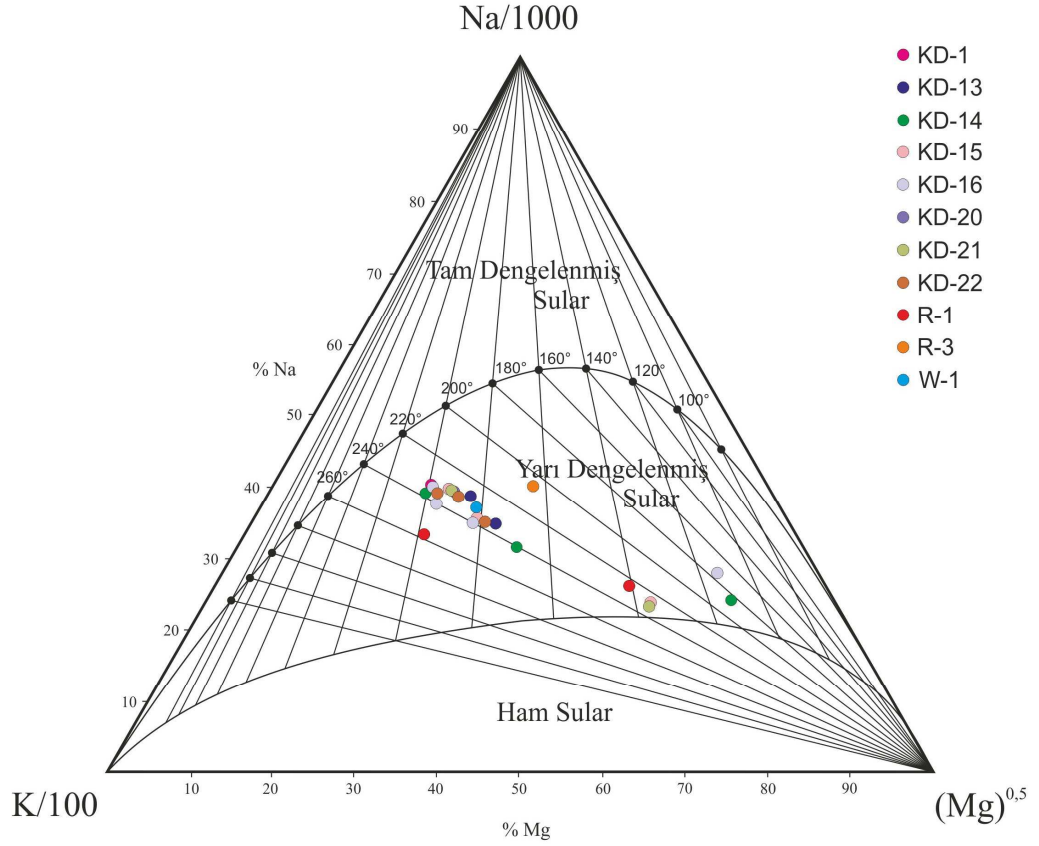
Jeotermal alanlardan alınan sıcak su numunelerinin analizleri sonucunda elde edilen veriler ışığında, çeşitli bağıntılardan elde edilen jeotermometre değerlerinin yanı sıra, numune alınan jeotermal akışkanın üzerinde jeotermometre hesaplamalarının uygulanabilirliğinin saptanması ve kimyasal dengesi hakkında yorum yapılabilmesi için kullanılan diyagramlar bulunmaktadır. Tez kapsamında bu diyagramlardan Giggenbach tarafından 1988 yılında yapılan iki diyagrama değinilmiştir.

5.14.1 Giggenbach Üçgen Diyagramı

Giggenbach tarafından 1988 yılında yapılan üçgen diyagramda, numune analizleri sonucunda elde edilen verilerden Na, K, ve Mg bileşenlerinin mg/l cinsinden değerleri diyagram üzerinde belirtildiği şekilde kullanılır.

Giggenbach Üçgen Diyagramı, temel olarak üç bölümden oluşmaktadır. En alttaki kısım, “Ham Sular” olarak tabir edilen, henüz kimyasal olarak dengelenmemiş sular sınıfıdır. Bu kısma düşen numunelerin alındığı jeotermal akışkanlar üzerinde yapılan jeotermometre hesaplamalarına şüphe ile bakılması gerekmektedir. Orta kısım ise “Yarı Dengelenmiş Sular” denilen, kimyasal denge durumuna yaklaşmış su tiplerinin sınıfıdır. Bu sınıfa düşen jeotermal akışkanlar için hesaplanan jeotermometre hesaplamaları gerçek veya gerçeğe yakın sonuçlar verebilir. En üst kısım ise “Dengelenmiş Sular” olup, kimyasal olarak tam dengeye kavuşmuş, herhangi bir kimyasal etkileşimin artık tamamlandığı ve/veya yok denecek kadar az miktarda devam ettiği suların sınıfıdır. Bu sınıftaki sular için jeotermometre hesaplamaları yapılmasında bir sakınca yoktur.

İnceleme alanından alınan numuneler, analiz sonuçlarından elde edilen verilerin kullanılması ile Giggenbach Üçgen Diyagramı üzerinde yerleştirilmiştir (Şekil 5.54). Diyagram üzerindeki sonuçların tamamı, “Yarı Dengelenmiş Sular” su sınıfında yer almaktadır. Bu sonuçların yerleştirilmesi esnasında AquaChem programından yararlanılmış ve CorelDRAW programı ile düzenlenmiştir.



Şekil 5.8 İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin Giggenbach Üçgen Diyagramı üzerinde gösterimi

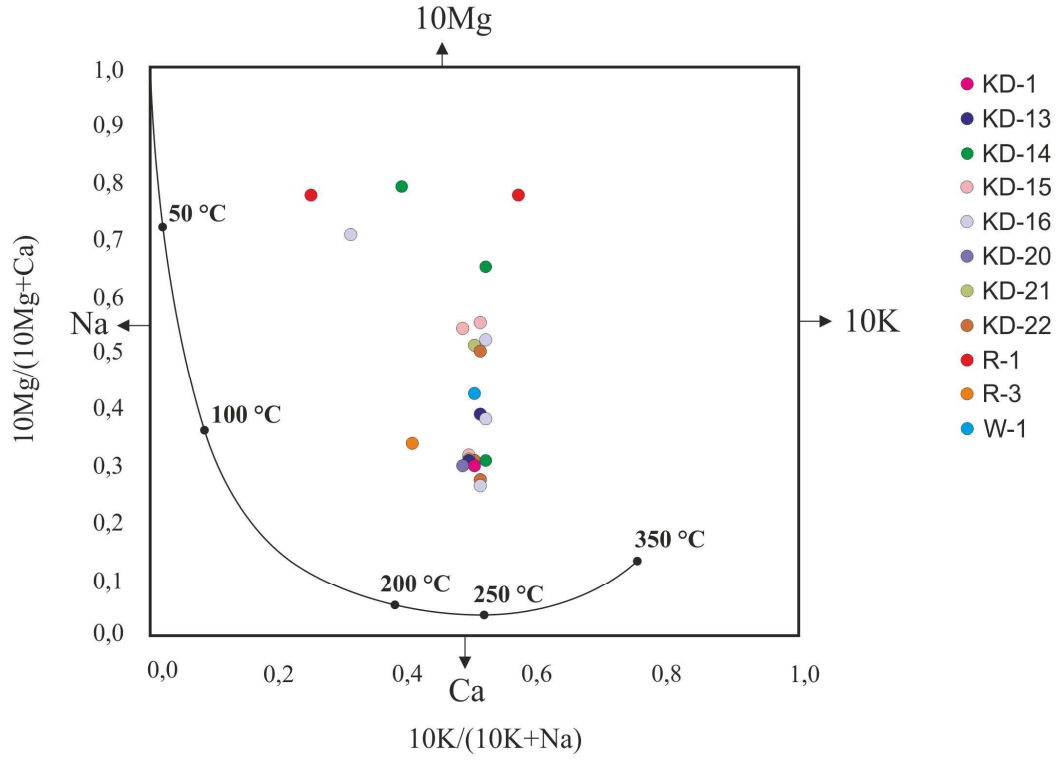
İnceleme alanına ait sıcak su numunelerinin, Giggenbach Üçgen Diyagramı üzerinde "Yarı Dengelenmiş Sular" sınıfına düşmüş olduğu görülmektedir. Bu sonuca dayanarak, ilgili sıcak su numunelerinin üzerinde jeotermometre hesaplamaları gerçekleştirilebilir yorumu yapılır. Bu yorumun yanı sıra, sıcak su numunelerinin diyagram üzerindeki korelasyonu incelendiğinde, sonuçların 220 °C ile 240 °C sıcaklıkları arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Diyagram üzerindeki bu sıcaklık aralığı bir jeotermometre değeri olarak kabul edilebilir ve Kızıldere jeotermal alanındaki kuyuların bilinen kuyu dibi sıcaklıklarına oldukça yakın değerler olmasından ötürü, bu sonuçların kullanılabilir oldukları belirlenmiştir (Şekil 5.8).

5.14.2 Giggenbach Kare Diyagramı

Giggenbach tarafından 1988 yılında yapılan kare diyagramda, numune analizleri soncunda elde edilen verilerden başlıca katyonlar olan Na, K, Ca ve Mg bileşenlerinin mg/l cinsinden değerleri diyagram üzerinde belirtildiği şekilde kullanılır. Bu diyagram kullanılarak başlıca katyon bileşenlerinin birbiri ile ilişkilerine göre numunenin kimyasal durumu hakkında bilgi edinilerek jeotermometre hesaplamalarının uygulanabilir olup olmadığı konusunda yorum yapılabilir.

Giggenbach Kare Diyagramı, sıcak suların kimyasal dengeleri hakkında yorum yaparak, üzerinde hesaplanabilecek jeotermometre değerlerinin uygulanabilirliğini yorumlamak amacı ile kullanılmaktadır. Kare diyagram üzerinde bir sıcaklık eğrisi bulunmaktadır. Analizi yapılan sıcak su numuneleri, bu eğriye ne kadar yakın çıkıyorsa, numune alınan jeotermal akışkan o denli dengede anlamına gelmekte ve üzerinde yapılabilecek jeotermometre hesaplamalarının uygulanabilirliği o denli artmaktadır.

İnceleme alanından alınan numuneler, analiz sonuçlarından elde edilen verilerin kullanılması ile Giggenbach Üçgen Diyagramı üzerinde yerleştirilmiştir (Şekil 5.55). Bu sonuçlara istinaden, numune alınan jeotermal akışkanların yarı dengelenmiş kimyasal yapıya sahip olduğu konusunda yorum yapılabilir.



Şekil 5.9 İnceleme alanından alınan sıcak su numunelerinin Giggenbach Kare Diyagramı üzerinde gösterimi

İnceleme alanına ait sıcak su numunelerinin, Giggenbach Kare Diyagramı (Şekil 5.9) üzerindeki izdüşümlerinin konumları, diyagramdaki sıcaklık eğrisine yakınlıkları sebebi ile, ilgili sıcak su numunelerinin halen rezervuar kayaçlar ile etkileşimde oldukları ancak yine de bu numuneler üzerinde jeotermometre hesaplamalarının yapılabilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra sıcak su numunelerinin diyagram üzerindeki izdüşümleri, eğriye doğru yönelecek şekilde bir korelasyon oluşturmuş olduğu görülmektedir. Diyagram üzerindeki sıcak su numunelerinin eğriye yaklaşmaya başladığı yönde, eğriye bir dik indirildiği takdirde, yaklaşık 220 °C ile 240 °C aralığında jeotermometre değerlerine ulaşılabilmiştir. Bu sonuçlar aynı zamanda Giggenbach Üçgen Diyagramı üzerindeki ve daha önceden hesaplanan jeotermometre değerleri ile benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla, hesaplanan jeotermometre değerleri, güvenilir sonuçlar vermiştir.

5.15 Karışım Modelleri

Bilindiği üzere yeryüzündeki ve yeraltındaki soğuk sular, yeraltındaki çeşitli kırık ve çatlakları kullanarak yeraltına doğru ilerlemekte, mağma sokulumları tarafından ısıtılan hazne kayalara ulaştığında ısının etkisi ile jeotermal akışkan özelliği kazanmaktadır. İlerleyen bu soğuk sular, jeotermal akışkan özelliği kazanması sonucu bünyelerindeki yüksek basınçlı gazların etkisi tekrar yukarı doğru hareket etmeleri esnasında, maruz kaldıkları çevresel basıncın ve sıcaklığın düşmesi nedeni ile bünyelerindeki bazı gazları kaybeder, aynı zamanda etkileşime girdikleri soğuk sular ile karışabilirler. Böylelikle derinlerden yüzeye ulaşan jeotermal akışkanlar, ısındıkları hazne kayacın sıcaklığından daha düşük ısılarda yüzeye ulaşmış olurlar.

Fournier tarafından 1977 yılında hazırlanan karışım modelleri ile, soğuk su karışımı oranı ve sıcaklık-buhar kaybının olup olmadığı irdelenebilir. En çok kullanılan karışım modelleri “Entalpi-Klorür” ve “Entalpi-Silis” karışım modelleridir. Fakat, inceleme alanından elde edilen soğuk su numunelerindeki klorür değerleri, “Entalpi-Klorür” karışım modelinde kullanılmaya elverişli olmadığından ve sodyumun da iyi bir izleyici olmasından ötürü tez kapsamında, “Entalpi-Sodyum” ve “Entalpi-Silis” karışım modelleri işlenmiştir.

Hazırlanan karışım modeli diyagramları sonucunda, rezervuar sıcaklıklarının 169 °C ile 274 °C sıcaklık değerleri arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, inceleme alanındaki var olan jeotermal kuyuların bilinen kuyu dibi sıcaklıkları ile, henüz araştırmaları devam eden 4. rezervuarın tahmini olan sıcaklık değerleri ile uyum göstermiştir.

5.15.1 Entalpi-Sodyum Karışım Modeli

Fournier (1977b) tarafından hazırlanan bu karışım modelinde, düşey ekseninde entalpi (cal/g) değerleri, yatay ekseninde ise sodyum (mg/l) değerleri yer almaktadır.

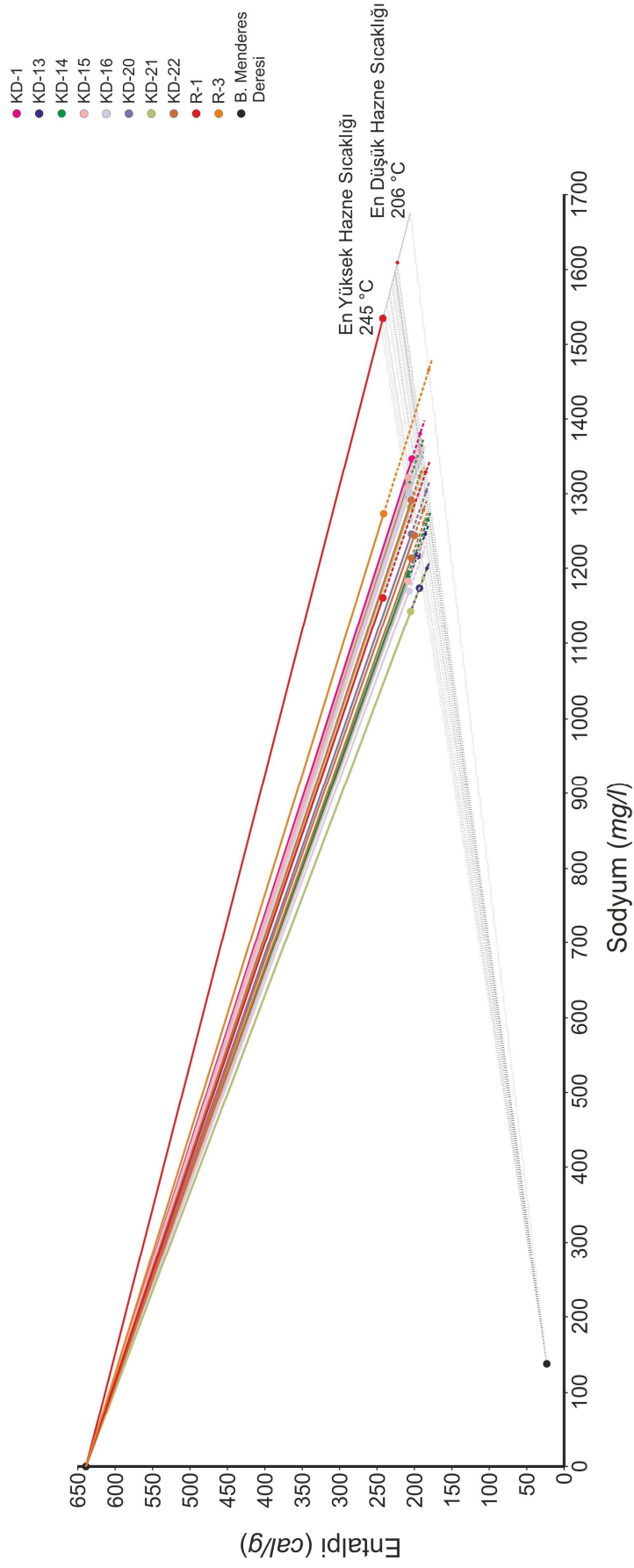
Ayrıca düşey ekseninde işaretlenmiş bir sabit değer ($639 \text{ cal/g} = 2775 \text{ kJ/kg}$) bulunmaktadır.

Diyagram üzerinde her bir numunenin sıcaklık-sodyum değerleri işaretlenir. Sıcak su numunelerinin her biri düşeydeki sabit olan 639 cal/g değeri ile birleştirilerek her bir sıcak su numunesi için bir doğru oluşturulur. Bu doğrular üzerinde, silis jeotermometresi hesaplaması (Tablo 5.34'te 8. jeotermometre hesaplaması) ile elde edilen değerler her bir doğru üzerinde işaretlenir. Ardından hesaplanarak oluşturulan doğrular üzerinde işaretlenen her bir silis jeotermometre değeri noktası, inceleme alanına ait ortalama soğuk su numunesi noktası ile birleştirilerek, bu doğrular en üstteki sıcak su doğrusunu kestiği noktaya kadar uzatılır.

