



ESKİŞEHİR - TÜRKMENTOKAT JEOTERMAL
SAHASININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Engin PURTUL

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz – 2019

ESKİŞEHİR - TÜRKMENOKAT JEOTERMAL SAHASININ HİDROJEOKİMYASAL
İNCELEMESİ

Engin PURTUL

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ

Temuz-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Engin PURTUL'n YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Eskişehir-Türkmentokat Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal İncelemesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim, Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

19/06/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL

Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER

Anabilim Dalı Başkanı, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER

Danışman, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Sınav Komitesi Üyeleri

Prof. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER

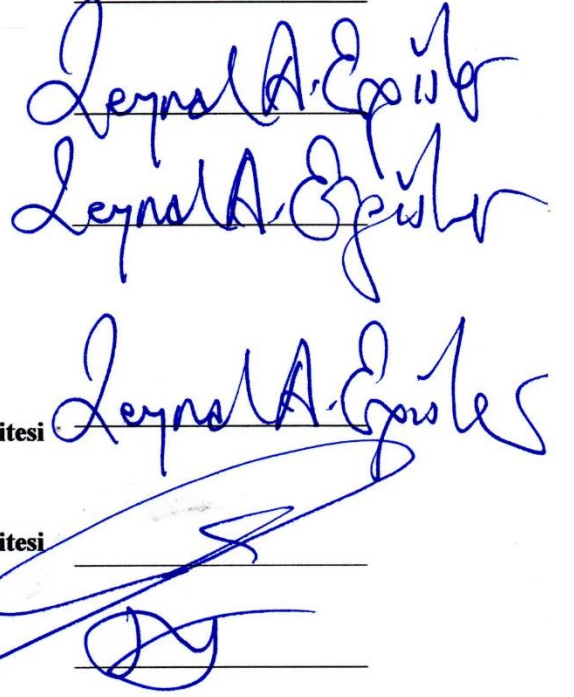
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

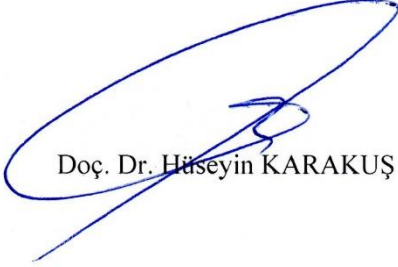
Doç. Dr. Nihat Hakan AKYOL

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının %8 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.



Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ



Engin PURTUL

ESKİŞEHİR - TÜRKMENTOKAT JEOTERMAL SAHASININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Engin PURTUL

Jeoloji Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin KARAKUŞ

ÖZET

Bu tez, Türkmentokat ve Harmandalı köyleri (Eskişehir-Odunpazarı) civarındaki alanın jeotermal potansiyelinin ortaya konulması amacıyla yapılan jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal çalışmaları konu almaktadır.

Çalışma alanında temelde Triyas yaşlı metamorfik ve ofiyolitik kayalar ile bu birimleri kesen Üst Kretase yaşlı granodiyorit yer almaktadır. Tüm bu birimlerin üzerinde Neojen yaşlı birimler uyumsuz olarak bulunmaktadır. En üstte ise Kuvaterner yaşlı alüvyon uyumsuz olarak gelmektedir.

Jeofizik araştırmalar kapsamında düşey elektrik sondaj ve doğal potansiyel çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Jeolojik ve jeofizik incelemeler sonucunda anomali sunan bir alanda 2200 m derinliğindeki EMT-2016/2 araştırma sondajı açılmıştır.

Bölgedeki yüzey suları, karbonatlar ile ofiyolitik kayalar içindeki magnezyumca zengin minerallerin çözünmesi sonucunda oluşmuş $Ca+Mg-HCO_3$ tipi sular fasiyesine girmektedir. EMT-2016/2 sondaj kuyu suyunun kimyasal bileşimi ise bölgedeki diğer su noktalarına göre farklılık göstermektedir. İyonik derişim bakımından zengin olan EMT-2016/2 sondaj kuyusu suyu Na-Cl hidrokimyasal fasiyesine girmektedir. Bu noktadaki Na-Cl tipi fasiyesinin oluşumuna, paleo deniz suyu katkısının neden olduğu sanılmaktadır.

Jeotermometrik yöntemler ile EMT-2016/2 kuyusu için rezervuar sıcaklığı 65 °C ile 71 °C aralığında hesaplanmıştır. EMT-2016/2 jeotermal kuyusu açılarak 3,3 Mwt ısı enerjisi potansiyeli görünür hale gelmiş olup, bu bölge için ilk araştırma sonucudur. Çalışma sahasında yapılacak ilave sondajlarla bölgenin jeotermal potansiyelini daha detaylı bir şekilde ortaya koymak mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Eskişehir, hidrojeokimya, çevresel izotoplar, jeotermal.

HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF ESKİŞEHİR - TÜRKMENOKAT GEOTHERMAL FIELD

Engin PURTUL

Geological Engineering, M.S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Hüseyin KARAKUŞ

SUMMARY

This thesis focuses on the geological, geophysical and geochemical studies to reveal the geothermal potential of the area around Türkmentokat and Harmandalı villages (Eskişehir-Odunpazarı).

In the study area, Triassic metamorphic and ophiolitic rocks form the basement rocks and are cut by Upper Cretaceous granodiorite. Neogene units are unconformably over all of these basement rocks. Quaternary aged alluvium deposits cover all these units with unconformity.

