

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇANAKKALE TUZLA-GÜLPINAR JEOTERMAL
ALANLARININ HİDROJEOLÖJİK AÇIDAN
İNCELENMESİ

Kıvanç ÖZÇETİN

Mart, 2018
İZMİR

ÇANAKKALE TUZLA-GÜLPINAR JEOTERMAL ALANLARININ HİDROJEOLÖJİK AÇIDAN İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programı

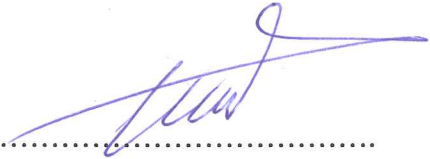
Kıvanç ÖZÇETİN

Mart, 2018

İZMİR

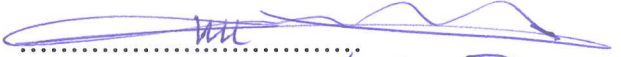
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

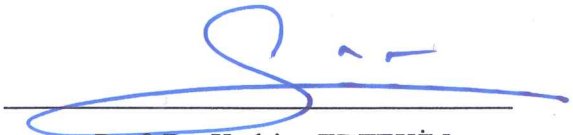
KIVANÇ ÖZÇETİN, tarafından PROF. DR. ÜNSAL GEMİCİ yönetiminde hazırlanan “ÇANAKKALE TUZLA-GÜLPINAR JEOTERMAL ALANLARININ HİDROJEOLOJİK AÇIDAN İNCELENMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Ünsal GEMİCİ

Yönetici


Prof. Dr. Fikret Kaşaroğlu
Jüri Üyesi


Prof. Dr. Gelikhan Tarcan
Jüri Üyesi


Prof. Dr. Kadriye ERTEKİN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Transmark Türkiye şirketinin desteklediği yüksek lisans tez çalışmamda değerli yorum ve önerileri ile katkıda bulunan tez danışmanım Prof. Dr. Ünsal Gemici'ye, değerli meslektaşım ve büyüğüm Jeoloji Yüksek Mühendisi Metin Tavlan'a ve yardımlarını eksik etmeyen değerli iş arkadaşım Jeoloji Mühendisi Erol Gürcan'a,

Çalışma alanı içerisinde bulunan Transmark Turkey jeotermal alanında bulunan mevcut kuyu bilgilerini kullanmama müsaade eden Transmark Turkey ülke müdürü Elvan Güven'e,

Son olarak, tüm hayatım boyunca bana maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeyen ve beni her konuda destekleyen tüm aile bireylerine gösterdikleri sabır ve anlayışlarından dolayı saygı ve minnetlerimi sunarım.

Kıvanç ÖZÇETİN

ÇANAKKALE TUZLA-GÜLPINAR JEOTERMAL ALANLARININ HİDROJEOLojİK AÇIDAN İNCELENMESİ

ÖZ

Tuzla-Gülpınar jeotermal alanı Türkiye'nin kuzeybatısında, Çanakkale iline ise yaklaşık 100 km uzaklıktadır. Bu çalışma kapsamında Tuzla-Gülpınar jeotermal sahasındaki çeşitli lokasyonlardan ve kuyulardan su örnekleri alınmış, literatürden alınan örnekler ile birlikte ele alınarak değerlendirilmiştir. İncelenen tüm örnekler sodyum-klorür su tipindedir. Aynı zamanda su örneklerinin hidrojeokimyasal özellikleri ve akışkandan kaynaklanabilecek kabuklaşma sorunları da irdelenmiştir. Alanda örneklenen jeotermal sıcak suların benzer kökenli olduğu ve soğuk su karışmasından dolayı bazı örneklerde iyonik anlamda farklılıklar gösterdiği görülmüştür.

Bölgede yapılmış olan sondaj verileri ve jeofizik veriler birleştirilerek elde edilen verilere göre, bölgede iki adet rezervuar kaya saptanmıştır. Bunlardan ilki sığ rezervuarı oluşturan Erken Miyosen yaşlı volkanik kayalar, diğeri ise derindeki rezervuarı oluşturan Permian yaşlı kireçtaşlarıdır. Bölgedeki jeotermal sıcak suyun derinlere kadar uzanan ve akışkan taşıma özelliğine sahip olan Tuzla Fayı'ndan geldiği ve bu fayın bölgede bir yükselim zonu-yanal akım zonu oluşturduğu saptanmıştır. Jeotermometre çalışmalarında bölgedeki sondajların verileri ve kuyu test sonuçlarına göre silis jeotermometrelerinin daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Rezervuar sıcaklığı aralığı ise Tuzla bölgesi için 164°C–220°C, yanal akım zonundan beslenen kısımda ise, 90°C–145°C arasında olduğu görülmüştür. Tuzla jeotermal santralinin en sıcak kuyularından biri olan T-2 kuyusunun da rezervuar sıcaklığı 173°C olup, bu jeotermometre değerlerinin doğru sonuç verdiğini göstermektedir. PhreeqC programıyla yapılan jeokimyasal değerlendirmeye göre, inceleme alanında kalsit ve aragonit kabuklaşmasının üretim ve geri basmada problem yaratacağı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Jeotermal akışkan, hidrojeokimya, jeotermometre, kabuklaşma, rezervuar

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF ÇANAKKALE TUZLA- GÜLPINAR GEOTHERMAL FIELDS

ABSTRACT

Tuzla-Gülpınar geothermal area is located in northwestern side of Turkey, approximately 100 km far away from the Çanakkale Province. In this study, water samples were collected from various locations and analysis results of water samples, along with those taken from the literature, were used to determine the hydrogeochemical properties and scaling problems. The waters are all sodium-chlorite type and have the same origin, although some samples show variation in ionic values due to cold water infiltration.

Based on the intergrated use of well data and geopyhsical studies in the region, two reservoir rocks are identified: Early Miocene volcanic rocks forming the shallow reservoir and Permian limestones forming the deep reservoir in the area. In Tuzla geothermal field, hot water rises through the Tuzla fault which forms upflow-outflow zones in the area. Silica geothermometers are found to be more reliable for the geothermal waters in the study area. Based on cation geothermometers, reservoir temperature seems to range from 164°C–220°C in areas recharged from upflow zone in Tuzla region, while from 90°C to 145 °C areas recharged from outflow zone in Gülpınar region based on silica geothermometers. The reservoir temperature of the T-2 well, one of the warmest wells of the Tuzla geothermal power plant, is 173 ° C, so this temperature supports the geothermometer results.

The major problem in using geothermal energy is scaling problem. According to the geochemical evaluation carried out by the PhreeqC program, calcite and aragonite scaling are determined and these minerals can be create a major problem during production and injection phases.

Keywords: Geothermal fluids, hydrogeochemistry, geothermometer, scaling, reservoir

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışma Alanı	1
1.2 Çalışmanın Amacı	2
1.3 Yöntemler	2
1.3.1 Literatür Çalışmaları.....	2
1.3.2 Arazi Çalışmaları	2
1.3.2.1 Su ve İzotop Örneklem Yöntemi.....	3
1.3.3 Laboratuvar Çalışmaları	3
1.3.4 Analizlerin Yorumlanması ve Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programları.....	4
1.4 Çalışma Alanının Morfolojisi.....	4
1.5 Çalışma Alanının İklim ve Bitki Örtüsü.....	4
BÖLÜM İKİ - JEOLojİ.....	5
2.1 Bölgesel Jeoloji	5
2.2 Stratigrafi.....	6

2.2.1 Ezine Zonu.....	9
2.2.1.1 Geyikli Formasyonu.....	9
2.2.1.2 Bozalan Formasyonu	9
2.2.1.3 Çamköy Formasyonu	11
2.2.2 Denizgören Ofiyoliti.....	12
2.2.3 Kestanbol Granitoyidi (Geç Oligosen-Erken Miyosen)	12
2.2.4 Hallaçlar Volkaniti.....	12
2.2.5 Ortatepe Volkaniti	13
2.2.6 Ayvacık Volkaniti.....	13
2.2.7 Babadere Dasiti.....	13
2.2.8 Gülpınar Formasyonu	14
2.2.9 Bayramiç Formasyonu.....	14
2.2.10 Alüvyon	14
2.3 Yapısal Jeoloji	15
BÖLÜM ÜÇ - JEOFİZİK	18
3.1 Jeofizik Çalışmalar	18
BÖLÜM DÖRT - HİDROJEOLJİ	21
4.1 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	21
4.2 Su Noktaları.....	21
BÖLÜM BEŞ - HİDROJEOKİMYA	24
5.1 İnceleme Alanındaki Sularda Çözülmüş Birincil (Majör) İyonlar	24

5.2 İnceleme Alanındaki Sulara İkincil ve Üçüncül (Minör) İyonlar	24
5.3 İnceleme Alanındaki Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflandırılması	26
5.3.1 Fasiyes Sınıflandırması.....	27
5.3.2 Sertliğine Göre Su Sınıflaması	27
5.3.3 pH Değerine Göre Su Sınıflaması	28
5.3.4 Elektriksel İletkenlik Değerlerine Göre Su Sınıflaması	29
5.3.5 Piper Üçgen Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması.....	31
5.3.6 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması	33
5.3.7 Cl-SO ₄ -HCO ₃ Diyagram'ına Göre Su Sınıflaması	35
5.3.8 Cl-Li-B Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması	36
5.4 İnceleme Alanındaki Suların Kullanılabilirlik Özellikleri	37
5.4.1 Suların Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)	37
5.4.2 İnceleme Alanındaki Suların Wilcox Diyagramına Göre Sınıflandırılması.....	39
5.4.3 İnceleme Alanındaki Suların ABD Tuzluluk Diyagramına Göre Sınıflandırılması	41
5.5 Suların Mineral Doygunluk İndeksi Analizleri	43
5.6 Jeotermometre Türleri ve Hesaplamaları	49
5.6.1 Kimyasal Jeotermometreler	49
5.6.1.1 Niteliksel (Kalitatif) Jeotermometreler	49
5.6.1.2 Niceliksel (Sayısal) Jeotermometreler	51
5.6.2 Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler	51
5.6.2.1 Silis Jeotermometreleri	51
5.6.3 İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler.....	52
5.6.3.1 Na/K, Na-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca jeotermometreleri.....	52
5.6.3.2 Na-K-Ca Jeotermometresi	52

5.6.3.3 Magnezyum Düzeltmeli (R) Na-K-Ca Jeotermometresi	52
5.7 Jeotermometre Hesaplamaları	53
5.8 Jeotermometre Uygulanabilirliği.....	57
5.8.1 Giggenbach Üçgen Diyagramı	57
5.9 Karışım Modelleri	59
5.9.1 Entalpi-Klorür Diyagramı.....	59
BÖLÜM ALTI – JEOTERMAL MODELLEME.....	61
BÖLÜM YEDİ – SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR.....	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Çalışma alanını gösterir harita	1
Şekil 2.1 Çalışma alanına ait jeoloji haritası	7
Şekil 2.2 Çalışma alanına ait litostratigrafik kolon kesit.....	8
Şekil 2.3 Bozalan kireçtaşlarında gözlenen karstik oluşum	10
Şekil 2.4 Bozalan formasyonu alt üyesinden görünüm	11
Şekil 2.5 Çalışma alanına ait uzaktan algılama çizgisellik haritası.....	16
Şekil 2.6 Çalışma alanında yapılmış olan detaylı fay haritası.....	17
Şekil 3.1 Çalışma alanındaki MT noktaları ve ölçüm profilleri.....	19
Şekil 3.2 Çalışma alanına ait P03 MT kesit hattı, rezervuar zonuna ait MT anomali haritası.....	20
Şekil 4.1 İnceleme alanındaki su noktalarının lokasyonları	23
Şekil 5.1 İnceleme alanındaki örneklerin EC değerleri.....	30
Şekil 5.2 Piper diyagramı sınıflaması.....	31
Şekil 5.3 İnceleme alanındaki sulara ait olan Piper diyagramı	33
Şekil 5.4 İnceleme alanındaki örneklerin Schoeller diyagramında gösterimi	34
Şekil 5.5 İnceleme alanındaki örneklerin Cl-SO ₄ -HCO ₃ diyagramında gösterimi	35
Şekil 5.6 İnceleme alanındaki örneklerin Cl-Li-B diyagramında gösterimi	36
Şekil 5.7 İnceleme alanındaki örneklerin Wilcox diyagramında gösterimi	40
Şekil 5.8 İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk diyagramında gösterimi	42
Şekil 5.9 KOC-02 kuyusu doygunluk indeksi analiz grafiği.....	45
Şekil 5.10 TR-06 kuyusu doygunluk indeksi analiz grafiği	46
Şekil 5.11 KOC-03 kuyusu doygunluk indeksi analiz grafiği.....	47
Şekil 5.12 KOC-02 kuyusu yatay hattan alınan örnek parçası görüntüsü.....	48
Şekil 5.13 KOC-02 kuyusundan alınan numuneye ait XRD analizi	48
Şekil 5.14 Örneklerle ait Log (K ² /Mg) – SiO ₂ grafiği	56
Şekil 5.15 İnceleme alanındaki sulara ait Giggenbach üçgen diyagramı	58
Şekil 5.16 İnceleme alanındaki sulara ait olan entalpi-klorür diyagramı.....	60
Şekil 6.1 Tuzla-Gülpınar jeotermal alanı 2D şematik jeotermal modellemesi	63
Şekil 6.2 Tuzla-2 kuyusu ve KOC-02 kuyusu şematik 2D model	64
Şekil 6.3 KOC-02,TR-06 ve YDA kuyularını içeren şematik 2D model.....	65

Şekil 6.4 Tuzla-Gülpınar alanına ait 3D modelleme.....	66
--	----



TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 5.1 İnceleme alanındaki örneklere ait kimyasal analiz değerleri (mg/lt)	25
Tablo 5.2 TS 266 (2005) 'ya göre bazı minör iyonların içme suyu standartları değerleri	26
Tablo 5.3 Fransız toplam sertlik tablosu	28
Tablo 5.4 Tuzla-Gülpınar jeotermal alanına ait su numunelerinin pH değerleri ve sınıflamaları	29
Tablo 5.5 % SAR' a göre sulama sularının sınıflaması	38
Tablo 5.6 İnceleme alanındaki örneklere ait SAR değerleri ve sınıflaması	38
Tablo 5.7 Wilcox sulama suları sınıflaması tablosu.....	40
Tablo 5.8 KOC-02 kuyusuna ait doyumluk indeksi değerleri.....	45
Tablo 5.9 TR-06 kuyusuna ait doyumluk indeksi değerleri	46
Tablo 5.10 KOC-03 kuyusuna ait doyumluk indeksi değerleri.....	46
Tablo 5.11 İnceleme alanındaki örneklerin jeotermometre değerleri	55

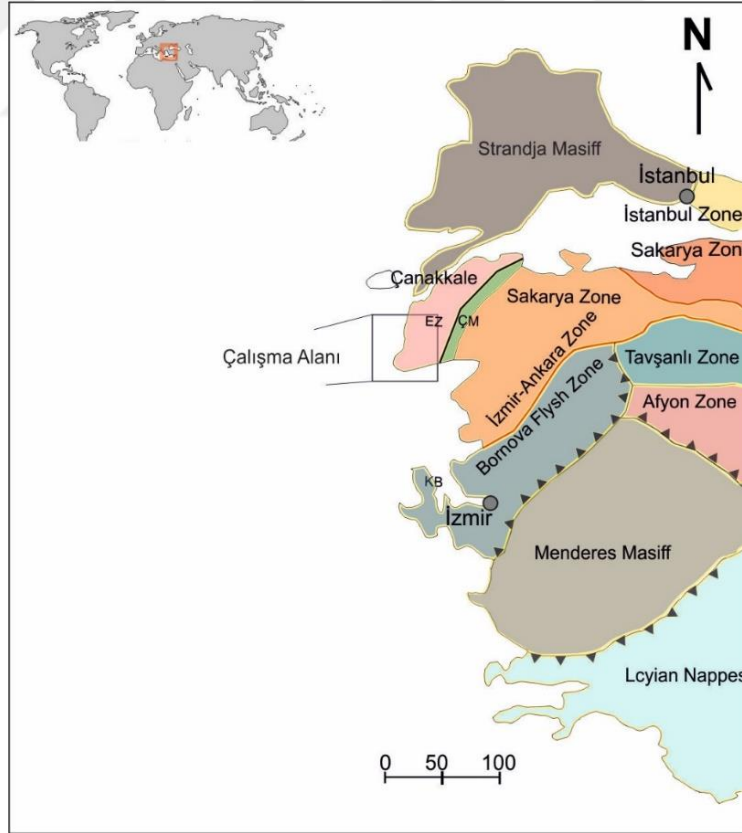
BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışma Alanı

İnceleme alanı Türkiye'nin Kuzeybatı Anadolu bölgesinde, Çanakkale ilinin 100 km uzağında bulunmaktadır. Çanakkale ilinin Kuzeyinde jeotermal kaynaklar açısından çok iyi bilinen ve belirgin özelliklere sahip olan bir bölgedir. Özellikle bu çalışmanın da kapsadığı bölge olan Tuzla-Gülpınar jeotermal alanında bilinen birçok sıcak su kaynağı, derin ve sık jeotermal sondajlar da yer almaktadır.

Çalışma alanının sınırlarında, kuzeyde Tuzla Köyü olmak üzere, batıda Ege Denizi, doğuda Yukarıköy yerleşkesi, güneyde ise Gülpınar Köyü yerleşkeleri yer almaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Çalışma alanını gösterir harita

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, Tuzla-Gülpınar Jeotermal Alanı içerisinde bulunan akışkanların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve bu araştırmalar sonucunda Tuzla-Gülpınar Jeotermal Alanı olarak adlandıran bölgenin jeotermal alan özelliklerinin ortaya konulmasını amaçlamaktadır. Aynı zamanda bölge açılmış olan kuyulardan alınan su örnekleri ile jeotermometre çalışmaları yapılmış ve bu çalışmaların sonucunda sıcaklık izotermi kullanılarak bölgenin kavramsal modeli oluşturulmuştur. Bununla birlikte, jeotermal enerji kullanımında büyük bir problem olarak görülen kabuklaşma problemi, bazı suların doygunluk indekslerinin hesaplanmasıyla bu kabuk yapıcı özelliklerinin belirlenmesini de amaçlamıştır.

1.3 Yöntemler

İnceleme alanında yapılan çalışmalar, literatür, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve analiz değerlerinin yorumlanması için kullanılan bilgisayar programları olmak üzere dört kategori altında yapılmıştır.

1.3.1 Literatür Çalışmaları

Literatür çalışmalarında bölgenin jeolojisi hakkında bilgi veren ve akışkanların jeokimyasal analiz sonuçlarına ek bilgi sağlayan bazı makaleler ve kitaplar değerlendirilerek çalışmada kullanılmıştır.

1.3.2 Arazi Çalışmaları

Çalışma alanı içerisinde herhangi bir jeoloji haritası çalışması yapılmamış olup, bölgenin jeoloji haritası Duru ve diğ. (2012)' den değiştirilerek kullanılmıştır. Jeokimyasal örneklemelerde ise, bölgelerde bulunan kuyulardan ve bazı sıcak su kaynaklarından su örneklemesi çalışmaları yapılmıştır. Bununla birlikte, daha fazla su analiz değerine ulaşabilmek için Baba ve diğ., 2009' deki su analiz değerleri kullanılarak çalışma daha da ayrıntılandırılmıştır.

1.3.2.1 Su ve İzotop Örneklem Yöntemi

Su örneklem yönteminde katyonlar, anyonlar ve izotoplar için farklı yöntemler uygulanmıştır. Örneklerin alımından önce Yeni Zelanda'da bulunan GNS Science analiz laboratuvarı ile iletişime geçilmiş ve laboratuvarın önerdiği standartlarda örnekler alınmıştır.

Örnekler alınmadan önce, örnek alınacak olan şişeler saf su ile 2-3 defa çalkalanmıştır. Anyon örnekleri, 200 ml'lik polietilen şişelere 0.45 mikronluk süzgeçten geçirilerek herhangi bir asitleme işlemi yapılmadan alınmıştır. Katyon örnekleri ise, 100 ml'lik şişelere 0.45 mikron süzgeçten geçirilerek, % 65'lik nitrik asitten 1 ml olacak şekilde damlatılarak alınmıştır. İzotop örnekleri ise, 250 ml'lik şişelere alınmış olup, herhangi bir filtreleme ve asitleme işlemi yapılmadan alınmıştır.

Örneklerin alınması sırasında; elektriksel iletkenlik değerleri, su sıcaklık değeri, pH değerlerinin ölçümü Hannah multimetre ile yapılmış olup, su örnek noktalarının koordinat değerleri UTM ED50 35N zonuna göre alınmıştır.

1.3.3 Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanından alınan suların bütün analizleri Yeni Zelanda'da bulunan GNS Science adlı laboratuvarında yaptırılmıştır.

Çalışma alanı içerisinde bulunan Transmark Turkey firmasına ait olan kuyulardan seperatör yardımıyla alınan örnekler ve Tuzla Elektrik Santrali'ne ait olan bazı su analiz değerleri de kullanılmış olup, bu kuyularda oluşabilecek kabuklaşma çeşidinin de çalışmaları yapılmıştır.

1.3.4 Analizlerin Yorumlanmasında ve Çalışmada Kullanılan Bilgisayar Programları

Suların analiz değerlerinin yorumlanmasında özellikle MS Office Excel ve jeolojik haritaların ve stratigrafik kesitlerin çizilmesinde kullanılan Corel Draw ve QGIS programları kullanılmıştır. Doygunluk indeksi hesaplamalarında ise PhreeqC programı kullanılmıştır.

1.4 Çalışma Alanının Morfolojisi

Türkiye'nin bilinen jeotermal alanlarından biri olan Tuzla-Gülpınar jeotermal alanı Çanakkale İli içerisinde ve şehir merkezinden yaklaşık 100 km kadar güneyinde bulunmaktadır. Tuzla ve Gülpınar bölgesinde, özellikle Tuzla bölgesi yakınında Tuzla Deresibulunmaktadır. Bu çay Gülpınar'ın kuzeyinden Tuzla deltasını oluşturarak Ege Denizi'ne dökülmektedir. Aynı zamanda bölgede bu çay üzerine kurulmuş olan Ayvacık Barajı da bulunmaktadır.

1.5 Çalışma Alanının İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışılan bölgede sahile yakın kesimlerde akdeniz iklimi hâkimdir. Çalışma alanı içerisinde hâkim bitki örtüsü makilik olarak görülür. Çalışma sahası içerisinde topoğrafya orta sertlikte ve düzlüklerden oluşmaktadır.

BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ

2.1 Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı yapısal olarak, Batı Anadolu, kuzey – güney geriliminin sonucu olarak, doğu – batı uzanımlı bir dizi graben ile karakterize edilebilir. Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gediz, Bakırçay, Edremit ve Simav grabenleri bu diziye örnek olarak verilebilir. Batıda bulunan Biga yarımadasında üç ana yapısal biçim görülmektedir; bunlar KKD – GGB fay sistemi, KD-GB fay sistemi ve KB – GD fay sistemleridir. Miyosen döneminde, bu fay sistemleri Ege Bölgesi çöküntü alanlarının oluşmasında rol oynamıştır (Duru ve diğ., 2012).

Bölgenin stratigrafik istifi Prekambriyen– Kuvarterner zaman aralığında oluşmuş pek çok Litostratigrafi biriminden oluşmuştur. Bu istif Tersiyer öncesi kayaçlar olmak üzere iki ana bölüme ayrılarak incelenmiştir. Bölgede yer alan Tersiyer öncesi kayaçlar, birbiriyle tektonik ilişkili olan ve KD-GB konumunda uzanan tektonik kuşaklar içerisinde yüzeylemektedir (Okay ve diğ., 1990). Bu tektonik zonlar doğudan batıya doğru İzmir-Ankara Zonu, Sakarya Zonu, Çetmi Melanjı ve Ezine Zonu’ndan oluşmaktadır. Tersiyer öncesi kayaçlar, Ezine Zonu içerisinde yer almaktadır (Duru ve diğ., 2012). Sakarya Zonu’ndan tektonik olarak Çeşmi Melanjı ile ayrılan ve Ezine, Bozcaada ve Karabiga arasında yüzeyleyen Ezine zonu, Çamlıca metamorfikleri ve Karadağ grubu ile bunların üzerinde tektonik dokanakla yer alan Denizgören ofiyolitlerinden oluşan üç alt tektonik birimden oluşmaktadır. Geç Kretase’de metamorfizma geçiren Çamlıca metamorfikleri, altta yeşil-şist fasiyesi koşullarında metamorfizmadan etkilenmiş, metaserpantinitle mercekli ve mermer ardalanmalı mikaşistler ile daha üstte fillatlardan oluşmaktadır. Altta Erken Kambriyen yaşlı metamorfik kayaçlardan, üstte ise Permiyen-Triyas yaşlı rekristalize kireçtaşlarından kurulu olan istif Karadağ grubu olarak tanımlanmıştır. Geç Kretase-Eosen döneminde bir araya gelen bu tektonik birimler içerisinde Alpin öncesi, Erken Alpin, Kretase-Paleosen ve neo-tekttonik dönemine ait tektonik yapılar izlenir (Duru ve diğ., 2012).