Yukarıda yapılan çizim sonrasında iki ayrı işlem ile iki ayrı veriye ulaşılabilir. Bunlardan ilki, soğuk su noktası ile hesaplanan silis jeotermometre değerlerinin birleştirilmesi ve en üstteki sıcak su doğrusuna uzatılması ile bulunan soğuk su çizgileri, en üstteki sıcak su doğrusunu kestiği noktanın entalpi değerinin okunması ile grafiğin verdiği hazne kayaç sıcaklığı değeri okunabilir. En yüksek değere sahip entalpi değeri en yüksek hazne kayaç sıcaklığı, en düşük değere sahip entalpi değeri ise en düşük hazne kayaç sıcaklığı anlamına gelir.

Ulaşılabilecek bir diğer veri ise, jeotermal akışkanlar ile karışan soğuk suların oranıdır. Bu veriye ulaşabilmek için, soğuk su doğrularının ortalama soğuk su noktası ile hesaplanan silis jeotermometre değerleri arasındaki uzunluk ile, yine soğuk su doğrularının tamamının (ortalama soğuk su noktasından en üstteki sıcak su doğrusuna kadar) uzunluğunun oranı, soğuk su karışımını vermektedir.

Aşağıda verilen grafikte, aynı işlemler bilinen hazne kayaç sıcaklıkları kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.10). Grafik üzerinden hazne kayaç sıcaklığı hesabı yapıldığı için, atık kanalından alınan W-1 numunesi grafiğe dahil edilmemiştir.



Şekil 5.10 Entalpi-Sodyum Karışım Grafiği

Hazırlanan "Entalpi-Sodyum Karışım Modeli" diyagramı ile, inceleme alanındaki kuyuların rezervuar kayaçlarının en yüksek ve en düşük sıcaklıkları bilgisine ulaşmak amaçlanmıştır. Diyagram üzerinde okunan değerlere göre, en düşük rezervuar kayaç sıcaklığı 206 °C ve en yüksek rezervuar kayaç sıcaklığı 245 °C olarak çıkmıştır. İnceleme alanındaki numunesi alınan kuyular arasında en yüksek kuyu dibi sıcaklığına sahip olan kuyu R-1 olup, bilinen kuyu dibi sıcaklığı 242 °C değeridir. Bu bilgiye istinaden, sonuçların oldukça tatmin edici çıktığı söylenebilir (Şekil 5.10).

Diyagram, numune analizlerindeki Na değerleri ile bilinen kuyu dibi sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Yapılan karışım oranı hesaplamaları, % 77 ile % 86 arasında değişmekte olduğu görülmüştür. Bu sonuçların mümkün olmayacağından yola çıkarak, "Entalpi-Sodyum Karışım Modeli" diyagramında Na değerleri ile bilinen kuyu dibi sıcaklıkları kullanıldığında, her ne kadar rezervuar kayaç sıcaklığı tahminleri oldukça iyi seviyede çıkmışsa da, soğuk su karışımı sonuçlarının güvenilmez olacağı yorumu yapılabilir.

5.15.2 Entalpi-Silis Karışım Modeli

Fournier (1977b) tarafından hazırlanan Entalpi-Silis karışım modeli, hazne kayaç sıcaklıkları, sıcaklık-buhar kaybının varlığı ve soğuk su karışımı oranı belirlenmesi amacı ile kullanılmaktadır.

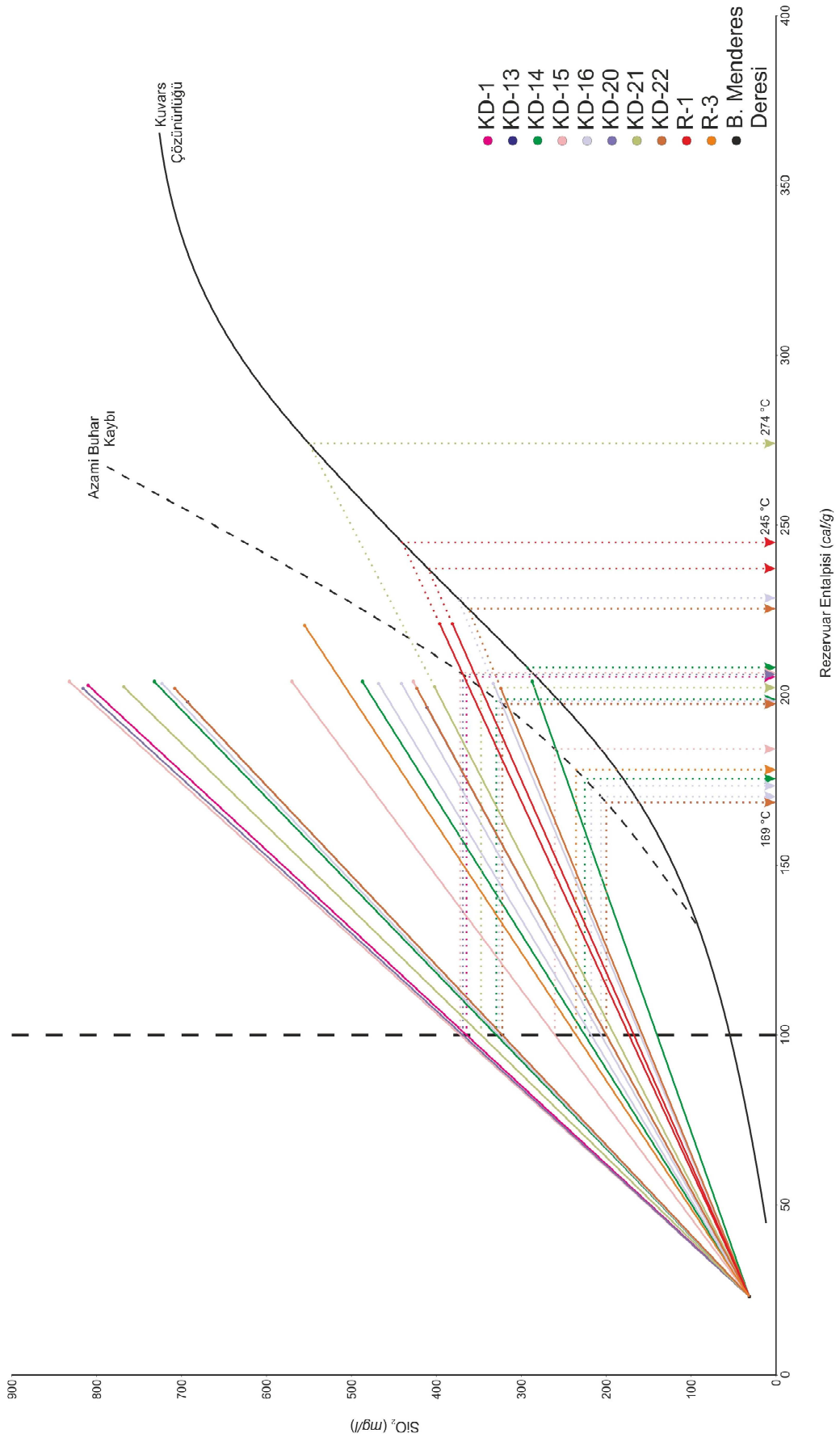
Entalpi-Silis karışım modelinde kullanılan diyagramın düşey ekseninde SiO₂ (mg/l) değerleri, yatay ekseninde ise entalpi (cal/g) değerleri bulunmaktadır. Ayrıca eksen üzerinde bir adet “kuvars çözünürlüğü” eğrisi, bir adet de “azami buhar kaybı” eğrisi, ayrıca 100 cal/g değerine dik bir sabit doğru bulunmaktadır. Azami buhar kaybı eğrisinin de kullanıldığı numunelerin alındığı jeotermal akışkanlarda buhar kaybının olduğu söylenebilir.

Grafik üzerinde önce her bir sıcak su numunesinin SiO₂ miktarı – sıcaklık değerleri kullanılarak sıcak su numuneleri noktalar halinde işaretlenir. Ayrıca,

inceleme alanının ortalama soğuk su değerleri, bir adet soğuk su numunesi olarak işaretlenir. Daha sonra, her bir sıcak su noktası, ortalama soğuk su noktası ile işaretlenerek sıcak su doğruları oluşturulur. Bu doğrulardan, uzatıldığında kuvars çözünürlüğü eğrisini kesenler eğriyi kestikleri noktadan dik inilerek her bir numune için hazne kayaç sıcaklığı verisi elde edilir. Kuvars çözünürlüğü eğrisini kesmeyen sıcak su doğruları için ise, 100 cal/g değerine dik olan sabit doğruyu kestiği noktadan yatay olarak kuvars çözünürlüğü eğrisini kestiği noktaya kadar devam edilir, kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktadan dik inilerek hazne kayaç sıcaklığı verisi elde edilir.

Entalpi-Silis karışım modelinde her bir sıcak su numunesi için soğuk su karışım oranı hesaplanabilir. Sıcak su doğrusu kuvars çözünürlüğü eğrisini kesen sıcak su numunelerinde; ortalama soğuk su noktası ile sıcak su noktası arasındaki uzunluk ile ortalama soğuk su noktası ile kuvars çözünürlüğü eğrisini kestiği nokta arasındaki uzunluğun oranı soğuk su karışım oranını vermektedir. Sıcak su doğrusu kuvars çözünürlüğü eğrisini kesmeyen numunelerde ise, ortalama soğuk su noktası ile sıcak su noktası arasındaki uzunluk ile ortalama soğuk su noktası ile doğrunun 100 cal/g sınırını kesen nokta arasındaki uzunluğun oranı, soğuk su karışımı oranını vermektedir.

Aşağıda verilen grafikte, numunelerin sıcaklığı olarak bilinen hazne kayaç sıcaklıkları alınmıştır (Şekil 5.11). Daha önceki karışım diyagramı olan "Entalpi-Sodyum Karışım Modeli" karışım diyagramında soğuk su karışımı olarak elde edilen değerlerin gerçeği yansıtmamasından ve bu diyagramda da bilinen kuyu dibi sıcaklıklarının kullanılmasından dolayı, karışım oranları hesaplanmamıştır. Ayrıca grafik üzerinden hazne kayaç sıcaklığı hesabı yapıldığı için, atık kanalından alınan W-1 numunesi grafiğe dahil edilmemiştir.



Şekil 5.11 Enthalpi-Silis Karışım Grafiği

Hazırlanan "Entalpi-Silis Karışım Modeli" diyagramı, rezervuar kayaç sıcaklığı tespiti amacı ile gerçekleştirilmiştir. Diyagram, daha önce hazırlanmış olan "Entalpi-Sodyum Karışım Modeli" diyagramındaki sonuçlara göre daha geniş bir sıcaklık aralığında netice vermiştir. "Entalpi-Silis Karışım Modeli" diyagramı üzerinde en yüksek rezervuar kayaç sıcaklığı 274 °C ve en düşük sıcaklık değeri 169 °C olarak okunmuştur. Bu değerler, Şekil 4.3'teki blok diyagramda görülen, numunesi temin edilememiş KD-111 kuyu dibi sıcaklığı ile hali hazırda araştırmaları süren 4. rezervuardan beklenen sıcaklık değerleri ile uyum göstermiştir. Sonuç olarak diyagram üzerindeki rezervuar kayaç sıcaklığı değerleri hesaplamaları, güvenilir sonuçlara ulaşmıştır. Bu sonuçlara ilaveten, KD-14 kuyusuna ait ikinci numune, KD-16 kuyusuna ait üçüncü numune, KD-21 kuyusuna ait ikinci numune, KD-22 kuyusuna ait üçüncü numune ve R-1 kuyusuna ait her iki numune haricinde diğer sıcak su numunelerinde buhar kaybı tespit edilmiştir.

5.16 Kabuklaşma Analizi

Kabuklaşma analizi, bu çalışmadaki en önemli konu sayılabilir. Bu konu altında, Kızıldere jeotermal alanındaki jeotermal kuyuların mümkün olabilecek ve zarar teşkil etmeden en yüksek verimle üretim yapabilmesi amacı ile hesaplamalar yapılmış ve diyagramlarda sunularak yorumlanmıştır.

Reed ve Spycher tarafından 1984 yılında ortaya atılan yöntemde, minerallerin önceden hesaplanan doygunluk indeksi değerleri kullanılarak bu değerler doygunluk indeksi-sıcaklık diyagramları üzerine yerleştirilerek, birden fazla aynı tür mineralin aynı sıcaklık değerinde kesişmesi ile jeotermometre tahmini yapılabilmiştir. Ancak inceleme alanı olan Kızıldere jeotermal alanındaki sıcak sular, halen rezervuar kayaçlar ile kimyasal etkileşimde olduğundan ve henüz bu yöntem ile jeotermometre hesabı yapılamayacak kadar dengesiz bulunduğundan, bu yöntem kullanılarak jeotermometre hesabı yapılmamıştır. Bunun yerine, aynı diyagram üzerinde doygunluk çizgisi altındaki değerler negatif, doygunluk çizgisi üzerindeki değerler pozitif alınmak üzere, saptanmış mineraller arasında kabuklaşma özelliği gösterebilecek olan her bir bileşen için güvenli sıcaklık hesaplaması yapılmıştır.

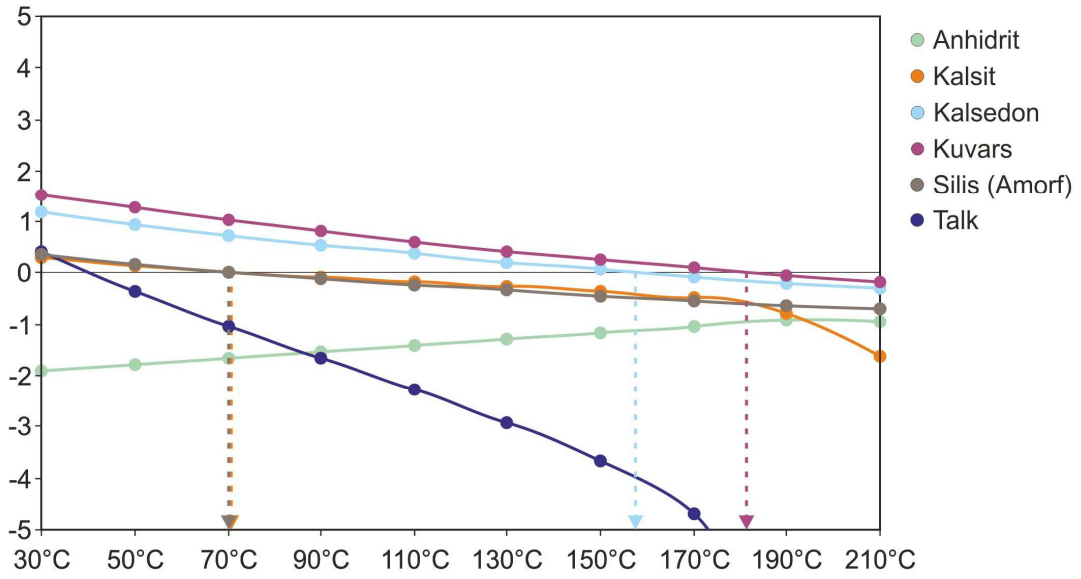
Diyagramlardaki negatif alanlar, minerallerin doygunluk altı değerler verdiği sıcaklık değerleri, pozitif alanlar ise, minerallerin doygunluk üstü (aşırı doygun) değerler verdiği sıcaklık değerlerini temsil etmektedir.

Hazırlanan diyagramların düşey ekseninde eşit aralıklı doygunluk indeksi değerleri, yatay ekseninde ise hesaplama yapılmış olan sıcaklıkların işaretli olduğu sıcaklık değerleri bulunmaktadır.

Doygunluk indekslerinin kullanıldığı bu diyagramlarda, kabuklaşma gösteren ve kabuklaşma gösterebilecek minerallerin çökelimine neden olan minerallerin doygunluk indeksinin işaretlenmesi ve aynı minerale ait verilerin noktalarının birleştirilmesi sonucunda her bir mineral için bir eğri elde edilir. Bu eğrilerden birden fazlasının $SI=0$ çizgisinde kesişmesi durumunda, eğrilerin kesiştiği noktaya ait sıcaklığın “güvenli sıcaklık” olduğu yorumu yapılabilir. Güvenli sıcaklık terimi, jeotermal akışkanın üretim esnasında kullanılabileceği ve kullanırken kabuklaşma sorunlarından kaçınılabilecek en düşük sıcaklık ve bu sıcaklık değerinden daha yüksek sıcaklık değerlerini ifade eder. Diğer bir deyişle; numune içerisindeki her mineral için ayrı ayrı belirlenen doygunluk eğrilerinden, en yüksek sıcaklıkta doygunluğa ulaşan ($SI=0$ seviyesinden geçen) eğriye ait mineralin doygunluğa ulaştığı sıcaklık değeri, güvenli sıcaklık alt limitidir.

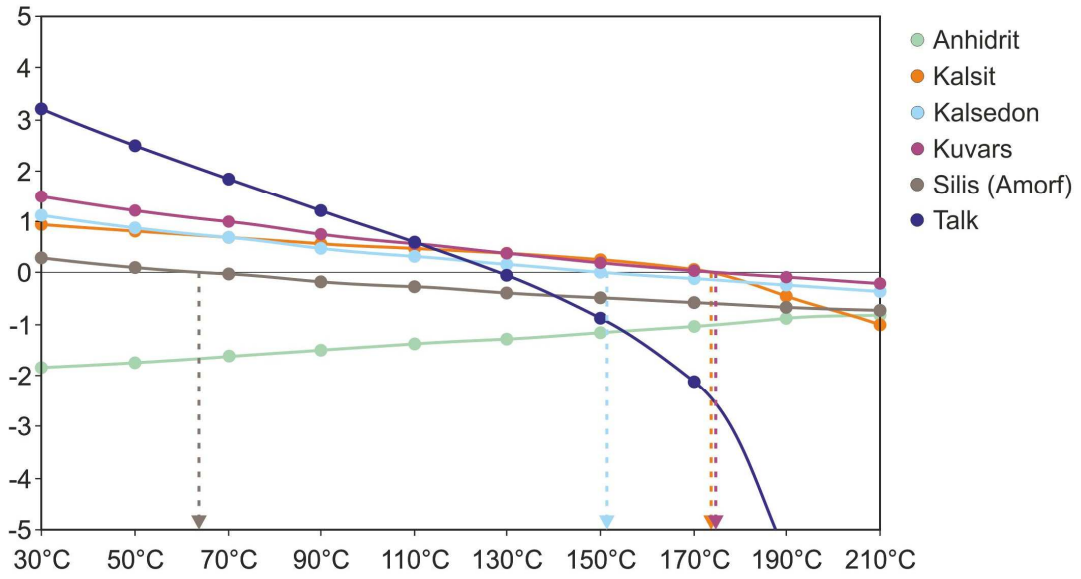
Tez kapsamında her bir numune için; 10 ayrı sıcaklıktaki mineral doygunluğu hesaplamaları Watch programı kullanılarak değerler elde edilmiş, hesaplanan mineral doygunluğu değerleri Microsoft Office Excel programı kullanılarak diyagramlara dönüştürülmüş, CorelDRAW programı kullanılarak da Excel içerisinde hazırlanmış diyagramların düzenlenmesi yapılmıştır.