Within the scope of geophysical surveys, vertical electric drilling and self potential studies were carried out. As a result of geological and geophysical investigations, EMT-2016/2 exploration well was drilled to a depth of 2200 m in an area presenting geothermal anomaly.

The surface waters in the region fall into Ca + Mg-HCO₃ type hydrochemical facies formed as a result of the dissolution of magnesium-rich minerals in carbonates and ophiolitic rocks. The chemical composition of EMT-2016/2 drilling well water differs from other water points in the region. EMT-2016/2 well water, which is rich in ionic concentration, fall into the Na-Cl hydrochemical facies. The formation of Na-Cl facies at this point is thought to be caused by the contribution of paleo sea water.

The reservoir temperature for the EMT-2016/2 well was calculated by using geothermometric methods in the range of 65 ° C to 71 ° C. The EMT-2016/2 geothermal well has been opened and the 3.3 Mwt heat energy potential has become visible and this is the first research result for this region. It is possible to reveal the geothermal potential of the region in more detail with additional drilling in the study area.

Keywords: Eskişehir, hydrogeochemistry, environmental isotopes, geothermal.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasında beni bilgi ve tecrübeleriyle yönlendiren ve bana emeği geçen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hüseyin Karakuş' a çok teşekkür ederim.

Bu tez Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeotermal Enerji ve Kaplıca Etütleri Birimi projelerinden “Eskişehir ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi” kapsamında yapılan çalışmadan elde edilen veriler ile gerçekleştirilmiştir. Sağladığı teknik ve lojistik destek ve laboratuvar imkanları nedeniyle MTA Genel Müdürlüğü tüm yönetici ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmasını bitirebilmem için hep yanımda ve destekçim olan eşime ve oğluma teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. MATERYAL VE METOD.....	4
3. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI	7
3.1. Çalışma Alanı Yeri ve Coğrafik Durumu	7
3.2. Önceki Çalışmalar.....	8
4. GENEL JEOLJİ	10
4.1. Stratigrafi	10
4.1.1. Sivrihisar Metamorfikleri (Tsm)	10
4.1.2. Eskişehir Metamorfikleri (Tem).....	13
4.1.3. Ofiyolitler – Ultramafikler (Mof).....	13
4.1.4 Yörükkaracaören Granodiyoriti (Yky)	14
4.1.5. Porsuk Formasyonu (Np)	15
4.1.6. Alüvyon (Qal)	16
4.2. Yapısal Jeoloji.....	17
5. UYGULANAN YÖNTEMLER	18
5.1. Jeofizik Çalışması	18
5.1.1. DES ölçülerinin değerlendirilmesi	21
5.1.2. DES profilleri, görünür öz direnç ve jeoelektrik yapı kesitlerinin yorumlanması	27
5.1.3. Doğal potansiyel (SP) ölçülerinin değerlendirilmeleri.....	32
5.2. Sondaj Çalışması.....	33
5.2.1. Kuyu litolojisi.....	34
5.2.2. Çamur kaçak zonları.....	34
5.2.3. Çamur çıkış sıcaklıkları.....	36
5.2.4. Kuyu içi jeofizik log ölçümleri	36