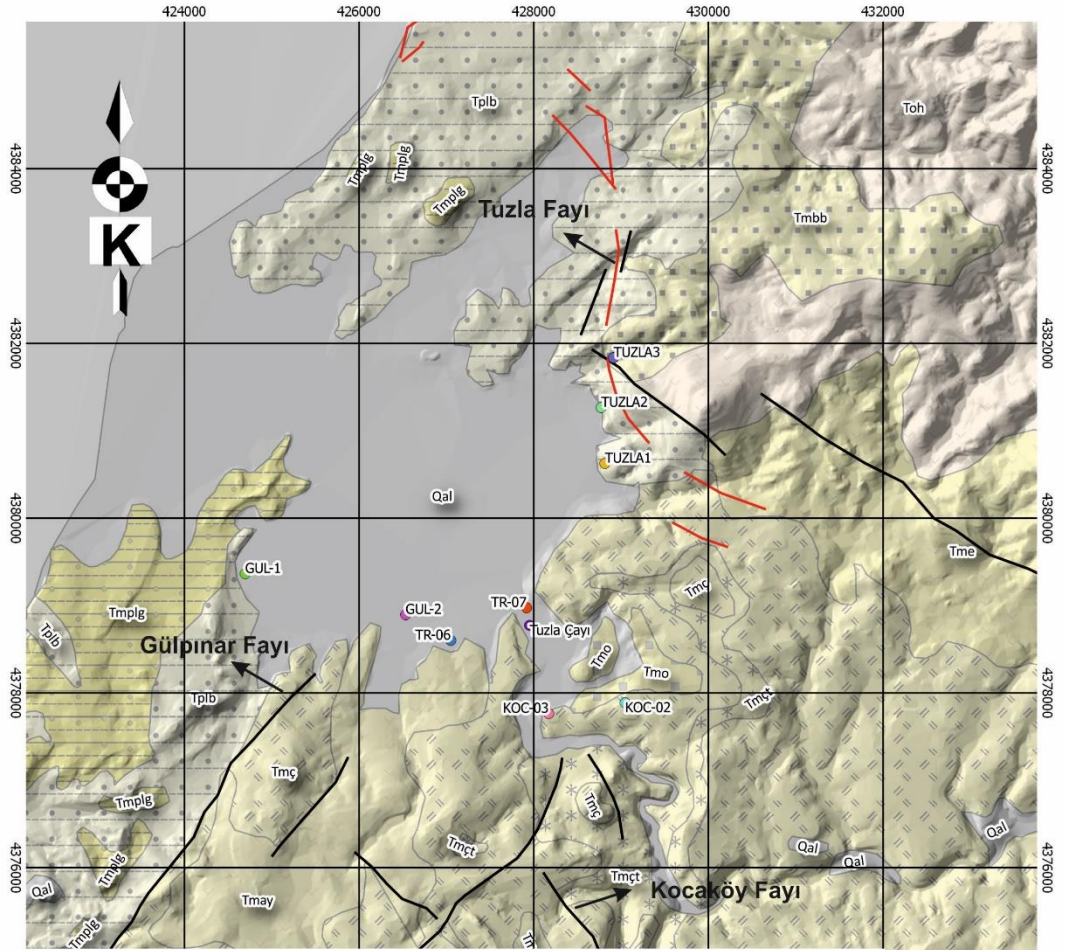
2.2 Stratigrafi

Çalışma alanı içerisinde 12 birim yüzeylemektedir. Bu birimler, Pre-Kambriyen Geyikli Formasyonu, Orta-Geç Permiyen yaşlı Bozalan Formasyonu, Triyas yaşlı Çamköy Formasyonu, Kretase yaşlı Denizgören Ofiyoliti, Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Granitoyitlerdir. Bunları sırası ile Erken Miyosen yaşlı Hallaçlar Formasyonu, Erken Miyosen yaşlı Ortatepe Volkaniti, Orta Miyosen yaşlı Ayvacık Volkaniti, Tüf Üyesi ve Babadere Dasiti ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı Bayramiç Formasyonu ve bölgenin en genç birimi olan Alüvyon izlemektedir.

Metamorfik temelde aynı zamanda granitoid görülmüş ve birçok bölgesi volkanik lavlar ve piroklastik akış malzemesi ile kaplanmıştır. Tüflü kilitaşı, silt taşı, kumtaşı ve konglomeradan oluşan Neojen sedimanlar, uyumsuz olarak volkanik kayaların üzerine gelmiştir. Alüvyon stratigrafik yapının en üzerinde yer almaktadır (Şekil 2.1). Çalışma alanına ait litostratigrafik kolun kesit Şekil 2.2 'de gösterilmiştir.

Çalışma alanı, metamorfik, volkanik ve magmatik kayalar ile Neojen sedimanter kayalar ile birlikte alüvyondan oluşmaktadır. Tuzla'nın temeli, karbonatlı şist, kuvars ve mermer içeren Geyikli Formasyonu'dan meydana gelmiştir.

İnceleme alanında yer alan litolojik birimler hakkında yaş sırasına göre en alttan üste doğru bilgiler aşağıda sunulmuştur.



Açıklamalar

- 1/250.000 Ölçekli Litoloji Haritası (Duru ve diğ., 2012)
- Qal Kuvaterner Alüvyon
 - Tplb Pliyosen Bayramiç Formasyonu
 - Tmplg Üst Miyosen-Pliyosen Gülpınar Formasyonu
 - Tmay Orta Miyosen Ayvacık Volkaniti
 - Tmbb Orta Miyosen Babadere Dasiti
 - Tmmç Orta Miyosen Çamkalabak İgnimbiriti
 - Tmçt Orta Miyosen Çamkalabak Tüfü
 - Tme Alt Miyosen Ezine Vokaniti
 - Tma Alt Miyosen Araplar Volkaniti
 - Tmb Alt Miyosen Bademli Volkaniti
 - Tmba Alt Miyosen Babakale Volkaniti
 - Tmh Alt Miyosen Hazaldağ Volkaniti
 - Tmo Alt Miyosen Ortatepe Volkaniti
 - Toh Üst Oligosen - Alt Miyosen Hallaçlar Volkaniti

Duru ve diğ. Fay Haritası

Aktif Fay

Fay

Su Örnek Noktası

- GUL-1
- GUL-2
- KOC-02
- KOC-03
- TR-06
- TR-07
- Tuzla Çayı
- TUZLA1
- TUZLA2
- TUZLA3

Şekil 2.1 Çalışma alanına ait jeoloji haritası (Duru ve diğ., 2012)

Yaş	Formasyon	Litoloji	Açıklamalar
SENOZOYİK	Kuvaterner	Alüvyon	Az pekleşmiş çakıl, kum, silt, kil ar dalanması.
		Bayramiç Formasyonu	Kırmızımsı kahve renkli çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı.
	Pliyosen	Gülpınar Formasyonu	Sarımsı kahve renkli, killi kireçtaşı, siltası, kumtaşı, fosilli kireçtaşı.
	Geç Miyosen	Çamkalabak ignimbrit, tuf Ayyvacık Volkaniti Babadere Dasiti	Andezitik, dasitik lav, tuf ve oldukça pekleşmiş ignimbrit ar dalanması.
	Erken Miyosen	Babakale Ezine Bademli Hazaldağ Ortatepe Volcanitleri	Andezitik, dasitik lav, dasitik piroklastik ar dalanması.
		Hallaçlar Volkaniti	Oldukça altere olmuş, andezitik, basaltik-andezitik lav ve piroklastik kayalar.
	Oligosen	Kestanbol Granitoyiti	Açık gri renkli kuvarz-monzonit, granit ve granodiyorit.
	Eosen		
	Kretase	Denizgören Ofiyoliti	Serpantinleşmiş harzburgit, bazalt, gabro, diyabaz ar dalanmasından oluşan ofiyolitik kayalar.
		Çamköy Formasyonu	Rekristalize kireçtaşı, meta-klastik bazaltik tuf, diyabaz ve kireçtaşı.
PALEOZOYİK	Triyas		
	Permien	Bozalan Formasyonu	Grimsi bej, orta-ince katmanlı rekristalize kireçtaşı, mikritik kireçtaşı, masif sparitik ve karstik kireçtaşı, meta-kumtaşı, fillit, sleyt.
	Prekambriyen	Geyikli Formasyonu	Grimsi kahverenkli, az metamorfe olmuş fillit, mika-şist, kuvarz-şist ve mermer.

Şekil 2.2 Çalışma alanına ait litostratigrafik kolon kesit (Duru ve diğ., 2012'den derlenmiştir)

2.2.1 Ezine Zonu

Ezine'nin batısında altta metamorfik kayaçların yer aldığı, üste doğru Permo-Triyas yaşlı rekristalize kireçtaşlarından oluşturduğu istif Ezine Zonu (Duru ve diğ., 2012) olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada Ezine Zonu olarak tanımlanan ve, alttaki metamorfik kayaçlar Geyikli Formasyonu, daha üstte Permiyen yaşlı karbonatlar Bozalan Formasyonu, en üstte Triyas yaşlı istif ise Çamköy Formasyonları olarak incelenmiştir.

2.2.1.1 Geyikli Formasyonu

Geyikli Köyü civarında, Karadağ grubunun en alt seviyelerinde yer alan düşük dereceli metamorfizmlerden oluşan fillit ve mikaşistler Geyikli formasyonunu oluşturur (Duru ve diğ., 2012).

2.2.1.2 Bozalan Formasyonu

Geyikli formasyonu üzerinde, altta sleyt-fillit, üstte rekristalize kireçtaşlarından oluşan Orta-Geç Permiyen yaşlı istif, Bozalan formasyonu olarak adlandırılır. Bu formasyon, Geyikli formasyonu üzerinde uyumsuzlukla gelmektedir (Okay ve diğ., 1990).

Kuvarsit çakıllarından oluşan çakılcıklı konglomera ile başlayan Bozalan Formasyonu, batıdan doğuya doğru düzenli bir istif oluşturacak şekilde üste doğru fillit ve metakumtaşları ardalanmasıyla devam etmektedir. Koyu kahve-grimsi, pembemsi renkli fillitlerde belirgin bir yapraklanma görülmektedir. Fillitler arasında daha az oranda bulunan, ince tabakalı normal derecelenmeli, açık yeşil-gri, kahve renkli kumtaşlarının bağlayıcı malzemesini çoğunlukla karbonat çimento oluşturur. İstifin alt düzeylerinde yer yer kireçtaşı ara seviyeleri görülürken, istifin üst seviyelerinde kireçtaşı oranı artmakta, kumtaşı ise azalmaktadır. Daha üst seviyelerinde rekristalize kireçtaşı-fillit ardalanmasına dönüşen birim, Gökçebayır Köyü kuzeyindeki taş ocaklarında formasyonun hâkim litolojisini oluşturan

kireçtaşlarına dereceli olarak geçmektedir. Yaklaşık olarak 100-150 m kalınlıktaki detritiklerin ağırlıkta olduğu bu istif üzerindeki rekristalize kireçtaşları altta siyah-gri renkli, ince tabakalı mitritik kireçtaşı-kiltaşı ardalanması ile başlamakta, üste doğru gri bej renkli orta kalın tabakalı ve masif görünümlü sparitik kireçtaşları ile devam etmektedir. Çoğunlukla orta-kalın tabakalı sparitik kireçtaşları arasında yer yer ince tabakalı ve daha koyu renkli mitritik kireçtaşları da ara düzeyler oluşturmaktadır. Bölgedeki kalınlığı yaklaşık 250 m olan bu kireçtaşları üstte Çamköy formasyonuna ait konglomeralar tarafından örtülmektedir. İstif üstte Çamköy formasyonunun konglomeraları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Duru ve diğ., 2012).

Özellikle rezervuar olduğu düşünülmekte olan Bozalan Formasyonu'nda ve Çamköy Formasyonu'nda karstik yapıları detaylandırmak için ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Bozalan kireçtaşlarında gözlenen karstik oluşum (Kişisel arşiv, 2016)

Bozalan formasyonu Beccaleto, 2003'e göre 3 üyeye ayrılmıştır;

- **Alt üye**

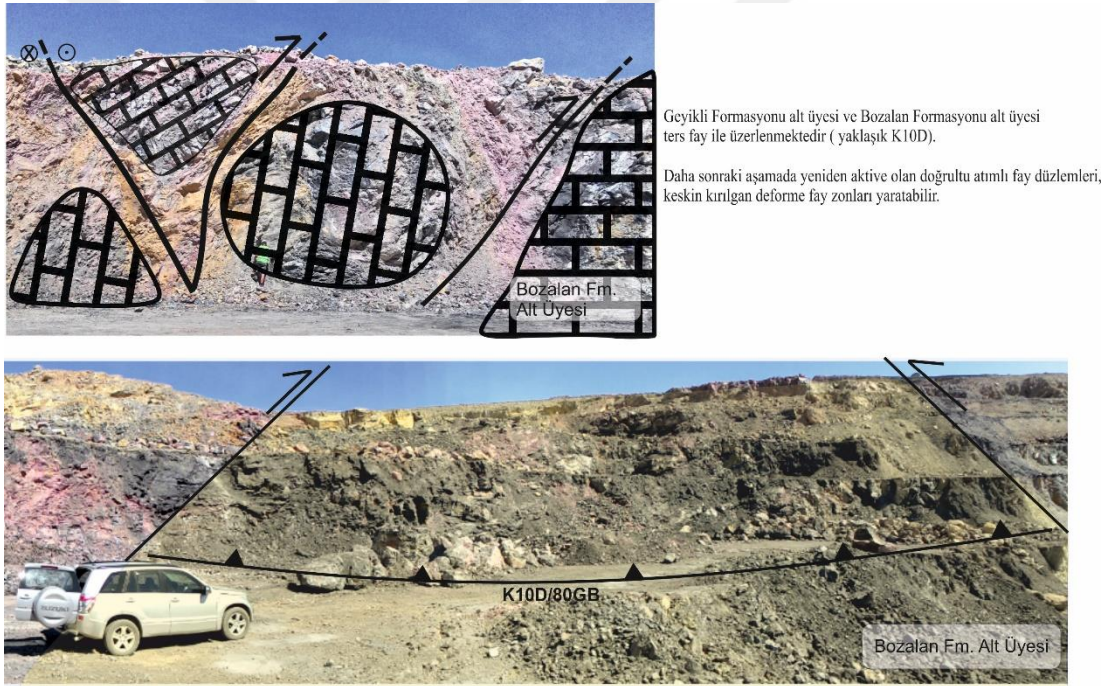
Bozalan formasyonun alt üyesi, kalın katmanlı, massif gri renkli rekristalize kireçtaşlarından oluşur ve yaklaşık kalınlığı 400 metre civarındadır (Şekil 2.4).

- **Orta Üye**

Bozalan Formasyonu orta üyesi, koyu-gri (yer yer açık pembe) orta katmanlı rekristalize kireçtaşlarını içermektedir. Yaklaşık kalınlığı 1000 metredir.

- **Üst Üye**

Bozalan Formasyonu üst üyesi ise, kalın katmanlı ve beyaz renkli rekristalize kireçtaşlarından oluşur. Tahmini kalınlığı ise 500 metredir.



Şekil 2.4 Bozalan formasyonu alt üyesinden görünüm (Kişisel arşiv, 2016)

2.2.1.3 Çamköy Formasyonu

Karadağ grubunun en üst seviyesinde bulunan ve yanal yönde sık sık fasiyes değişimleri gösteren rekristalize kireçtaşı, metaklastit, bazik tüf, diyabaz ve kireçtaşı

olistolit ve olistostromlarından oluşan birim Çamköy formasyonu olarak adlandırılır (Okay ve diğ., 1990).

2.2.2 Denizgören Ofiyoliti

Denizgören Ofiyoliti, Çamlıca metamorfileri ve Ezine Zonu üzerinde bindirmeli tektonik dokanakla bulunur. Denizgören Ofiyoliti genel olarak serpantinleşmiş harzburjit, bazalt ve küçük mostralalar halinde gabrolardan oluşur (Duru ve diğ., 2012).

2.2.3 Kestanbol Granitoyidi (Geç Oligosen-Erken Miyosen)

Biga Yarımadası'nda Oligosen yaşlı volkanizmaya da köken oluşturmuş olan genellikle granodiyoritik bileşimli sığ derinlikteki sokulumlar Geç Oligosen-Erken Miyosen zaman aralığında (28 My; Fytikas ve diğ., 1976) bölgeye yerleşmiştir.

2.2.4 Hallaçlar Volkaniti

Yer yer altere andezit ve bazaltik andezitik lav ve proklastiklerden oluşan kayaçlar Hallaçlar volkaniti olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve diğerleri, 2005). Birim Ercan ve diğerleri (1995)'nin Çan ve Kirazlı volkanitleri, Krushensky (1976) tarafından adlandırılan Hallaçlar Formasyonu ile eşdeğerdir. Hallaçlar volkaniti Ezine güneyinde ve Kızıltepe'de yüzeylenir.

Çoğu mostrası aşırı alterasyona uğramış olup arazide beyaz, sarı, kahverengi, kırmızı renkleri ile dikkat çekmektedir. Birim içerisinde alınan bozunmamış örnekler mikroskopik incelemelerinde andezit olarak adlandırılmış olup, kayaçlar hipokristalin porfirik dokuludur. Plajioklas, biyotit, klinopiroksen, alkali feldspat, apatit, opak mineraller başlıca fenokristalleri oluşturur. İkincil mineraller olarak kalsit, klorit, serpantinlere rastlanılır. Plajioklaslar iri-orta taneli, özşekli mineraller şeklindedir (Dönmez ve diğ., 2005).

2.2.5 Ortatepe Volkaniti

Eşit boyutta, ince taneli, koyu renkli minerallerce zengin makro olarak yer yer camsı hamurlu andezitik kayalar Ortatepe Volkaniti olarak adlandırılmıştır. Volkanizma Tuzla ilçesi (Çanakkale) güneyinde Ortatepe ve etrafında yayılım gösterir. Aynı zamanda ortatepe volkanizmasının çıkış yerini oluşturur. Birim Çamlıkabak ignimbiriti tarafından üzerlenir. Ortatepe volkaniti, stratigrafik yapılan yaş tayinine göre Erken Miyosen olarak gösterilmektedir (Duru ve diğ., 2012)

2.2.6 Ayvacık Volkaniti

Alt kesimlerde beyaz renkli, yer yer pomza içerikli, ignimbiritik tüflerler başlayıp, egemen olarak bazaltik andezit ve andezitik piroklastiklerle devam eden volkanik kayaçlar Ayvacık volkaniti olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve diğ., 2005).

2.2.7 Babadere Dasiti

Açık yeşil ve kırmızı-kahverengi olmak üzere iki farklı düzeyde oluşan lav ve proklastikler Babadere Dasiti olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve diğ., 2005). Babadere dasiti Tuzla ilçesinde Tuzla Tepe' de, Babadere, Kösedere ve Naldöken köyleri ve etrafında yaygın olarak yüzeylenir.

İncekesit çalışmalarında dasit ve riyodasit olarak tanımlanan kayaçlar, hipokristalin ve porfirik dokulu olup, plajioloklas, kuvars, alkali feldspat, biyotit, apatit, opak mineraller başlıca fenokristalleri oluşturur. Kalsit, klorit, serisit, serpantin grubu mineraller ve kuvars ikincil mineraller olarak gözlenmektedir. Oligosen yaşlı altere volkanik kayaçları keserek yüzeyleyen birim Üst Miyosen yaşlı gölsel çökeller uyumsuz olarak üzerler (Dönmez ve diğ., 2005).

2.2.8 Gülpınar Formasyonu

Biga Yarımadası'nın batısında Gülpınar-Geyikli arasında kıyı boyunda gözlenen ve başlıca kireçtaşlarından oluşan kayaçlar, Siyako ve diğ., 1989 tarafından 'Gülpınar Formasyonu' olarak tanımlanmıştır. Genel olarak, sarı-bej renkli killi kireçtaşı, kireçtaşı, fosilli kireçtaşı ve az oranda ise silttaşı, kumtaşı ve çakıltaşından oluşur.

2.2.9 Bayramiç Formasyonu

Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nda gözlenen Pliyo-Kuvaterner yaşı flüviyal çökeller Siyako ve diğ., 1989 tarafından birimin en iyi gözleendiği yer olan Bayramiç Çayı'na atıfen Bayramiç Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Bayramiç formasyonu kızıl-kahve renkli konglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşur. Bu çökelleri oluşturan konglomeralar, düzlemsel paralel ya da erozyanal tabaka yüzeylerine sahiptirler. Konglomera ve kumtaşları masif ya da kabaca katmanlı, düzlemsel paralel katmanlı, düzlemsel paralel ve tekne türü çapraz katmanlıdırlar. Çamurtaşları ise genelde masif ya da kabaca paralel katmanlıdırlar. Bayramiç formasyonu çökelleri içinde erozyonal taban yüzeyi konglomeralar ile başlayıp, kumtaşlarına ve çamurtaşlarına geçen yukarı doğru incelen istifler gözlenir. Ayrıca bu çökeller yanal büyüme yüzeyine sahip nokta barlarıda oluşturur (Siyako ve diğ., 1989).

Yukarıda tanımlanan özelliklere sahip Bayramiç formasyonu alüvyon yelpazesi, örgülü ve menderesli akarsu çökellerinden oluşur. Bayramiç formasyonu kendinden önce gelişen tüm birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alır.

2.2.10 Alüvyon

Bölgede gözlenen alüvyon birimi en genç birim olup, tüm birimleri açısız uyumsuz olarak üzerlemektedir.

2.3 Yapısal Jeoloji

Çalışma alanında detaylı jeoloji çalışması yapılmış ve bölgenin jeolojisine ilişkin detay ve fayların konumları hakkında bilgi ve yer altında bulunan baskın yapısal ve tektonik mekanizmaya dair bir anlayış sağlamıştır.

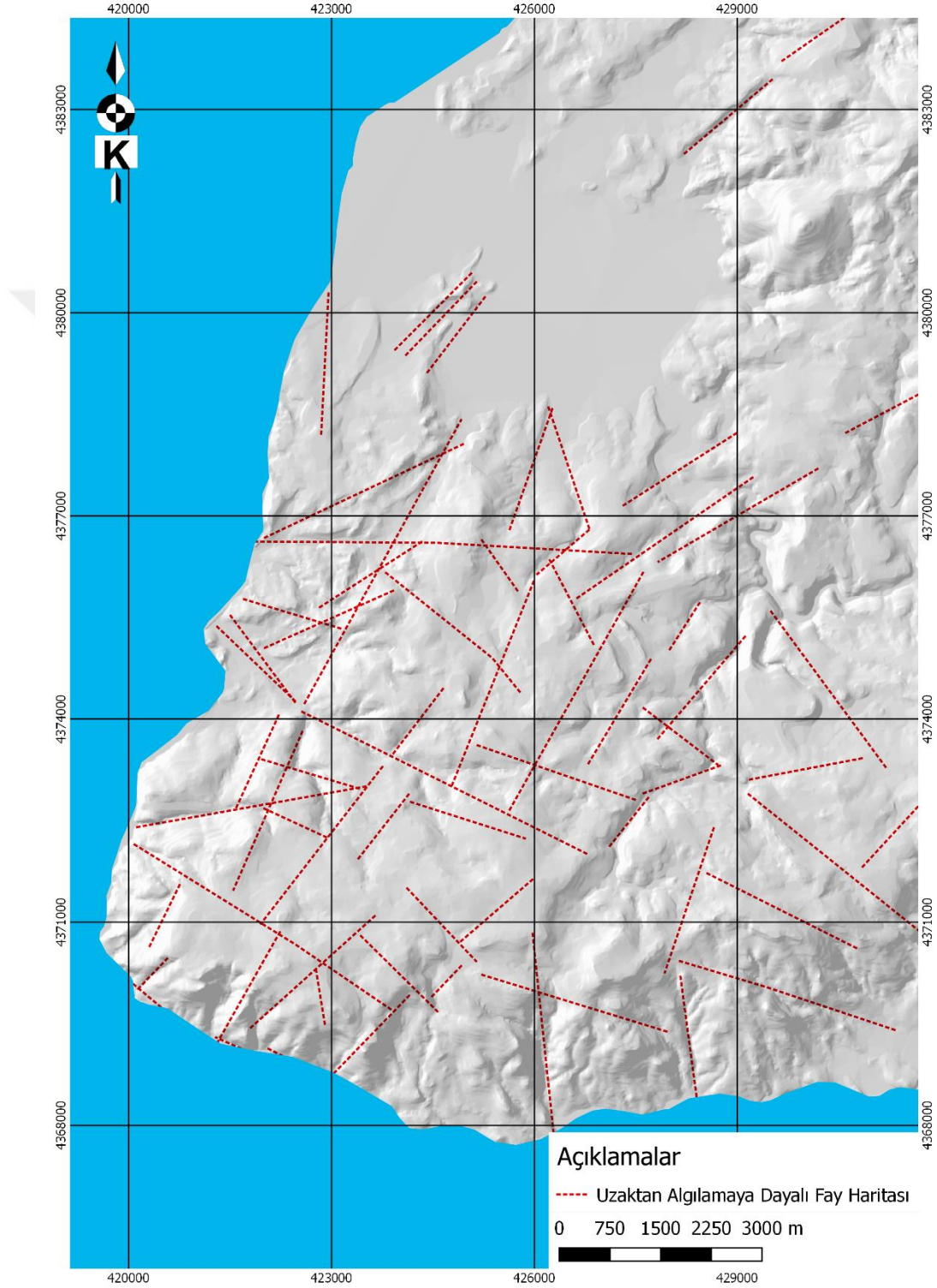
İlk etapta fay haritası çalışmasından önce çalışma alanı içerisinde uzaktan algılama çizgisellik haritası çalışması LANDSAT uydu görüntüleri kullanılarak yapılmıştır. Daha sonrasında yapılan bu harita geliştirilmiştir. Bu harita yardımıyla bölge içerisindeki olası fay konumları belirlenmiş, çalışılan bölgenin yapısal özelliklerinin daha iyi anlaşılması sağlanmıştır (Şekil 2.5).