İnceleme alanından alınan her bir sıcak su numunesi için kabuklaşma analizi diyagramı hazırlanmış ve her bir diyagram için yorum yapılmıştır. Yapılan kabuklaşma analizlerine, atık kanalından alınan W-1 numunesi de eklenmiş ve kabuklaşma oluşturma potansiyeli yorumlanmıştır. (Şekil 5.12-Şekil 5.34).



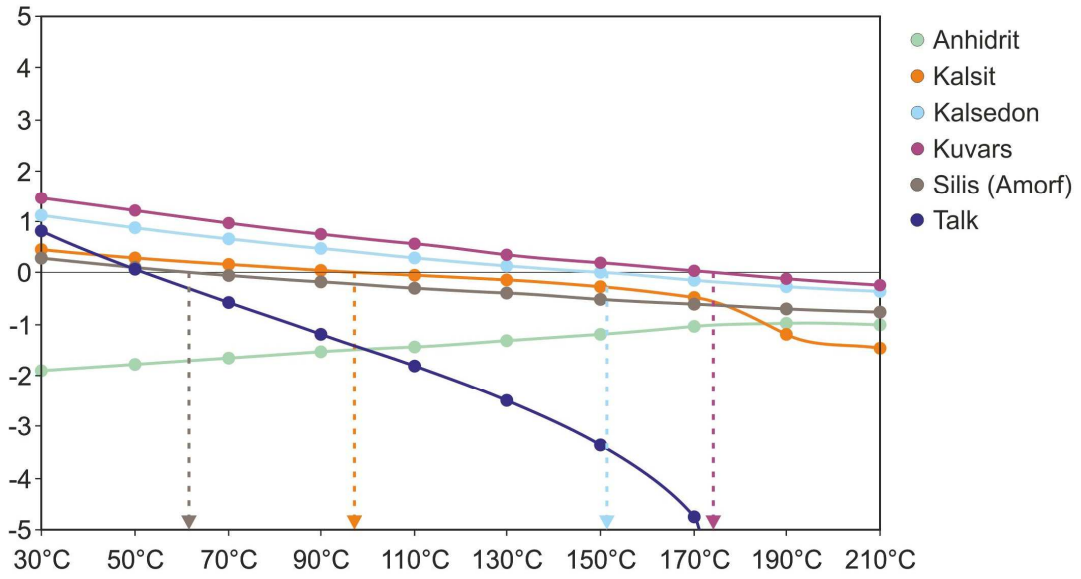
Şekil 5.12 KD-1 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-1 jeotermal kuyusundan bir sıcak su numunesi alınmıştır. Alınan numunenin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.12'de sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Bulunan mineraller arasında kabuklaşma yapması beklenen minerallerden biri olan anhidrit, hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış, dolayısıyla herhangi bir kabuklaşma eğilimi göstermemiştir. Numune içerisinde bulunan ve kabuklaşma eğilimi olan bir diğer mineral ise kalsittir. Kalsitin bu numune içerisinde doygunluğa ulaştığı sıcaklık 73 °C civarında olduğu tespit edilmiştir. Kalsit için belirlenmesi gereken güvenli sıcaklık, 73 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleridir. Numunede saptanan minerallerden kabuklaşmaya eğilimli olan bir diğer mineral ise amorf silistir. Amorf silisin doygunluğa ulaştığı sıcaklık 70 °C olduğu bulunmuştur. Amorf silis için belirlenmesi gereken güvenli sıcaklık 70 °C ve üzerindeki sıcaklık seviyeleridir. Kabuklaşmaya yatkın olan bu üç mineralin hepsini göz önüne alarak bir güvenli sıcaklık saptanmak istenirse, bu üç mineral için olması gereken güvenli sıcaklık 73 °C ve üzerindeki sıcaklıklar olmalıdır.



Şekil 5.13 KD-13 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-13 jeotermal kuyusundan iki sıcak su numunesi alınmıştır. Bu numunelerden birincisinin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.13'te sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Bulunan mineraller arasında kabuklaşma yapması beklenen minerallerden biri olan anhidrit, hesaplanan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış, dolayısıyla herhangi bir kabuklaşma eğilimi göstermemiştir. Saptanan mineraller arasında genel olarak kabuklaşma sorunu yaşatan minerallerden biri de kalsittir. İlgili numune içerisinde kalsit mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 174 °C civarında olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucu olarak, üretim esnasında kalsit kabuklaşmasının kaçınılmaz olacağı görülmektedir. Numune içerisinde kabuklaşma eğilimi gösteren bir başka mineral olan amorf silisin doygunluğa ulaştığı sıcaklığın 64 °C civarında olduğu bulunmuştur. Amorf silise göre belirlenebilecek güvenli sıcaklık seviyesi 64 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleridir. En genel olarak kabuklaşması beklenebilecek minerallerin sonuçlarına göre numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için bir güvenli sıcaklık seviyesi tespit edilmesi gerekirse, bu sıcaklık, en yüksek doygunluğa sahip olan minerale göre verilir ve bu değer 174 °C değeri olmasından ötürü, kuyuda inhibitör kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

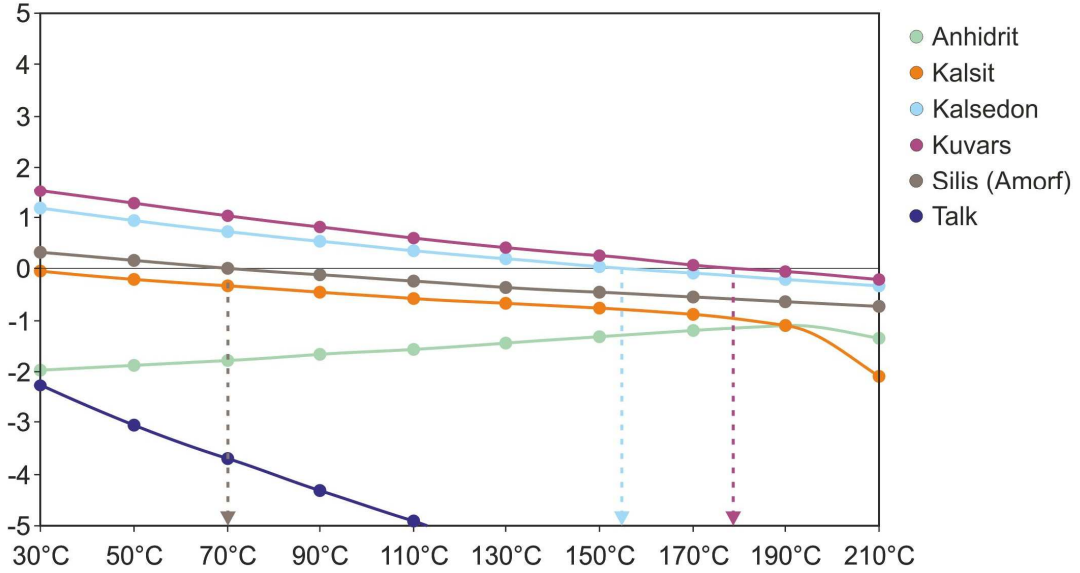


Şekil 5.14 KD-13 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-13 jeotermal kuyusundan alınan ikinci numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.14'te verilmiştir. İlgili numune içerisinde kabuklaşma görülmesi beklenebilecek minerallerden biri olan anhidrit, hiçbir sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşamamış olduğu görülmüştür. Yine kabuklaşma nedeni sayılabilecek bir diğer mineral ise kalsittir. Kalsit mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklık seviyesi 96 °C - 97 °C civarındadır. Kabuklaşma nedeni olabilecek bir başka mineral olan amorf silisin ise 62 °C civarında doygunluğa ulaştığı görülmüştür. Kabuklaşmaya neden olabilecek bu üç mineralin bilgileri ile numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için bir güvenli sıcaklık tespiti yapılırsa, bu sıcaklık seviyesi 96 °C - 97 °C civarında bir değer olarak alınmalıdır.

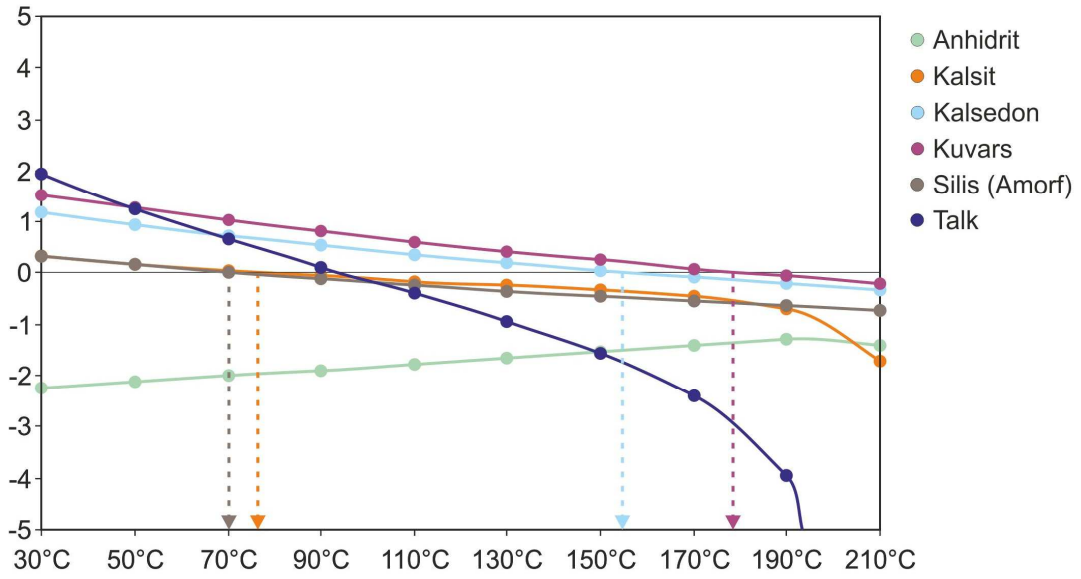
KD-13 kuyularından alınan numunelerde bulunan anhidrit minerali, hesaplanan hiçbir sıcaklık değerinde kabuklaşma tehlikesi göstermemiştir. Saptanan mineraller arasında kabuklaşma tehlikesi gösterebilecek olan minerallerden biri olan kalsit minerali, numunelerden birinde 96 °C - 97 °C, diğerinde ise 174 °C gibi yüksek bir rakam gösterdiği için, üretim esnasında kalsit kabuklaşması olacağı görülmekte, bu nedenle kuyuda inhibitör kullanılması gerekebileceği sonucuna varılmıştır. Bir diğer

kabuklaşabilecek mineral olan amorf silis ise, 62 °C - 64 °C sıcaklık seviyelerinde kabuklaşma tehlikesi göstermiştir.



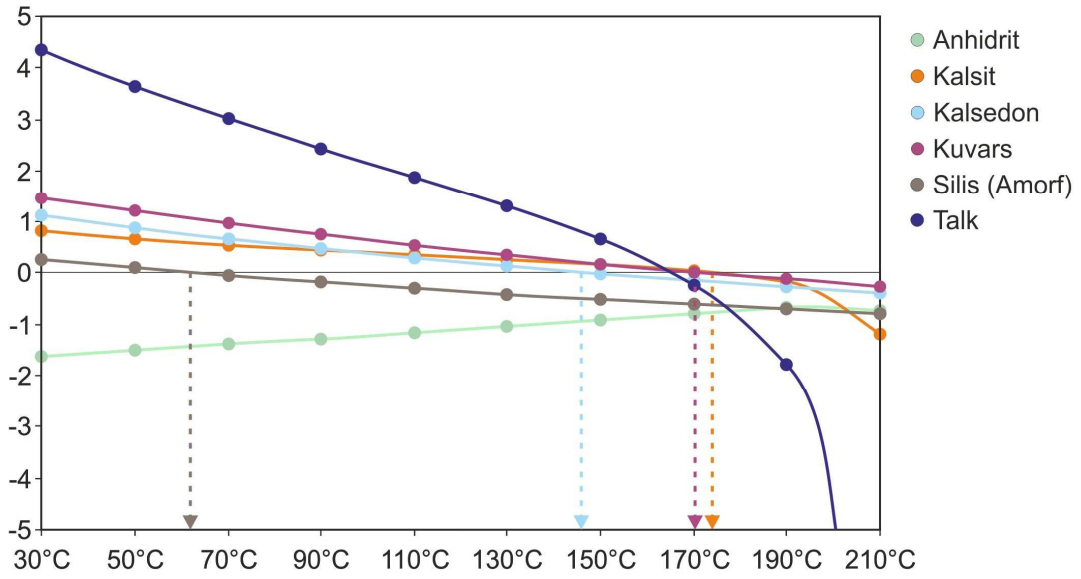
Şekil 5.15 KD-14 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-14 jeotermal kuyusundan üç sıcak su numunesi alınmıştır. Bu numunelerden birincisinin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.15'te sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Saptanan minerallerin arasında kabuklaşma yapması beklenen minerallerden biri olan anhidrit minerali, hesap edilmiş hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış, bunun sonucu olarak kabuklaşma sorununa sebep olarak gösterilememiştir. Kabuklaşma nedeni olarak gösterilebilecek bir diğer mineral olan kalsit, her ne kadar hesaba katılan sıcaklık seviyelerinde tam olarak doygunluğa ulaşamamış olsa da, 30 °C sıcaklık seviyesinin daha altında kabuklaşma sorunu oluşturabileceği tahmin edilebilmektedir. Bulunan minerallerden kabuklaşma nedeni olarak gösterilebilecek bir diğer mineral olan amorf silis ise, güvenli sıcaklık alt sınırı olarak 70 °C değeri vermiştir. İlgili numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için bir güvenli sıcaklık seviyesi alınması gerekirse, 70 °C ve üzerindeki değerler seçilmelidir.



Şekil 5.16 KD-14 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-14 jeotermal kuyusundan alınan ikinci numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Saptanan mineraller arasında kabuklaşma oluşturması beklenebilecek minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyudan alınan ilk numunenin kabuklaşma analizinde olduğu gibi, hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluk noktasına ulaşamamıştır. Bir diğer kabuklaşabilecek mineral olan kalsit, 78 °C değerinde bir güvenli sıcaklık alt limiti vermiştir. Kabuklaşabilecek bir diğer mineral olan amorf silis ise, 70 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşmış ve bu sıcaklığın alt değerleri, amorf silis kabuklaşması bakımından tehlike arz etmektedir. Bu numunenin ait olduğu jeotermal akışkandaki, kabuklaşma yapabilecek mineraller için bir güvenli sıcaklık seviyesi belirtilmek istenirse, bu değer 78 °C ve üzerindeki sıcaklık seviyeleri olacaktır.

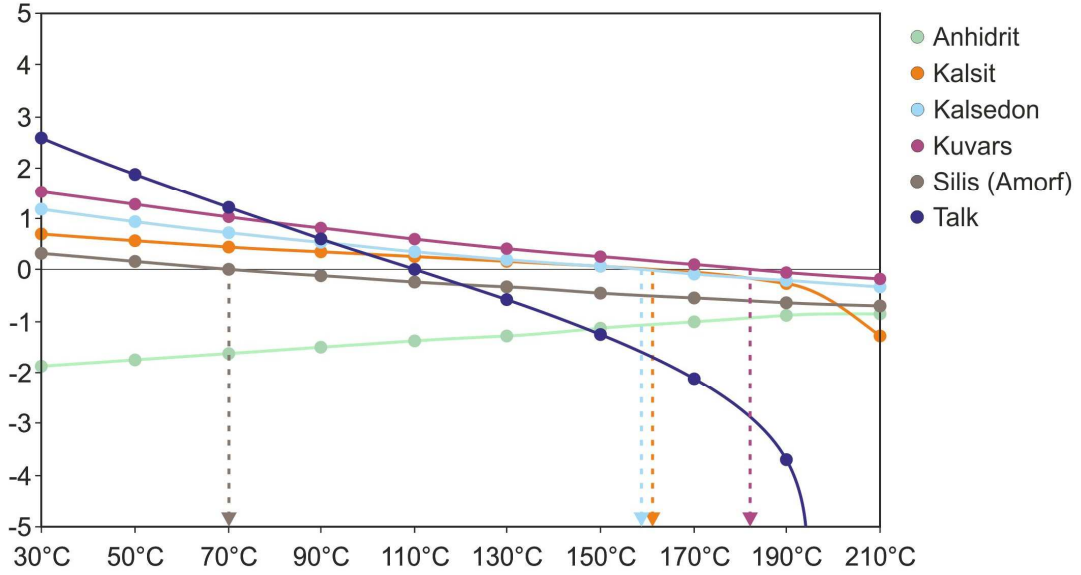


Şekil 5.17 KD-14 kuyusundan alınan üçüncü numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-14 jeotermal kuyusundan alınan üçüncü numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.17'de gösterilmiştir. Numune içerisinde bulunan minerallerden kabuklaşma yapması muhtemel minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyudan alınmış önceki iki numunede olduğu gibi hesap edilen hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşarak kabuklaşma tehlikesi oluşturacak miktarda olmadığı görülmektedir. Bunun yanı sıra kabuklaşma yapmaya müsait olan bir diğer mineral olan kalsit ise 175 °C sıcaklık aralığında doygunluğa ulaşmıştır. Bir diğer kabuklaşabilir mineral olan amorf silisin, 62 °C civarında bir sıcaklıkta doygunluğa ulaştığı tespit edilmiştir. Bu numunedeki kabuklaşabilecek minerallerden kalsit minerali, 175 °C gibi çok yüksek bir değer çıkmasından ötürü kalsit kabuklaşması kaçınılmaz olduğu ve inhibitör kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