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2.5. Kuyu donanımı	38
5.2.6. Kuyu geliştirme ve üretim çalışmaları ile kuyu tamamlama testleri	38
6. HİDROJEOKİMYA	50
6.1. Fiziksel Parametreler	50
6.2. Suların Kimyasal Sınıflandırılması	53
6.2.1. Su tipleri	53
6.2.2. Suların kökeni	54
6.2.3. Jeotermometre hesapları	59
7. İZOTOP HİDROLOJİSİ	61
7.1. Giriş	61
7.2. Oksijen18-Döteryum İlişkisi	61
7.3. Tritiyum İçeriği	63
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR DİZİNİ	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Çalışmalarda kullanılan özdirenç ölçü düzeneği.....	5
2.2. Schlumberger elektrot dizilimi.....	5
3.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.....	7
4.1. Çalışma alanı genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti (Purtul vd., 2017'den alınmıştır). .	11
4.2. Çalışma alanı jeoloji haritası (Gözler vd., 1997'den değiştirilerek alınmıştır).	12
4.3. Eskişehir Metamorfiklerine ait mermerden bir görünüm.	13
4.4. Ofiyolitler içerisinde açılan yarmadan bir görünüm.	14
4.5. Yörükkaracaören Granodiyoriti arazi görünümü.	15
4.6. Porsuk Formasyonu konglomera-kumtaşı üyesi tipik görünüm.....	16
5.1. Jeofizik DES noktaları lokasyon haritası.	18
5.2. Schlumberger elektrot dizilimi.....	19
5.3. AB/2= 100 m görünür özdirenç seviye haritası.	22
5.4. AB/2= 250 m görünür özdirenç seviye haritası.	22
5.5. AB/2= 500 m görünür özdirenç seviye haritası.	23
5.6. AB/2= 800 m görünür özdirenç seviye haritası.	24
5.7. AB/2= 1000 m görünür özdirenç seviye haritası.	24
5.8. AB/2= 1250 m görünür özdirenç seviye haritası.	25
5.9. AB/2= 1500 m görünür özdirenç seviye haritası.	25
5.10. AB/2= 1750 m görünür özdirenç seviye haritası.	26
5.11. AB/2= 2000 m görünür özdirenç seviye haritası.	26
5.12. T DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesitleri.....	29
5.13. I DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesitleri.....	30
5.14. D DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesitleri.	31
5.15. SP profili SP grafiği.	32
5.16. EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajından bir görünüm.	34
5.17. EMT-2016/2 jeotermal sondajına ait kuyu logu.	35
5.18. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi statik sıcaklık ölçüsü grafiği..	39
5.19. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi statik basınç ölçüsü grafiği. ...	40
5.20. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi su kaybı testi sıcaklık ölçüsü ve statik sıcaklık ölçüsü grafiği.....	41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.21. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi çok debili enjeksiyon testi ölçü grafiği.....	42
5.22. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi çok debili enjeksiyon testi enjeksiyon indeksi grafiği.....	43
5.23. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası statik sıcaklık ölçüsü grafiği.	44
5.24. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası statik basınç ölçüsü grafiği..	45
5.25. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası su kaybı testi sıcaklık ölçüsü ve statik sıcaklık ölçüsü grafiği.....	46
5.26. Çalışma alanı jeotermal modeli (ölçeksiz).....	49
6.1. Çalışma alanında örneklenen sulara ait Piper diyagramı.....	54
6.2. Çalışma alanında örneklenen sulara ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı.....	55
6.3. Örneklenen su noktalarının Ca^{+2} ve HCO_3^- ilişkisi.....	57
6.4. Örneklenen su noktalarının, a) Na-Cl ve b) EC-Cl ilişkisi.....	58
6.5. Çalışma alanında örneklenen sulara ait Langelier kalsiyum denge diyagramı.....	59
6.6. Na-K-Mg üçgen diyagramı.....	60
7.1. Çalışma alanındaki suların $\delta^{18}O$ - δD grafiği.....	63
7.2. Çalışma alanındaki suların Cl - 3H grafiği.....	65
7.3. Çalışma alanındaki suların EC - 3H grafiği.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. DES ölçü noktalarının koordinatları (UTM (ED50) 36. Dilim).....	20
5.2. EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajına ait bazı bilgiler.....	33
5.3. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusunda tespit edilen çamur kaçak seviyeleri ve kaçak miktarları.	36
5.4. EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajına ait çamur çıkış sıcaklıkları.	37
5.5. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu çap ve donanım bilgileri.....	38
5.6. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi statik sıcaklık ölçüsü değerleri.	39
5.7. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi statik basınç ölçüsü değerleri...	40
5.8. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi su kaybı testi sıcaklık ölçüsü değerleri.	41
5.9. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası statik sıcaklık ölçüsü değerleri.	44
5.10. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası statik basınç ölçüsü değerleri.	45
5.11. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası su kaybı testi sıcaklık ölçüsü değerleri.	46
6.1. Yerinde ölçümü gerçekleştirilen sulara ait lokasyon bilgileri ve yerinde ölçümü yapılan fiziksel parametreler.	51
6.2. Örneklenen sulara ait kimyasal analiz sonuçları.	52
6.3. Yüzde meq/l cinsinden analiz değerleri ve su tipleri.	53
7.1. İzotop analiz değerleri.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
°C	Santigrat derece
kg	Kilogram
m ³	Metreküp
m	Metre
mV	Milivolt
l/sn.	litre/saniye
"	İnç
ml	Mililitre
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water
µs/cm	mikrosiemens/santimetre
ppt	Binde bir
ppm	Milyonda bir
TU	Trityum unit
mg/l	miligram/litre
meq/l	milieküvalans/litre

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
EC	Elektriksel İletkenlik
M.T.A.	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
D.S.İ.	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
DES	Düşey Elektrik Sondaj
TDS	Toplam Çözünmüş Katı Madde
SP	Doğal Potansiyel
UTM	Universal Transverse Mercator
ED50	European Datum 1950
AMT	Audio-manyetotellürik
MT	Manyetotellürik
IAH	Uluslararası Hidrojeologlar Birliği
pH	Hidrojenin Gücü
T	Trityum
D	Döteryum

1. GİRİŞ

Jeotermal kaynaklar bakımından oldukça zengin olan ülkemizde jeotermal enerji potansiyelinin önemli bir kısmı konut ısıtmacılığı ve balneolojik uygulamalar şeklinde kullanılmaktadır. Bulunduğu yöreye ekonomik olarak önemli katkı sağlayan jeotermal kaynakların araştırılması ve bu enerji türünden konut ve sera ısıtmacılığı gibi doğrudan uygulamalar ile enerji üretimi gibi dolaylı kullanımlar için yoğun çaba harcanmaktadır. Özellikle ulaşım imkanları gelişmiş büyükşehir ve turizm yörelerinde yaz ayları ile sınırlı olan turizm potansiyelinin tüm yıl boyunca termal turizm şeklinde sürdürülmesine olanak sunması bu kaynaklara olan talebi arttırmaktadır. Örneğin, ulaşım ağında kavşak bir nokta olan Afyon ilinde jeotermal enerjinin farklı alanlarda entegre uygulamalar şeklinde kullanımı şehrin ekonomik ilerlemesinde itici güç olmuştur.

Eskişehir ili Ankara-Bursa ve İstanbul-Antalya illeri arasında önemli bir kavşak noktasıdır. Ulaşım ağı oldukça gelişmiş Eskişehir ilinin Türkiye'nin mevcut turizm imkanlarından yeterince yararlandığı söylenemez. Elde edilmesi durumunda seracılık, konut ısıtmacılığı vb. ekonomik faaliyetler dışında Eskişehir ilinin turizm olanaklarının geliştirilmesi açısından jeotermal enerji kaynakları önemli bir alternatif olarak öne çıkacağı düşünülmektedir.