Çalışma alanı içerisinde bilinen en önemli faylar Tuzla Fayı, Gülpınar Fayı ve Kocaköy Fayı'dır. Tuzla Fayı çalışma alanı içerisinde önemi olan bir faydır. Bu fay hattı KB- GD uzanımlı olup, jeotermal akışkanın kontrolünü sağlayan faydır.

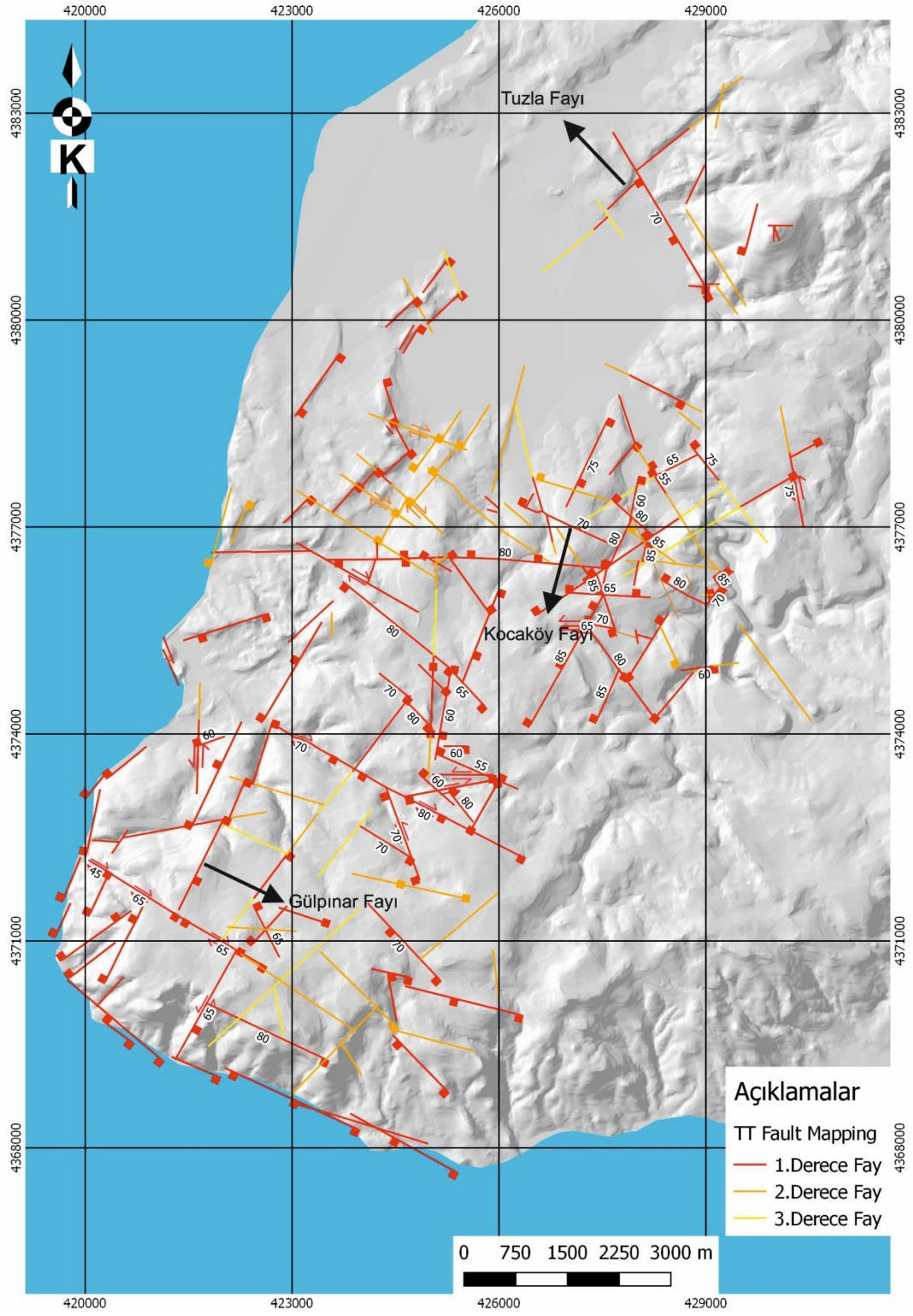
Gülpınar Fayı, Biga Yarımadası'nın en batı ucunda Gülpınar-Babakale arasında uzanır. Yılmaz ve Karacık (2001) tarafından adlanan fay bu yazarlarca Geç Miyosen-Pliosen birimlerini kesen bir tektonik yapı olarak tanımlanmıştır. Babakale'nin 1 km kuzeyinde, deniz kıyısında Miyosen volkanitleri içerisinde bir çizgisellik olarak başlayan fayın karadaki uzunluğu 9 km'dir. Kestanbol Fayı'nın devamı niteliğindedir. K30°D doğrultulu olan fay Tuzla Çayı deltasında Kuvaterner çökellerinde izlenememiştir. Fayın kestiği en genç birim Geç Miyosen yaşlı Gülpınar Formasyonu'dur (İlgar ve diğerleri, 2008). Jeolojik birimlerdeki deneştirmelere göre normal fay niteliğinde olup, batıya eğimlidir (Yılmaz ve Karacık, 2001). Oluşturduğu çizgisellik dışında fayın Kuvaterner aktivitesini gösteren bulgulara rastlanmamıştır. Kestanbol fayının güney devamlılığını oluşturması nedeniyle Gülpınar fayı haritalama kapsamına dâhil edilmiş ve bir neotektonik dönem yapısı olarak değerlendirilmiştir (MTA, 2017).

Kocaköy Fayı, yapılan uzaktan algılama çalışmasından sonra, saha çalışmaları ile haritalanmıştır. 1.derece fay ölçüleri alınabilen fayları, 2.derece fay yer yer gözükten

fayları ve 3. Derece faylar ise olası fayları ifade etmektedir. Alan içerisinde aktif olduğu düşünölen bu fay K45B/60-70KD olarak ölçölmüştür. Bu fay zonu üzerinde Transmark Turkey firmasına ait 3 adet jeotermal sondaj bulunmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.5 Çalışma alanına ait uzaktan algılama çizgisellik haritası



Şekil 2.6 Çalışma alanında yapılmış olan detaylı fay haritası

BÖLÜM ÜÇ

JEOFİZİK

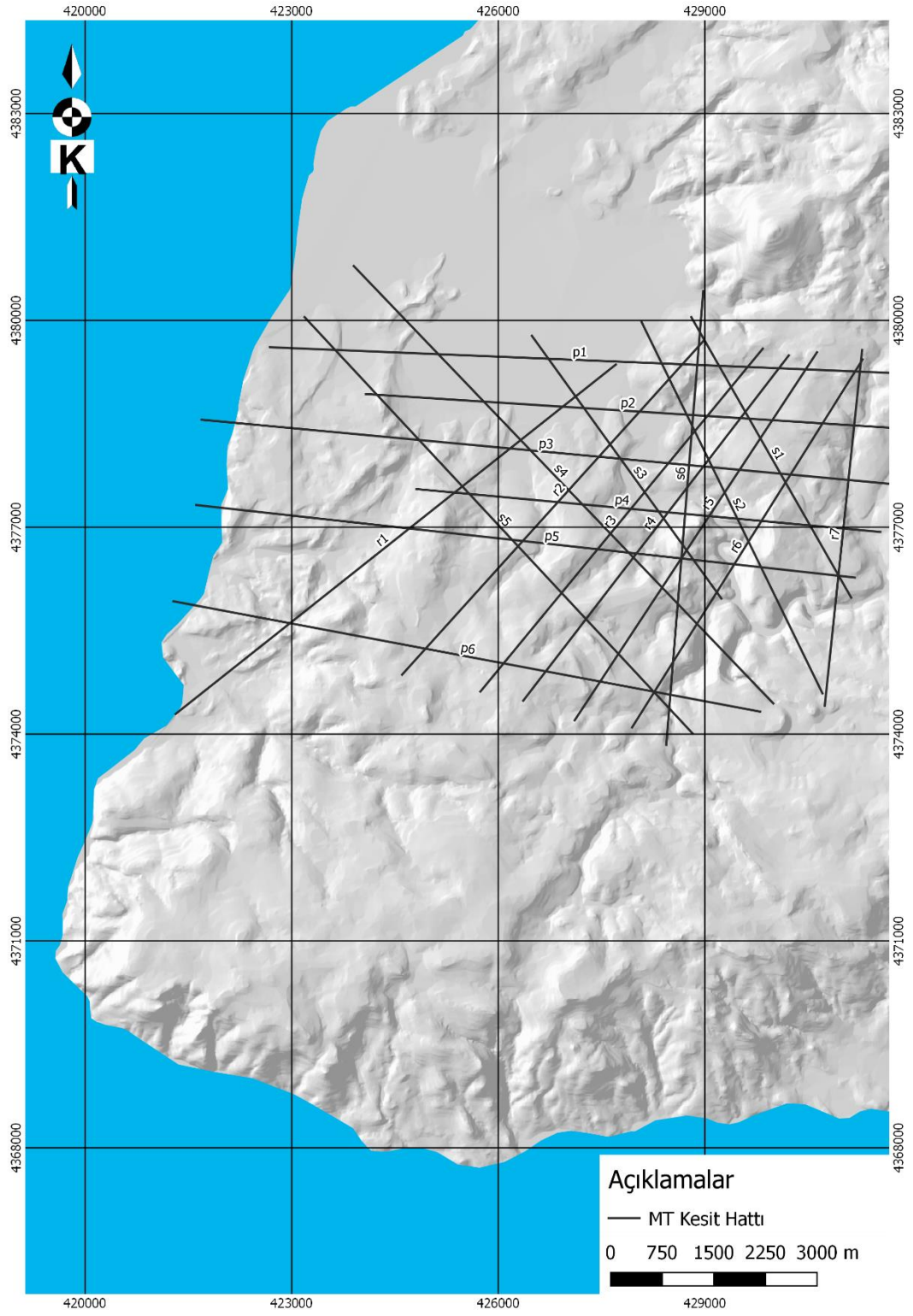
3.1 Jeofizik Çalışmalar

Jeotermal alanların araştırılmasında jeolojik çalışmalara ek olarak yapılan jeofizik araştırmalar, kolay, pratik, ucuz ve güvenilir olması açısından günümüzde yaygın olarak kullanılan çalışmalardır. Jeofizik çalışmalar, sahadaki jeolojik-tektonik yapının ortaya çıkarılmasında, hazne kaya ve örtü kaya ilişkilerinin saptanmasında, sondaj lokasyon yeri ve sondaj derinliğinin tespitinde uygulanan yöntemlerdir.

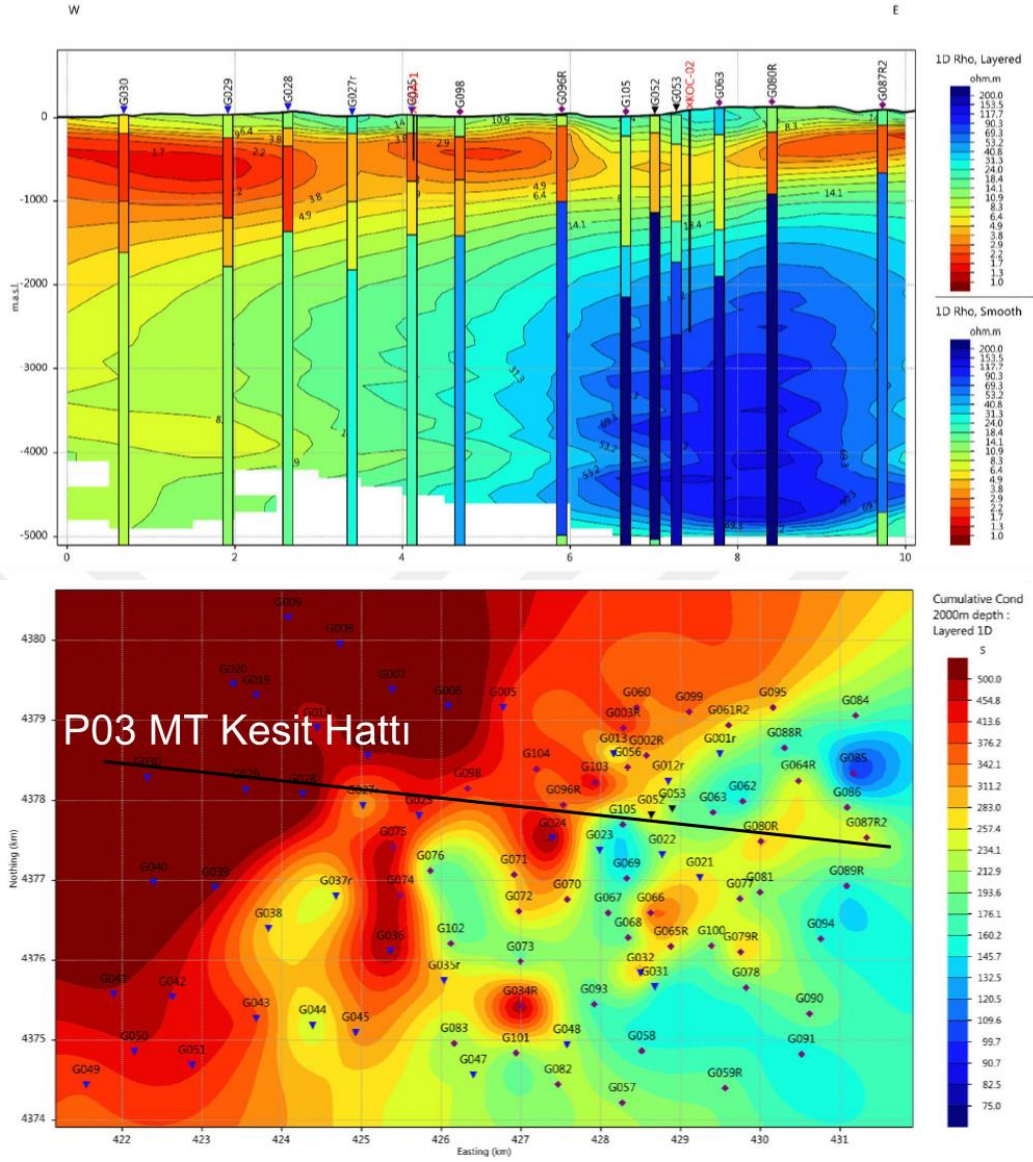
Çalışma alanının Gülpınar bölgesine yakın kısmında, yeraltında bulunan kayaçların doğal rezistivite özelliklerini saptamak amacıyla, Kanada firması olan QUANTEC, Türkiye firması KAYEN jeofizik uygulama şirketleriyle yapılan işbirliği çerçevesinde, MT (Manyetotellürik) çalışmaları yapılmıştır. Bununla birlikte 2014 yılının sonlarına doğru TT-Services kendi MT çalışmalarını yapmak için MT ekipmanlarını temin etmiş ve bu çalışmalara ek olarak çalışmalar yapmıştır. Toplamda 2013 yılında 53 istasyonda, 2014 yılında 3 istasyonda ve 2015 yılında ise 50 istasyonda olmak üzere toplamda 106 istasyonda yeni MT çalışması yapılmıştır. 2015 yılında yapılan çalışmalar ruhsat alanında bulunan ofiyolitik kayaçların ve magmatik sokulumun tam anlamıyla belirlenmesi için genellikle doğu kesimde yapılmıştır.

Bu çalışmalar, yeraltında bulunan kayaçların jeofiziksel özelliklerini anlamaya, kayaçların rezistivite özelliklerine göre jeotermal akışkanın durumunu saptamaya ve olası sondaj lokasyonunun belirlenmesinde rezervuarın kalınlığı hakkında bilgi edinilmesine yardımcı olmuştur. MT lokasyonları ve sondaj çalışmaları için yapılan P03 MT kesiti rezervuar kalınlıklarının rezistiviteye göre dağılımı aşağıda verilmiştir (Şekil 3.1)

Aynı zamanda P03 MT kesit hattında hazırlanmış, 2000 metrelik MT anomali haritası da sunulmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Çalışma alanındaki MT noktaları ve ölçüm profilleri



Şekil 3.2 Çalışma alanına ait P03 MT kesit hattı (üstte), rezervuar zonuna ait MT anomali haritası

Yapılan bu MT (manyetotellürik) yöntem ile çalışma alanın kavramsal modeli oluşturulmuş ve ilerleyen bölüm başlıklarında rapor içerisinde ayrıntılı olarak sunulmuştur.

BÖLÜM DÖRT

HİDROJEOLOJİ

Bu bölüm kapsamında Tuzla-Gülpınar jeoermal alanında bulunan kayaçların hidrojeolojik özelliklerinin yanı sıra sıcak ve soğuk su noktaları hakkında bilgiler de verilmiştir.

4.1 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Tuzla-Gülpınar bölgesinde şu ana kadar yapılan sondajlarla da desteklenerek, üç adet rezervuar saptanmıştır.

Bunlardan ilki, özellikle Tuzla bölgesindeki sondajlarda gözlenen, sığ rezervuarı temsil eden Ortatepe Volkanitleri ve Ayvacık Volkanitleri'dir. Ortatepe ve Ayvacık Volkanitleri'nin yanıl olarak ve üst kısımlarına bulunan ve içerisinde kil barındıran tabakalar örtü kayaç görevi görmektedir.

İkinci rezervuar olarak Gülpınar bölgesi tarafında ana rezervuar olarak tanımlanan Bozalan Formasyonu içerisindeki mermer ve rekristalize kireçtaşları, üçüncü ve son olarak ise, Geyikli Formasyonu içerisinde şist-mermer ardalanmalı giden formasyon içerisindeki mermer ara katmanları olarak tanımlanmıştır. Buradaki rezervuar, kademeli şekilde gelişen doğrultu atımlı ve normal fayların derinlere uzanması sonucu ortaya çıkan kırık ve çatlak hatlarıdır.

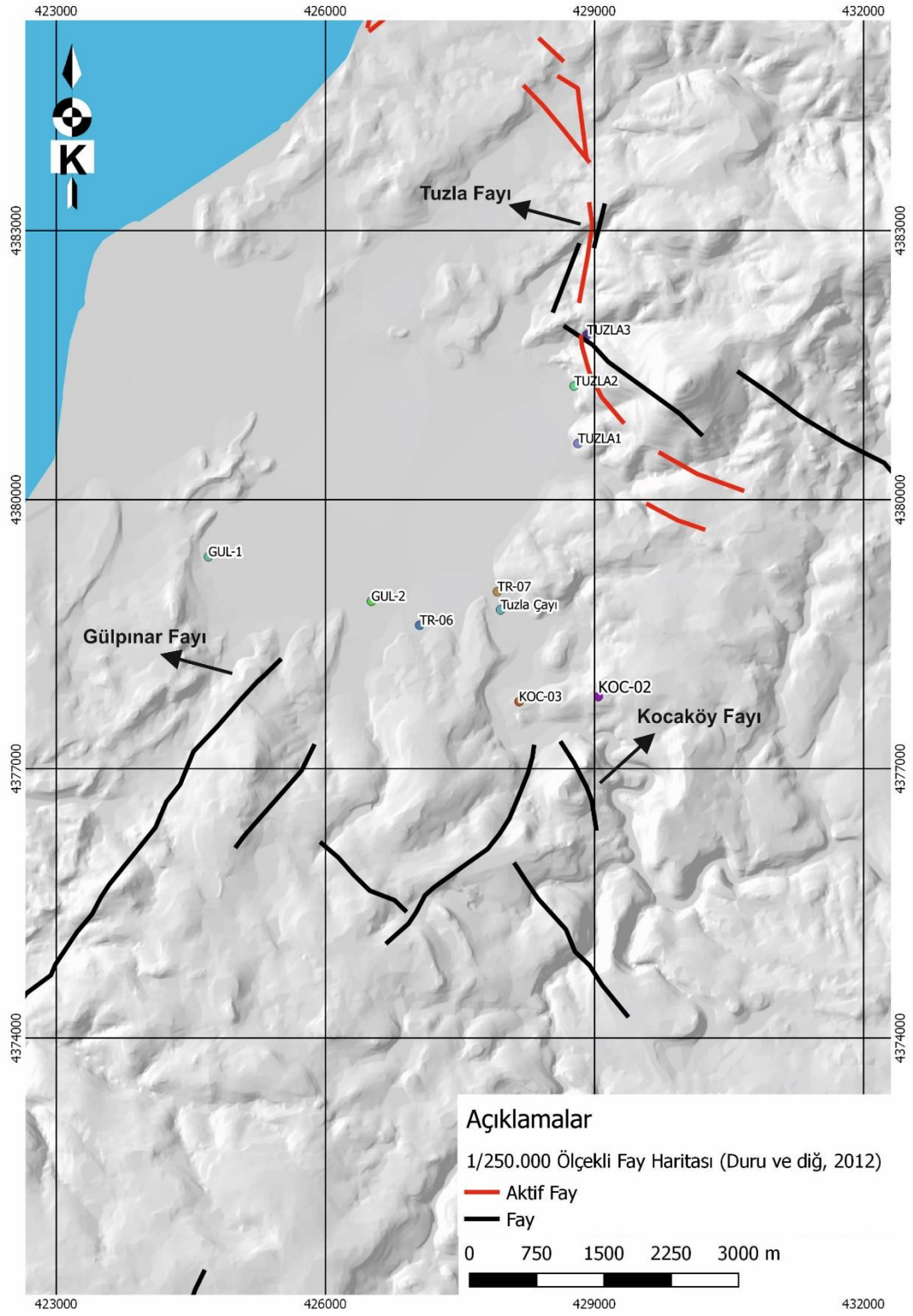
4.2 Su Noktaları

Çalışma kapsamında alınan su örneklerinin bilgileri aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Tuzla-1, Tuzla-2, Tuzla-3 çalışma alanı içerisinde Tuzla Fayı'ndan çıkan kaynaklardan, deniz suyundan, TR-06, TR-07, GUL-01, GUL-02 bölgedeki sondajlardan, KOC2-1-1, KOC2-1-2, KOC2-1-1-3, KOC2-1-4, KOC2-FTS, KOC2-

1AB ve KOC2-2AB örnekleri farklı zamanlarda KOC-02 kuyusundan, KOC-03 örnekleri bölgede açılmış olan sondajlardan alınan örnekler, Tuzla Çayı örneği ise Tuzla Çayı'ndan alınmış olan örnektir (Şekil 4.1). Bu kuyu örneklerinin yanı sıra karışım diyagramlarının oluşturulabilmesi için Baba ve diğ., 2009 yayınından bazı örneklerin kimyasal analiz sonuçları da kullanılmış olup, diyagram ve model oluşumlarına katkı sağlamıştır.





Şekil 4.1 İnceleme alanındaki su noktalarının lokasyonları

BÖLÜM BEŞ

HİDROJEOKİMYA

Bu bölümde çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kimyasal özellikleri incelenmiştir. Yapılan kimyasal analizlerde majör iyonlar ile minör iyonların değerleri elde edilmiştir. Bu analiz değerleri Tablo 5.1’de sunulmuştur. Suların hesaplanan analiz değerleri ile kimyasal özellikleri hakkında bilgiler veren grafikleri yapılmış, kavramsal model için gerekli olan jeotermometre hesapları da yapılmış olup, ilerleyen konu başlıklarında ayrıntılı olarak sunulmuştur.

5.1 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş Birincil (Majör) İyonlar

Jeotermal sularda bulunan Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^{--} , CO_3^{--} , HCO_3^- ve Si^{+4} iyonları birincil (majör) iyonlardır. Bu iyonların değerleri analizlerde mg/l cinsinden gösterilmiştir. Majör iyonların değerleri jeotermometre hesapları da dâhil birçok uygulamada kullanılmaktadır.

Tuzla-Gülpınar jeotermal alanındaki alınan tüm su örneklerinin kimyasal analizlerinden elde edilen majör iyonlar; Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , SO_4^{--} , CO_3^{--} , HCO_3^- ve SiO_2 bileşenleri olarak sunulmuştur.

5.2 İnceleme Alanındaki Sularda İkincil ve Üçüncül (Minör) İyonlar

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). Bu sınıflandırma Tablo 5.2’deki gibi TS 266 (2005) içme suyu standartlarına göre yapılmaktadır.

Tablo 5.1 İnceleme alanındaki örneklere ait kimyasal analiz değerleri (mg/l)

Örnek Adı	Örnekleme Sıcaklığı (°C)	EC (µS)	pH	Li (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	SiO2 (mg/l)	B (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	Cs (mg/l)
TUZLA1	82,5	38600	5,1	19,78	19355	1659	2700	78,60	96,20	27,40	36280	182	125,1	2,40
TUZLA2	85	61500	5,1	18,22	18380	1466	2550	87,20	107	17	33590	215	122	1,90
TUZLA3	50,6	43200	5,7	14,71	14155	1148	2110	112	104	19,30	26680	230	277,6	3,50
GUL-1	55	44200	7,7	2,24	4811	56	208	60,10	38,40	11,20	7412	110	363	0,10
TR-06	93	61400	7,7	9,36	16120	825	1924	330	91,80	12,30	28414	787	100,7	2,14
GUL-2	60,8	45600	7,7	20,40	17200	998	2600	171	78,73	20,10	32600	105	381	
Tuzla Çayı	31,3	291,1	8,56	0,02	28	3,6	31	16,90	20	0,10	39	17	139	0,02
TR-07	85	62100	6,41	36	18771	1459	3238	198	44	13,20	35557	91	744	0,64
KOC2-1-1	118	49100	5,55	13,70	14773	965	1983	286	105,80	19,30	26874	686	583	1,04
KOC2-1-2	118	53300	5,63	13,80	17710	977	1976	285	93,91	18,50	27015	670	555	1,14
KOC2-1-3	118	48500	6,21	14,30	15195	1024	2054	293	93,86	18,80	27053	665	367	1,16
KOC2-1-4	118	53300	6,16	14,90	15878	1085	2145	304	92,75	19,40	27187	664	372	1,16
KOC2-FTS	115	52400	5,99	16,00	15728	1177	2336	303	94	23	26121	585	649	0,35
KOC2-1AB	60,2	52000	6,9	13,60	14219	1013	3224	410	114	24	28084	644	182	
KOC2-2AB	60,2	54200	6,4	13,40	14261	1006	3165	453	111	23	28379	649	23	
Deniz Suyu	18,1	32600	7,7		10934	690	438	1415		4,50	22496	3246	146	
KOC-03	113,3	48500	6,5	14,80	11733	927	3297	357	94	14,80	25779	259	764	0,18

Tablo 5.2 TS 266 (2005) ’ya göre bazı minör iyonların içme suyu standartları değerleri

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

TS 266 (2005) standartlarına bakıldığında, bor, sodyum, klor ve arsenik mineralleri haricindeki diğer minerallerin standart altı değerler sunduğu gözükmektedir.