KD-14 kuyularından alınan numunelerde bulunan anhidrit minerali, hesaplanan hiçbir sıcaklık değerinde kabuklaşma tehlikesi göstermemiştir. Saptanan mineraller arasında kabuklaşma tehlikesi gösterebilecek olan minerallerden biri olan kalsit minerali, numunelerden birinde 30 °C değerinin altında çıkmasına ve ikinci numunede 78 °C ve üzerindeki sıcaklıklar güvenli sıcaklık olarak belirlenmesine rağmen bir diğer numunede güvenli sıcaklık seviyesi 175 °C gibi yüksek bir rakam

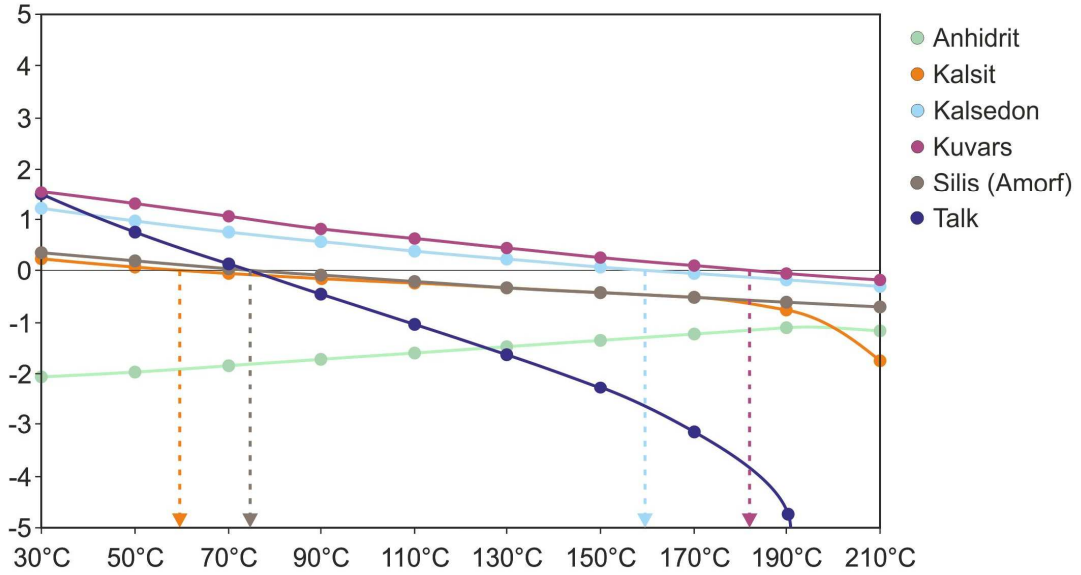
gösterdiği için, kalsit kabuklaşması kaçınılmaz olduğu görülmekte, bu nedenle kuyuda inhibitör kullanılması gerekebileceği sonucuna varılmıştır. Bir diğer kabuklaşabilecek mineral olan amorf silis ise, 62 °C - 70 °C - 78 °C sıcaklık seviyelerinde kabuklaşma tehlikesi göstermiştir.



Şekil 5.18 KD-15 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

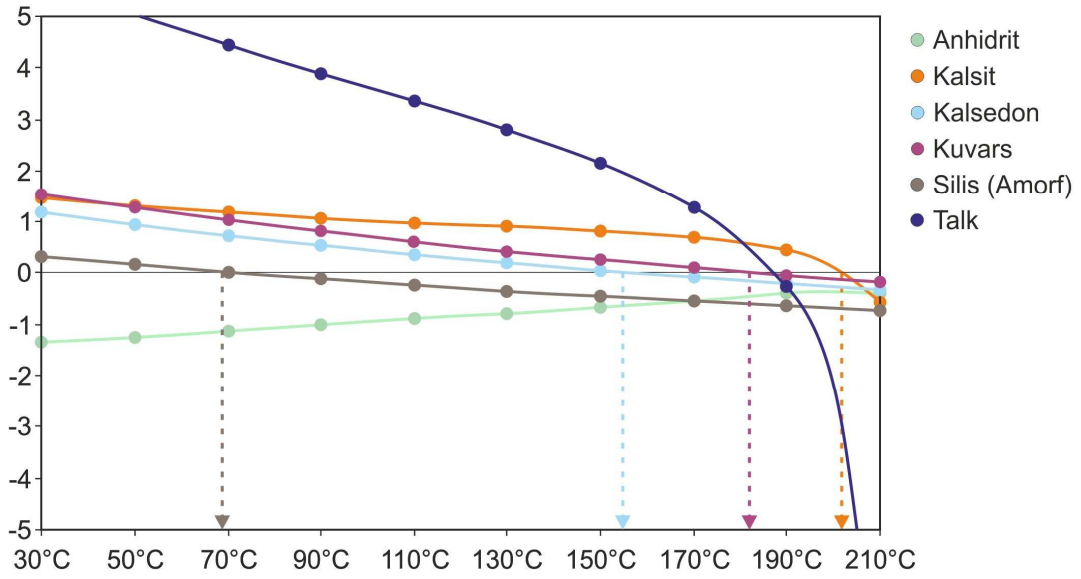
İnceleme alanındaki KD-15 jeotermal kuyusundan üç sıcak su numunesi alınmıştır. Bu numunelerden birincisinin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.18'de sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Bu diyagramlar üzerinde görülen ve kabuklaşma potansiyeline sahip minerallerden biri anhidrit mineralidir. Anhidrit minerali, diyagram üzerinde görülen, hesaba katılmış hiçbir sıcaklık derecesinde doygunluk seviyesini yakalayamamıştır, dolayısıyla bu sıcaklıklarda kabuklaşma yapma ihtimali bulunmamaktadır. Saptanan mineraller arasında kabuklaşma ihtimali kontrol edilmesi gereken bir başka mineral olan kalsit minerali, 163 °C civarındaki sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşarak, bu değer altında kabuklaşma tehlikesi oluşturduğu belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak kalsit mineralinin kabuklaşmasının kaçınılmaz olduğu görülmüştür. Kabuklaşabilecek bir diğer mineral olan amorf silis ise, kalsite nazaran daha düşük bir sıcaklıkta, 70 °C seviyesinde doygunluğa ulaşmıştır.

Numunedeki minerallerin kapsamlı olarak ele alınarak, numunenin ait olduğu jeotermal akışkandan kaynaklanan kabuklaşmadan kaçınmak amacı, kaçınılmaz olarak görülen kalsit minerali için inhibitör kullanılması gerekmektedir.



Şekil 5.19 KD-15 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-15 jeotermal kuyusundan alınan ikinci numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Numunede bulunan ve kabuklaşma potansiyeli olabilecek minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyudan alınan önceki numunede olduğu gibi hesaba katılan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamıştır, bunun sonucu olarak diyagramda görülen sıcaklık aralıklarında anhidrit kabuklaşması beklenmemektedir. Numune içerisinde bulunan ve kabuklaşması yaygın görülen bir diğer mineral olan kalsit mineralinin ise, 59 °C dolaylarında doygunluk seviyesine ulaştığı tespit edilmiştir. Hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan ve kabuklaşmaların nedeni sayılabilecek bir diğer mineral olan amorf silis, 74 °C civarı sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşmıştır. Numunedeki kabuklaşabilir mineralleri baz alarak, numunenin ati olduğu jeotermal akışkan için bir güvenli sıcaklık tespiti yapılırsa, bu sıcaklık 74 °C ve üzerindeki değerler olmalıdır.

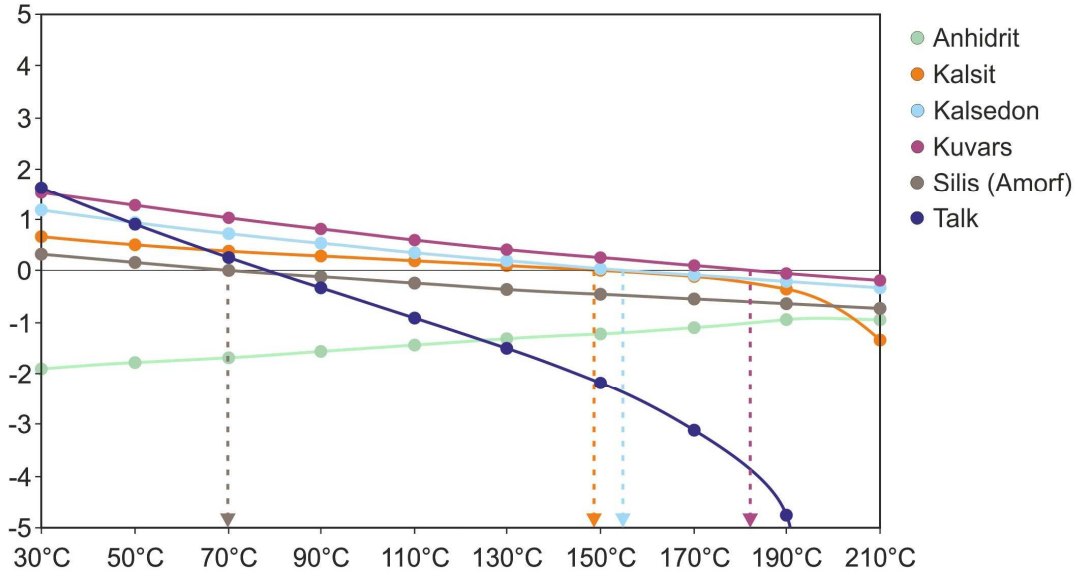


Şekil 5.20 KD-15 kuyusundan alınan üçüncü numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-15 jeotermal kuyusundan alınan üçüncü numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Diyagramda görülen ve kabuklaşma potansiyeli olan minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyuya ait önceki iki sıcak su numunesinde olduğu gibi, hesaba katılan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamayarak kabuklaşma tehlikesi oluşturmamıştır. Yaygın olarak kabuklaşma sorunlarına sebep olan bir diğer mineral olan kalsit ise, 202 °C gibi çok yüksek bir sıcaklıkta kabuklaşmaya sebebiyet verebilecek miktarda olduğu tespit edilmiştir. Bu numune ile yapılabilecek üretimde kalsit kabuklaşması kaçınılmaz olacaktır. Kabuklaşma ihtimaline karşı incelenmesi gereken minerallerden bir diğeri olan amorf silis ise, 69 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaştığı görülmüştür. Numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için, kaçınılmaz olan kalsit kabuklaşmasından uzak durabilmek için inhibitör kullanılması gerekmektedir.

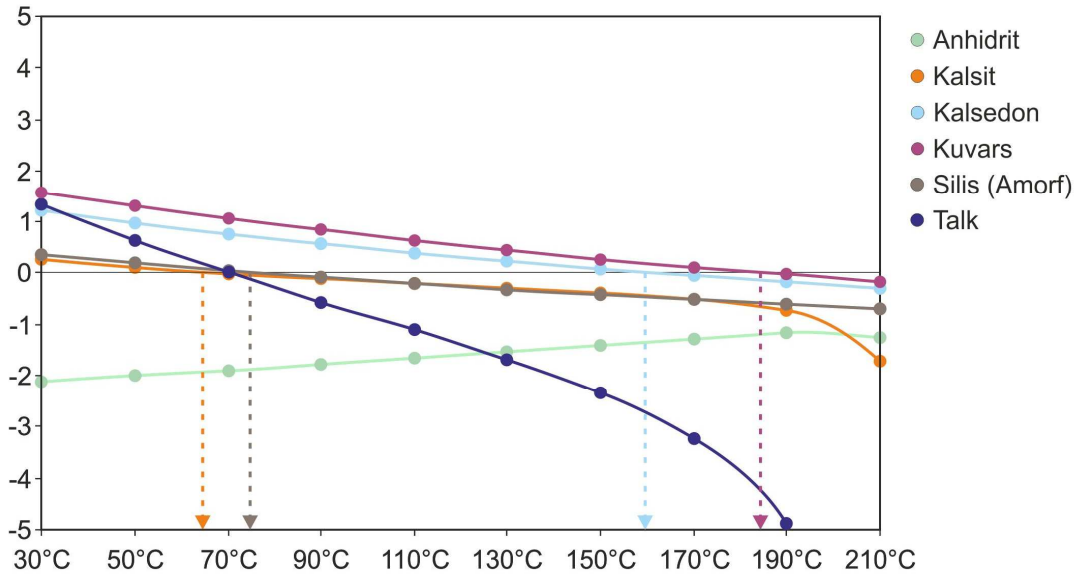
KD-15 kuyularından alınan numunelerde bulunan anhidrit minerali, hesaplanan hiçbir sıcaklık değerinde kabuklaşma tehlikesi göstermemiştir. Saptanan mineraller arasında kabuklaşma tehlikesi gösterebilecek olan minerallerden biri olan kalsit minerali, numunelerden birinde 59 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşabileceği görülmesine rağmen, diğer iki numunede kalsit kabuklaşmasının kaçınılmaz olacağı,

bundan kaçınmak amacı ile de kuyuda inhibitör kullanılması gerektiği vurgulanmıştır. Bir diğer kabuklaşabilecek mineral olan amorf silis ise, 62 °C - 70 °C ve 74 °C sıcaklık seviyelerinde kabuklaşma tehlikesi göstermiştir.



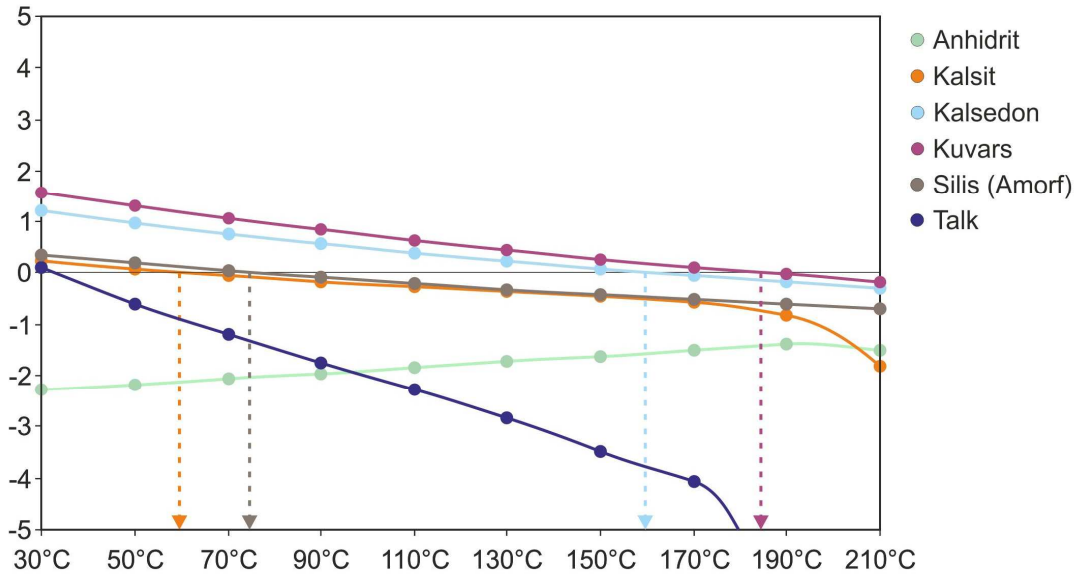
Şekil 5.21 KD-16 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-16 jeotermal kuyusundan dört sıcak su numunesi alınmıştır. Bu numunelerden birincisinin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.21'de sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda bulunan mineraller arasında, kabuklaşma ihtimali olan minerallerden biri olan anhidrit, hesap yapılmış hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamıştır. Kabuklaşma yapabilecek bir diğer mineral olan kalsit, 149 °C seviyesinde doygunluğa ulaşarak bu seviyenin altında kabuklaşma tehlikesi oluşturmaktadır. Yine yüksek miktarlarda bulunduğu kabuklaşma yaparak sisteme zarar verebilecek bir diğer mineral olan amorf silis ise 70 °C gibi bir sıcaklıkta doygunluğa ulaşmıştır. Numunenin ait olduğu jeotermal akışkanın, 149 °C gibi bir sıcaklık değerinde kalsit kabuklaşmasına uğramasından ötürü, üretim esnasında inhibitör kullanımı tavsiye edilir.



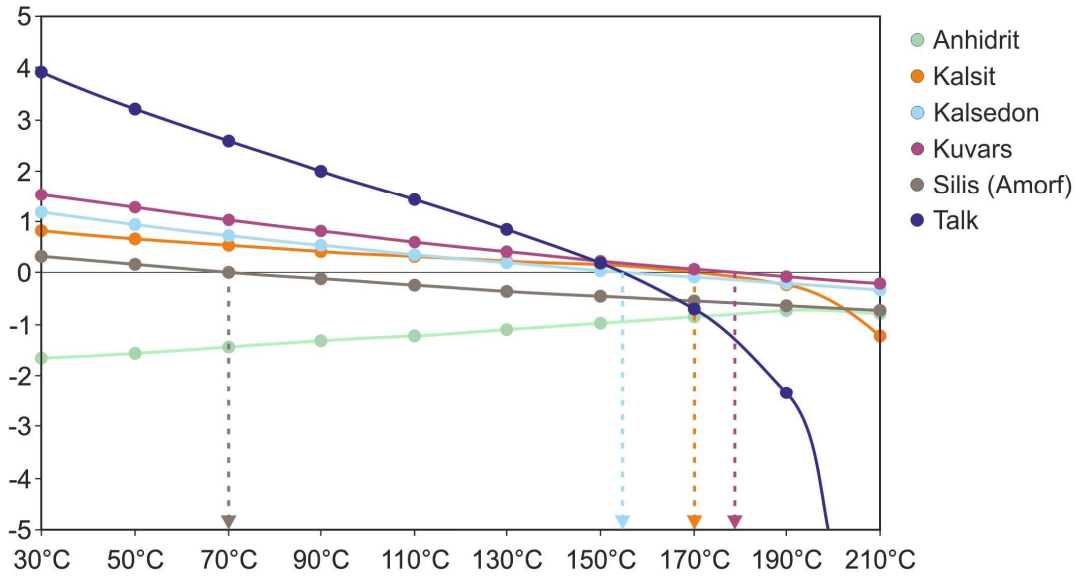
Şekil 5.22 KD-16 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-16 jeotermal kuyusundan alınan ikinci numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.22'de gösterilmiştir. Numune içerisinde saptanan ve kabuklaşma potansiyeli bulunan minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyudan alınmış birinci numunedeki gibi hesaplanmış hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamayarak kabuk oluşturma sorunu yaşatmamıştır. Yaygın kabuklaşma sorunları meydana getiren bir diğer mineral olan kalsit, 65 °C sıcaklığında doygunluğa ulaşarak kabuk oluşturma konusunda önem arz etmektedir. İncelenmesi gereken bir diğer kabuk oluşturmucu mineral ise amorf silistir. Amorf silis, 75 °C sıcaklık seviyesinde doymun hale geçerek, bu sıcaklığın altında kabuk oluşturma potansiyelini ortaya koymuştur. Numunedeki minerallerin geneli itibarıyla, numunenin ait olduğu jeotermal akışkandaki kabuk yapıcı minerallerin bilgileri ışığında, güvenli sıcaklık seviyesi 75 °C civarında olması gerekmektedir.