Yukarıda belirtilen hususlar çerçevesinde Eskişehir ilinde potansiyel sunabilecek alanlarda jeotermal enerji aramalarına gereksinim duyulmaktadır. Jeotermal enerji aramalarında jeoloji, jeofizik ve kimya gibi farklı disiplinler arasında yapılan ortak çalışmalar ile başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Sunulan bu yüksek lisans tezi, Eskişehir-Türkmentokat jeotermal sahasının keşfi için disiplinler arası gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçları konu almaktadır.

Tezin Amacı

Bu tez çalışması ile Eskişehir ili Odunpazarı ilçesi Türkmentokat ve Harmandalı köyleri civarının jeotermal potansiyelinin ortaya konulması ve yeni bulunan jeotermal sahanın jeolojik, hidrojeolojik incelemesi yapılarak sahanın kavramsal hidrotermal modelinin çıkarılması hedeflenmiştir.

Tezin amacı doğrultusunda 2015-2016 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmalar literatür çalışması, jeolojik ve jeofizik amaçlı saha çalışmaları, kimyasal ve izotop verilerinin analizini konu alan laboratuvar çalışması ve verilerin değerlendirildiği büro çalışmaları olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmiştir.

a. Literatür Çalışması

İnceleme sahasında daha önce gerçekleştirilmiş jeolojik, jeofizik ve hidrojeolojik amaçlı çalışmalar derlenmiştir. Bölgede yapılmış jeolojik amaçlı çalışmalara yardımı ile tez konusu olan alanın jeoloji haritası tezin amacı doğrultusunda güncellenmiştir. Bölgede daha önce yapılmış jeofizik çalışmaların verileri derlenmiş, tez kapsamında elde edilen veriler ile birlikte sunulurak emek ve zaman tasarrufu sağlanmıştır.

b. Saha Çalışmaları

Saha çalışmaları kapsamında çalışma alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası eski çalışmalardan yararlanılarak düzenlenmiştir. İnceleme alanında bulunan 55 adet sıcak ve soğuk su örneği üzerinde yerinde sıcaklık, elektriksel iletkenlik, TDS, pH ve tuzluluk ölçümü yapılmıştır.

Jeofizik etüt çalışmaları kapsamında toplam 65 adet lokasyonda düşey elektrik sondaj (DES) ölçüsü alınmış ve inceleme alanı değerlendirilmiştir. Çalışma sahasında önceki yıllarda yapılan Türkiye Rejyonel Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması Projesi (Bilgin vd., 2009) kapsamında sahaya düşen 9 adet DES ölçü noktasına ait verilerden de değerlendirme aşamasında yararlanılmıştır. Ayrıca uzunluğu 2000 m olan profil üzerinde doğal potansiyel (SP) çalışmaları yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Bu çalışmaların sonucunda jeotermal enerji anlamında olumlu veri tespit edilen alana en yakın noktada EMT-2016/2 no.lu, 2200 m derinliğinde bir adet jeotermal araştırma sondajı yapılmıştır.

c. Laboratuvar Çalışması

Saha çalışmalarında yerinde ölçümleri gerçekleştirilen 55 adet örnekten 10 tanesinden kimyasal analiz amaçlı su numunesi alınmış ve majör iyon analizleri yaptırılmıştır. Yerinde ölçüm ve kimyasal analizleri yapılan su örnekleri üzerinde ayrıca izotop analizleri gerçekleştirilmiştir. Sondaj çalışması sonucu üretilen akışkandan da numune alınarak hem kimyasal hem de izotopu analizleri yapılmıştır.

d. Büro Çalışması

Büro çalışmaları kapsamında, saha ve laboratuvar çalışmaları sonrasında elde edilen veriler değerlendirilmiş olup, çalışmanın sonuçları ortaya konulmuştur. MS Office 2013, Corel Draw X8, Google Earth, Log Plot 7, programları tezin yazılmasında, şekil ve grafiklerin çizilmesinde kullanılmıştır.

Elde edilen tüm veriler ile inceleme konusu jeotermal alanda akışkanın kimyasal özellikleri incelenerek su-kayaç etkileşim süreçleri irdelenmiştir. Kimyasal analiz sonuçları yardımı ile jeotermometrik yöntemler uygulanmış ve rezervuar koşullarındaki sıcaklıklar tahmin edilmiştir. Jeolojik ve jeofizik veriler eşliğinde jeotermal sistemin rezervuar ve örtü kayaç bileşenleri ayırt edilerek sahanın kavramsal hidrotermal modeli ortaya konulmuştur.

Sunulan tez çalışması 8 bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırası ile;

- I. Giriş bölümü, çalışmanın amaç ve kapsamını,
- II. Materyal ve Metod bölümü, çalışma kapsamında uygulanan yöntemleri,
- III. Bölüm, çalışma alanının coğrafik özelliklerini ve literatür derlemesini,
- IV. Jeoloji bölümü inceleme alanının jeolojik ve tektonik ana hatlarını,
- V. Jeofizik bölümü, uygulanan jeofizik yöntemler ile elde edilen yerel elektrik yapı kesitlerinin yorumlanmasını ve sondaj çalışması verilerini
- VI. Hidrojeokimya bölümü, kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve rezervuar sıcaklıkları tahmin yöntemlerini
- VII. İzotop Hidrolojisi, duraylı izotop ve trityum analiz sonuçlarını
- VIII. Sonuçlar ve Öneriler bölümünü kapsamaktadır.