5.3 İnceleme Alanındaki Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflandırılması

Bu başlık altında Tuzla-Gülpınar jeotermal alanından alınan su örneklerinin çeşitli teknikler, farklı diyagramlar ve tablolar kullanılarak fasiyes tipleri ve sınıflandırmaları yapılmıştır.

5.3.1 Fasiyes Sınıflandırması

Suların fasiyes tiplerini belirleyebilmek amacıyla IAH 1979 (Uluslararası Hidrojeologlar Birliği)' a göre fasiyes sınıflaması yapılmıştır. Bu sınıflamaya göre suda çözünmüş başlıca iyonların, katyon ve anyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/l değerleri alınmış, mek/l değerleri %20' den fazla çözünmüş bulunan iyonlar başta katyonlar, daha sonra anyonlar olmak üzere en fazladan en aza doğru sıralanmış ve suların fasiyes tipleri belirlenmiştir.

İnceleme alanından alınmış örneklerin hepsi sodyum-klorür fasiyesinde iken sadece Tuzla Çayı'ndan alınan örnek karışık su (Ca-Mg-Na-HCO₃-Cl) fasiyesini temsil etmektedir.

5.3.2 Sertliğine Göre Su Sınıflaması

Sertlik, su içerisinde çözünmüş durumdaki Ca ve Mg iyonlarının meydana getirdiği bileşiklerden gelen bir özelliktir. Bu bileşiklerin birçoğu Ca ve Mg iyonlarının oluşturduğu klorürler, sülfatlar, bikarbonatlar ve nitratlardır. Ca ve Mg bikarbonat bileşiklerinden meydana gelen sertlikler, suyun ısıtılması sonucunda CaCO₃ ve MgCO₃ olarak çökertilmesi ile ortamdan uzaklaştırılmış olur. Bu nedenle Ca ve Mg iyonlarının bikarbonat bileşiklerinden kaynaklanan sertliklere “geçici sertlik” adı verilir (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 Na₂CO₃ 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 5.3). Toplam sertlik kavramı aşağıdaki formül ile hesaplanabilir. Hesaplamalardaki iyon değerleri mek/l olarak kullanılır (Tarcan, 2004).

$$\text{Toplam sertlik} = 5 \times (\text{rCa} + \text{rMg}) \quad (\text{Tarcan, 2004}) \quad (5.1)$$

Tablo 5.3 Fransız toplam sertlik tablosu

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

Çalışma alanındaki sularda sertliklerine göre inceleme yapıldığında tüm sular çok sert su, Tuzla Çayı örneği ise az sert su olarak sınıflanmıştır.

5.3.3 pH Değerine Göre Su Sınıflaması

Hidrojen iyon konsantrasyonu, su içerisinde bulunan hidronyum ve OH⁻ iyon konsantrasyonlarının azalması veya artmasına bağlı olarak suyun asidik veya bazik özellik almasıdır. Yeraltı sularının pH'ı genel olarak 4-9 arası değişmekte olup asidik özelliğe sahip iken yerüstü suları pH > 8 olan bazik özellikteki sulardır. pH'ı 7 olan sular ise nötr olarak sınıflandırılır (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

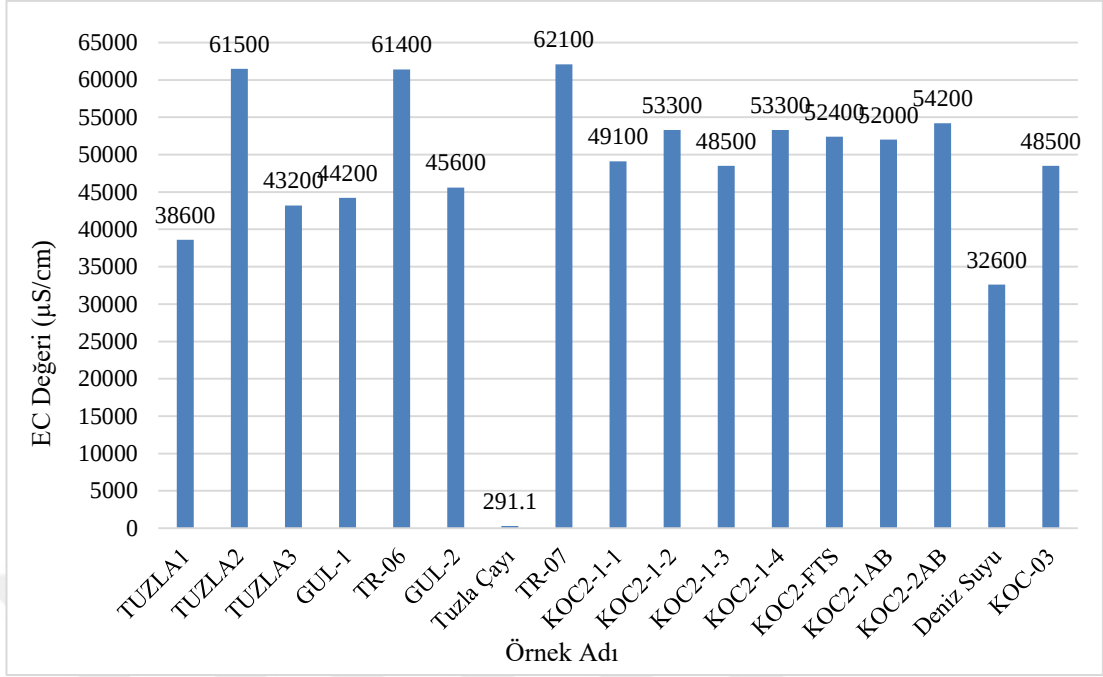
Çalışma alanındaki suların pH değerleri ve sınıflandırılması Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4 Tuzla-Gülpınar jeotermal alanına ait su numunelerinin pH değerleri ve sınıflamaları

Suyun pH Değeri	Suyun pH Sınıfı	Örnek Adı
5,1	Asidik	TUZLA1
5,1	Asidik	TUZLA2
5,7	Asidik	TUZLA3
7,7	Bazik	GUL-1
7,7	Bazik	TR-06
7,7	Bazik	GUL-2
8,56	Bazik	Tuzla Çayı
6,41	Asidik	TR-07
5,55	Asidik	KOC2-1-1
5,63	Asidik	KOC2-1-2
6,21	Asidik	KOC2-1-3
6,16	Asidik	KOC2-1-4
5,99	Asidik	KOC2-FTS
6,9	Nötre yakın	KOC2-1AB
6,4	Asidik	KOC2-2AB
7,7	Bazik	Deniz Suyu
6,5	Asidik	KOC-03

5.3.4 Elektriksel İletkenlik Değerlerine Göre Su Sınıflaması

Elektriksel iletkenlik değeri kısaca, cisimlerin elektriği iletebilme kuvveti olarak tanımlanabilir. 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. İnceleme alanından alınan örnekleri EC değerleri $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

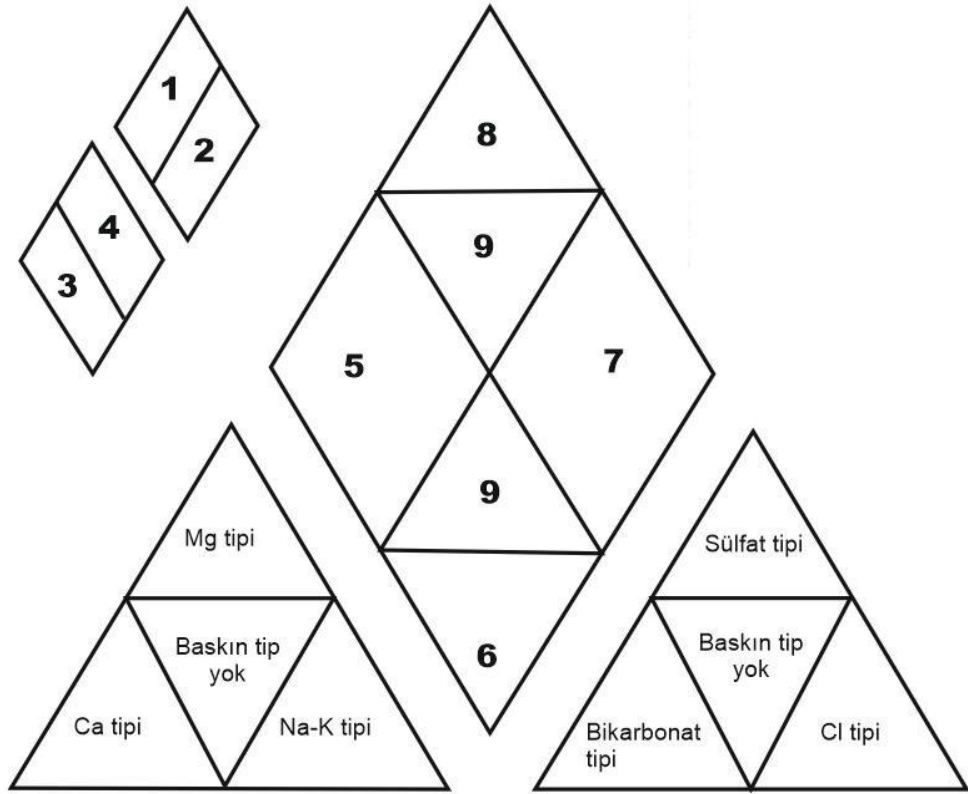


Şekil 5.1 İnceleme alanındaki örneklerin EC değerleri

Çalışma alanındaki suların da EC değerlerine bakıldığında, 291,1 - 62100 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir. En düşük EC değeri soğuk su örneği olan Tuzla Çayı'nda 291,1 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür. Bu durumda, soğuk kaynağın mevsimsel yağışlardan beslendiği ya da su kaynağının kısa süreli olabileceği anlaşılmaktadır. En yüksek EC değerleri ise bölgedeki sıcak su kaynaklarından ve sıcak kuyularından ölçülmüştür. Böylece sıcak suların deniz suyuna oranla daha fazla çözünmüş madde içermesi, sıcak suların toplam çözünmüş madde (TDS) bakımından zengin olduğunu belirtmektedir. Deniz suyu örneğinin EC değerine bakıldığında, sıcak su örneklerinin deniz suyu örneğine göre daha yüksek EC değeri içerdiği de gözükmemektedir. Bu da alan içerisinde daha önce yapılmış olan izotop çalışmalarına bakıldığında, oksijen izotopu zengileşmesinden dolayı, bölgede bulunan eski deniz suyunun giriş yapması ile açıklanmaktadır (Baba ve diğ., 2009). Aynı zamanda suyun içerisindeki tuz miktarının artışı, suyun elektriksel iletkenliği (EC) ile doğru orantılıdır. Çalışma alanından yapılan EC ölçümlerinin yüksek değerlerinden de anlaşılabileceği üzere, sıcak suların aşırı tuzlu olduğu tespit edilebilmektedir.

5.3.5 Piper Üçgen Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması

Piper diyagramı, % mek/L cinsinden anyon ve katyonların ayrı ayrı gösterildiği iki üçgenden ve tüm iyonların ortak gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin saptanması, eşkenar dörtgen ise suların sınıflaması ve karşılaştırılması mümkündür. Bu eşkenar dörtgenlerden oluşan bölgelerin bulunduğu yerlere düşen su numuneleri, bölgenin belirttiği su sınıflaması içerisine dâhil olur. Piper Diyagramı üzerindeki bölgeler ve sınıflama tanımları Şekil 5.2'de yer almaktadır ve diyagramın yorumlanması bu Şekil 5.2'e göre yapılmıştır.



Şekil 5.2 Piper diyagramı sınıflaması (Giggenbach, 1988)

1 no'lu alan; Alkali Toprak Elementler ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) > Alkali Elementler ($\text{Na}^{++}\text{K}^{+}$),

2 nolu alan; ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) < ($\text{Na}^{++}\text{K}^{+}$),

3 nolu alan; Zayıf Asit Kökleri($\text{CO}_3^{=}$ + $\text{HCO}_3^{=}$) > Güçlü Asit Kökleri(Cl^- + $\text{SO}_4^{=}$),

4 nolu alan; (Cl^- + $\text{SO}_4^{=}$) > ($\text{CO}_3^{=}$ + $\text{HCO}_3^{=}$),

5 nolu alan; Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular,

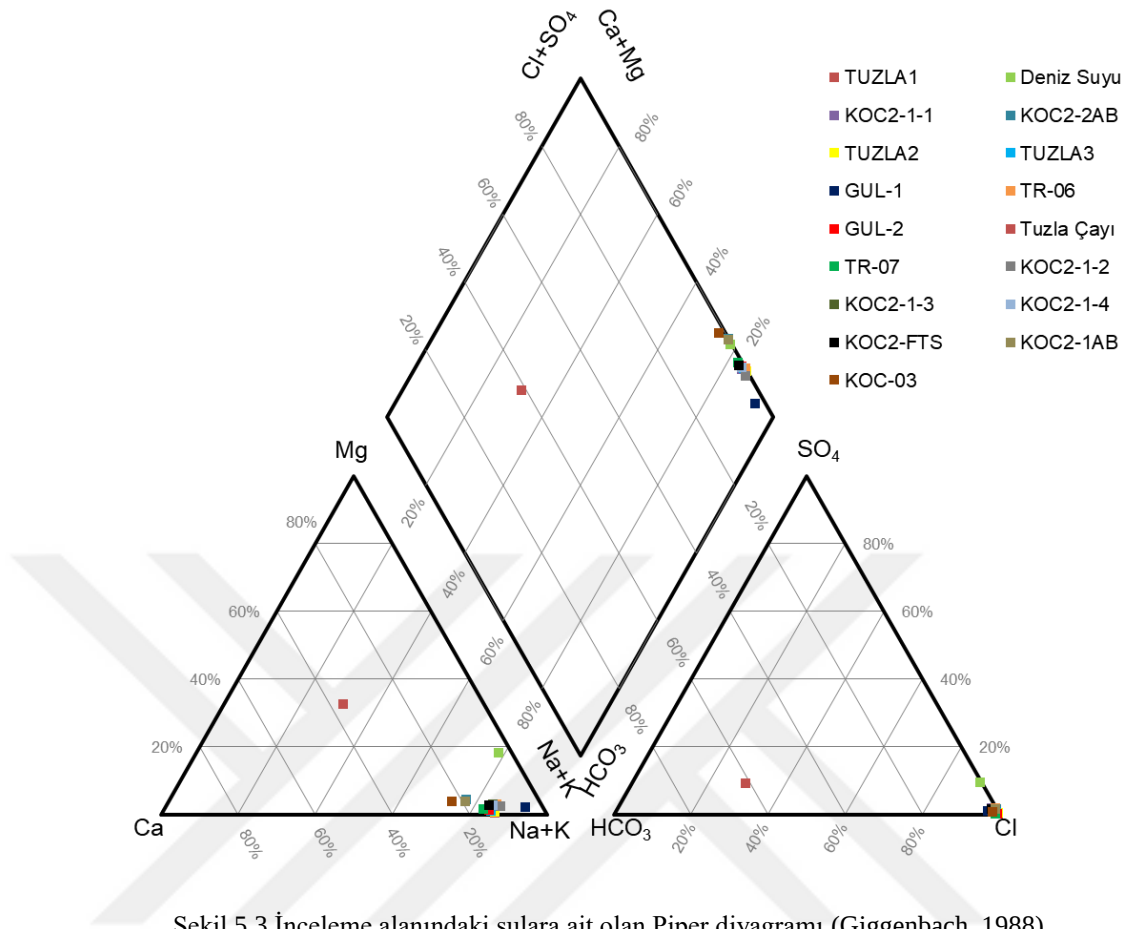
6 nolu alan; Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular,

7 nolu alan; Karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular; NaCl, KCl, Na_2SO_4 , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır.

8 nolu alan; Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular bu alana girer.

9 nolu alan; İyonların hiçbiri %50'yi geçmeyen, karışık sular bu alana girer (Şahinci, A., 1991).

Şekil 5.3'de verilen Piper diyagramı incelendiğinde, Tuzla çayı örneği haricindeki tüm örneklerin 7 numaralı alana düştüğü yani karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular; NaCl, KCl, Na_2SO_4 , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır. İyonsal olarak ise 2 ve 4 numaralı alana düşmekte olup, $(\text{Ca}+\text{Mg}) < (\text{Na}+\text{K})$ ve $(\text{Cl}+\text{SO}_4) > (\text{CO}_3+\text{HCO}_3)$ olarak görülmektedir. Fasiyes sınıflamasına bakıldığında ise, sodyum-klorür tipinde oldukları görülmektedir. Bu da alana tuzlu su girişimi olduğunu göstermektedir.

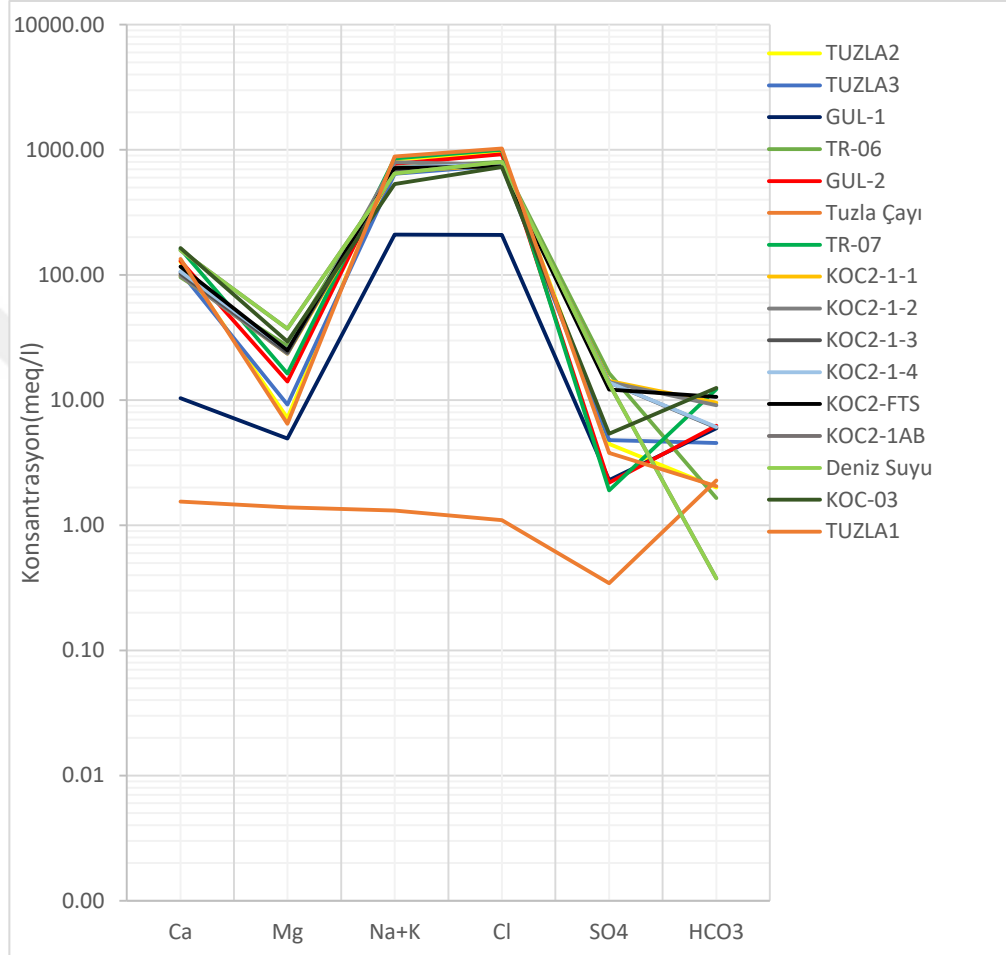


Tuzla Çayı örneği ise, 5 numaralı alana düştüğü yani karbonat sertliği %50'den fazla olan sular kısmında yer almaktadır. İyonsal olarak ise, 1 ve 3 numaralı alana düşmekte olup, alkali toprak elementleri (Ca ve Mg iyonları), alkali elementlerden (Na ve K iyonları) fazla ve Zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden fazladır özelliklerini göstermektedir.

5.3.6 Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramı'na Göre Su Sınıflaması

Sınıflama yapılırken, düşey eksenini logaritmik, yatay eksenini aritmetik ölçekli olan diyagram üzerine sırasıyla Ca, Mg, Na+K, Cl ve CO₃ ve HCO₃ iyonlarının mek/L değerleri işaretlenerek birleştirilip, schoeller yarı logaritmik diyagramı oluşturulur. Bu diyagramla suların 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).

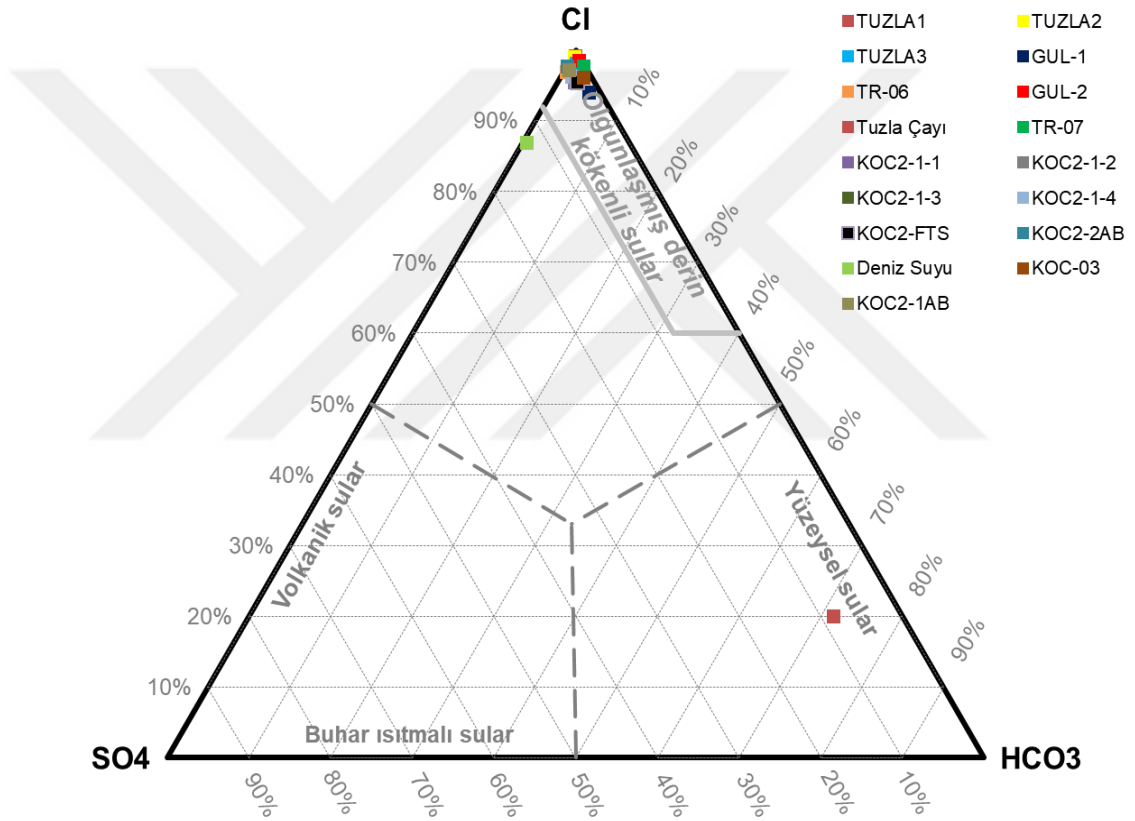


Şekil 5.4 İnceleme alanındaki örneklerin Schoeller diyagramında gösterimi

Schoeller diyagramı incelendiğinde, Tuzla Çayı örneği dışındaki tüm örneklerde baskın iyonlar olarak örneklerin pik verdikleri yerler Na ve Cl iyonlarıdır. Kökensel olarak da aynı kırık çizgisine sahip oldukları için benzer kökenlidirler fakat GUL-01 örneği daha az miktarda iyonsal değer gösterdiği için grafikte alt kısımda gözükmektedir. Bunun sebebi ise, GUL-01 kuyusuna farklı oranlarda soğuk su ve deniz suyunun karışımından olduğu ile açıklanır. Tuzla Çayı örneğinde ise baskın bir iyon yoktur fakat bir karbonat iyonu diğer iyonlara oranla daha yüksek değerdedir (Şekil 5.4).