Şekil 5.23 KD-16 kuyusundan alınan üçüncü numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-16 jeotermal kuyusundan alınan üçüncü numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.23'te gösterilmiştir. Bu minerallerin içinde kabuklaşma ihtimali olan minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyudan alınan önceki iki numunede de olduğu gibi hesap edilen hiçbir sıcaklık aralığında doygun hale geçememiştir. Yaygın olarak kabuk oluşturunca bir diğer mineral olan kalsit, 60 °C sıcaklık seviyesinde doygun hale geçerek kabuklaşma tehlikesi göstermektedir. Aynı şekilde yaygın olarak kabuklaşma gösteren minerallerden bir diğeri olan amorf silis, 75 °C sıcaklık seviyesinde doygun hale gelmiştir. Numunenin geneli itibariyle kabuklaşma oluşturabilecek minerallerin ilgili diyagramda verdiği sıcaklık bilgileri göz önüne alınarak, numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için güvenli sıcaklık seviyesinin, 75 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleri olduğu yorumu yapılabilir.

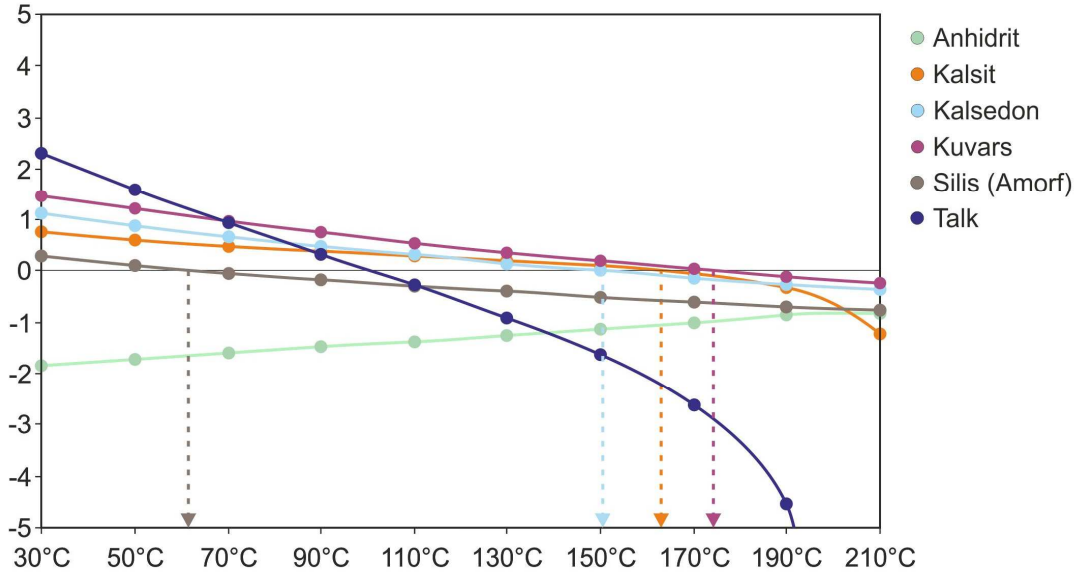


Şekil 5.24 KD-16 kuyusundan alınan dördüncü numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-16 jeotermal kuyusundan alınan dördüncü numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.24'te gösterilmiştir. Diyagramda bulunan minerallerin arasında kabuk oluşturabilecek minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyudan alınan önceki üç numune ile uyum gösterecek şekilde, hesap edilen hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluk seviyesine ulaşamamış, kabuklaşma tehlikesi ortaya koymamıştır. En çok kabuk oluşturan minerallerden biri olan kalsit ise, 170 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşmıştır. Bu sonuç, kalsit kabuklaşmasını üretim esnasında kaçınılmaz kılmaktadır. Bir diğer kabuk oluşturabilen yaygın minerallerden biri olan amorf silis ise, 70 °C sıcaklığında doygunluğa ulaşmıştır. Numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için, yüksek çıkan kalsit doygunluk sıcaklığı nedeni ile inhibitör kullanımı tavsiye edilir.

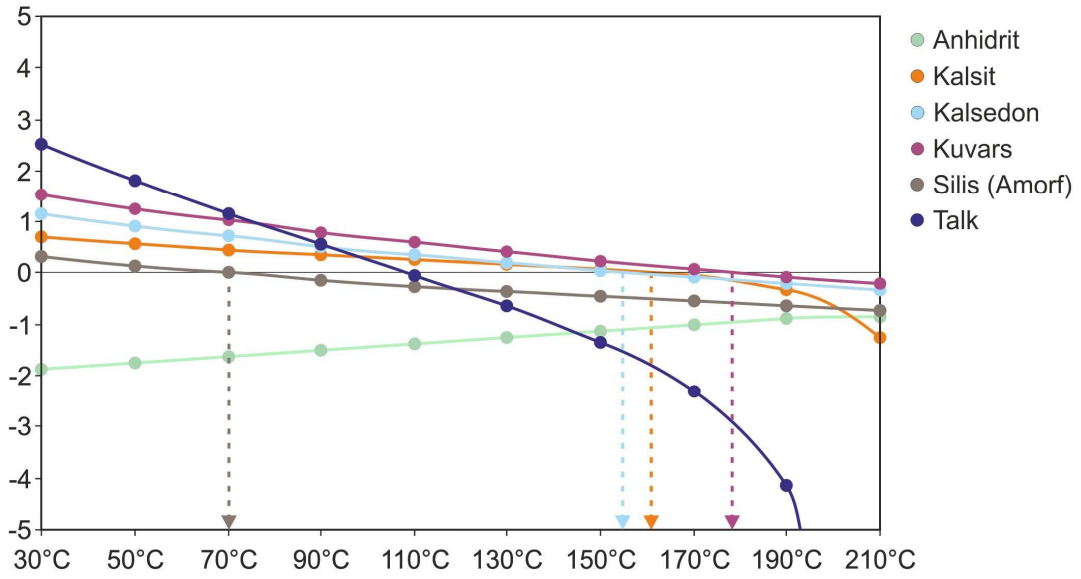
KD-16 kuyularından alınan numunelerde bulunan anhidrit minerali, hesaplanan hiçbir sıcaklık değerinde kabuklaşma tehlikesi göstermemiştir. Saptanan mineraller arasında kabuklaşma tehlikesi gösterebilecek olan minerallerden biri olan kalsit minerali, numunelerden iki tanesinde 60 °C - 65 °C sıcaklık değerlerinde çıkmasına rağmen diğer iki numunede güvenli sıcaklık seviyelerinin oldukça yüksek çıkması nedeni ile bu kuyudaki jeotermal akışkanlarda üretim esnasında inhibitör kullanımı

tavsiye edilmiştir. Bir diğer kabuklaşabilecek mineral olan amorf silis ise, iki numunede 70 °C, iki numunede ise 75 °C sıcaklık seviyelerinde kabuklaşma tehlikesi göstermiştir.



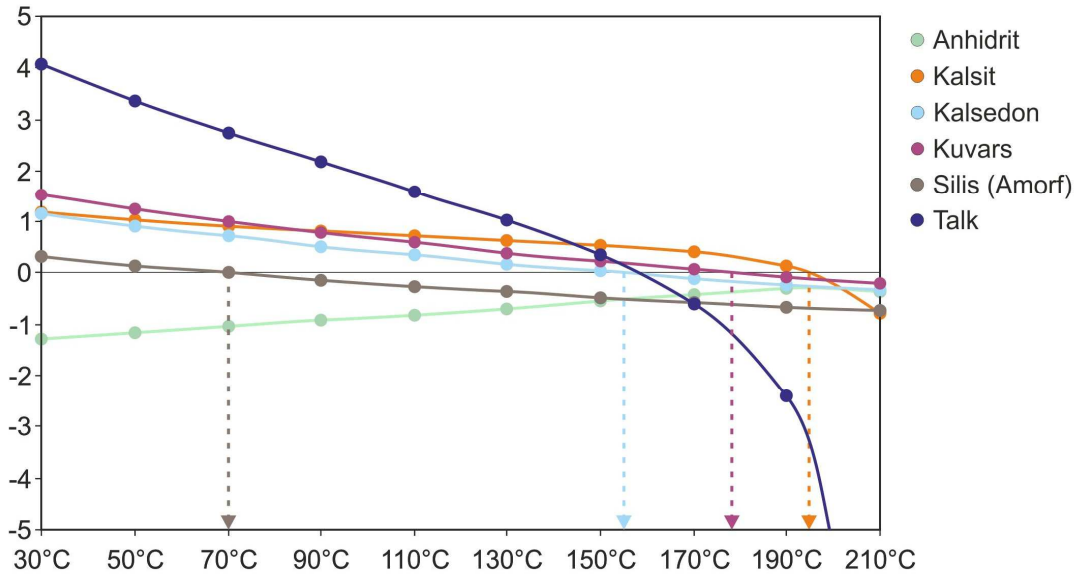
Şekil 5.25 KD-20 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-20 jeotermal kuyusundan bir sıcak su numunesi alınmıştır. Alınan numunenin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.25'te sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Numunede saptanan mineraller arasında, kabuklaşmaya eğilimli olan minerallerden biri olan anhidrit minerali, hesap edilen sıcaklık aralıklarının hiçbirisinde doygunluk seviyesine ulaşamayarak kabuklaşma tehlikesi göstermemiştir. Bulunan minerallerden kabuklaşmaya neden olma potansiyeli oldukça yüksek olan minerallerden biri olan kalsit, 163 °C gibi yüksek bir sıcaklıkta doymun hale geçerek kabuk oluşturma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu durum, üretim esnasında kalsit kabuklaşmasının olacağı anlamına gelir. İncelenmesi gereken, kabuk oluşturma kabiliyeti olan bir diğer mineral ise amorf silistir. Amorf silisin, 62 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaştığı tespit edilmiştir. Numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için, üretim esnasında oluşabilecek kalsit kabuklaşmasından kaçınmak amacı ile kuyuda inhibitör kullanılması tavsiye edilir.



Şekil 5.26 KD-21 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-21 jeotermal kuyusundan iki sıcak su numunesi alınmıştır. Bu numunelerden birincisinin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.26'da sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Saptanan mineraller arasında kabuklaşma oluşturma potansiyeli olan minerallerden biri olan anhidrit, hesap edilmiş hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşamamış ve kabuk oluşturma ihtimali göstermemiştir. Kabuklaşma olayına yaygın olarak neden olan minerallerden biri olan kalsittir. Kalsit minerali, 161 °C sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşarak kabuklaşma tehlikesi ortaya koymuştur. Bu sonuç, üretim esnasında kalsit kabuklaşmasının gerçekleşeceğini göstermektedir. Yüksek kabuklaşma ihtimali olan minerallerden bir diğeri olan amorf silisin ise, 70 °C sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaştığı tespit edilmiştir. Numunenin ait olduğu jeotermal akışkanın içerdiği kabuk oluşturuca minerallerin verdiği bilgiler ışığında, yüksek sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşan kalsit mineralinin kabuklaşmasından kaçınmak için kuyuda inhibitör kullanılması önerilmektedir.

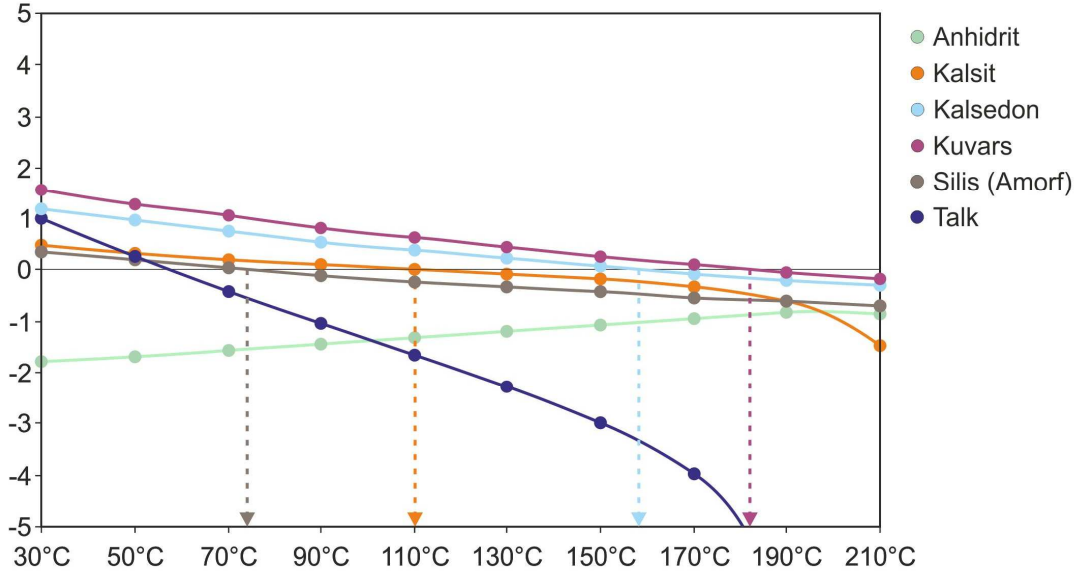


Şekil 5.27 KD-21 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-21 jeotermal kuyusundan alınan ikinci numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.27'de verilmiştir. Diyagramdaki mineraller arasında, kabuklaşmaya neden olabilecek minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyudan alınan birinci numune ile uyum göstererek, hesaba katılan hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluk seviyesine ulaşamamış ve kabuklaşma tehlikesi göstermemiştir. En yaygın kabuk oluşturabilecek minerallerden biri olan kalsit ise, aynı kuyudan alınan önceki numunedeki gibi, yine yüksek bir değer olan 195 °C sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşarak kalsit kabuklaşmasının kaçınılmaz olacağını göstermiştir. Kabuklaşma yapabilen yaygın minerallerden bir diğeri olan amorf silis ise, aynı kuyudan alından önceki numune ile uyum gösterecek biçimde, 70 °C sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşmış olduğu diyagramdan okunabilmektedir. Numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için, kaçınılmaz olan kalsit kabuklaşmasını engellemek amacı ile inhibitör kullanımı zorunludur.

KD-21 kuyularından alınan numunelerde bulunan anhidrit minerali, hesaplanan hiçbir sıcaklık değerinde kabuklaşma tehlikesi göstermemiştir. Saptanan mineraller arasında kabuklaşma tehlikesi gösterebilecek olan minerallerden biri olan kalsit minerali için, her iki numunede de çok yüksek sıcaklık seviyelerinde doygunluğa

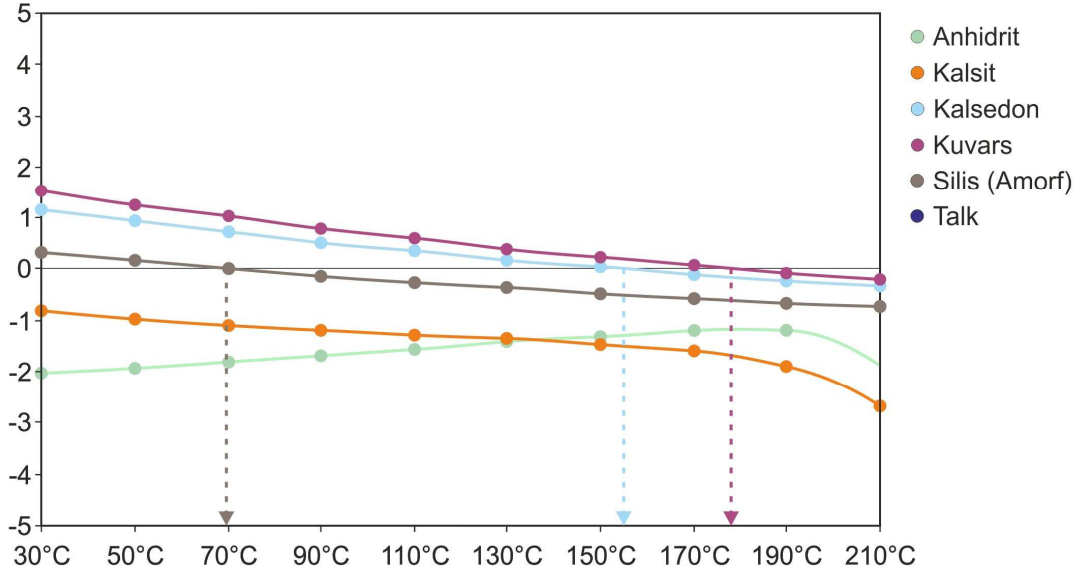
ulaşmasından dolayı kalsit kabuklaşmasından kaçınmak amacı ile kuyuda inhibitör kullanımı zorunludur. Bir diğer kabuklaşabilecek mineral olan amorf silis ise bir numunede 62 °C diğer üç numunede ise 70 °C sıcaklık seviyelerinde kabuklaşma tehlikesi göstermiştir.