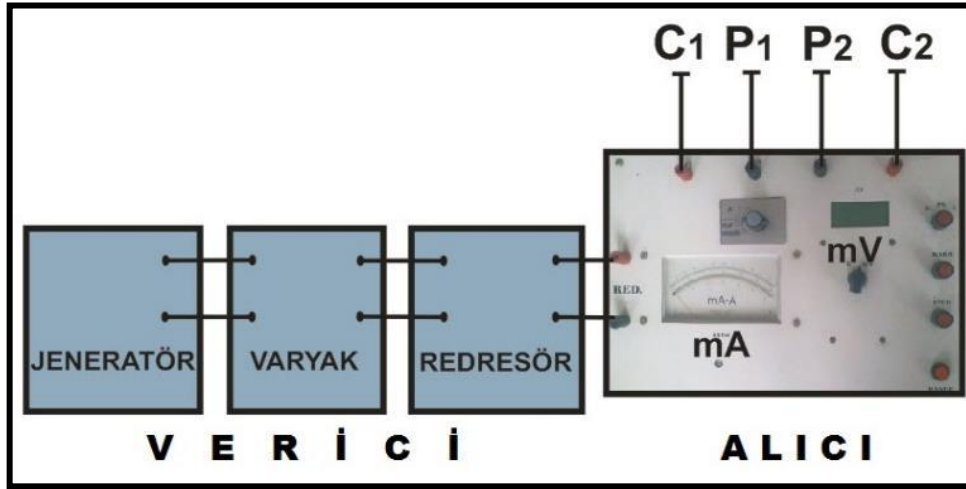
2. MATERYAL VE METOD

Türkmentokat jeotermal sahasının sondaj kuyuları ile keşfi öncesinde jeolojik ve jeofizik amaçlı arazi çalışmaları yapılmıştır. Jeolojik çalışmalar kapsamında Türkmentokat jeotermal sahası ve çevresinin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası güncellenmiş, jeotermal sistemin oluşumunu denetleyebilecek fay-kırık hatları haritalanmıştır. Jeotermal akışkanın izlerini taşıyabilecek su noktaları belirlenerek bu noktalar ile birlikte çevredeki kaynak ve kuyulardan örnekleme çalışması yapılmıştır. Hidrojeokimyasal çalışmalar için gerçekleştirilen saha çalışmalarında YSI 556 model multiparametre ölçer, GARMIN marka konum-ölçer (GPS) ve polietilen numune kapları kullanılmıştır. YSI 556 model multiparametre cihazı ile yerinde sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş madde (TDS) ve pH ölçümleri yapılmıştır. GARMIN marka GPS ile ölçüm yapılan noktaların koordinatları belirlenmiştir. Numune kaplarına analizi yapılacak sulardan örnekleme yapılmıştır. Su numunelerinde majör iyon analizleri M.T.A. Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında, izotop analizleri ise D.S.İ. Teknik Araştırma Kalite ve Kontrol Dairesi (T.A.K.K.) İzotop Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

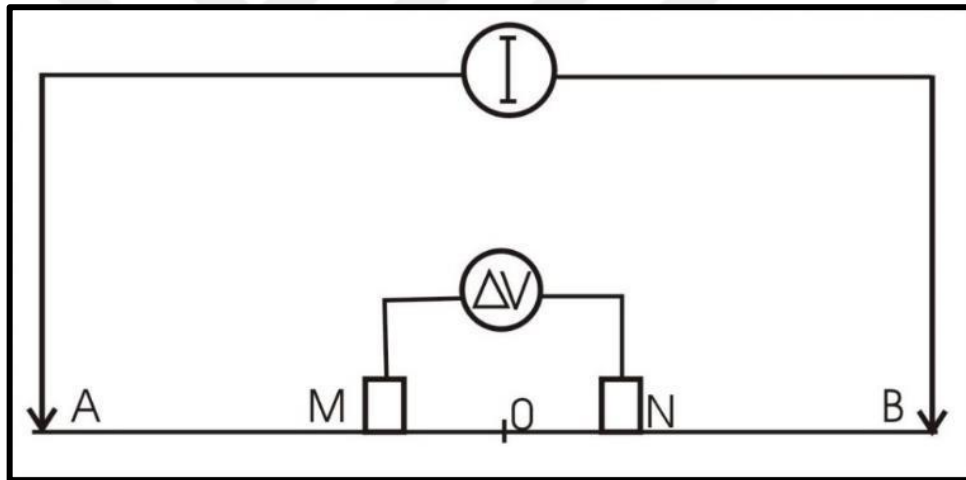
Sahada yeraltı yapısının incelenmesi ve jeotermal anomali sunan alanların belirlenmesi için jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Jeoelektrik yöntemlerle yapılan araştırmalarda, öz direnç ölçüleri M.T.A. yapımı DR (Derin Öz direnç) tipi ekipman kullanılarak alınmıştır. Öz direnç cihazının alıcısı DR modeli sayısal olup, doğal gerilimi ± 500 mV kapasitesinde dengeleme hassasiyetine sahiptir. Alıcı cihazın duyarlılığı 0,01 mV olup, iç güç kaynağı 2 adet 9 V'luk pille sağlanmaktadır. Jeneratör-varyak-redresör (doğrultmaç) verici sistemi oluşturmaktadır. Güç kaynağı olarak Akxa marka 9HP, 50Hz, 220V ve 6KVA'lık alternatif akım üreten bir motor jeneratör kullanılmıştır. Jeneratörden alınan alternatif akım (AC) bir doğrultmaç ile doğru akıma (DC) çevrilerek, varyak yardımıyla en fazla 1000 DCV 'a kadar yere uygulanmaktadır (Şekil 2.1).