5.3.7 Cl-SO₄-HCO₃ Diyagram'ına Göre Su Sınıflaması

Cl-SO₄-HCO₃ diyagramı suların tipini ve dolaşım sisteminin anlaşılması amacıyla kullanılmaktadır. Diyagram üç bölümden oluşmaktadır. Cl köşesine yakın olan sular olgun suları, SO₄ köşesine yakın olan sular buhar ısıtılmalı suları, HCO₃ köşesine yakın olan sular ise, olgunlaşma sürecini tamamlamamış, su-kayaç etkileşiminin hala devam etmekte olduğu yüzey/kenar sularını temsil etmektedir. Cl-SO₄-HCO₃ diyagramı Şekil 5.5'de verilmiş ve yorumlanmıştır.



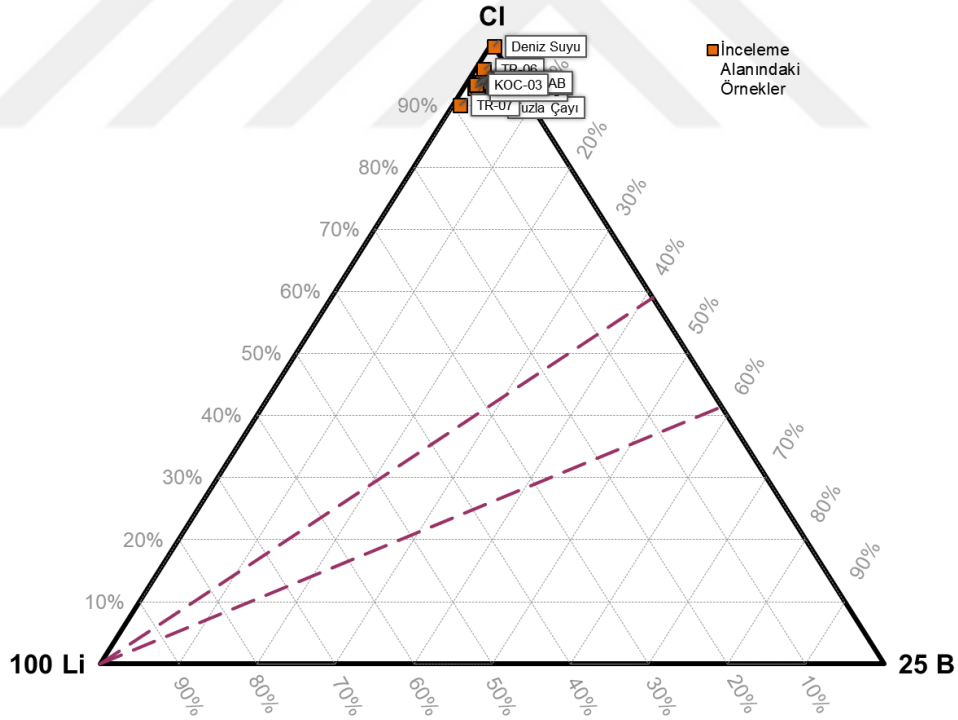
Şekil 5.5 İnceleme alanındaki örneklerin Cl-SO₄-HCO₃ diyagramında gösterimi (Giggenbach, 1988)

Alınan örnekler (Tuzla Çayı örneği hariç) incelendiğinde Cl köşesine yakın olup, “olgunlaşmış derin kökenli sular” kısmına düşmektedir. Bu da örneklerin derin dolaşım ve olgunlaşma eğiliminde olduğu görülmektedir. Tuzla Çayı örneği ise, HCO₃ köşesine yakın olup, “yüzeysel sular” kısmında yer almaktadır. Bu da örneklerin olgunlaşma sürecini tamamlamamış, su-kayaç etkileşiminin hala devam etmekte olduğu yüzey/kenar sularını ya da sık dolaşım/beslenimli suları temsil etmektedir.

5.3.8 Cl-Li-B Diyagramı'na Göre Su Sınıflandırması

Cl-Li-B diyagramı suların hidrotermal sisteminin yaşlı veya genç olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir. Eğer örnekler B köşesine yakın ise; yüksek B/Cl absorpsiyonu bölgesine düştüğü ve daha genç hidrotermal sistemlerde yer aldığı söylenir.

Genelde sıcak ve mineralli sularındaki bor fazlalığı, su-kayaç etkileşiminden olabileceği gibi, genç magma sokulumlarından ve/veya denizel çökellerin metamorfizmasından kaynaklanabilir. Ayrıca, sıcak su kaynakları soğuk su akiferlerini etkilemektedir. Soğuk sulardaki nispeten yüksek bor içeriği bunun bir sonucudur. Eğer örnekler Cl köşesine yakın ise; düşük B/Cl buhar absorpsiyonu bölgesine düştüğü ve daha yaşlı hidrotermal sistemlerde yer aldığı veya rezervuar kayaya tuzlu su girişi olduğu düşünülebilir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 İnceleme alanındaki örneklerin Cl-Li-B diyagramında gösterimi

Diyagram incelendiğinde, örneklerin Cl köşesine yakın olduğu ve düşük B/Cl buhar absorpsiyonu bölgesine düştüğü ve daha yaşlı hidrotermal sistemlerde yer aldığı ve sisteme tuzlu su girişi olduğu görülmektedir.

5.4 İnceleme Alanındaki Suların Kullanılabilme Özellikleri

Suda çözünmüş iyon miktarı fazla ise bitkilere ve tarımsal toprağa fiziksel ve kimyasal yollarla etkiyerek verimi düşürür. Bu iyonların fiziksel etkisi, bitki yapısındaki hücrelerde osmotik basıncı azaltarak suların dal ve yapraklara erişmesini engeller. Kimyasal yolla ise bitki metabolizmasını bozarlar. Tuzlu sulardaki sodyum, zemindeki kalsiyum iyonları ile yer değiştirerek toprak geçirgenliğini ve havalanmasını azaltır, böylece dolaylı olarak bitkilerin gelişmesi yavaşlar. Bitkilerin sudaki tuzlara karşı dirençleri farklı olduğundan, sulama için kullanılan suların tuz derişiminin üst sınırını vermek güçtür. Bitki gelişmesi ile su kalitesi arasındaki ilgi yanında toprağın akaçlaması da önemli yer tutar. Geçirgenliği fazla, akaçlaması iyi tarım topraklarında su, tuzlu da olsa bitkilerin gelişmesini engellemez. Tersine geçirgenliği ve akaçlaması kötü zeminlerde su az tuzlu olsa bile, bitki köklerinde tuz birikimleri oluşarak bitkilerin gelişmesi güçleşir. Toplam tuz derişiminden çok suda bulunan sodyum ve bor iyonlarının miktarı bitkilerin gelişmesini etkiler. Böylece, bitkilerin gelişmesini su kalitesinden başka toprağın cinsi, geçirgenliği, akaçlaması, iklim koşulları, kullanılan su miktarı, bitki türü, sulama şekilleri ve uygulanan yetiştirme yöntemleri gibi özellikleri de etkiler. Sulama sularının kimyasal özelliklerini saptamak için çeşitli yöntemler önerilmiştir (Şahinci, 1991).

İnceleme alanındaki suların kullanılabilme özellikleri EC, SAR, sodyum yüzdesi, çözünmüş madde miktarı oranları kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu bölüm kapsamında Wilcox diyagramı ve ABD Tuzluluk diyagramından bahsedilmiştir.

5.4.1 Suların Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

Sulama sularının sınıflandırmasını sağlayan bir yaklaşım olan SAR, iyonların mek/L değerleri kullanılarak, $SAR = Na / [(Ca+Mg) / 2]^{1/2}$ formülünden hesaplanır ve sulama suları, aşağıdaki gibi sınıflanır (Şahinci, 1991),

Tablo 5.5 % SAR' a göre sulama sularının sınıflaması (Şahinci, 1991)

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

İnceleme alanındaki suların %SAR oranları hesaplanmıştır ve Tablo 5.6'de değerler ve suların sınıflandırılması gösterilmiştir.

Tablo 5.6 İnceleme alanındaki örneklere ait SAR değerleri ve sınıflaması

Örnek Adı	% SAR Değeri	SAR Sınıflaması
TUZLA1	100,1	Kötü özellikte sulama suyu
TUZLA2	97,4	Kötü özellikte sulama suyu
TUZLA3	81,3	Kötü özellikte sulama suyu
GUL-1	62,6	Kötü özellikte sulama suyu
TR-06	89,2	Kötü özellikte sulama suyu
GUL-2	88,1	Kötü özellikte sulama suyu
Tuzla Çayı	1,0	Çok iyi özellikte sulama suyu
TR-07	86,5	Kötü özellikte sulama suyu
KOC2-1-1	82,0	Kötü özellikte sulama suyu
KOC2-1-2	98,5	Kötü özellikte sulama suyu
KOC2-1-3	83,0	Kötü özellikte sulama suyu
KOC2-1-4	84,9	Kötü özellikte sulama suyu
KOC2-FTS	81,2	Kötü özellikte sulama suyu
KOC2-1AB	62,6	Kötü özellikte sulama suyu
KOC2-2AB	62,7	Kötü özellikte sulama suyu
Deniz Suyu	57,2	Kötü özellikte sulama suyu
KOC-03	51,8	Kötü özellikte sulama suyu

SAR sınıflamasına göre tüm örnekler kötü özellikte sulama suyu çıkmaktadır ve içerdikleri bor oranları ve tuzlulukları nedeniyle Tuzla Çayı örneği hariç hiçbir örnek sulama ve içme suyu olarak kullanılamaz.

5.4.2 İnceleme Alanındaki Suların Wilcox Diyagramına Göre Sınıflandırılması

Wilcox diyagramı ile tarımsal amaçlı su sınıflaması yapılabilmektedir. Bu sınıflama yapılırken suyun elektriksel iletkenliği, sodyum yüzdesi, bor miktarı, klorür miktarı ve sülfat miktarı gibi analizlerden elde edilen sonuçlar kullanılmaktadır.

Düşey ekseninde %Na miktarı, yatay ekseninde elektriksel iletkenlik (EC) gösterilmiştir. Suyun kimyasal analizinden hesaplanan %Na değeri düşey eksene işaretlenerek bu noktadan yatay eksene paralel çizilir. EC değeri de yatay ekseninde bulunarak bu noktadan yatay eksene dik çıkılır ve paraleli kestiği nokta suyun özelliğini verir. Bu diyagramdan sulama suları doğrudan yorumlanabilir (Şahinci, 1991).

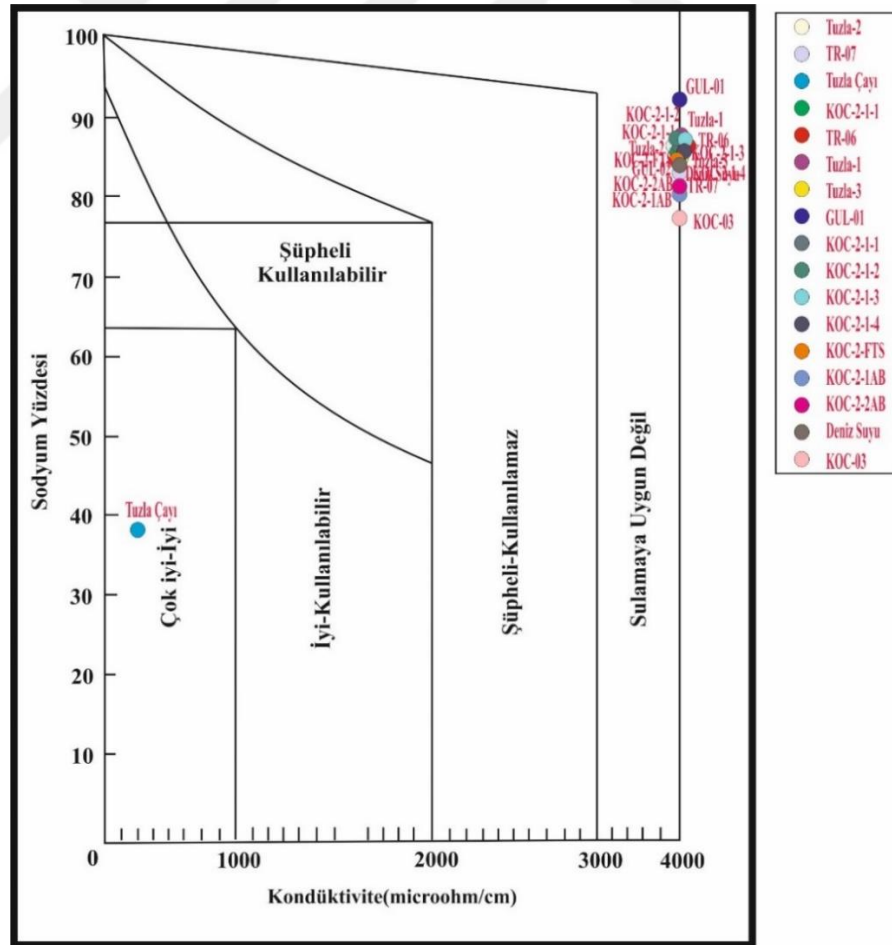
Bor bitkilerin gelişimi için gerekmektedir ama bu gereklilik belirli sınırlar çerçevesindedir. Sulama sularında çözünmüş bor miktarı belirli sınırları aşması durumunda çeşitli tarımda çeşitli zararlar oluşur. Bitki büyümesi durur veya yavaşlar. Bitki yaprağında sararma, yanma, olgunlaşmamış yapraklarda dökülme, büyüme hızının yavaşlaması gibi durumlar ortaya çıkar ve sonuçta bitki veriminde azalmalar ortaya çıkar (Tablo 5.7) (Bilgiç, M., 2015).

Bor oranı yüksek sular direkt şekilde arazi ve bitkiye ulaşabileceği gibi dolaylı yoldan da yani diğer sulama sularına karışarak, suların kimyasal yapısında ve içeriğinde değişikliğe yol açar. Değişmiş bu sular da araziye ulaştığında toprağa ve bitkilere zarar verir (Bilgiç, M., 2015).

Tablo 5.7 Wilcox sulama suları sınıflaması tablosu

Suyun Sınıfı	% Na	rCl	rSO ₄	EC
	mek/l	mek/l	mek/l	μS/cm
Cok İyi	< 20	< 4	< 4	< 250
İyi	20 - 40	4 - 7	4 - 7	250 - 750
Kullanılabilir	40 - 60	7 - 12	7 - 12	750 - 2000
Şüpheli	60 - 80	12 - 20	12 - 20	2000 - 3000
Kullanılamaz	> 80	> 20	> 20	> 3000

Suyun Sınıfı	Suda Bulunan Bor Miktarı		
	Duyarlı Bitkiler	Yarı Dayanıklı Bitkiler	Az Dayanıklı Bitkiler
	mg/l	mg/l	mg/l
Cok İyi	< 0,33	< 0,67	< 1
İyi	0,33 - 0,67	0,67 - 1,33	1 - 2
Kullanılabilir	0,67 - 1	1,33 - 2	2 - 3
Şüpheli	1 - 1,25	2 - 2,5	3 - 3,75
Kullanılamaz	> 1,25	> 2,50	> 3,75



Şekil 5.7 İnceleme alanındaki örneklerin Wilcox diyagramında gösterimi

Wilcox diyagramında alınan örneklerin düştükleri bölgeler Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Değerlere bakıldığında, Tuzla Çayı örneği hariç tüm sular kullanılamaz durumda çıkmaktadır. Aynı zamanda bor miktarı açısından da sadece Tuzla Çayı örneği 0,1 mg/lit olduğundan dolayı ve çok iyi-iyi sınıfına girerken, diğer tüm örnekler kullanılamaz sınıfına girmektedir.

5.4.3 İnceleme Alanındaki Suların ABD Tuzluluk Diyagramına Göre Sınıflandırılması

Sulama sularının kalitesinin belirlenmesinde sodyum konsantrasyonu oldukça önemlidir. Sulardaki aşırı sodyum konsantrasyonu, toprağın sulanmasından sonra üst seviyelerde toplanarak bir tabaka oluşturabilir ve bitkilerin hava almasını engelleyerek olumsuz etkiler yaratabilir (Canik, 2003). İnceleme alanına ait ABD Tuzluluk diyagramı Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

Suların genel tuzluluk özellikleri,

•**C1 (Az Tuzlu Sular- EC 250 μ s/cm’den az):** Her toprakta tüm bitkilerin sulanması açısından uygundur.

•**C2 (Orta Tuzlu Sular- EC 250-750 μ s/cm arası):** Orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.

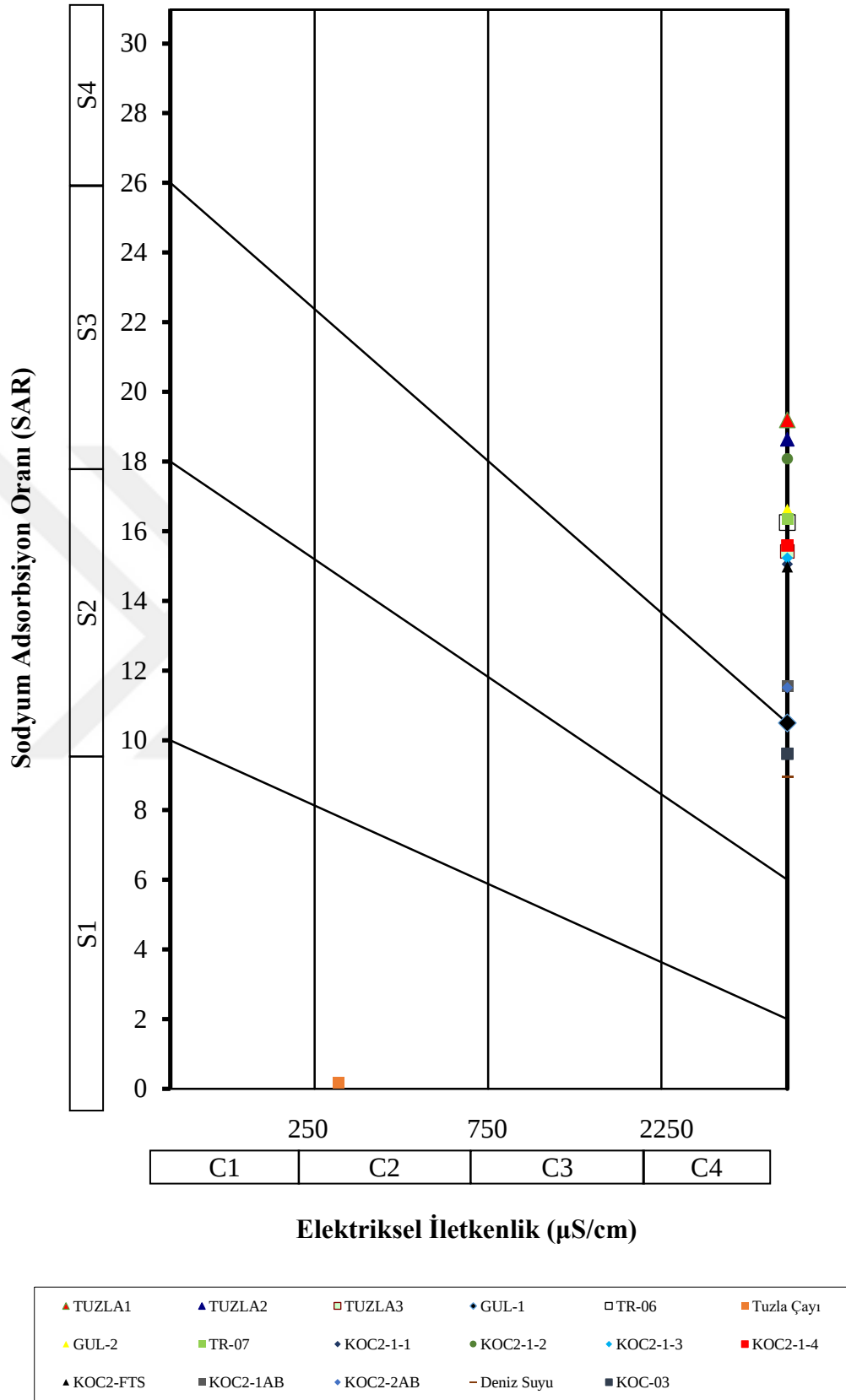
•**C3 (Tuzlu Sular-EC 750 - 2250 μ s/cm arası):** Akaçlama kötü olan arazilerde, sulamada kullanılmaz. Zemindeki tuz miktarı önemlidir.

•**C4 (Çok Tuzlu Sular-EC 2250 μ s/cm’den fazla):** Geçirgenliği ve akaçlaması çok iyi olan topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlamak için bol su verilmelidir ve tuza çok fazla dayanıklı olan bitkiler seçilmelidir.

Genel Sodyum tehlikesi özellikleri ise,

•**S1 (Az Sodyumlu Sular):** Hemen tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir.

•**S2 (Orta Sodyumlu Sular):** Geçirgen veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir.



Şekil 5.8 İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk diyagramında gösterimi

•**S3 (Yüksek Sodyumlu Sular):** Birçok toprak cinslerinde sodyum tehlikesi olabilir. Çok iyi geçirgen ve akaçlama gösteren arazilerde bol su kullanılarak, belirli sürelerde yapılacak kimyasal tahlillerle sodyum tehlikesi denetlenmelidir.

•**S4 (Çok Yüksek Sodyumlu Sular):** Genel olarak, sulama için uygun değildir. Ancak, suyun toplam tuz miktarı düşük ise, sulamada kullanılabilir (Arıkan,2007).

Böylece;

C1-S1, C2-S1, ve C3-S1 her türlü sulamada,

C4-S1, C3-S2 bazı özel koşullarda kullanılabilir.

C4-S2, C4-S3 sulamada kullanılmaz (Arıkan, 2007).

İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk diyagramında düştükleri bölgeler gösterilmiştir. Diyagrama göre, Tuzla Çayı örneği hariç tüm sular kullanılamaz durumda çıkmaktadır. Tuzla Çayı örneği C2-S1 sınıfına girdiğinden tüm tarımsal işlemlerde kullanılabilir. GUL-01, KOC-03 ve deniz suyu örnekleri C4-S3 sınıfına, geriye kalan tüm örnekler de C4-S4 sınıfına girmekte olup hiçbir tarımsal faaliyette kullanılamaz (Şekil 5.8).

5.5 Suların Mineral Doygunluk İndeksi Analizleri

Kabuklaşma sorunu jeotermal operasyonlar sırasında görülen en büyük problemlerden biri olup, kuyulardan yapılan üretim sırasında ve enjeksiyon kısmında, bu kabuklaşmaya neden olan mineraller rezervuar içinde çökelim gösterirler. Bu da tesis veya sistemlerin ömrünü, verimliliğini etkileyen faktörlerden biridir.

Su, içinde bulunan çözünmüş iyonların türüne ve miktarına bağlı olarak mineral kabuklarının oluşmasını tetikler veya bunları çözer. Mineral kabuklarının oluşma mekanizması (1) suyun belli bir mineral ile ulaştığı doymunluk derecesine, (2) sıcaklık ve basınç değişim hızına ve (3) suyun pH değerine bağlıdır. Herhangi bir mineralin sudaki çözünürlüğü, sıcaklık, basınç, pH, redox potansiyeli ve çözeltideki maddelerin göreceli konsantrasyonuna bağlıdır. Çözünürlüğü kontrol eden bu parametrelerdeki

değişime bağlı olarak suda çözünmüş maddeler çökerek değişik şekillerde kabuk oluşturabilirler.

Kalsiyum, silisyum, sülfür ve sülfat çökelmeleri en çok karşılaşılan türlerdendir. Silika çökmesi ısı eşanjörleri ve re-enjeksiyon kuyularında sıcaklık düşüşünden dolayı daha etkili olmaktadır.

Bu bahsedilen minerallerin dışında rapor kapsamında da değerleri verilmiş olan başka minerallerin de çökmesi söz konusudur. Hangi minerallerin çökebileceğini bulabilmek için akışkanın kimyasal bileşiminin bilinmesi ve üretimden geri basıma kadar olan tüm süreçteki basınç ve sıcaklık koşullarının bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, minerallerin doygunluk indeksleri PhreeqC programı ile yapılmıştır.

Hesaplamalar sonucunda doygunluk indeksi değeri (SI) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır,

$$SI = \log (Q/ K) \quad (5.2)$$

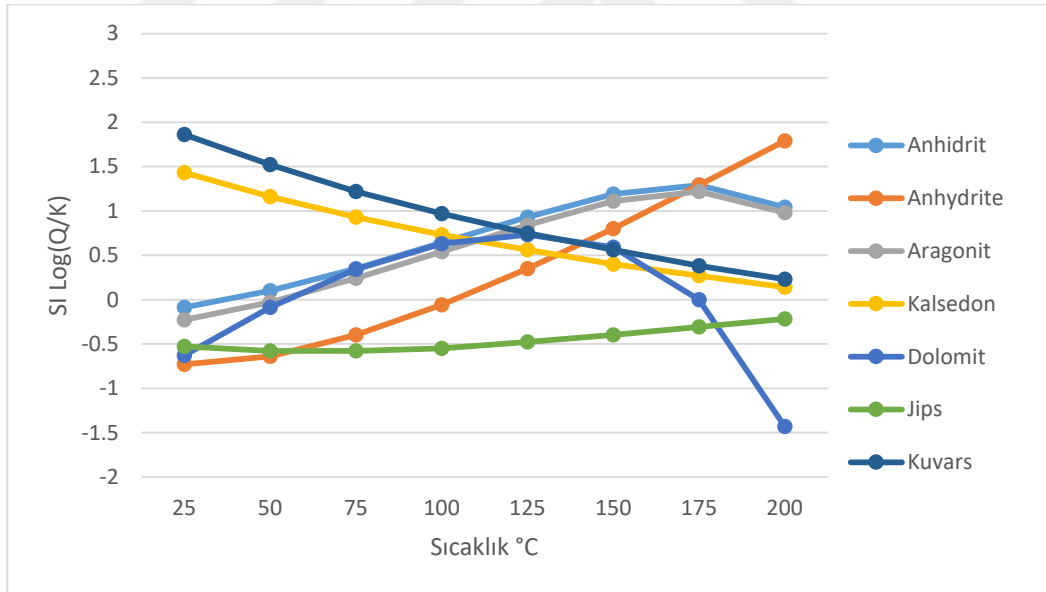
Bu formülde K: denge sabiti (teorik çözünürlük çarpımı), Q: ilgili mineralin etkinlik katsayısını ifade eder.