Şekil 5.28 KD-22 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

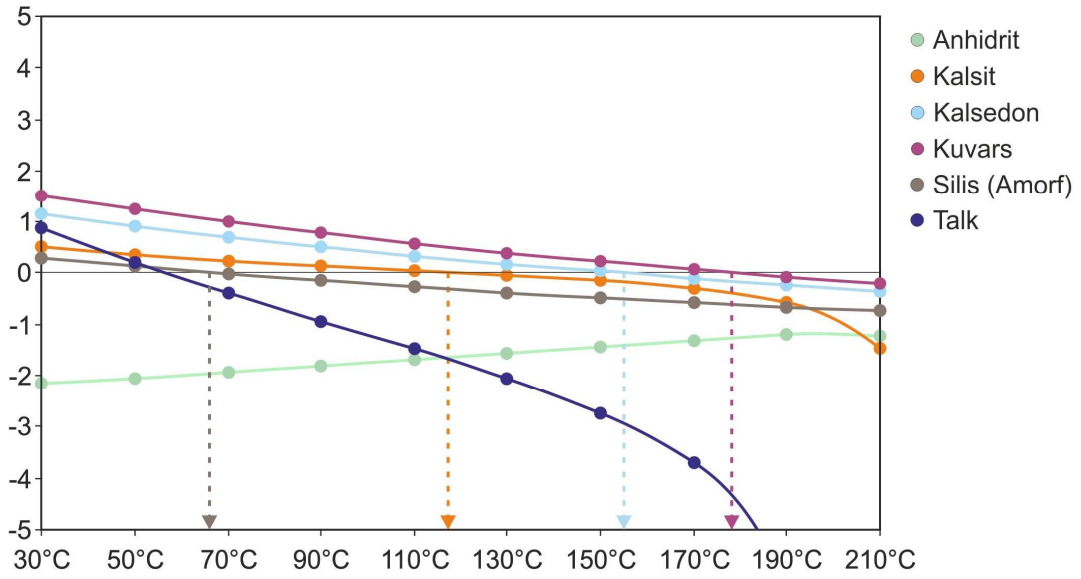
İnceleme alanındaki KD-22 jeotermal kuyusundan üç sıcak su numunesi alınmıştır. Bu numunelerden birincisinin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.28'de sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Diyagram üzerindeki mineraller arasında, kabuk oluşturu mineralerden biri olan anhidrit minerali, hesaplanmış hiçbir sıcaklık aralığında doygunluğa ulaşabilecek seviyede olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla anhidrit mineralinin kabuklaşmaya neden olmayacağı yorumu yapılabilir. Diğer taraftan, en yaygın kabuk oluşturu mineralerden biri olan kalsit minerali, 110 °C sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşarak kabuk oluşturu mineral olarak kendini göstermektedir. Bir başka yaygın kabuk yapıcı mineral olan amorf silis ise, 74 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşmıştır. Numunenin geneli itibariyle, numunenin ait olduğu jeotermal akışkandaki kabuk yapıcı minerallerin verdiği bilgiler baz

alınarak, kalsit mineralinin verdiği yüksek sıcaklık nedeniyle üretim verimi artırmak amacı ile inhibitör kullanımı tavsiye edilir.



Şekil 5.29 KD-22 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-22 jeotermal kuyusundan alınan ikinci numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.29'da gösterilmiştir. Numune içerisinde saptanan mineraller arasında, kabuk yapıcı minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyudan alınan birinci numune ile uyum göstererek, hesaplama için seçilen hiçbir sıcaklık aralığında doygunluğa ulaşamamış, doygunluk tehlikesini ortaya koymamıştır. Kabuk yapıcı bir diğer mineral olan kalsit minerali de, anhidrit minerali gibi hesap için seçilen hiçbir sıcaklık aralığında doygunluk noktasına ulaşamamıştır. En yaygın kabuk yapıcı minerallerden bir diğeri olan amorf silis ise, aynı kuyudan alınan birinci numunenin amorf silis sonucuna yakın olacak şekilde, 70 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşmıştır. Bu sonuçlar ışığında, numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için bir güvenli sıcaklık değeri verilmek istenirse, bu değer 70 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleri olması gerekmektedir.

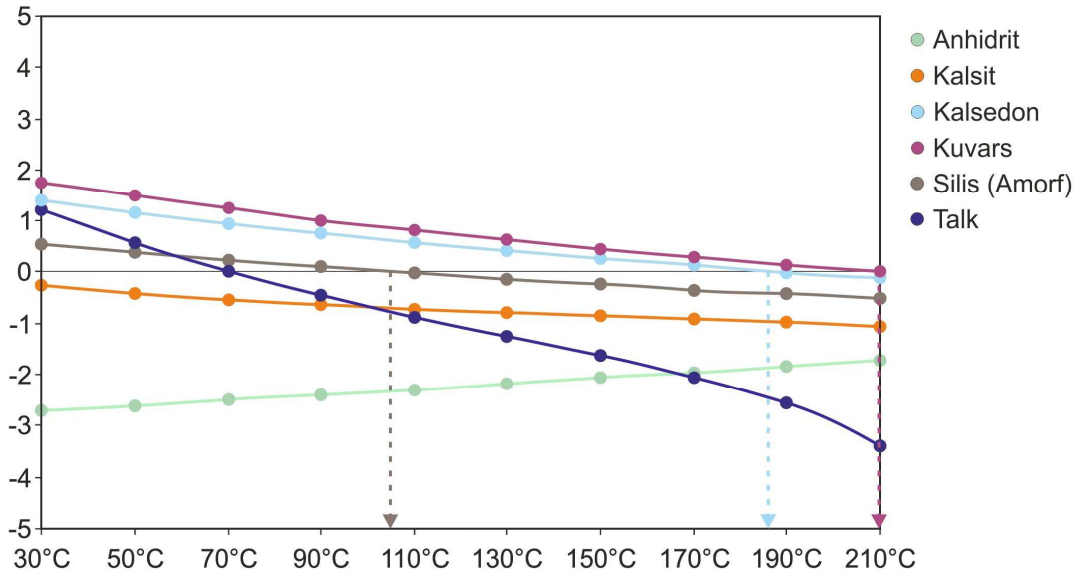


Şekil 5.30 KD-22 kuyusundan alınan üçüncü numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki KD-22 jeotermal kuyusundan alınan üçüncü numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.30'da gösterilmiştir. Diyagram üzerinde belirtilen minerallerin arasında, kabuk yapıcı minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyudan alınan önceki iki numune ile benzerlik gösterecek şekilde, hesaplanan hiçbir sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşmamış, kabuk oluşturmaya sebebiyet vermemiştir. En büyük kabuk oluşma nedeni olarak sayılabilecek minerallerden biri olan kalsit ise, 117 °C civarında bir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşarak kabuk oluşturma tehlikesini ortaya çıkarmıştır. Diğer bir kabuk oluşturu mineral olan amorf silis ise, aynı kuyudan alınan önceki iki numune ile uyum gösterecek biçimde, 66 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşmıştır. Numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için bir güvenli sıcaklık değeri belirlenmesi gerekirse, kabuk oluşturu minerallerin doygunluk analizi sonuçlarına göre, kalsit mineralinin yüksek sıcaklıkta doygunluğa ulaşması nedeniyle, üretim veriminin yüksek tutulması amacı ile kuyuda inhibitör kullanımı tavsiye edilir.

KD-22 kuyularından alınan numunelerde bulunan anhidrit minerali, hesaplanan hiçbir sıcaklık değerinde kabuklaşma tehlikesi göstermemiştir. Saptanan mineraller arasında kabuklaşma tehlikesi gösterebilecek olan minerallerden biri olan kalsit

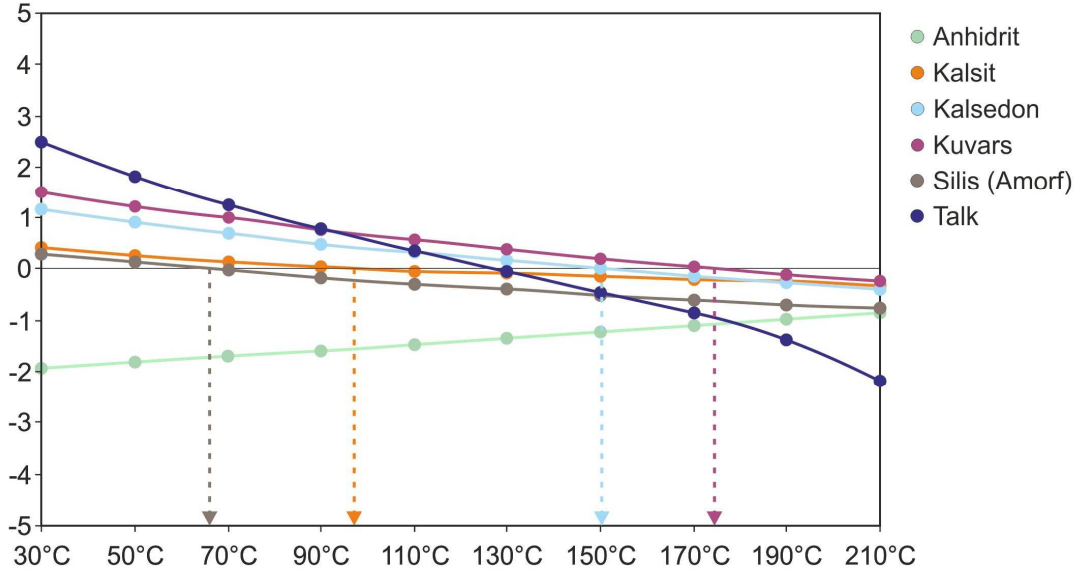
minerali için, numunelerden birinde hesaplanan hiçbir sıcaklık aralığında doygunluğa ulaşamamasına rağmen diğer iki numunede yüksek güvenli sıcaklık seviyeleri vermesinden ötürü inhibitör kullanımı gibi yüksek bir rakam gösterdiği için, verimi artırmak amacı ile kuyuda inhibitör kullanımı tavsiye edilmektedir. Bir diğer kabuklaşabilecek mineral olan amorf silis ise, 66 °C - 70 °C - 74 °C sıcaklık seviyelerinde kabuklaşma tehlikesi göstermiştir.



Şekil 5.31 R-1 kuyusundan alınan birinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki R-1 jeotermal kuyusu, numune alınan en yüksek kuyu dibi sıcaklığına sahip olan kuyudur. Bu kuyudan iki sıcak su numunesi alınmıştır. Bu numunelerden birincisinin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.31'de sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Diyagramda kabuk oluşturma özelliği gösteren minerallerden biri olan anhidrit, seçilen hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşmayarak, kabuklaşma tehlikesi sunmamıştır. Bir diğer kabuk oluşturu mineral olan kalsit minerali de, anhidrit minerali gibi, seçilen hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluk noktasına ulaşmamıştır. Bir diğer kabuk oluşturu mineral ise amorf silistir. Amorf silis, 105 °C sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşmıştır. İlgili numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için, amorf silis kabuklaşmasını engellemek ve üretim verimini

artırmak amacı ile 105 °C sıcaklık değerinin altında üretimden kaçınılmalı ya da mümkünse inhibitör kullanımı tavsiye edilir.

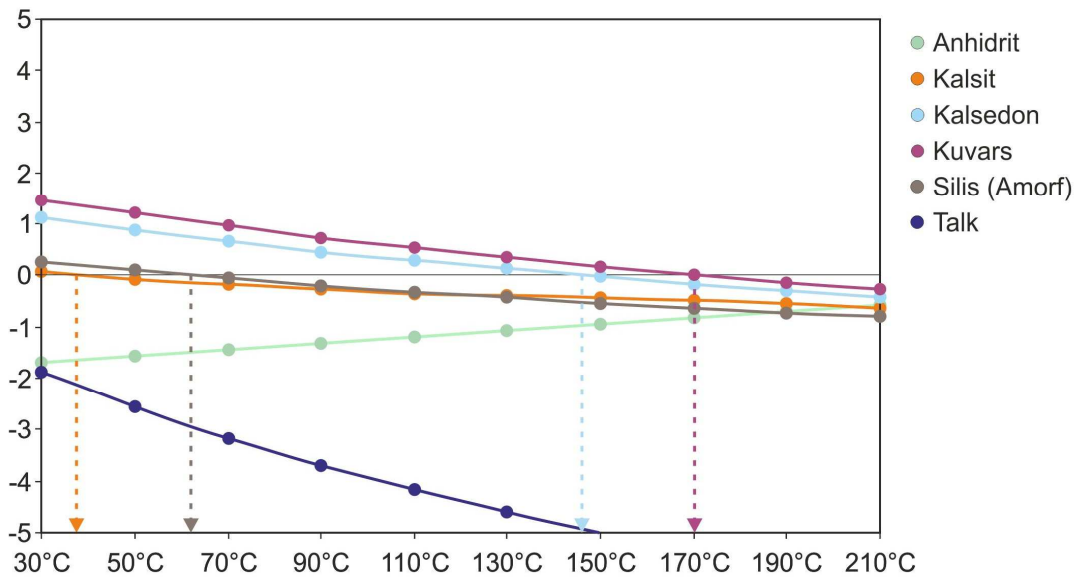


Şekil 5.32 R-1 kuyusundan alınan ikinci numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki R-1 jeotermal kuyusundan alınan ikinci numunenin analizleri kullanılarak saptanan mineraller ve bu minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklık bilgileri Şekil 5.32'de gösterilmiştir. Diyagram üzerinde gösterilen minerallerin arasında, kabuk yapıcı olarak bilinen minerallerden biri olan anhidrit, aynı kuyudan alınan önceki numunede olduğu gibi, seçilen hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluk noktasına ulaşamamış ve kabuk yapıcı özellik göstermemiştir. Saptanmış minerallerin arasındaki, en yaygın kabuk yapıcı minerallerden biri olan kalsit minerali, 97 °C sıcaklık değerinde doygunluğuna ulaşmıştır. Bir diğer kabuk oluşturu mineral olan amorf silis ise, 66 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaştığı görülmüştür. Numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için, 97 °C sıcaklık seviyesinin altında çıkan kalsit minerali için kuyuda inhibitör kullanılması önerilmektedir.

R-1 kuyularından alınan numunelerde bulunan anhidrit minerali, hesaplanan hiçbir sıcaklık değerinde kabuklaşma tehlikesi göstermemiştir. Saptanan mineraller arasında kabuklaşma tehlikesi gösterebilecek olan minerallerden biri olan kalsit

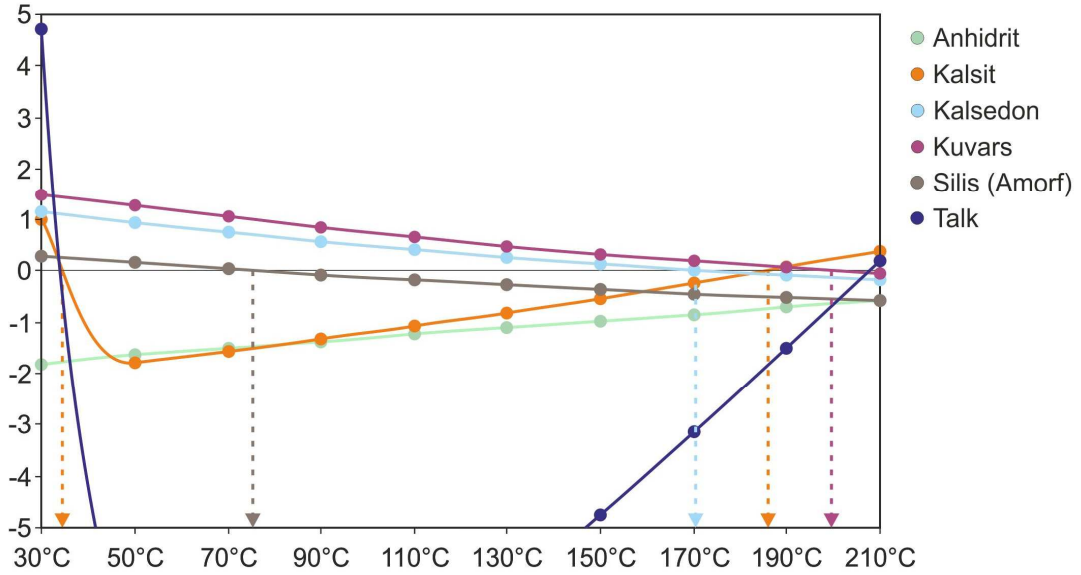
minerali, numunelerden birinde hesaplanan sıcaklık aralıklarında doygunluk altı değer verirken, diğer numunede ise 97 °C gibi yüksek bir güvenli sıcaklık seviyesi sonucuna varılmasından ötürü, üretimdeki verimi artırmak amacı ile inhibitör kullanımı önerilmektedir. Amorf silis minerali ise, numunelerden birinde 66 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşırken, diğer numunede 105 °C gibi yüksek bir değer çıkmasından ötürü amorf silis kabuklaşmasından kaçınmak için 105 °C sıcaklık seviyesinin altında üretim yapılmamalı ya da mümkünse inhibitör kullanılması önerilmektedir.



Şekil 5.33 R-3 kuyusundan alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki R-3 jeotermal kuyusu, numunesi alınmış en yüksek kuyu dibi sıcaklığına sahip kuyulardan biridir. R-3 jeotermal kuyusundan bir sıcak su numunesi alınmıştır. Alınan numunenin analizleri kullanılarak, sıcak su numunesinin içerdiği minerallerin doygunluk diyagramı hazırlanmış ve Şekil 5.33'te sunulmuştur. Bulunan minerallerin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Diyagramdaki kabuk oluşturabilecek minerallerden biri olan anhidrit minerali, seçilen hiçbir sıcaklık değerinde doygunluk seviyesine ulaşamamış ve kabuk oluşturamamıştır. En yaygın kabuk oluşturucu minerallerden biri olan kalsit minerali, 38 °C civarındaki sıcaklık değerlerinde doygunluğa ulaşmıştır. Bir diğer yaygın kabuk oluşturucu mineral olan amorf silis ise 62 °C civarında sıcaklıkta doygunluğa

ulaşmıştır. Numunenin ait olduğu jeotermal akışkan için bir güvenli sıcaklık seviyesi belirlenmek istenirse, kabuk oluşturuıcı minerallerin sunduğu bilgiler ışığında, 62 °C ve üzerindeki sıcaklıklar güvenli sıcaklık seviyesi olarak kabul edilebilir.



Şekil 5.34 W-1 atık su kanalından alınan numuneye ait mineral doygunluk diyagramı

İnceleme alanındaki W-1 atık kanalı, temel olarak Kızıldere jeotermal alanındaki jeotermal suların bir karışımıdır. Hem reenjeksiyon (geri basım) yapılamayan kullanılmış ve atık kanalına salınan jeotermal su karışımının kullanılma potansiyelini irdelemek, hem de bölgedeki jeotermal suların genellemesi olarak suların genel özelliğini belirlemek amacı ile atık kanalından bir adet numune alınmış ve kabuklaşma analizi irdelenmiştir. Bu analiz ışığında, kabuk oluşturabilecek minerallerden biri olan anhidritin, seçilebilen hiçbir sıcaklık seviyesinde doygunluğa ulaşmadığı tespit edilmiştir. En yaygın kabuk yapıcı minerallerden bir diğeri olan kalsit minerali, kullanılmak istendiği takdirde 35 °C ile 186 °C sıcaklığı aralığında doygunluk altı değerleri vermiştir. Bir diğeri yaygın kabuk yapıcı mineral ise amorf silistir. Amorf silis, 75 °C sıcaklığında doygunluğa ulaşmıştır. W-1 atık kanalından alınan su numunesinin 45 °C olduğu göz önüne alındığında, atık kanalında bulunan jeotermal su karışımının yüksek kabuklaşma eğilimi nedeniyle üretim için tekrar kullanılabilmesi mümkün değildir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanı olan Kızıldere jeotermal alanı, Büyük Menderes grabeni üzerinde yer alan jeotermal alanlardan biridir. Bölge, Türkiye sınırları içerisinde keşfedilmiş en sıcak jeotermal akışkan sağlayabilen ve en eski jeotermal alanlardan biridir.