Saha çalışmalarında; akım elektrodu namına paslanmaz çelik nikel-kromdan üretilmiş çubuk elektrotlar, potansiyel elektrodu namına ise bakır sülfat içeren polarize olmayan elektrotlar kullanılarak ölçüler alınmıştır. Çalışmalarda çift izoleli kablolar kullanılmıştır. Düşey elektrik sondaj (DES) noktalarının kot ve koordinat değerleri ile nokta alımındaki ilerlemeler Magellan Explorist GPS'aleti ile ölçülmüştür.

Doğru akım öz direnç yönteminde, Schlumberger elektrot dizilimi kullanılmıştır (Şekil 2.2). Bu elektrot diziliminde ölçüm noktasının derinliği, akım elektrotlarının (A ve B) açıklığına bağlıdır. Akım elektrotları arasındaki uzaklık, jeolojik yapının derinliğine göre ayarlanır.



Şekil 2.1. Çalışmalarda kullanılan öz direnç ölçü düzeni.



Şekil 2.2. Schlumberger elektrot dizilimi.

Bu yöntemde, önce yerin doğal elektrik alanı dengelenir. Daha sonra yere kontrollü olarak A ve B elektrotları ile doğru akım verilir. Meydana gelen potansiyel farkı M ve N elektrotlarından ölçülür. Akım elektrotları ve potansiyel elektrotlarının uzaklığına bağlı olarak, bağıntı (2.1) den K katsayısı hesaplanır.

$$K = \frac{|AB|^2 - |MN|^2}{4|MN|} \pi \quad (2.1)$$

Ölçülen parametreler ile K katsayısı hesaba katılarak, bağıntı (2.2) ile görünür öz direnç hesaplanır.

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.2)$$

Burada;

ρ_a	: Görünür öz direnç (ohm.m)	K	: Geometrik faktör
ΔV	: Ölçülen potansiyel farkı (mV)	AB	: Akım elektrotları açıklığı (m)
I	: Yere uygulanan akım (mA)	MN	: Potansiyel elektrotları açıklığı (m)

Arazide, belirlenen lokasyonlarda ölçümü yapılan noktanın görünür öz direnç (ρ_a) değerleri her seviye için hesaplanır. Bu değerler AB/2 mesafesinin fonksiyonu olarak çift logaritmik kâğıta işaretlenir ve jeolojik birimlerin yukarıdan daha derinlere doğru görünür öz direnç değişimleri grafik halinde çizilmiş olur.

Bütün ölçü noktalarından elde edilen ham öz direnç grafikleri, kaydırma tekniği ile pot farklarının etkisi giderilmiştir. Düzeltmiş grafikler Orellena-Money model eğrileri ile karşılaştırılmış tabakaların gerçek rezistivite ve kalınlıkları belirlenmiştir. Aynı zamanda bu öz direnç grafikleri bilgisayar ortamında bir boyutlu ters çözüm yöntemi ile değerlendirilerek teyit edilmiştir.

Saha çalışmalarında uygulanan bir diğer jeofizik yöntem doğal potansiyel (SP) yöntemidir. Bu yöntemde yer içinde oluşan elektrik akımlarının doğal potansiyel alanda meydana getirdiği değişimler belirli bir aralıkta ölçülmektedir. Uygulanan bu yöntemde örnekleme (kaydırma) aralığı 50 m olarak seçilmiştir. Arazide kaydırma düzeneği ile türev (T) ölçümleri yapılmıştır. Doğal potansiyel alanının T değerlerinden grafik hazırlanmıştır.

Mevcut tektonik hatlar ve jeoelektik yöntemler ile elde edilen veriler ışında jeotermal potansiyel sunabilecek noktaya MR-6000 tipi kule kullanılarak sondajlı arama çalışması yapılmıştır.

Aramalı sondaj ile elde edilen akışkan ile birlikte araziden derlenen su örneklerinden gerçekleştirilen kimyasal ve izotopik analiz sonuçları değerlendirilerek su-kayaç etkileşim süreçleri irdelenmiş ve kimyasal jeotermometreler yardımı ile sahada olası rezervuar sıcaklığı tahmin edilmiştir

Tüm jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal bulgular eşliğinde Eskişehir-Türkmentokat sahasının kavramsal hidrotermal modeli ortaya konulmuştur.

Eskişehir iline ait bitki örtüsü ve iklim bilgileri Eskişehir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü internet sitesinden alınmıştır (<http://www.eskisehirkulturturizm.gov.tr>).

İlin dörtte birini çam, meşe, gürgen, ardıç, katran ve köknar ağaçlarının oluşturduğu ormanlar teşkil eder. Orman olmayan arazilerde, su kenarlarında söğüt, ahlat ve kavak ağaçlarına rastlanmaktadır.

Eskişehir, coğrafi şartları, yükseltileri, yeryüzü şekilleri, denize olan uzaklığı gibi nedenlerden dolayı kara iklimi özelliğine sahiptir. Bir taraftan da Ege ve Marmara bölgelerine yakın olması nedeniyle bu bölgeler ikliminin etkilerini taşımaktadır.