- Eğer doygunluk indeksi, $\log (Q/K) < 0$, çözelti doymamıştır ve çökme beklenmez.
- Eğer, $\log (Q/K) = 0$ ise, çözelti ilgili mineral ile dengededir.
- Eğer doygunluk indeksi, $\log (Q/K) > 0$, çözelti aşırı doymuştur ve çökme ihtimali yüksektir.

Bu çalışma kapsamında, minerallerin doygunluk indeksleri PhreeqC programı ile yapılmıştır. Analizler 25 °C, 50 °C, 75 °C, 100 °C, 125 °C, 175 °C ve 200 °C olarak 7 adımda incelenmiştir. Çalışmada KOC-2, TR-06 ve KOC-03 kuyusundan alınan örnekler incelenmiştir.

Tablo 5.8 KOC-02 kuyusuna ait doygunluk indeksi değerleri

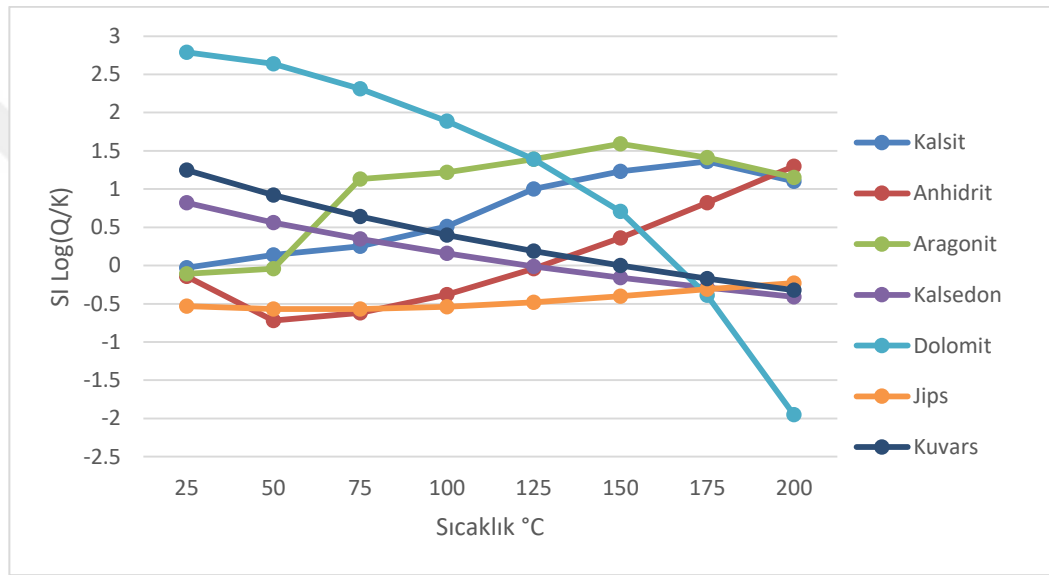
Sıcaklık °C	Kalsit	Anhidrit	Aragonit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars
25	-0,09	-0,73	-0,23	1,43	-0,63	-0,53	1,86
50	0,1	-0,64	-0,03	1,16	-0,09	-0,58	1,52
75	0,35	-0,4	0,24	0,93	0,34	-0,58	1,22
100	0,64	-0,06	0,54	0,73	0,63	-0,55	0,97
125	0,93	0,35	0,84	0,56	0,73	-0,48	0,75
150	1,19	0,8	1,11	0,4	0,59	-0,4	0,56
175	1,29	1,29	1,22	0,27	0	-0,31	0,38
200	1,04	1,79	0,98	0,14	-1,43	-0,22	0,23



Şekil 5.9 KOC-02 kuyusu doygunluk indeksi analiz grafiği

Tablo 5.9 TR-06 kuyusuna ait doygunluk indeksi değerleri

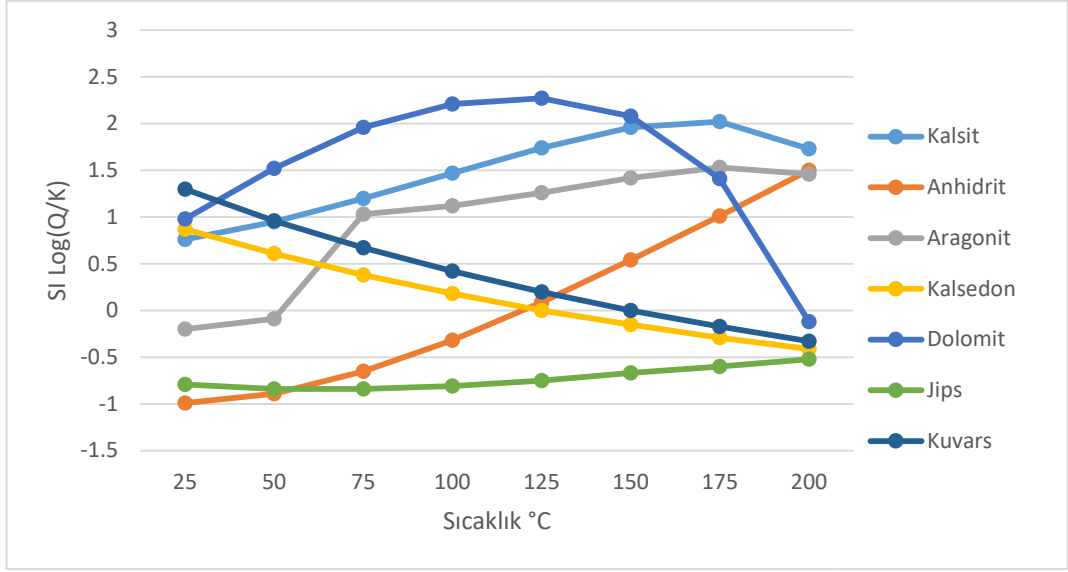
Sıcaklık °C	Kalsit	Anhidrit	Aragonit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars
25	-0,03	-0,14	-0,11	0,82	2,79	-0,53	1,25
50	0,14	-0,72	-0,04	0,56	2,64	-0,57	0,92
75	0,25	-0,62	1,13	0,35	2,31	-0,57	0,64
100	0,51	-0,38	1,22	0,16	1,89	-0,54	0,4
125	1	-0,04	1,39	-0,01	1,39	-0,48	0,19
150	1,23	0,36	1,59	-0,16	0,71	-0,4	0
175	1,36	0,82	1,41	-0,29	-0,39	-0,31	-0,17
200	1,1	1,3	1,15	-0,41	-1,95	-0,23	-0,32



Şekil 5.10 TR-06 kuyusu doygunluk indeksi analiz grafiği

Tablo 5.10 KOC-03 kuyusuna ait doygunluk indeksi değerleri

Sıcaklık °C	Kalsit	Anhidrit	Aragonit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars
25	0,76	-0,99	-0,2	0,87	0,98	-0,79	1,3
50	0,95	-0,89	-0,09	0,61	1,52	-0,84	0,96
75	1,2	-0,65	1,03	0,38	1,96	-0,84	0,67
100	1,47	-0,32	1,12	0,18	2,21	-0,81	0,42
125	1,74	0,09	1,26	0	2,27	-0,75	0,2
150	1,96	0,54	1,42	-0,15	2,08	-0,67	0
175	2,02	1,01	1,53	-0,29	1,41	-0,6	-0,17
200	1,73	1,5	1,46	-0,41	-0,12	-0,52	-0,33



Şekil 5.11 KOC-03 kuyusu doygunluk indeksi analiz grafiği

Tablo 5.8’da sonuçları verilen doygunluk indeksi analizlerine bakıldığında Kalsit mineralinin 50°C’den sonra, anhidrit mineralinin 125°C, dolomit ve aragonit minerallerinin 75°C sıcaklıktan sonra çökeltme yapabileceğın görölmektedir. Aynı zamanda kuvars mineralinin de çökeltmesi söz konusudur.

Şekil 5.9’a bakıldığında ise doygunluk indeksi çizgilerinin çoğunun kesiştiğı noktaların 125°C - 150°C arasında olduğı gözökmektedir. Genelde minerallerin doygunluk indeksi çizgileri rezervuar sıcaklığında kesişir. Bu yöntem jeotermal alanlardaki rezervuar sıcaklığının tahmin edilmesi için, Reed ve Spycher (1984), çalışmasında önerdiği bir yöntemdir. Sıcaklık-mineral doygunluk değışimi esasına dayanmaktadır. Buradan da göröldüğü üzere KOC-02, KOC-3 ve TR-06 kuyularının rezervuar sıcaklığının 125°C - 150°C arasında bir değeri alabileceğı de söylenebilir.

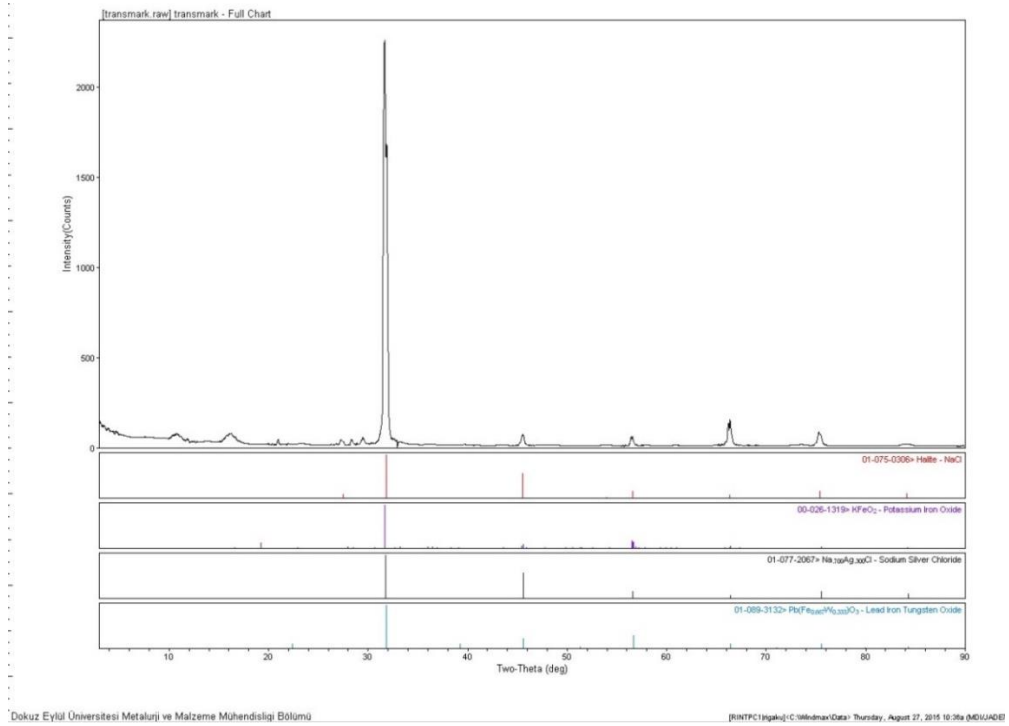
KOC-03 ve TR-06 kuyularına da bakıldığında aynı KOC-02 kuyusu gibi aragonit, kalsit, dolomit gibi karbona minerallerinin çökeltmesi söz konusudur.

Aynı zamanda KOC-02 kuyusunda yapılan akış testleri sonrasında, yatay hat borularında biriken malzemeden örnek alınmış ve XRD analizi ile mineralinin cinsi saptanmıştır (Şekil 5.12). XRD analizi sonucunda, grafikte pik veren yerin aragonit

mineraline ait olduğu gözükmiştir (Şekil 5.13). Tablo 5.8’da görüldüğü üzere 75°C’den sonra aragonit çökmesi başladığı gözükmektedir.



Şekil 5.12 KOC-02 kuyusu yatay hattan alınan örnek parçası görüntüsü (Kişisel arşiv, 2016)



Şekil 5.13 KOC-02 kuyusundan alınan numuneye ait XRD analizi

5.6 Jeotermometre Türleri ve Hesaplamaları

Jeotermal akışkanlar, yeryüzüne hazne sıcaklıkları ile çıkamamaktadır. Yerin derinliklerinin daha sıcak olduğu gerçeğinden yola çıkarak; yüzeye gelen suyun soğuması normaldir. Bu duruma ek akışkan yeryüzüne doğru ilerken çeşitli kayaçlar ve yeraltı sularıyla etkileşime girerek ısı ve basınç kaybı yaşamaktadır (Bilgiç, M., 2015).

Sıcak suların yüzeye erişirken soğuk yeraltı suları ile karışmaları, dokanakta bulundukları kayalarla ısı alış veriş, örtü kayanın kalın veya ince oluşu gibi nedenlerden dolayı sıcak suların sıcaklıklarının doğrudan ölçülmesi hazne kayaya kadar inen kuyularla yapılabilmektedir. Günümüzde jeotermal alanlarda hazne sıcaklığı tahminine yönelik uygulanan birçok jeotermometre yöntemi vardır (Tarcan, 2002).

5.6.1 Kimyasal Jeotermometreler

Kimyasal jeotermometreler, sıcak ve mineralli suların kimyasal özelliklerine bağlı olup, ucuz ve pratik olmasından dolayı hazne kaya sıcaklığının tahmininde en çok kullanılan jeotermometrelerdir. Kimyasal jeotermometreler kalitatif (niteliksel) ve kantitatif (sayısal) olmak üzere ikiye ayrılırlar.

5.6.1.1 Niteliksel (Kalitatif) Jeotermometreler

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

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

amorf silis ve kristalleşmiş silis çökelleri, hazne kayaç için 180°C ya da daha yüksek bir sıcaklık olabileceğini gösterir. Miktar olarak zayıf klorür içeren asitli sular 100°C'ye yakın değerlerde kayalardaki silikat miktarını değiştirerek amorf silis acısında zenginleşme yapabilir (Tarcın, 2004).

Cl: 150°C'nin üstünde sıcaklığa sahip Akifelerde, çoğunlukla 150 mg/l miktarından daha çok klorür görülebilir. Sıcaklık değerinin nadiren de olsa 200°C'nin üstünde olduğu durumda ise miktar 40 mg/l altındadır. Klorür, sıcak su tipleri ile buhar tipleri arasında farkı gösteren önemli bir bileşendir. 50 mg/l miktarının üstünde klorür gözlenirse sıcak su sisteminin varlığını gösterir (Tarcın, 2004).

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 (Tarcın, 2004).

Na/K Oranı: Akifer sıcaklığının yüksek derecede olması, Na/K oranının yüksekliği ile ilişkilidir. Bu orandan yararlanılarak elde edilen akifer sıcaklıkları, su için ilk derinlik sıcaklığını ya da yatay mesafenin sıcaklığını gösterir. Jeotermal akışkandan elde edilen veriler ile silis jeotermometresi hesaplama yapılır, bu değer Na/K sonucunda bulunandan az ise, akışkanın diğer sularla karışma ihtimalini güçlendirir (Tarcın, 2004).

Traverten Çökelleri: Akifer sıcaklığının düşük olduğuna (yaklaşık 100°C) işaret eder (Tarcın, 2004).

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

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

5.6.1.2 Niceliksel (Sayısal) Jeotermometreler

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

5.6.2 Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler

5.6.2.1 Silis Jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, kuvars mineralinin geniş sıcaklık aralığında çözünmesinden dolayı 150 °C ile 225 °C sıcaklıkları arasında daha doğru sonuçlar vermektedir. Çalışma alanındaki suların silis jeotermometre değerleri hesaplanmış ve örnekler için kullanılabilir sonuçlar verdiği görülmüştür.

5.6.3 İyon Derişimine Bağlı Jeotermometreler

5.6.3.1 Na/K, Na-Li, K-Mg, K-Ca, Na-Ca jeotermometreleri

Bu jeotermometreler suda fazla miktarda Ca^{++} iyonu bulunuyorsa, akifer (hazne) sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, $\log(\sqrt{Ca}/Na)$ değerinin 0,5 ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350°C sıcaklıktaki bir akiferden gelen sularda daha iyi sonuçlar vermektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen birçok kimyasal jeotermometre bağıntıları yukarıda özetlenmiştir (Tarcan, 2004).

5.6.3.2 Na-K-Ca Jeotermometresi

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

$$t^{\circ}C = [1647 / (\log (Na/K) + \beta \log (\sqrt{Ca} / Na) + 2,24)] - 273,15 \quad (5.3)$$

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

5.6.3.3 Magnezyum Düzeltmeli (R) Na-K-Ca Jeotermometresi

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

Bağıntıda iyonlar mek/l olarak ele alınır. Eğer R, 50 den büyük ise, suların oldukça soğuk bir ortamdan geldiği ve akifer sıcaklığının, kaynakta ölçülen sıcaklığa yakın olduğu düşünülebilir. Bu nedenle Na-K-Ca bağıntısından elde edilen yüksek akifer sıcaklıklarında bazı düzeltmeler yapılması gereklidir. Bulunan akifer sıcaklığı 70°C'nin altında ise düzeltme yapılmaz. Tersine akifer sıcaklığı 70°C den fazla ve 5-50 arasında veya daha yüksek ise aşağıda belirtilen bağıntılardan yararlanarak düzeltme hesaplanabilir ve akifer (hazne) sıcaklığından çıkarılır.

$$t^{\circ}\text{C} = 10,66 - 4,741R + 325,87 (\log R)_2 - [1,032 \times 10^5 (\log R)_2 / T] - [1,968 \times 10^7 \times (\log R)_2 / T_2] + 1,605 \times 10^7 (\log R)_3 / T_2 \quad (5.4)$$

Eğer R, 0,5-5 arasında ise şu bağıntı kullanılır;

$$t^{\circ}\text{C} = -1,03 + 59,971 (\log R) + 145,05 (\log R)_2 - 36711 (\log R)_2 / T - 1,67 \times 10^7 (\log R) / T_2 \quad (5.5)$$

Bağıntılarda t°C: magnezyum düzeltme sıcaklığı (°C); R: düzeltme katsayısı; T: Na-K-Ca jeotermometresinde hesaplanan akifer sıcaklığıdır (°K) (Tarcan,2004).

5.7 Jeotermometre Hesaplamaları

İnceleme alanındaki suların jeotermometre hesaplamaları yapılmış ve Tablo 5.11'de gösterilmiştir.

Tablo 5.11'de sonuçları verilen silis jeotermometresi değerlerine bakıldığında, Tuzla örneklerinin sıcaklıkları 131°C – 141°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 136°C gözükmemektedir. Gülpınar örneklerine bakıldığında ise, örneklerinin sıcaklıkları 90°C – 124°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 107°C gözükmemektedir. Son olarak ise Kocaköy örnekleri incelendiğinde, sıcaklıkları 96°C – 145°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 131°C olarak gözükmemektedir.

Kasyon jeotermometreleri bakıldığında, Tuzla örneklerinin sıcaklıkları 164°C – 220°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 194°C gözükmektedir. Gülpınar örneklerine bakıldığında ise, örneklerinin sıcaklıkları 59°C – 192°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 115°C gözükmektedir. Son olarak ise Kocaköy örnekleri incelendiğinde, sıcaklıkları 94°C – 214°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 155°C olarak gözükmektedir.

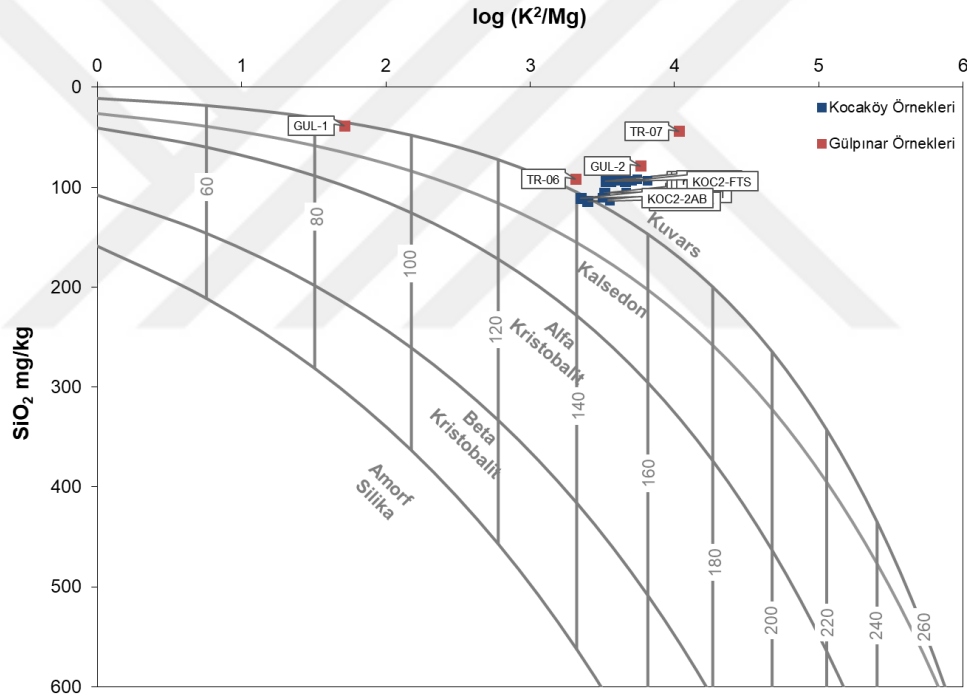
Kuyuların şimdiki üretim sıcaklıklarına bakıldığında, Tuzla-1 kuyusu 814 metrede 173°C, Tuzla-2 kuyusu 1015 metrede 170°C ve Tuzla-3 kuyusu 145 metrede 81°C rezervuar sıcaklığına sahiptir. Tuzla-3 kuyusu sıg volkanik rezervuara sahip olduğundan düşük sıcaklık değeri sunmaktadır fakat daha derinlerde bu sıcaklığın artması beklenmektedir. Aynı zamanda yine alan içerisinde bulunan T-2 kuyusunun ise 168 - 170°C sıcaklığa sahip olduğu da bilinmektedir. Bu kuyuların sıcaklıklarının bilinmesi de jeotermometrelerin doğruluklarını irdelemeye yardımcı olmaktadır.

Tablo 5.11 İnceleme alanındaki örneklerin jeotermometre değerleri

Örnek Adı	Silis Jeotermometreleri		Katyon Jeotermometreleri				
	Kuvars Kondüktif	Kuvars Adiyabatik	Na-K-Ca	Na-K-Ca (Mg Düzeltmeli)	Na-K (Truesdell, 1976)	Na-K (Giggenbach, 1988)	K-Mg (Giggenbach, 1986)
TUZLA1	135	131	216	202	171	220	196
TUZLA2	141	136	211	192	164	215	188
TUZLA3	140	135	209	175	166	216	173
GUL-1	90	92	114	59	33	104	87
TR-06	133	129	185	94	125	184	141
GUL-2	124	122	191	151	136	192	160
TR-07	96	97	207	166	162	213	171
KOC2-1-1	141	135	197	111	146	200	149
KOC2-1-2	134	130	191	109	131	189	150
KOC2-1-3	134	130	199	112	149	203	151
KOC2-1-4	133	129	201	113	150	204	152
KOC2-FTS	134	130	205	121	158	210	155
KOC2-1AB	145	139	197	114	154	207	145
KOC2-2AB	143	138	196	106	153	206	143
KOC-03	134	130	199	124	163	214	144

TR-06 kuyusunun ise tahmini kuyu dibi sıcaklığı 1800 metrelerdeki kireçtaşı rezervuarında 122°C'dir. GUL-1 kuyusunun ise kuyu testleri verilerine göre 605 metrede bulunan volkanik rezervuarda 55°C olduğu bilinmektedir. GUL-02 kuyusu ise 495 metrede volkanik rezervuarda 60,8°C sıcaklığa sahiptir.

KOC-02 kuyusu yapılan son kuyu testlerine göre 2537 metre toplam derinliğe sahip olup, kireçtaşı rezervuarında 133°C sıcaklığa sahiptir. Fakat rezervuar zonları 2100 m, 2250 m ve 2360 m olmak üzere 3 adettir. KOC-03 kuyusu ise, toplamda 2327 metre kuyu derinliğine sahip olup, kuyu dibinde 120°C sıcaklığa sahiptir. Fakat rezervuar zonları 1820 m, 1950 m ve 2150 m olmak üzere 3 adettir.



Şekil 5.14 Örneklerle ait Log (K²/Mg) – SiO₂ grafiği

Kuyu dibi sıcaklıkları ile jeotermometre değerleri karşılaştırıldığında, Kocaköy örnekleri ve Gülpınar örnekleri için silis jeotermometrelerinin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği açıkça gözükmemektedir. Aynı zamanda Log (K²/Mg) – SiO₂ grafiğine de bakıldığında örneklerin kuvars çizgisine yakın çıkması da bu jeotermometre değerlerinin gerçeğe yakın çıkabileceğini de göstermektedir (Şekil 5.14). Tuzla

örnekleri için ise, Na-K ve K-Mg jeotermometrelerinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği gözükmemektedir.

Aynı zamanda Kocaköy örnekleri için de K-Mg jeotermometresi verdiği sonuçlar açısından değerlendirme yapılırken göz önüne alınmalıdır. Çünkü K-Mg jeotermometresi genelde deniz suyu girişi olan akiferlerde doğru sonuçlar verebilmektedir.