Kızıldere jeotermal alanında bulunan formasyonlardan en eskisi, kuvarsit, mikaşist, benekli ve gözlü gnays gibi birimlerin oluşturduğu Paleozoik yaşlı Menderes Metamorfikleri'dir. Menderes Metamorfikleri'nin jeotermal konusundaki önemi ise, 3. ve yeni keşfedilmiş olarak sayılabilen 4. hazne kayaçların bu formasyon içerisinde bulunmasından gelmektedir. Menderes Metamorfikleri'nin üzerinde uyumsuzluk göstererek mermer, kuvarsit ve fillit aralanmasına sahip Paleozoik yaşlı İğdecik formasyonu yer alır. İğdecik formasyonu, Kızıldere jeotermal alanındaki 2. hazne kayaçları bünyesinden barındırmasından dolayı jeotermal olarak önem teşkil eder. İğdecik formasyonunun üzerinde, çakıltası, kumtaşı, kıltaşı birimlerini içerisinde barındıran, Alt Pliyosen yaşlı Kızılburun formasyonu uyumsuz olarak yer alır. Kızılburun formasyonunun üzerinde geçişli olarak bulunan ve marn, silttaşı, kumtaşı, kireçtaşı birimlerini bünyesinde bulunduran, yine Alt Pliyosen yaşlı Sazak formasyonu bulunmaktadır. İçeriğindeki kireçtaşı blokları, Sazak formasyonuna Kızıldere jeotermal alanındaki 1. hazne kayaç özelliği kazandırmaktadır. Bu formasyonun üzerinde geçişli olarak genellikle kumtaşı birimlerini kapsayan Kolonkaya formasyonu yer alır. Kolonkaya formasyonunun üzerinde açısal uyumsuzluk göstererek Üst Pliyosen yaşlı Tosunlar formasyonu yer alır. Bu formasyon, kumtaşı, çakıltası, silttaşı gibi birimleri bünyesinde barındırır. Üst Pliyosen yaşlı bu formasyonun da üzerinde, açısal uyumsuzluk ile Kuvaterner yaşlı traverten, yamaç molozu ve alüvyon yer alır.

Bölgedeki fayların hemen hepsi normal faylardır. Kademeli olarak gelişmiş olan bu fay sistemleri, bölgede K-G yönünde genişleme gösterecek şekilde gelişmişler ve eğimleri derinlere doğru azalacak şekilde olmuşlardır.

Tez kapsamında, inceleme alanından alınmış ve incelenmiş bir adet soğuk su numunesi (Büyük Menderes Deresi-Kabaagaç Mevki), atık su kanalından alınmış bir jeotermal akışkan numunesi (W-1) ve farklı zamanlarda aynı kuyulardan alınmış jeotermal akışkan numuneleri de dahil olmak üzere 22 adet sıcak su numunesi olmak üzere toplamda 24 adet numune bulunmaktadır. Bu numunelerin kimyasal analizleri sonucunda elde edilen veriler Tablo 5.1'de sunulmuştur. Ayrıca bu veriler Watch, AquaChem, Microsoft Office Excel programları ile irdelenmiş ve kabuklaşma analizi amacı ile elde edilmiş mineral doygunluk diyagramları CorelDRAW programı ile düzenlenerek teze eklenmiştir.

İnceleme alanından alınan numunelerin analizleri sonucu elde edilen verilerin ilgili kapsamlarda irdelenmesi sonucu, sıcak su numunesi olarak alınan su numunelerinin içme suyu olarak kullanılabilmesi, Tablo 5.1 üzerindeki koyu olarak yazılmış bileşenlerin olması kabuk edilebilir seviyelerin üzerinde olmasından dolayı mümkün olmadığı görülmüştür. Soğuk su numunesi olan Büyük Menderes deresine ait numunede ise, yüksek $\text{SO}_4^{=}$ seviyesi nedeniyle içme suyu olarak kullanılması sakıncalı bulunmuştur. İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak suların tarımsal amaçlı kullanımı, Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda, sıcak su numunelerinin tarımsal sulama amaçlı kullanımı mümkün olmadığı, soğuk su numunesi olan Büyük Menderes deresine ait suların da akaçlaması iyi olan arazilerde tuza dayanıklı bitkilerin kullanılması şartı ile tarımsal sulama amaçlı kullanımı mümkün olduğu saptanmıştır.

Alınan su numunelerinin analizleri sonucunda elde edilen verilere göre, suların bazik karakterli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Ayrıca sertlik sınıfı olarak sıcak suların hemen hepsi “çok yumuşak su” sınıfında olduğu görülmüştür. KD-14 ve KD-16 kuyularından alınan birer numune “yumuşak su”, KD-15 ve KD-21 kuyularından alınan birer numune “az sert su”, Büyük Menderes Deresi’nden alınan soğuk su numunesi ise “çok sert su” sertlik sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır.

Analiz edilen su numunelerinin fasiyes tipleri de irdelenmiştir. Buna göre KD-13, KD-15, KD-21 kuyularından alınan birer numune, KD-14 ve KD-22 kuyularından

alınan ikişer numune, R-1 kuyusundan alınan her iki numune ve KD-16 kuyusundan alınan 3 numunenin fasiyes tipleri $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ olarak hesaplanmıştır. Kalan sıcak su numunelerinin fasiyes tipleri ise $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{=}$ olarak belirlenmiştir. Büyük Menderes Deresi'nden alınan su numunesinin fasiyes tipi ise $\text{Mg}^+ - \text{Ca}^+ - \text{Na}^+ - \text{SO}_4^{=} - \text{HCO}_3^-$ şeklinde olduğu gözlemlenmiştir.

İnceleme alanından temin edilen sular, Durov, Piper ve Schoeller diyagramları üzerinde yerleştirilerek incelenmiştir. Durov diyagramı üzerindeki sıcak sular, $\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$ köşesine yakın bölgeye düşmüş, bütün sıcak suların birbirine benzer kimyasal özelliklere sahip olduğu vurgulanmıştır. Durov diyagramı üzerindeki soğuk su numunesi olan Büyük Menderes deresine ait sular ise, diyagramın orta bölgesinde yer almış, yani karışım suyu olduğu ortaya çıkmıştır. Kullanılan bir diğer diyagram olan Piper diyagramı üzerinde, sıcak suların düştüğü bölgeye göre sıcak suların "doğada nadir bulunan aşırı yumuşak su" sınıfına girdikleri saptanmıştır. Piper diyagramı üzerindeki soğuk su numunesi ise, karışım suları bölgesine düşmüştür ve Durov diyagramının Büyük Menderes deresi suları için verdiği sonucu destekler niteliktedir. Schoeller diyagramı üzerine düşürülen sıcak sular ise, birbirine yakın kimyasal özellik gösterir şekilde yerleşmişlerdir. Soğuk su numunesi olan Büyük Menderes deresine ait sular için ise, Schoeller diyagramında incelenen bileşenlerin miktarları yaklaşık birbirine yakın çıkmasından ötürü, karışım suyu yorumu yapılabilmektedir. Büyük Menderes deresine ait su numunesinin Cl^- ve $\text{SO}_4^{=}$ değerleri ile, sıcak su numunelerinin değerleri benzerlik göstermektedir. Bunun nedeni olarak, bölgedeki reenjeksiyon (geri basım) yapılamayan ve kullanılmış jeotermal suların Büyük Menderes deresine bırakılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Schoeller'e göre "klorür" miktarına, "sülfat" miktarına ve "karbonat ve bikarbonat" miktarına göre sınıflamalara da yer verilmiştir. Bu sınıflamalar sonucunda, sıcak su numunelerinin hepsi; klorür miktarına göre "olağan klorürlü sular", sülfat miktarına göre "oligosülfatlı sular", karbonat ve bikarbonat miktarına göre "hiper karbonatlı sular" olduğu saptanmıştır. İnceleme alanından alınan soğuk su numunesi olan Büyük Menderes deresine ait suların sonucu ise klorür miktarına göre "olağan klorürlü sular", sülfat miktarına göre "oligosülfatlı sular", karbonat ve bikarbonat miktarına göre de "olağan karbonatlı sular" olarak neticelenmiştir.

İnceleme alanından alınan bazı sıcak su numunelerinin üzerinde izotop analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde ^{18}O , D-Döteryum (^2H), ve T-Trityum (^3H) izotopları kullanılmıştır. Trityum izotoplarına göre, sıcak suların 50 yıldan daha yaşlı dolaşıma sahip sular olduğu tespit edilmiş, bu suların güncel yağış suları ile karıştığı belirtilmiştir. ^{18}O - D izotopları diyagram üzerinde yerleştirilmiştir. ^{18}O - D diyagramı sonucunda; D miktarının sabit kalmasına rağmen oksijen izotopunun artış göstermesi nedeniyle, sıcak suların rezervuar kayalar ile kimyasal etkileşimde olduğu sonucuna varılmıştır.

Kızıldere jeotermal alanından alınan sıcak sularda, saptanan minerallerin doygunlukları incelenmiştir. Saptanan mineraller; anhidrit, kalsit, kalsedon, kuvars, vollastonit, talk, krizotil ve amorf silis olup, KD-13 kuyusuna ait ikinci numunede kuvars, KD-14 kuyusuna ait üçüncü numunede kalsedon, KD-15 kuyusuna ait birinci numunede anhidrit, W-1 atık su kanalına ait sıcak su numunesinde de kalsedon, kuvars ve amorf silis mineralleri aşırı doygun durumda olduğu tespit edilmiştir. Belirtilen numunelerdeki diğer minerallerin ile diğer numunedeki saptanan bütün minerallerin doygunluğa ulaşamadığı görülmüştür.

İnceleme alanından elde edilen sıcak su numuneleri üzerinde çözünürlüğe ve iyon değişimine bağlı jeotermometre hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Çözünürlüğe bağlı jeotermometre olarak hesaplanan silis jeotermometre değerleri $201,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $256,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında olduğu hesaplanmıştır. Bulunan sıcaklık değerleri arasında R-1 kuyusuna ait ikinci numune ile R-3 kuyusuna ait numunenin ulaşılan silis jeotermometre değerleri istisna oluşturmuş, bilinen kuyu dibi sıcaklıklarının altında değerler vermiştir. Kalan diğer numunelerde ise, bilinen kuyu dibi sıcaklıklarına yakın jeotermometre değerlerine ulaşılabilmiştir. İyon değişimine bağlı jeotermometre olarak hesaplanan Na-K-Ca jeotermometre değerleri ise $164,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $206,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında sonuçlar vermiştir. Bu sonuçlar arasında KD-14 kuyusuna ait üçüncü numunenin, R-1 kuyusuna ait her iki numunenin ve R-3 kuyusuna ait numunenin Na-K-Ca jeotermometre sonuçları istisna oluşturmuş, bilinen kuyu dibi sıcaklıklarının çok altındaki sıcaklık değerlerine ulaşmıştır. Buradan hareketle, R-1 ve R-3 gibi diğer kuyulara nazaran daha yüksek kuyu dibi sıcaklığına sahip kuyulardaki jeotermal

akışkanlarda Na-K-Ca jeotermometre hesaplaması doğru sonuçlar vermemektedir. Bir diğer iyon değişimine göre jeotermometre olan Mg düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometresi ise hesaplanmış, ancak kabul edilebilir sonuçlara ulaşamaması nedeniyle çalışmaya dahil edilmemiştir.

Kızıldere jeotermal alanından alınan sıcak su numuneleri üzerinde jeotermometre hesaplaması amacıyla 25'in üzerinde bağıntı kullanılmış, ancak bunlardan yalnızca 22 tanesi çalışmaya eklenebilir sonuçlara ulaşabilmiştir. Hesaplanan ve kabul edilebilir jeotermometre değerleri 180 °C ile 251 °C aralığında değişim göstermektedir. Her bir numune için toplamda 22 tane farklı bağıntılara sahip silis ve Na/K jeotermometre hesaplamaları yapılmış ve sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Kullanılan bağıntılar ile elde edilen jeotermometre değerleri, bilinen kuyu dibi sıcaklıkları ile karşılaştırılarak, bağıntıların verdiği sonuçlar yorumlanmıştır. Buna göre; silis jeotermometrelerinden 4 (kalsedon), 7 (kuvars), 8 (kuvars buhar kaybı), 11 (kuvars buhar kaybı) ve 12 (kuvars buhar kaybı) numaralı jeotermometreler bilinen kuyu dibi sıcaklıklarına yakın değerler sunarken, 1 (amorf silis), 2 (α -Kristobalit) ve 3 (β -Kristobalit) numaralı silis jeotermometre bağıntıları ile bilinen kuyu dibi sıcaklıklarının çok altında değerlere ulaşılmış olup kullanılamaz olduğu vurgulanmıştır. Silis jeotermometre bağıntılarından, 5 (kalsedon, iletken soğuma), 6 (kalsedon-mmol), 9 (kuvars buhar kaybı), 10 (kuvars buhar kaybı) ve 12 (kuvars buhar kaybı) numaralı bağıntılar, ilk üç bağıntı kadar düşük olmasa da bilinen kuyu dibi sıcaklıklarının altında jeotermometre değerleri vermiş, dolayısıyla kullanılamaz olduğunu göstermiştir. Na/K jeotermometre bağıntılarında ise; 11, 13, 14, 18, ve 20 numaralı jeotermometre bağıntıları bilinen kuyu dibi sıcaklıklarına yakın değerler sunabilmiş iken, 19, 21 ve 22 numaralı bağıntılar bilinen kuyu dibi sıcaklıklarının çok üzerinde jeotermometre değerleri sunması neticesinde kullanılamaz oldukları belirtilmiştir. Ayrıca Na/K jeotermometre bağıntılarından 15 ve 16 numaralı bağıntılar 200 °C sıcaklık seviyesinin çok üzerindeki kuyu dibi sıcaklığa sahip kuyulara ait jeotermal akışkanlarda kullanılabiliyorken, 17 numaralı Na/K jeotermometre bağıntısı ise, çok düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanlar haricinde, 200 °C 'nin biraz üzerindeki jeotermal akışkanlarda kullanılabilir yorumu yapılabilmektedir.

Bunlara ek olarak sıcak sular üzerinde hesaplanan jeotermometre hesaplamalarının uygulanabilirliği kapsamında Giggenbach Üçgen ve Kare diyagramları kullanılarak inceleme yapılmıştır. AquaChem programından faydalanılarak gerçekleştirilen Giggenbach Üçgen diyagramı üzerinde sıcak su numuneleri "yarı dengelenmiş sular" bölgesinde yer almış ve bunun sonucunda hesaplanan jeotermometre değerlerinin kullanılabilir olduğu ancak halen jeotermal akışkanların rezervuar kayaçlar ile kimyasal etkileşimini sürdürdüğü belirtilmiştir. Ayrıca diyagram üzerindeki sıcak su noktalarının yoğun olduğu bölgeye göre, 220 °C ile 240 °C aralığında jeotermometre değerlerine ulaşılmıştır. Hesaplamaları yapılarak gerçekleştirilen Giggenbach Kare diyagramında ise; sıcak sular üzerinde hesap edilebilecek jeotermometre değerlerinin kullanılabilir olduğu, ancak halen kimyasal dengeye ulaşamamış olduğundan jeotermal akışkanların rezervuar kayaçlar ile etkileşimde olduğu yorumu yapılmıştır. Buna ek olarak, sıcak su noktalarının diyagram üzerindeki korelasyonu incelendiğinde, Giggenbach Üçgen diyagramında olduğu gibi, 220 °C ile 240 °C sıcaklık aralığında jeotermometre değerlerine rastlanmıştır.

Sıcak su numuneleri üzerinde, hazne kayaç sıcaklığı irdelemesi amacı ile karışım suları diyagramları çizilmiştir. Bu çalışma kapsamında “Entalpi-Sodyum” ve “Entalpi-Silis” diyagramları çizilmiş ve rezervuar kayaç sıcaklığı tahminleri yapılmıştır. "Entalpi-Sodyum" diyagramı sonucunda elde edilen rezervuar sıcaklıkları 205,5 °C ile 244,7 °C şeklindedir. İnceleme alanından numune alınan en yüksek kuyu dibi sıcaklığı olan R-1 kuyusunun 242 °C olan kuyu dibi sıcaklığına yakın değerler çıkması, sonuçların tatmin edici olduğunu göstermiştir. "Entalpi-Sodyum Karışım Modeli" diyagramından hesaplanabilen soğuk su karışım oranları, kabul edilemez sonuçların elde edilmesi nedeniyle teze eklenmemiştir. "Entalpi-Silis" diyagramında ise, rezervuar kayaç sıcaklıkları 169 °C ile 274 °C aralığında değişim göstermektedir. Bu sonuçlar, inceleme alanındaki KD-111 (152 °C) ile halen araştırması devam etmekte olan 4. rezervuarın tahmini sıcaklık değerlerine (250 °C - 260 °C) yakın değerler sunarak, daha geniş bir sıcaklık aralığında oldukça iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Ayrıca "Entalpi-Silis" karışım modeli diyagramı kullanılarak, KD-14 kuyusuna ait ikinci numune, KD-16 kuyusuna ait üçüncü

numune, KD-21 kuyusuna ait ikinci numune, KD-22 kuyusuna ait üçüncü numune ve R-1 kuyusuna ait her iki numune haricinde diğer bütün sıcak su numunelerinde buhar kaybı olduğu gözlemlenmiştir.