Genellikle Eskişehir'de kışlar parçalı bulutlu, kar yağışlı, baharlar orta derecede yağışlı ve yazlar ise az bulutlu ve açık geçer. Yıllık sıcaklık ortalaması, 10.9° dir. Aylık ortalamaya göre yılın en soğuk ayı, -2° ile ocak ayıdır. Aralık ayının ortalarından, şubat ayının ortalarına kadar çok soğuk günler ve don olayları yaşanır. -10° ile -25° arasında değişen derecelere rastlanabilir. Burada, kara iklimi özelliğini gösteren en belirgin olay, aynı zamanda gece ile gündüz sıcaklığında 12 °C ile 29 °C arasında büyük ısı farklarının olmasıdır. Sonbahar mevsimi, sıcaklığın 20 °C'nin altına düşmesiyle, Ağustos ayının ikinci yarısından itibaren kendini belli eder. Eylül ayının sonunda sıcaklık, 0 °C'ye kadar inebilir. En yüksek sıcaklık ise, yine Eylül ayı içinde, yazın devamı olarak 20 °C ile 30 °C arasında oynayabilir. Ekim ayında ortalama sıcaklık, 10 °C civarında seyrederek.

Eskişehir'de yağışlar, kışın kar ve yağmur halinde görülür. Aralık ayından itibaren yağışlar daha çok kar şeklindedir. Nisan ayı sonundan itibaren havalar ısınmaya başlar.

Eskişehir'de bahar yağmurları, batı ve güneybatıdan gelerek, sağanak halinde düşer. Yıllık ortalama yağış miktarı 378,9 kg/m³'dür. Temmuz ve ağustos aylarında, Akdeniz yaz kuraklığı özelliklerini gösterir. Ancak çok hafif olarak, Karadeniz yaz yağmurlarını da alır. Ekim ayında yağmur, Kasım ayında sulu karın yağması, kışın başladığını gösterir.

3.2. Önceki Çalışmalar

Çalışma sahası ve yakın civarında jeolojik, jeofizik ve jeotermal amaçlı birçok etüt yapılmıştır. Özyazıcı (1962), Şentürk (1991), Gözler vd. (1997), Taşkiran (2014) bu etütlerden bazılarıdır.

Özyazıcı (1962), Eskişehir ve çevresinin jeofizik elektrik (rezistivite) yöntemiyle etüt çalışmasını yapıp, bölgenin jeotermal potansiyelini araştırmıştır. Etüdün yapılmasındaki asıl amaç sıcak su araştırması olup diğer amaçları; alüvyon kalınlığının bulunması, alüvyon içinde ve

daha derinlerdeki muhtemel sıcak ve soğuk su horizonlarının bulunması, sıcak suların yüzeye yükseldiği yerlerin tespiti, alüvyon altındaki tabakaların derinliği ve fayların bulunmasıdır.

Şentürk (1991), Eskişehir yöresindeki sıcak su kuyuları ve sıcak su kaynaklarının koruma alanı etüdünü yaparak zonları belirlemiş ve uygulanması gereken kuralları belirlemişlerdir.

Gözler vd. (1997), çalışma alanını da içerisine alan geniş bir alanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritalarını yapmışlardır. Daha önceki araştırmacılar tarafından Siluriyen-Devoniyen yaşı verilen birimin Triyas yaşlı Karkın formasyonu olduğu tespit etmişler ve detay jeolojisi vermişlerdir. Önceki çalışmacılarca Gelinkaya formasyonu ile kuzey metamorfikleri olarak adlandırılan birimlerin, Karkın formasyonunun detritikleri olduğunu; Jura yaşı verilen split ve diyabazların yine Karkın formasyonunun üyeleri olduğunu ortaya koymuşlardır. Bölgede yer alan ofiyolitlerin yerleşme yaşının Triyas sonrası Eosen öncesi yaş aralığında olduğu ortaya koymuşlardır. Ayrıca yörede volkanizmanın D-B doğrultulu büyük bindirme zonları boyunca görüldüğünü belirtmişlerdir.

Taşkıran (2014), çalışma alanı yakınlarında jeolojik, hidrojeolojik, jeofizik ve sondaj çalışmaları yapmışlar ve bu veriler ışığında söz konusu alanın jeotermal enerji potansiyelini ortaya koymaya yönelik değerlendirmeler yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda iki adet yeni jeotermal saha ortaya çıkarılmıştır.