Özet olarak, Tuzla fayından beslenen ve düşey akım zonunda olan kuyularda öngörülen volkanik rezervuar sıcaklığı 170°C'lere kadar artış gösterirken, Tuzla Fayı'nın yanal akım zonunda kalan kireçtaşı rezervuarlarda bu sıcaklık özellikle Kocaköy tarafında 131°C – 141°C arasında, soğuk su girişinin fazla olduğu düşünülen Gülpınar kuyularının bulunduğu kesimlerde ise maksimum 120-130°C gibi sıcaklıklar beklenmektedir.

5.8 Jeotermometre Uygulanabilirliği

Bu başlık altından elde edilen jeotermometre değerlerinin uygulanabilirlik kıyaslaması ve kimyasal olarak dengesi ile ilgili yorumları kapsamaktadır.

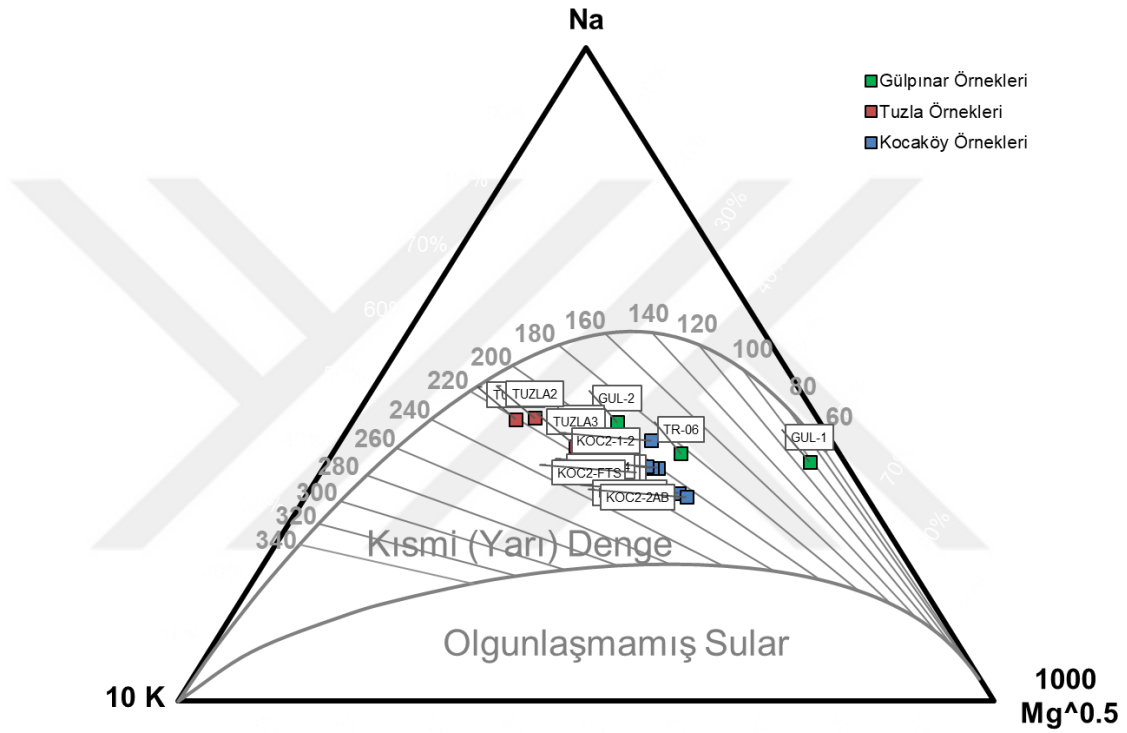
5.8.1 Giggenbach Üçgen Diyagramı

Na-K-Mg Giggenbach Ternary diyagramı suların su-kayaç ilişkilerini irdelemek ve kation jeotermometrelerinin güvenilirliklerini sınamak amacıyla kullanılır. Na, K, ve Mg bileşenlerinin mg/l cinsinden değerleri diyagramda kullanılmasıyla oluşur. Giggenbach Üçgen Diyagramı üç bölümden oluşur.

Alt kısımda “Ham Sular” orta kısımda “Yarı Dengelenmiş Sular” ve üst kısımda “Dengelenmiş Sular” şeklinde sıralanır. Alt kısımda yer alan sular kimyasal olarak dengelenmemiş sulardır ve bu alanda yer alan numuneler için jeotermometre hesaplamalarına tereddütle bakılmalıdır. Orta kısımda yer alan sular kimyasal denge durumuna yaklaşmış sulardır ve bu bölge de yer alan numuneler için hesaplanan

jeotermometre hesaplamaları gerçek ya da gerçeğe yakın sonuçlar bulunabilir. Üst kısımda yer alan sular numuneler kimyasal olarak dengelenmiştir ve bu alanda yer alan numuneler için jeotermometre hesaplamaları yapılabilir (Bilgiç, M., 2015).

İnceleme alanında yer alan sulara ait olan Giggenbach üçgen diyagramı Şekil 5.15’de verilmiştir.



Şekil 5.15 İnceleme alanındaki sulara ait Giggenbach üçgen diyagramı (Giggenbach, 1988)

Giggenbach üçgen diyagramına bakıldığında, örneklerinin kısmen denge durumunda olduğu görülmektedir. Bu da örneklerinin su-kayaç ilişkisinin yarı denge haline ulaştığını gösterir. Aynı zamanda örneklerin “kısmen denge” durumunda çıkmasından dolayı rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında kullanılan katyon jeotermometreleri ile hesaplanan değerlere şüphe ile yaklaşılmalıdır çünkü bu sular kimyasal denge durumuna yaklaşmış sulardır ve bu bölge de yer alan örnekler için hesaplanan jeotermometre hesaplamaları gerçek ya da gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca katyon jeotermometreleri su-kayaç ilişkisi tamamen denge halinde olan sularda daha doğru sonuçlar vermektedir. Ayrıca diyagrama bakıldığında,

suların rezervuarda bekleme süreleri arttığında suların, “Dengelenmiş Sular” kısmına doğru kaydığı görülmektedir. Bu da Nisan ayında alınan KOC2-1AB ve KOC2-2AB örnekleri, Temmuz ayında alınan KOC-2-1-1, KOC-2-1-2, KOC-2-1-3, KOC-2-1-4 ve Ağustos ayında alınan KOC-2-FTS örneklerinin çizgi üzerinde Dengelenmiş sular kısmına doğru ilerlemesi ile rahatça görülebilmektedir.

5.9 Karışım Modelleri

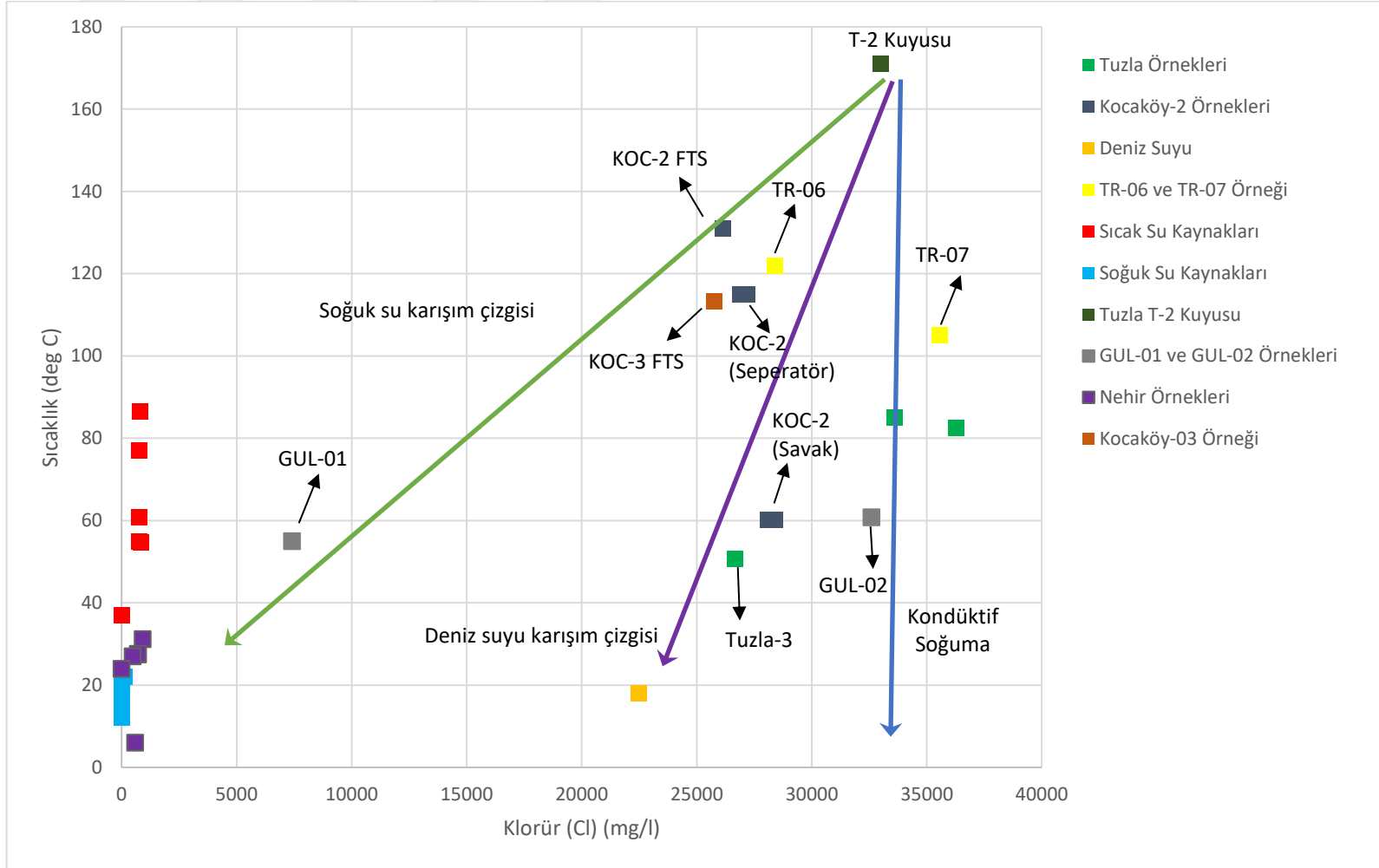
5.9.1 Entalpi-Klorür Diyagramı

Entalpi-klorür diyagramının düşey eksenini için entalpi ($^{\circ}\text{C}$) değerleri, yatay ekseninde ise Cl (mg/l) değerleri bulunmaktadır. Bu diyagram sayesinde, sıcak suların kaldıkları kaynama, karışım, soğuma ve buharlaşma gibi çeşitli işlevler ayırt edilebilmektedir.

Baba ve diğ., 2009’ deki soğuk suların analiz sonuçları kullanılmış ve grafiğe inceleme alanındaki suların da değerleri girilmiş böylelikle jeotermal kuyuların karışım modeli hakkında yorumlar yapılmıştır (Şekil 5.16).

Entalpi-klorür diyagramında bölgede bilinen en yüksek sıcaklığa sahip olan kuyulardan biri olan T-2 kuyusu, bölgedeki yüzey suları ve soğuk sular ve Deniz suyu örneği gösterilmiştir. Bu örnekler ile de soğuk su karışım çizgisi ve deniz suyu karışım çizgisi oluşturulmuştur. Diyagram incelendiğinde, GUL-02 ve TR-07 örneğinde kondüktif bir soğuma olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, KOC-02, TR-06 ve Tuzla-3 örnekleri deniz suyu karışım çizgisine yakın konumda çıktığından bu örneklerle deniz suyu girişiminin olduğu açık bir şekilde görülmekte olup, az miktarda da olsa bir soğuk su girişi de mevcuttur.

KOC-02-FTS örneği direk rezervuar içinden alınan örnektir ve bu örnekle birlikte GUL-01 örneğine de soğuk su girişi açık bir şekilde görülmektedir. Özellikle, GUL-01 örneğine olan soğuk su girişi diğer örneklerle göre daha fazla miktardadır.



Şekil 5.16 İnceleme alanındaki sulara ait olan entalpi-klorür diyagramı

BÖLÜM ALTI

JEOTERMAL MODELLEME

Tuzla-Gülpınar jeotermal alanının modellemesinin yapılmasında kuyu testlerinden elde edilen derinliklere denk gelen sıcaklık değerleri, fay geometrileri, rezervuar kalınlıkları ve stratigrafi, yeraltı suyu akımları, yüzey suyu girişleri ve ısı kaynağı temel alınarak yapılmış ve geliştirilmiştir.

İnceleme alanındaki kuyu bilgilerine göre derin ve sık olmak üzere iki adet rezervuar ayırt edilmiştir. Sık rezervuar Miyosen yaşlı volkanik kayaların içerisinde bulunurken, derindeki rezervuar ise Permiyen yaşlı kireçtaşı/mermer kayaçlarından oluşmaktadır. Bu volkanik kayaçların ve karbonat rezervuarının arasında ise masif serpatinit yer almaktadır. Var olan kuyu bilgilerine göre, karbonat kayalarının üst dokanağı 1400-1450 metreleri arasında başlamaktadır. Rezervuarı oluşturan Permiyen yaşlı Bozalan kireçtaşının derinliği, Gülpınar fayı ile sınırlanan büyük graben tarafında batı ve güneybatıya doğru artmaktadır. Ayrıca batı tarafa gidildikçe Miyosen volkanit ve tortul kalınlığı artmaktadır.

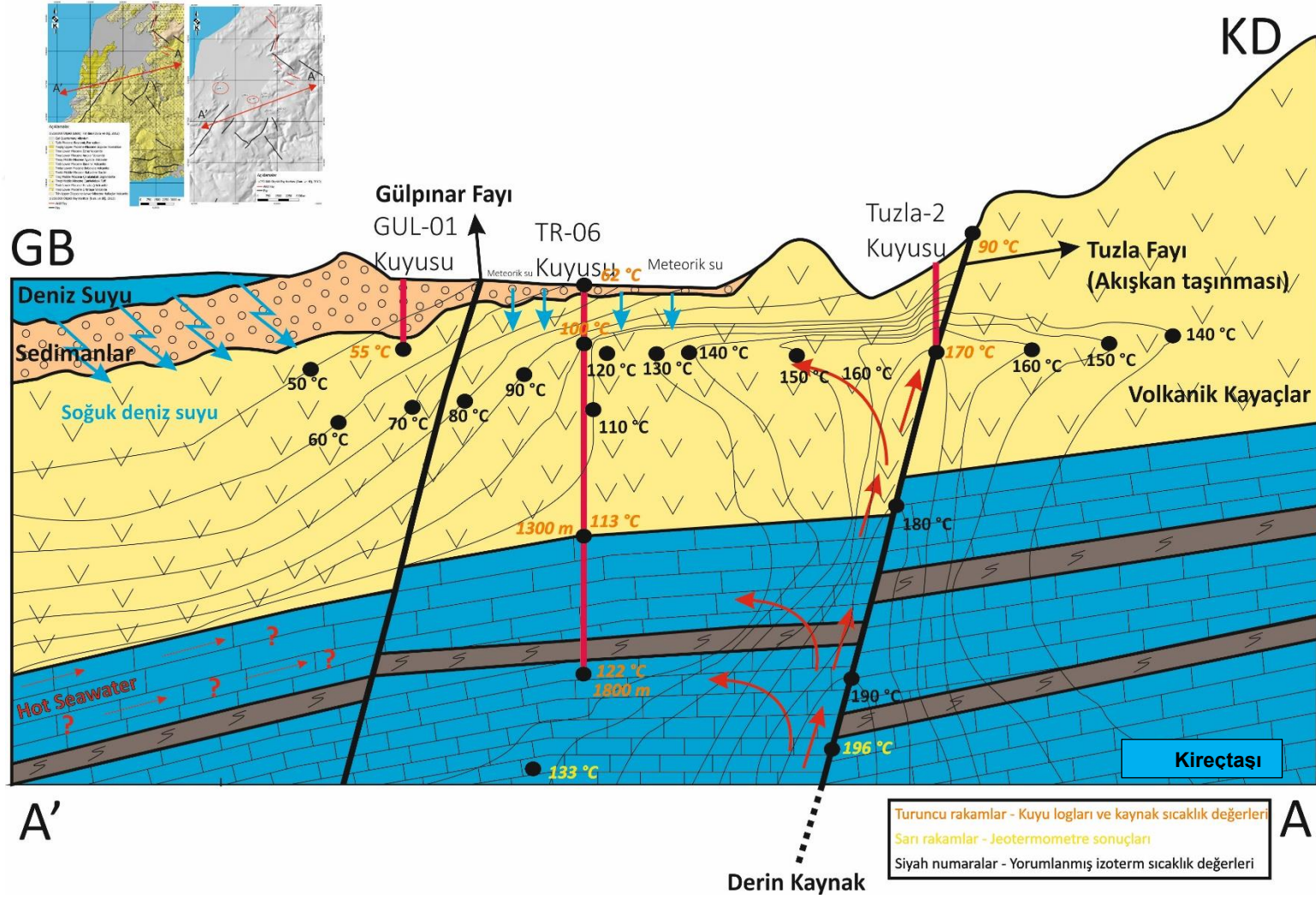
Şekil 6.1 'de Tuzla-Gülpınar jeotermal alanı için ilk olarak yapılmış olan iki boyutlu jeotermal modelleme mevcuttur. Bu modelde turuncu renk ile verilen sıcaklık değerleri kuyu logları ve kaynak sıcaklıkların elde edilen gerçek değerleri, sarı rakamlar alınan örneklerden elde edilen yorumlanmış jeotermometre değerlerini, siyah ile gösterilen rakamlar ise tüm bu verilere göre yorumlanarak yapılmış izoterm sıcaklık değerlerini temsil etmektedir. Bu modelleme de GUL-01 kuyusuna alanda bulunan sedimanter kayaçlardan soğuk deniz suyu girişi olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple de GUL-01 kuyusu 605 metrede 55°C sıcaklığa sahiptir. Modele bakıldığında inceleme alanında yanal akım zonu ve yükselim zonu olma üzere iki adet zondan bahsedebiliriz. Yükselim zonunu Tuzla Fayı'nın oluşturduğu düşünülmektedir. T-2 kuyusunun sıcaklık verilerine bakıldığında Tuzla Fayı'nı kestiği derinlikte 170°C sıcaklığa sahip olduğu gözükmemektedir. Bu da Tuzla Fayı'nın derinlerden akışkan taşıdığını göstermektedir.

TR-06 ve KOC-02 kuyularının sıcaklıklarına bakıldığında daha düşük sıcaklıklar verdiği gözükmemektedir. Bu da modele de bakıldığında güneybatıya doğru açılan kuyuların ulaştığı derinliklerde bir yanal akım zonunun varlığına işarettir. Tuzla Fayı'ndan gelen akışkanın yükselim esnasında güneybatıya doğru yönlendiği ve ilerlemesi esnasında soğumaya maruz kaldığı düşünülmektedir. Tuzla kuyularının daha sıcak olmasının sebebi ise, Tuzla Fayı'nın akışkanı daha derinlerden getirmesinden kaynaklanmaktadır.

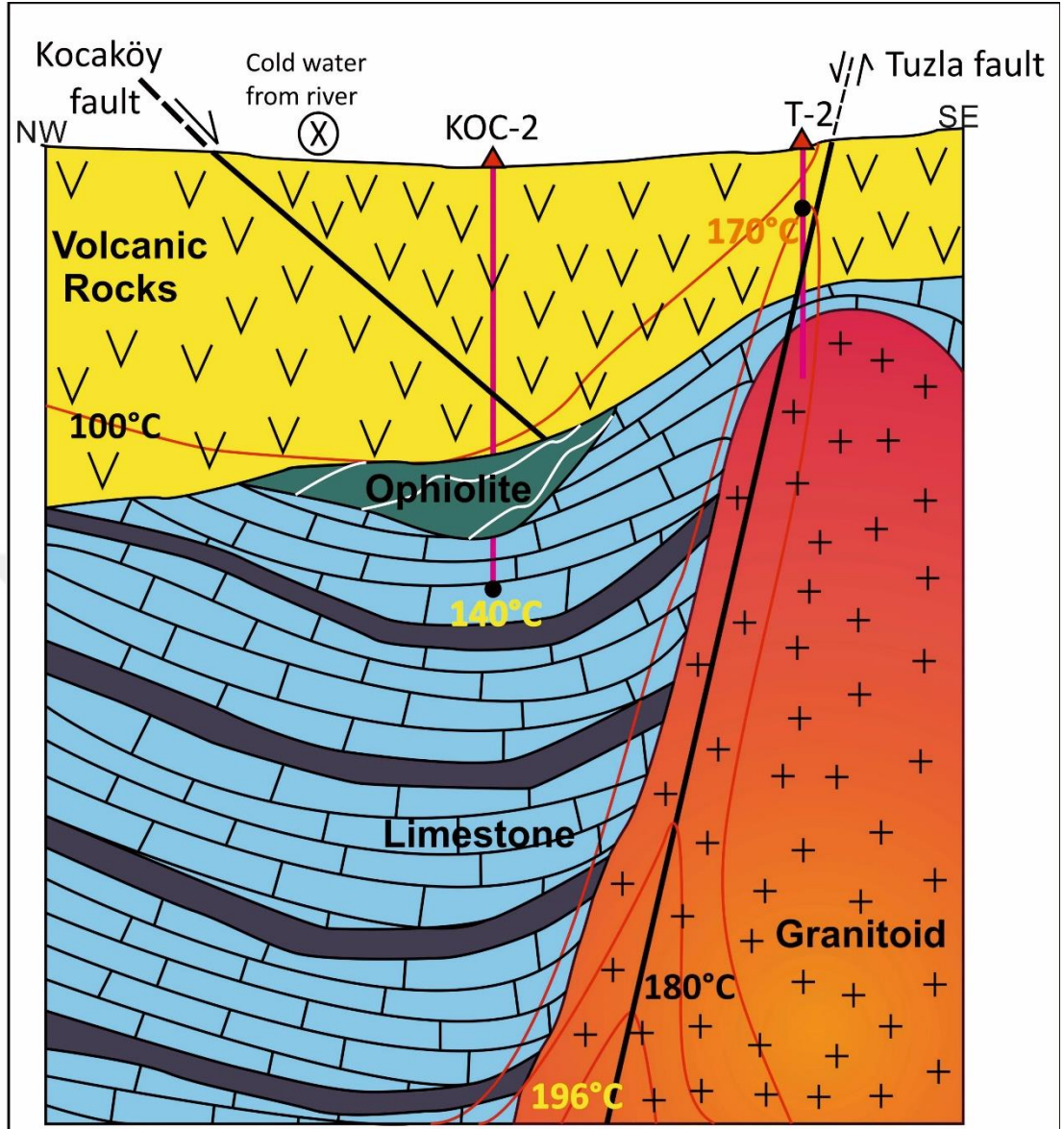
Tuzla-2 ve KOC-02 kuyusunu kapsayan iki boyutlu model de Şekil 6.2 verilmiştir. Bu modele göre de her iki kuyuda derinlere inildikçe daha yüksek sıcaklıklar beklenmektedir. Aynı zamanda modele göre Tuzla-2 kuyusuna yaklaşıldıkça yani güneydoğuya doğru açılacak olan sondajlarda yanal zonda Tuzla Fayı'na yaklaşıldığından, kuyularda daha yüksek sıcaklık çıkma ihtimali yüksektir.

KOC-02, TR-06 ve bölgede tahmini sıcaklığı bilinen YDA kuyusunun da 2D modeli de Şekil 6.3'de gösterilmiştir. Yine bu modele göre yanal akım zonu açıkça gözükmemektedir.

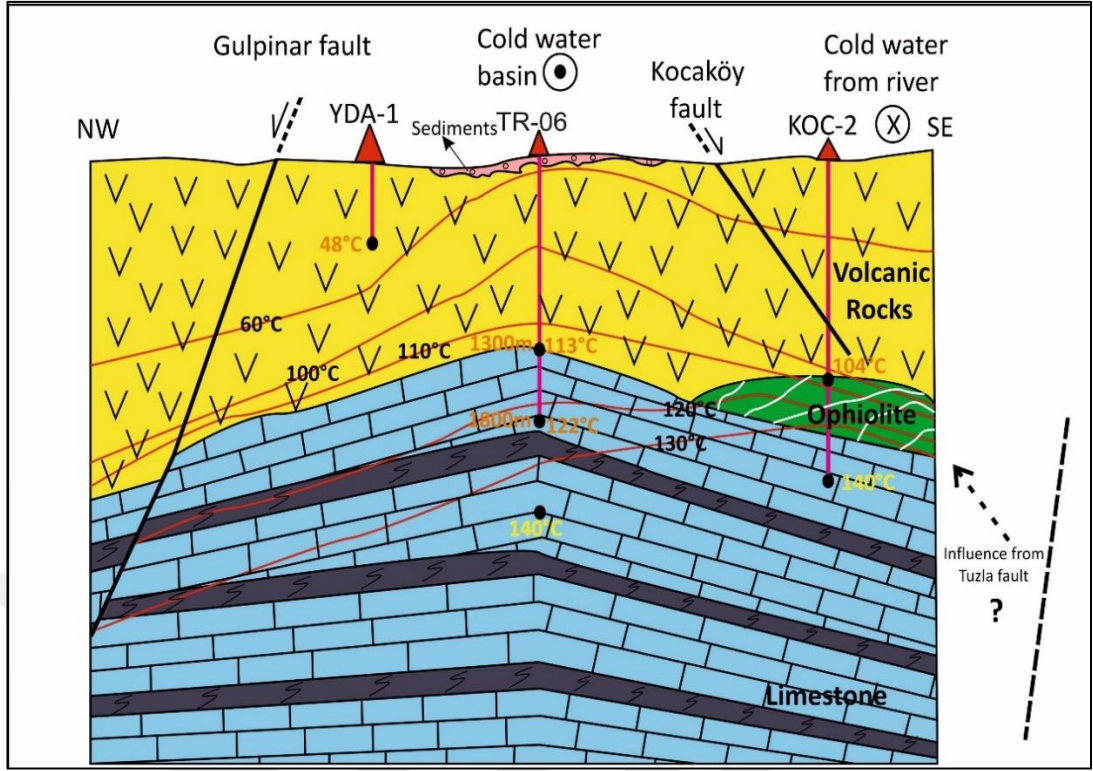
Tüm bu modeller daha sonra geliştirilmiş ve bölgede açılan diğer kuyularda model üzerine işlenerek üç boyutlu bir model oluşturulmuştur (Şekil 6.4). Bu model oluşturulurken bölgedeki bazı kuyuların tahmini sıcaklıkları kullanılmıştır. Bu model diğer modellere göre daha geliştirilmiş ve ayrıntılı olarak sistemi açıklamaya yöneliktir. Elde edilen kuyu log verileri de yanal akım zonu ve yükselim zonunun varlığını kanıtlar niteliktedir. Fakat verilerden de görüldüğü üzere denize doğru yani KB yönüne gidildikçe soğuk suyun genç sedimanter kayalardan giriş yaptığı ve yanal akım zonunu soğuttuğu gözükmemektedir. Yine aynı şekilde Tuzla Nehri'nden de sisteme bir karışma olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple bölgede açılacak olan sondajların KB yönüne doğru yani Tuzla Fayı yakınında açılması önerilmektedir.