İnceleme alanından temin edilen sıcak su numuneleri üzerinde, daha önce yapılmış saptanan minerallerin doygunluklarının araştırmasının yanı sıra, kabuklaşma analizi yapmak amacı ile bulunan minerallerden 30 °C ile 210 °C sıcaklıkları arasında doygunluğa ulaşan ve doygunluğa oldukça yakın olan mineraller mineral doygunluk diyagramları üzerinde gösterilmiştir. İnceleme alanındaki sıcak suların diyagramlar üzerindeki dengesizliği sebebiyle, bu diyagramlar kullanılarak jeotermometre hesaplamaları yapılamamıştır. Bunun yerine, her bir numune için mineral doygunluk diyagramı hazırlanmış ve her bir numunedeki kabuk yapma potansiyeline sahip olan anhidrit, kalsit ve amorf silis mineralleri için güvenli sıcaklık tespiti yapılmaya çalışılmıştır. Kabuklaşma analizi yapılan bütün mineral doygunluk diyagramlarında, W-1 atık kanalından alınan sıcak su numunesi dahil olmak üzere, anhidrit minerali hesaplanmış hiçbir sıcaklık aralığında doygunluğa ulaşamamış ve kabuk oluşturma tehlikesi göstermemiştir.

KD-1 kuyusundan alınan sıcak su numunesinde amorf silis mineralinin güvenli sıcaklık seviyesi 70 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleri, kalsit mineralinin güvenli sıcaklık seviyesi ise 73 °C ve üzerindeki sıcaklıklar olarak tespit edilmiştir.

KD-13 kuyusundan alınan iki sıcak su numunesindeki amorf silis mineralinin güvenli sıcaklık değerleri 62 °C ve 64 °C iken, aynı numunelerdeki kalsit mineralinin doygunluğa ulaştığı sıcaklıklar birinde 96 °C - 97 °C, diğerinde ise 174 °C gibi yüksek sıcaklık değerleri olduğu görülmüştür. Üretim esnasında oluşması kuvvetle muhtemel olan kalsit kabuklaşmasından kurtulmak adına, kuyuda inhibitör kullanılması tavsiye edilmektedir.

KD-14 kuyusundan alınan üç sıcak su numunesindeki amorf silis mineralinin güvenli sıcaklık değerleri 62 °C - 70 °C - 78 °C sıcaklıkları ve üzerindeki sıcaklık değerleri olduğu görülmüştür. Kalsit minerali ise, numunelerden birincisinde 30 °C

sıcaklık değerinin altında, ikinci mineral 78 °C ve üzerindeki sıcaklıklar güvenli sıcaklık olarak saptanmasına rağmen, üçüncü numunede 175 °C gibi yüksek bir sıcaklık seviyesi göstermiş ve üretim esnasında oluşabilecek kalsit kabuklaşmasına işaret etmiştir. Üretim esnasında oluşabilecek kalsit kabuklaşmasına karşılık kuyuda inhibitör kullanılması tavsiye edilmektedir.

KD-15 kuyusundan alınan üç numunedeki amorf silis mineralinin belirlenmiş güvenli sıcaklıkları; 62 °C - 70 °C - 74 °C ve üzerindeki sıcaklık değerleridir. Kalsit minerali ise, numunelerin birinde 59 °C güvenli sıcaklık değeri belirlemesine karşılık olarak diğer iki numunede 163 °C ve 202 °C sıcaklık değerleri vermesinden dolayı, kalsit kabuklaşmasının kaçınılmaz olacağı vurgulanmış, bu nedenle güvenli sıcaklık değeri saptanamamış ve kuyuda inhibitör kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

KD-16 kuyusundan alınan dört numunedeki amorf silis mineralinin saptanmış güvenli sıcaklıkları; iki numunede 70 °C ve diğer iki numunede 75 °C sıcaklık değerleri ve üzerindeki sıcaklıklardır. Kalsit mineralleri ise, iki numunede 60 °C - 65 °C güvenli sıcaklık değeri verirken, iki numunede ise 149 °C - 170 °C gibi yüksek sıcaklıklar vermesi nedeniyle, üretim esnasında oluşacak kalsit kabuklaşmasından kaçınmak amacı ile kuyuda inhibitör kullanılması tavsiye edilmektedir.

KD-20 kuyusundan alınan sıcak su numunesinde bulunan amorf silis mineralinin belirlenmiş güvenli sıcaklık değeri 62 °C olarak gösterilmiştir. Kalsit minerali ise 163 °C gibi yüksek bir sıcaklık değeri verdiği için üretim esnasında oluşacak kalsit kabuklaşmasından kaçınmak amacı ile inhibitör kullanılması tavsiye edilmiştir.

KD-21 kuyusundan alınan iki sıcak su numunesindeki amorf silis mineralinin belirlenen güvenli sıcaklık seviyeleri 62 °C - 70 °C değerleridir. Kalsit minerali ise 161 °C ve 195 °C gibi yüksek sıcaklıklarda doygunluğa ulaştığı gözlemlenmiş ve kaçınılmaz olan kalsit kabuklaşmasından kaçınmak amacı ile kuyuda inhibitör kullanılmasının zorunlu olduğu vurgulanmıştır.

KD-22 kuyusundan alınan üç sıcak su numunesinde saptanmış amorf silis mineralinin güvenli sıcaklık değerleri 66 °C - 70 °C - 74 °C seviyeleridir. Kalsit minerali ise, numunelerin birinde hesaplanmış hiçbir sıcaklık aralığında kabuk tehlikesi oluşturmamışken diğer iki numunede 110 °C - 117 °C sıcaklık değerlerine ulaşılmış, bunun sonucu olarak üretim esnasında oluşabilecek kalsit kabuklaşmasından kaçınmak amacı ile kuyuda inhibitör kullanılması tavsiye edilmiştir.

R-1 kuyusundan alınan iki sıcak su numunesinde belirlenmiş amorf silis minerali, numunelerin birinde 66 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşırken diğerinde 105 °C sıcaklık değerinde doygunluğa ulaşabilmiştir. Kalsit minerali de, numunelerin birinde hesaplanmış hiçbir sıcaklık aralığında kabuk oluşturma tehlikesi oluşturmamış iken diğer numunede 97 °C gibi bir sıcaklık değeri vermiştir. Üretim esnasında oluşacak kalsit ve amorf silis kabuklaşmalarından kaçınmak amacı ile kuyuda inhibitör kullanılması tavsiye edilmektedir.

R-3 kuyusundan alınan sıcak su numunesinde bulunan amorf silis minerali, 62 °C ve üzerindeki sıcaklıklar için güvenli sıcaklık değeri verirken, kalsit minerali 38 °C ve üzerindeki değerleri güvenli sıcaklık olarak göstermiştir.

W-1 atık su kanalından alınan sıcak su numunesi, atık su kanalındaki suların yeniden kullanılabilirlik potansiyelini ortaya koymak amacı ile kabuklaşma analizine dahil edilmiştir. Atık su kanalında ait suların içerdiği kalsit minerali 30 °C ile 186 °C sıcaklık aralığında doygunluk altı değerler vermiştir. Ancak amorf silis minerali ise 75 °C güvenli sıcaklık seviyesi göstermiştir. Atık su kanalından alından su numunesinin 45 °C olduğu düşünüldüğünde, atık su kanalındaki suların yeniden kullanımı esnasında oluşacak amorf silis kabuklaşması nedeni ile, atık su kanalında bulunan suların üretim için tekrar kullanılmasının mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.

İnceleme alanı olan Kızıldere jeotermal alanının üzerinde özel sektör tarafından çok sayıda kuyu açıldığı bilinmektedir. Keşfedilen 4. hazne kayaç üzerindeki

araştırmalar artırılarak potansiyeli hesaplanmalı, mümkün olduğunca fazla kuyu açılarak yüksek sıcaklıktaki jeotermal akışkan sayesinde üretilen enerji miktarının yükselmesi sağlanabilir. Ayrıca, atık kanalından Büyük Menderes Deresi'ne bırakılan kullanılmış jeotermal akışkanın, reenjeksiyon yolu ile azaltılması sağlanmalıdır. Bu sayede hem hazne kayaçların beslenimleri, hem de evre kirliliğinin bir nebze daha önüne geçilmesi sağlanabilir.

Ayrıca, Kızıldere jeotermal alanında görevli Jeoloji Mühendislerinden çalışanlardan alınan bilgilere göre bu kuyuların hemen hepsinde enerji üretimi esnasında çeşitli solüsyonların kuyulara basılması ile bazı birimlerin kabuklaşmalarından kaçınma yoluna gidilmektedir. Ancak halen silis içerikli birimlerin kabuklaşmalarını engellemek amacı ile yeni ve daha etkili solüsyonlar için araştırma yapılması gerekmektedir. Bu sayede, bölgedeki kuyulardan çıkarılan jeotermal akışkanın daha düşük sıcaklıklara kadar kullanılması mümkün olacak, üretilen enerjinin artması ve enerji başına maliyetin daha aşağı düşmesi sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- Akartuna, M. (1965). Aydın-Nazilli hattı kuzeyindeki versanların jeolojisi hakkında, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 65.
- Akdeniz, N. ve Konak, N. (1979). *Simav, Emet, Tavşanlı, Dursunbey, Demirci yörelerinin jeolojisi*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Derleme Raporu 6547.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. ve Svavarsson, H. (1983). The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 567-577. United States of America: Pergamon Press.
- Ayan, M. (1973). Gördes migmatitleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 81.
- Boray, A., Akat, U., Akdeniz, N., Akçören, Z., Çağlayan, A., Güney, E., ve diğer. (1975). Menderes masifi güney kenarı boyunca bazı önemli sorunlar ve bunların muhtemel çözümleri. *Cumhuriyetin 50. Yıl Yerbilimleri Kongresi*, 11-20, Ankara.
- Bozkurt, E., Winchester, J. A. ve Piper, J. D. A. (Eds.) (2000). *Timing of extension on the Büyük Menderes graben, western Turkey, and its tectonic implications. Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, Geological Society Special Publication, 173, 385-403.
- Bozkurt, E. ve Mittweide, S. (2001). Introduction to the geology of Turkey-a synthesis. *International Geology Review*, 43, 578-591.
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-B.

- Çağlayan, M. A., Öztürk, E. M., Öztürk, Z., Sav, H. ve Akat, U. (1980). *Menderes masifi güneyine ait bulgular ve yapısal yorum*. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 10.
- Çifter, C. ve Sayın, M. (2002). İzotopların hidrojeolojide kullanılması. *Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyum Bildirimleri*, 1-15, Adana.
- Dewey, J. F. ve Şengör, A. M. C. (1979). *Aegean sea and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone*. Geological Society of America Bulletin Part I, 90,84-92.
- Dora, Ö. (1975). *Menderes masifinde alkali feldspatların yapısal durumları ve bunların petrojenetik yorumlarda kullanılması*. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni C.18, 2.
- Egeran, N. ve Yener, H. (1947). *Notes explicatives de la carte géologique de la Turquie, Fevilla "İzmir"*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Ente Nazionale per l'Energia Elettrica Unita Nazionale Geotermica. (ENEL) (1988). *Optimization and Development of the Kızıldere Geothermal Field*, Pisa, Italy (unpublished).
- Erişen, B. (1971). *Denizli-Dereköy sahasının jeolojik etüdü ve jeotermik enerji imkanları*, Maden Tetkik Arama Rapor No. 4665.
- Fournier, R. O. ve Truesdell, A. H. (1973). An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37,, 1255-1275.
- Fournier, R. O. (1977). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. In: *Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy*, 219-230, Ankara.

- Fournier, R. O. (1977b). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *In: Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy*, 199-210, Ankara.
- Fournier, R. O. (1979a). A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Researches Council Transactions*, 3, 221-224.
- Fournier, R. O. (1979b). Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hotspring systems. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 5, 1-16.
- Fournier, R. O. ve Potter, R. W. (1979). Magnesium Correction to the Na-K-Ca Chemical Geothermometer. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43, 1543-1550.
- Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B. L. ve Truesdell, A. H. (1983). Isotopic and chemical composition of Parbaki Valley geothermal discharges. *Northwest Himalaya, India. Geothermics*, 12, 199-222.
- Giggenbach, W. F. (1988). Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Google Maps. (2013). "Yer bulduru haritası" ve "analiz edilen sıcak su numunelerinin alındığı noktalar", 20 Temmuz 2013, <https://maps.google.com>.
- Güleç, N. (2010). *Büyük Menderes grabeninin doğu kesiminde sismik etkinliklerin jeokimyasal olarak izlenmesi ve jeotermal sahaların asal haz karakterasyonu*. TÜBİTAK Proje No: 106Y206, 7. Ankara, Türkiye.
- Graciansky, P. (1965). Menderes masifi metamorfik kayaçlarındaki grenaların yapısı hakkında. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 65.

- Helgeson, H. C., Kirkham, D. H. ve Flower, G. C. (1981). Theoretical prediction of the behaviour of aqueous electrolytes at high pressures and temperatures: Calculation of activity coefficients, osmotic coefficients, and apparent molal and standard and relative partial molal properties to 600 °C and 5 kb: *American Journal of Science*, 281, 1248-1516.
- International Atomic Energy Agency. (I.A.E.A.) (1981). *Stable isotope hydrology. Deuterium and oxygen-18 in water cycle*. In: Gat, J.R., & Gonflantini, R. (Eds.), Technical Report 210, 339.
- İzdar, E. K. (1971). *Introduction to geology and metamorphism of the Menderes Massif of western Turkey, in geology and history of Turkey*. Petroleum Exploration Society of Libya, Tripoli, 495-500.
- Kastelli, M. (1971). *Denizli-Sarayköy-Çubukdağ-Karacasu alanı jeoloji incelenmesi*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No. 4573.
- Kaya T. (2009). Geothermal power production. *IGA, International Geothermal Workshop*, İstanbul
- Kel, Y. A. (2011). *Kızıldere jeotermal alanı lisans bitirme tezi*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, 18-21.
- Ketin, I. (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 66.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H. ve Bozkurt, E. (1999). Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society*, 156, 605-616.
- Le Pichon, X. ve Angelier, J. (1979). The Hellenic arc and trench system; A key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean. *Tectonophysics*, 60, 1-42.

- Mc Kenzie, D. P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (MTA) (2005). *MTA Envanter-201*. Ege Bölge Müdürlüğü, İzmir, Türkiye.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (MTA) (27 Temmuz 2012). *Türkiye'deki Genç Tektonik Kuşaklar ve Sıcak Su Kaynaklarını Dağılımı*. 16 Temmuz 2013, <http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/enerji/index.php?id=haritalar>
- Nieva, D. ve Nieva, R. (1987). Development in geothermal energy in Mexico, part 12-A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. *Heat Recovery Systems and Combined Heat & Power*, 7, 243-258.
- Okay, A. I. (1986). High pressure/low temperature metamorphic rocks of Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 164, 333-347.
- Önay, T. Ş. (1949). Über die schmirgelsteine southwest Anatolies. *Schweizerische Mineralogische Petrographische Mitteilungen*. 2, 357-492.
- Patton, S. (1992). *The relationship between extension and volcanism in western Turkey, the Aegean Sea and central Greece*. Ph. D. Thesis, University of Cambridge.
- Philipson, A. (1915). Karien sudlichdes Maander und das Westliche Lykien, *Reissen und forschungen in westlichen Kleinasien* 5. Milteilungen, Gotha.
- 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 et Cosmochimica Acta*, 48, 1479-1492.

- Schuilin, R. D. (1962). Türkiye'nin güney batısındaki Menderes migmatit kompleksinin petrolojisi, yaşı ve yapısı hakkında. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 58.
- Seyitoğlu, G. ve Scott, B. C. (1992). Late Cenozoic volcanic evolution of the northeastern Aegean region. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54, 157-176.
- Scotford, D. M. (1969). Metasomatic augen gneiss in greenschist facies western Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 80, 1079-94.
- Süer, S. (2010). *Geochemical monitoring of the seismic activities and noble gas characterization of the geothermal fields along the eastern segment of the Büyük Menderes graben*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Doktora Tezi, Ankara, Türkiye.
- Şahinci, A. (1991b). *Doğal suların jeokimyası*, İzmir: Reform Matbaası
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Şengör, A. M. C. (1984). The Cimmeriden orogenic system and the tectonics of Eurasia. *Geological Society of America, Special Paper*, 195, 82.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. ve Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip deformation basin formation and sedimentation: Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle, K.T., & Christie-Blick, N. (Eds), *Society of Economic Paleontologists and Mineralogist, Special Publication*, 37, 227-264.
- Şimşek, Ş. (1984). *Denizli, Kızıldere, Tekkehamam, Tosunlar, Buldan, Yenice Alanlarının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 7846 (yayınlanmamış).

- Şimşek, Ş. (1985). Geothermal model of Denizli, Sarayköy-Buldan area. *Geothermics*, 14, 393-417.
- Şimşek, Ş. (2005). *Research on isotope techniques for exploitation of geothermal reservoirs in western Turkey, use of isotope techniques to trace the origin of acidic fluids in geothermal systems*. International Atomic Energy Agency, Technical Documents Publication, 155, 169.
- Şimşek, Ş. (2010). *Büyük Menderes grabeni batı kesiminde yer alan jeotermal sistemlerin hidrodinamik yapılarının jeokimyasal teknikler ve asal gaz izotopları yardımıyla incelenmesi*. TÜBİTAK Proje No: 107Y188, 40-42. Ankara, Türkiye.
- Taner, G. (1975). Denizli Neojenin Paleontolojik ve Stratigrafik Etüdü, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 82-83 ve 85.
- Tarcan, G. (2002). *Jeotermalde yerbilimsel uygulamalar*, Jenarum Yaz Okulu Ders Notları, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Tarcan, G. (2004). *Jeotermal su kimyası ders notları*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Taymaz, T. (1996). S-P wave travelttime residuals from earthquakes and lateral inhomogeneity in the upper mantle beneath Aegean and the Hellenic Trench near Crete. *Geophysical Journal International*, 127, 545-558
- Tonani, F. (1980). Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. *Proceeding, Advanced European Geothermal Resources Second Symposium*, Strasbourg.
- Truesdell, A. H. (1976). Summary of Section III. geochemical techniques in exploration. *Proceeding Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources*, 1, San Francisco.

Türk Standartları 266 (TS-266) (2005). *İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik*, Sular-İçme ve kullanma suları, Türk Standartları, Ankara.

Tut, F., Haizlip, J. R. ve Garg, S. K. (2013). *Comparison of reservoir conditions in high noncondensable gas geothermal systems*, Proceedings, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, California.

Yıldız, F., E., Temel Dilaver, A., Gürer, İ., Ünsal, N., Bayarı, S., Türkiler, S. ve diğer. (2008). Develi kapalı havzasında yeraltı suyu ve yüzey suyu ilişkisinin doğal izotoplarla belirlenmesi, 3. *Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu*, 25-37, İstanbul.