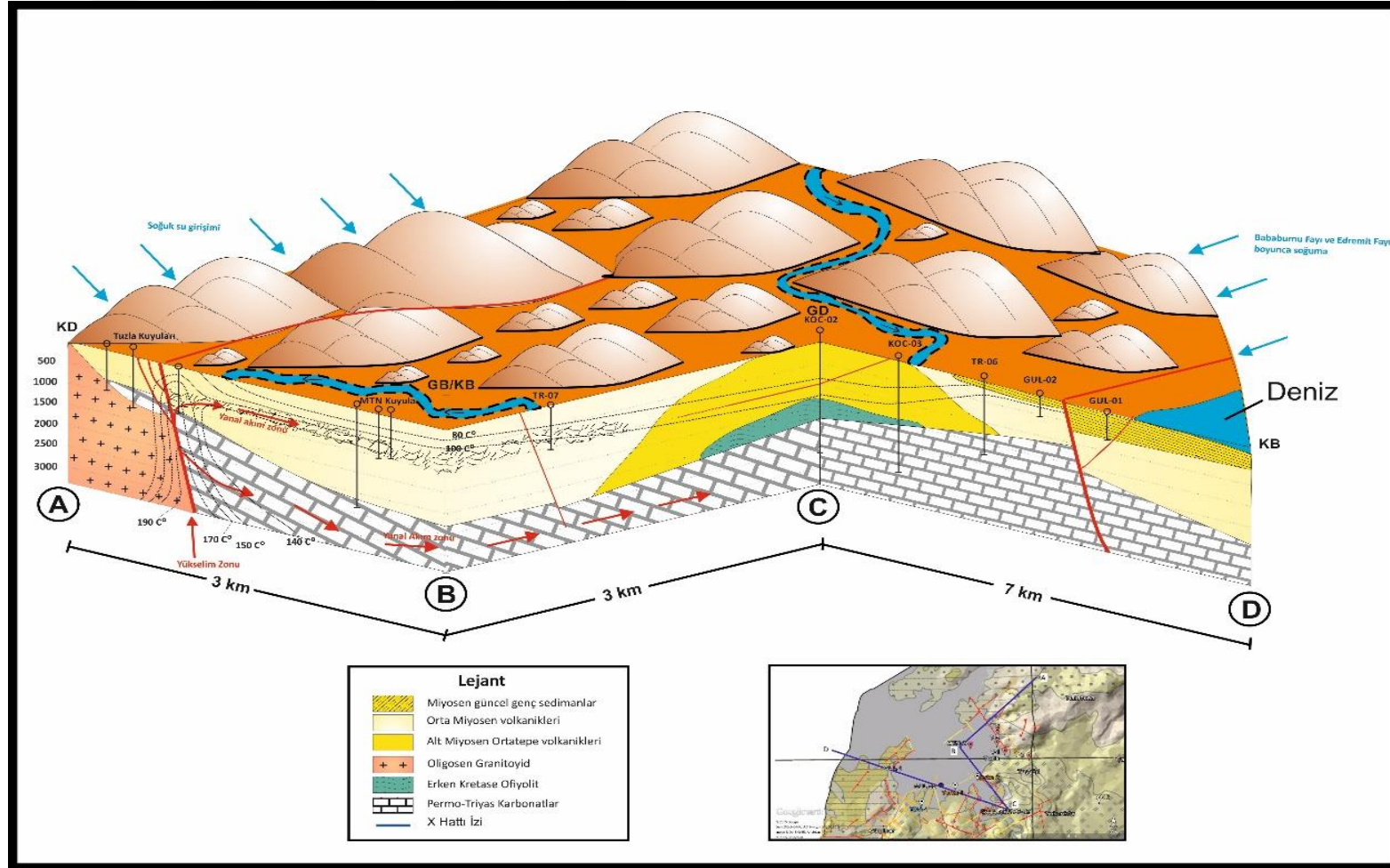
Şekil 6.1 Tuzla-Gülpınar jeotermal alanı 2D şematik jeotermal modellemesi



Şekil 6.2 Tuzla-2 kuyusu ve KOC-02 kuyusu şematik 2D model



Şekil 6.3 KOC-02,TR-06 ve YDA kuyularını içeren şematik 2D model



Şekil 6.4 Tuzla-Gülpınar alanına ait 3D modelleme

BÖLÜM YEDİ

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanı Türkiye'nin Kuzeybatı Anadolu bölgesinde, Çanakkale ilinin 100 km uzağında bulunmaktadır. Çanakkale ilinin Kuzeyinde jeotermal kaynaklar açısından çok iyi bilinen ve belirgin özelliklere sahip olan bir bölgedir. Özellikle bu çalışmanın da kapsadığı bölge olan Tuzla-Gülpınar jeotermal alanında bilinen birçok sıcak su kaynağı, derin ve sık jeotermal sondajlar da yer almaktadır.

Çalışma alanı yapısal olarak, Batı Anadolu, kuzey – güney geriliminin sonucu olarak, doğu – batı uzanımlı bir dizi graben ile karakterize edilebilir. Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gediz, Bakırçay, Edremit ve Simav grabenleri bu diziye örnek olarak verilebilir. Batıda bulunan Biga yarımadasında üç ana yapısal biçim görülmektedir; bunlar KKD – GGB fay sistemi, KD-GB fay sistemi ve KB – GD fay sistemleridir. Miyosen döneminde, bu fay sistemleri Ege Bölgesi çöküntü alanlarının oluşmasında rol oynamıştır (Duru ve diğ., 2012). Çalışma alanı içerisinde bilinen en önemli faylar Tuzla Fayı, Gülpınar Fayı ve Kocaköy Fayı'dır. Tuzla Fayı çalışma alanı içerisinde önemi olan bir faydır. Bu fay hattı KB- GD uzanımlı olup, jeotermal akışkanın kontrolünü sağlayan faydır.

Çalışma alanı içerisinde 12 birim yüzeylemektedir. Bu birimler, Pre-Kambriyen Geyikli Formasyonu, Orta-Geç Permiyen yaşlı Bozalan Formasyonu, Triyas yaşlı Çamköy Formasyonu, Kretase yaşlı Denizgören Ofiyoliti, Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Granitoyitlerdir. Bunları sırası ile Erken Miyosen yaşlı Hallaçlar Formasyonu, Erken Miyosen yaşlı Ortatepe Volkaniti, Orta Miyosen yaşlı Ayvacık Volkaniti, Tüf Üyesi ve Babadere Dasiti ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı Bayramiç Formasyonu ve bölgenin en genç birimi olan Alüvyon izlemektedir.

Tuzla-Gülpınar bölgesinde şu ana kadar yapılan sondajlarla da desteklenerek, üç adet rezervuar saptanmıştır.

Bunlardan ilki, özellikle Tuzla bölgesindeki sondajlarda gözlenen, sıg rezervuarı temsil eden Ortatepe Volkanitleri'dir. Ortatepe Volkanitleri'nin yanal olarak ve üst kısımlarına bulunan ve içerisinde kil barındıran tabakalar örtü kayac görevi görmektedir. İkinci rezervuar olarak Gülpınar bölgesi tarafında ana rezervuar olarak tanımlanan Bozalan Formasyonu içerisindeki mermer ve rekristalize kireçtaşları, üçüncü ve son olarak ise, Geyikli Formasyonu içerisinde şist-mermer ardalanmalı giden formasyon içerisindeki mermer ara katmanları olarak tanımlanmıştır. Buradaki rezervuar, kademeli şekilde gelişen doğrultu atımlı ve normal fayların derinlere uzanması sonucu ortaya çıkan kırık ve çatlak hatlarıdır.

Tez kapsamında, inceleme alanında suların kimyasal özelliklerini saptamak amacıyla, Tuzla-1, Tuzla-2, Tuzla-3 çalışma alanı içerisinde Tuzla Fayı'ndan çıkan kaynaklardan alınmıştır. Diğer örnekler ise, deniz suyundan, TR-06, TR-07, GUL-01, GUL-02, KOC2-1-1, KOC2-1-2, KOC2-1-1-3, KOC2-1-4, KOC2-FTS, KOC2-1AB ve KOC2-2AB örnekleri farklı zamanlarda KOC-02 kuyusundan, KOC-03 örnekleri bölgede açılmış olan sondajlardan alınan örnekler, Tuzla Çayı örneği ise Tuzla Çayı'ndan alınmış olan örnektir. Bu kuyu örneklerinin yanı sıra karışım diyagramlarının oluşturulabilmesi için Baba ve diğ., 2009 yayınından bazı örneklerin kimyasal analiz sonuçları da kullanılmış olup, diyagram ve model oluşumlarına katkı sağlamıştır.

İnceleme alanından alınmış örneklerin hepsi sodyum-klorür fasiyesinde iken sadece Tuzla Çayı'ndan alınan örnek karışık su fasiyesini temsil etmektedir. Sertlik değerleri ise, 14,7 – 977,65 fransız sertliği arasında değişmektedir. pH değerlerine bakıldığında ise, 5,1 – 8,56 değerleri arasındadır. Örneklerin EC değerleri ise, 291,1 - 62100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Piper diyagramı incelendiğinde, Tuzla çayı örneği haricindeki tüm örneklerin 7 numaralı alana düştüğü yani karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular; NaCl, KCl, Na_2SO_4 , alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular bu alanda yer alır. İyonsal olarak ise 2 ve 4 numaralı alana düşmekte olup, $(\text{Ca}+\text{Mg}) < (\text{Na}+\text{K})$ ve $(\text{Cl}+\text{SO}_4) > (\text{CO}_3+\text{HCO}_3)$ olarak görülmektedir. Fasiyes sınıflamasına bakıldığında ise, sodyum-klorür tipinde oldukları görülmektedir. Bu da alana tuzlu su girişimi olduğunu göstermektedir. Tuzla Çayı örneği ise, 5 numaralı

alana düştüğü yani karbonat sertliği %50'den fazla olan sular kısmında yer almaktadır. İyonsal olarak ise, 1 ve 3 numaralı alana düşmekte olup, alkali toprak elementleri (Ca ve Mg iyonları), alkali elementlerden (Na ve K iyonları) fazla ve Zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden fazladır özelliklerini göstermektedir. Schoeller diyagramı incelendiğinde, Tuzla Çayı örneği dışındaki tüm örneklerde baskın iyonlar olarak örneklerin pik verdikleri yerler Na ve Cl iyonlarıdır. Kökensel olarak da aynı kırık çizgisine sahip oldukları için benzer kökenlidirler fakat GUL-01 örneği daha az miktarda iyonsal değer gösterdiği için grafikte alt kısımda gözükmemektedir. Bunun sebebi ise, GUL-01 kuyusuna farklı oranlarda soğuk su ve deniz suyunun karışımından olduğu ile açıklanır. Tuzla Çayı örneğinde ise baskın bir iyon yoktur fakat bir karbonat iyonu diğer iyonlara oranla daha yüksek değerdedir. Cl-SO₄-HCO₃ diyagramında ise, alınan örnekler (Tuzla Çayı örneği hariç) incelendiğinde Cl köşesine yakın olup, “olgunlaşmış derin kökenli sular” kısmına düşmektedir. Bu da örneklerin derin dolaşımli ve olgunlaşma eğiliminde olduğu görölmektedir. Tuzla Çayı örneği ise, HCO₃ köşesine yakın olup, “yüzeysel sular” kısmında yer almaktadır. Bu da örneklerin olgunlaşma sürecini tamamlamamış, su-kayaç etkileşiminin hala devam etmekte olduğu yüzey/kenar sularını ya da sığ dolaşımli/beslenimli suları temsil etmektedir. İnceleme alanındaki sular SAR sınıflamasına göre bazı örnekler kullanabilir çıksa da içerdikleri bor oranları ve tuzlulukları nedeniyle Tuzla Çayı örneği hariç hiçbir örnek sulama ve içme suyu olarak kullanılamaz. Bu değerler 0,17 – 19,19 arası değişmektedir. Wilcox diyagramına göre de, Tuzla Çayı örneği hariç tüm sular kullanılamaz durumda çıkmaktadır. Yani sadece Tuzla Çayı örneği tarımsal amaç ile kullanılabilir. ABD tuzluluk diyagrama göre, Tuzla Çayı örneği hariç tüm sular kullanılamaz durumda çıkmaktadır. Tuzla Çayı örneği C2-S1 sınıfına girdiğinden tüm tarımsal işlemlerde kullanılabilir. GUL-01, KOC-03 ve deniz suyu örnekleri C4-S3 sınıfına, geriye kalan tüm örnekler de C4-S4 sınıfına girmekte olup hiçbir tarımsal faaliyette kullanılamaz.

Doygunluk indeksi analizlerine bakıldığında Kalsit mineralinin 50°C'den sonra, anhidrit mineralinin 125°C, dolomit mineralinin 75°C sıcaklıktan sonra çökelme yapabileceğin görölmektedir. Aynı zamanda kuvars mineralinin de çökmesi söz konusudur. Aynı zamanda KOC-02 kuyusunda yapılan akış testleri sonrasında, yatay

hat borularında biriken malzemeden örnek alınmış ve XRD analizi yapılmış ve XRD analizi sonucunda, grafikte pik veren yerin aragonit mineraline ait olduğu gözükmiştir. Doygunluk indeksi çizgilerinin çoğunun kesiştiği noktaların 125°C - 150°C arasında olduğu gözükmemektedir. Genelde minerallerin doymunluk indeksi çizgileri rezervuar sıcaklığında kesişir. Buradan da görüldüğü üzere KOC-02, TR-06 ve KOC-03 kuyularının rezervuar sıcaklığının 125°C - 150°C arasında bir değeri alabileceği de söylenebilir.

Jeotermometre çalışmalarında ise, silis jeotermometresi değerlerine bakıldığında, Tuzla örneklerinin sıcaklıkları 131°C – 141°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 136°C gözükmemektedir. Gülpınar örneklerine bakıldığında ise, örneklerinin sıcaklıkları 90°C – 124°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 107°C gözükmemektedir. Son olarak ise Kocaköy örnekleri incelendiğinde, sıcaklıkları 96°C – 145°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 131°C olarak gözükmemektedir. Katyon jeotermometreleri bakıldığında, Tuzla örneklerinin sıcaklıkları 164°C – 220°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 194°C gözükmemektedir. Gülpınar örneklerine bakıldığında ise, örneklerinin sıcaklıkları 59°C – 192°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 115°C gözükmemektedir. Son olarak ise Kocaköy örnekleri incelendiğinde, sıcaklıkları 94°C – 214°C arasında olup ortalama rezervuar sıcaklığı olarak 155°C olarak gözükmemektedir. Kuyuların şimdiki üretim sıcaklıklarına bakıldığında, Tuzla-1 kuyusu 814 metrede 173°C, Tuzla-2 kuyusu 1015 metrede 170°C ve Tuzla-3 kuyusu 145 metrede 81°C rezervuar sıcaklığına sahiptir. Tuzla-3 kuyusu sıg volkanik rezervuara sahip olduğundan düşük sıcaklık değeri sunmaktadır fakat daha derinlerde bu sıcaklığın artması beklenmektedir. Aynı zamanda yine alan içerisinde bulunan T-2 kuyusunun ise 168-170°C sıcaklığa sahip olduğu da bilinmektedir. TR-06 kuyusunun ise tahmini kuyu dibi sıcaklığı 1800 metrelerdeki kireçtaşı rezervuarında 122°C'dir. GUL-1 kuyusunun kuyu testleri verilerine göre 605 metrede bulunan volkanik rezervuarda 55°C olduğu bilinmektedir. GUL-02 kuyusu ise 495 metrede volkanik rezervuarda 60.8°C sıcaklığa sahiptir. Kuyu dibi sıcaklıkları ile jeotermometre değeri karşılaştırıldığında, Kocaköy örnekleri ve Gülpınar örnekleri için silis jeotermometrelerinin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği açıkça gözükmemektedir. Aynı zamanda Log (K²/Mg) – SiO₂ grafiğine

de bakıldığında örneklerin kuvars çizgisine yakın çıkması da bu jeotermometre değerlerinin gerçeğe yakın çıkabileceğini de göstermektedir. Tuzla örnekleri için ise, Na-K ve K-Mg jeotermometrelerinin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği gözükmemektedir. Aynı zamanda Kocaköy örnekleri için de K-Mg jeotermometresi verdiği sonuçlar açısından değerlendirme yapılırken göz önüne alınmalıdır. Çünkü K-Mg jeotermometresi genelde deniz suyu girişi olan akiferlerde doğru sonuçlar verebilmektedir.

İnceleme alanında yer alan sulara ait olan Giggenbach üçgen diyagramına bakıldığında, örneklerinin kısmen denge durumunda olduğu görülmektedir. Bu da örneklerinin su-kayaç ilişkisinin yarı denge haline ulaştığını gösterir. Aynı zamanda örneklerin “kısmen denge” durumunda çıkmasından dolayı rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında kullanılan katyon jeotermometreleri ile hesaplanan değerlere şüphe ile yaklaşılmalıdır çünkü bu sular kimyasal denge durumuna yaklaşmış sulardır ve bu bölge de yer alan örnekler için hesaplanan jeotermometre hesaplamaları gerçek ya da gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Ayrıca katyon jeotermometreleri su-kayaç ilişkisi tamamen denge halinde olan sularda daha doğru sonuçlar vermektedir. Ayrıca diyagrama bakıldığında, suların rezervuarda bekleme süreleri arttığında suların, “Dengelenmiş Sular” kısmına doğru kaydığı görülmektedir. Bu da Nisan ayında alınan KOC2-1AB ve KOC2-2AB örnekleri, Temmuz ayında alınan KOC-2-1-1, KOC-2-1-2, KOC-2-1-3, KOC-2-1-4 ve Ağustos ayında alınan KOC-2-FTS örneklerinin çizgi üzerinde Dengelenmiş sular kısmına doğru ilerlemesi ile rahatça görülebilmektedir.

Entalpi-klorür diyagramında bölgede bilinen en yüksek sıcaklığa sahip olan kuyulardan biri olan T-2 kuyusu, bölgedeki yüzey suları ve soğuk sular ve Deniz suyu örneği gösterilmiştir. Bu örnekler ile de soğuk su karışım çizgisi ve deniz suyu karışım çizgisi oluşturulmuştur. Diyagram incelendiğinde, GUL-02 ve TR-07 örneğinde kondüktif bir soğuma olduğu görülmüştür. Aynı zamanda, KOC-02, TR-06 ve Tuzla-3 örnekleri deniz suyu karışım çizgisine yakın konumda çıktığından bu örneklerle deniz suyu girişiminin olduğu açık bir şekilde görülmekte olup, az miktarda da olsa bir soğuk su girişi de mevcuttur. KOC-02-FTS örneği direk rezervuar içinden alınan örnektir ve bu örnekle birlikte GUL-01 örneğine de soğuk su girişi açık bir şekilde

görülmektedir. Özellikle, GUL-01 örneğine olan soğuk su girişi diğer örneklerle göre daha fazla miktardadır.

Jeotermal kavramsal model incelediğinde ise, kuyu logları ve jeotermometrelerden elde edilen veriler modele yorumlanarak işlendiğinde, güneybatıya doğru açılan kuyuların ulaştığı derinliklerde bir yanıl akım zonunun varlığına gözükmektedir. Bu yanıl akım zonu da Tuzla Fayı'ndan beslenmektedir. Tuzla Fayı'ndan gelen akışkanın yükselim esnasında güneybatıya doğru yönlendiğı ve ilerlemesi esnasında soğumaya maruz kaldığı düşünölmektedir. Tuzla kuyularının daha sıcak olmasının sebebi ise, Tuzla Fayı'nın akışkanı daha derinlerden getirmesinden kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda modele göre Tuzla-2 kuyusuna yaklaşıldıkça yani güneydoğuya doğru açılacak olan sondajlarda yanıl zonda Tuzla Fayı'na yaklaşılacğından, kuyularda daha yüksek sıcaklık çıkma ihtimali yüksektir. Fakat verilerden de göröldüğü üzere denize doğru yani KB yönüne gidildikçe soğuk suyun genç sedimanter kayalardan giriş yaptığı ve yanıl akım zonunu soğuttuğı gözükmektedir. Yine aynı şekilde Tuzla Nehri'nden de sisteme bir karışma olduğı düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- Arıkan A., (2007). *İkizce (Haymana –Ankara) ve Çevresindeki Yer altı Sularının Kimyası ve Bazı Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Baba, A., Yüce, G., Deniz, O. ve Durmuşoğlu, D., (2009). Hydrochemical and isotopic composition of Tuzla geothermal (Canakkale-Turkey) field and its environmental impacts. *Environmental Forensics*, 10, 144–161, .
- Beccaletto, L. 2003. *Geology, Correlations, and Geodynamic Evolution of the Biga Peninsula (NW Turkey)*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, University of Lausanne, Lausanne-Switzerland.
- Bilgiç, M. (2015). Salavatlı (Aydın) jeotermal alanının hidrojeokimyasal ve jeotermal enerji potansiyelinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Canik, B. (2003). *Hidrojeoloji* (2. Baskı). Ertem Matbaası, Ankara.
- Dönmez, M., Akçay, E. A., Genç, S. C. ve Acar, S. (2005). Biga Yarımadası’nda Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbiritler. *MTA Dergisi*, 131, 49-61.
- Duru, M., Pehlivan, Ş., Okay, A.İ., Şentürk, Y. ve Kar, H. 2012. Biga Yarımadası’nın Tersiyer Öncesi Jeolojisi, s.7-74, Biga Yarımadası’nın Genel ve Ekonomik Jeolojisi, Editörler: Erdoğan Yüzer, Gürkan Tunay, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi* No: 28, Ankara.
- Ercan, T., Satır T., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C., Walter, H-J., Yıldırım, T., 1995. Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan Adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının Özellikleri, *Bulletin Mineral Research and Exploration Institute (Turkey)*. 177, 55–86.

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

Fytikas, M., Giuliani, O., Innocenti, F., Marinelli, G., ve Mazzuoli, R., 1976, *Geochronological data on recent magmatism of the Aegean Sea: Tectophysics*, 31, T29-T34.

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

Fournier, R.O., & Truesdell, A.H. (1973). An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 1255-1275.

Giggenbach, W. F. 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Ca-Mg geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 52:2749–2765.

IAH (International Association of Hydrogeologists), (1979). *Map of Mineral and Thermal Water of Europe Scale: 1:500000*, United Kingdom.

İlgar A., Demirci, E.S., Duru, M., Pehlivan, Ş., Dönmez, M., Akçay, A. E. 2008. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Çanakkale H15 ve H16 Paftaları. No: 100. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*, Ankara.

Krushensky, R. D., (1976). Neogene calc-alcaline extrusive and intrusive rocks of the Karalar-Yeşiller area, Northwest Anatolia, Turkey. *Bulletin Volcanologique*, 40, 336-360.

MTA, 2007. 06-07 Şubat 2017 Ayvacık (Çanakkale) depremleri bilgi notu. Jeoloji Etütleri Dairesi Yer Dinamikleri Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü, Aktif Tektonik Araştırmaları Birimi. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*. Ankara.

Okay A.I., Siyako M. ve Brkan K.A., (1990). Biga yarımadasının jeolojisi ve tektonik evrimi, *Bulletin Turkish Association Petrology Geology*, 2, 83–121.

Reed, M., ve Spycher, N., (1984). Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution. *Geochimica. Cosmochimica Acta*, 48, 1479-1492.

Siyako, M., Brkan, K. A. ve Okay, A.Đ. (1989). Biga ve Gelibolu Yarımadaı'ının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1, 183-199.

Şahinci, A. (1991). *Jeotermal sistemler ve jeokimyasal özellikleri*. İzmir: Reform Matbaası, 548s.

Tarcan, G. (2004). *Jeotermal su kimyası ders notları*. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

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

Yılmaz, Y., & Karacık, Z., (2001). Geology of the northern side of the Gulf of Edremit and its tectonic significance for the development of the Aegean grabens. *Geodinamica Acta*, 14, 31-43.