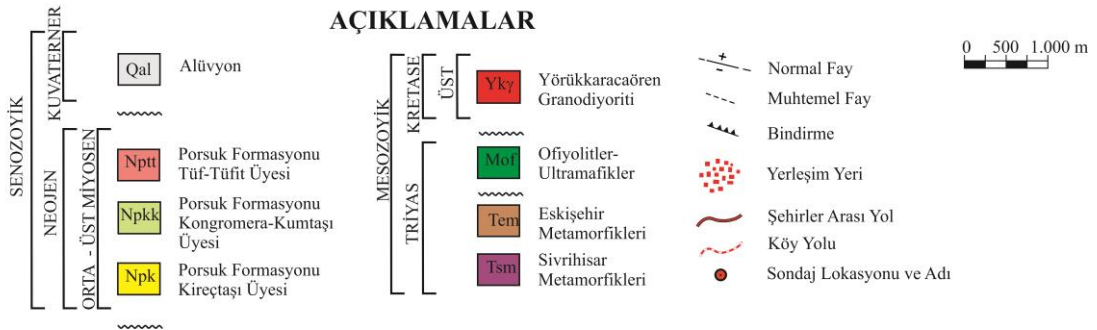
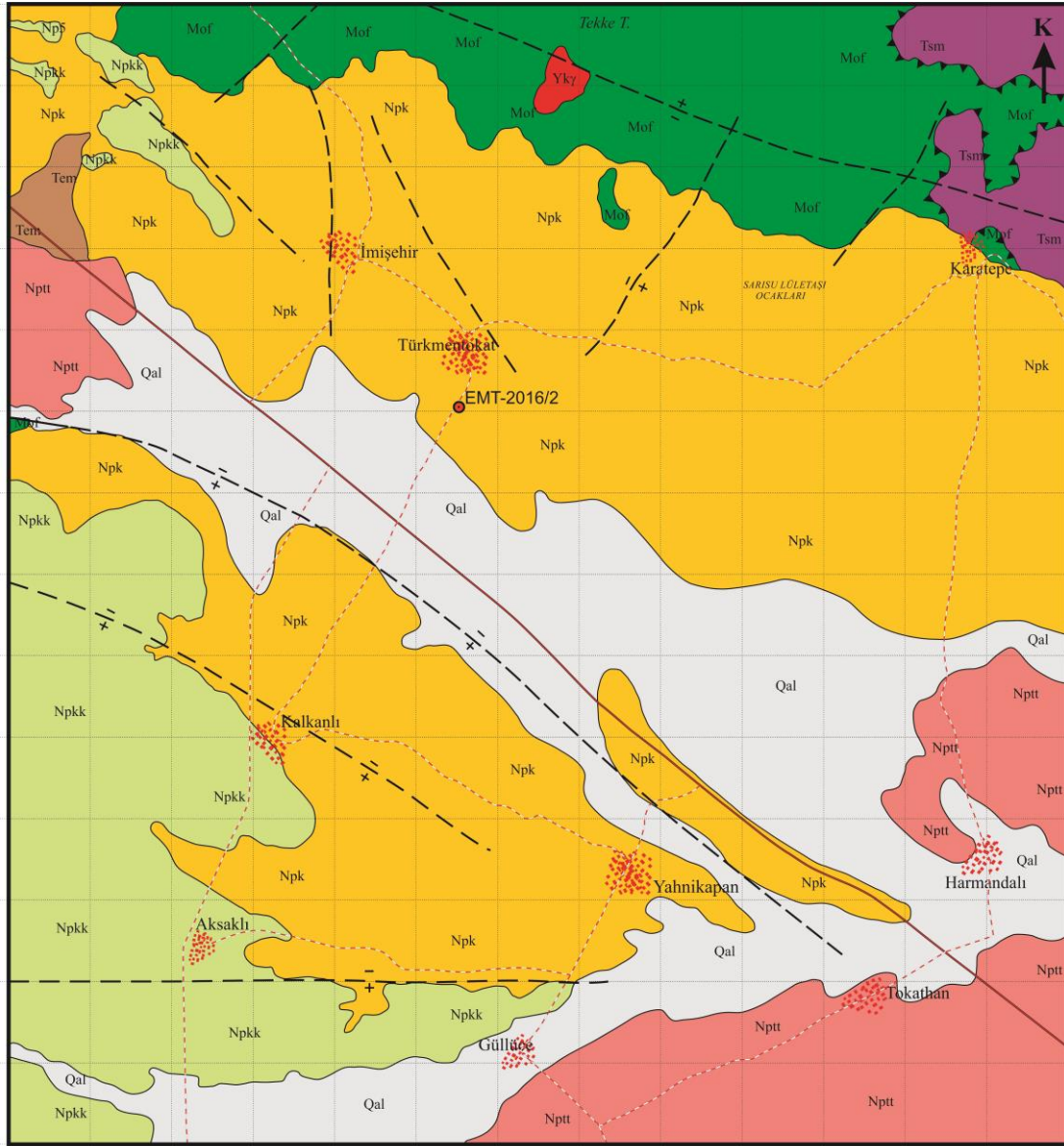
4. GENEL JEOLJİ

4.1. Stratigrafi

Çalışma alanında en altta Triyas yaşındaki metamorfik ve ofiyolitik kayalar ile bunları kesen Üst Kretase yaşındaki granodiyorit birimi yer almaktadır. Temelde yer alan Triyas yaşlı Sivrihisar Metamorfik ve Eskişehir Metamorfik kayaları kendi içerisinde litostratigrafik olarak yeşilist, mavişist ve mermer olarak ayrılmıştır. Jeolojik haritası yapılan alanda metamorfik birimler kendi içerisinde ayrırtlanmamış, Sivrihisar Metamortikleri ve Eskişehir Metamorfikleri olarak haritalaması yapılmıştır. Bu metamorfik kayalar üzerinde tektonik uyumsuz olarak serpantinit, peridotit ve listvenit içeren ofiyolit kayaçları yer almaktadır. Temel birimleri Üst Kretase yaşlı Yörükkaracaören Granodiyoriti kesmektedir. Tüm bu birimlerin üzerinde Neojen yaşlı birimler uyumsuz olarak bulunmaktadır. Bu birimler; Orta-Üst Miyosen yaşlı sedimanter ve volkanik birimlerden oluşan, Porsuk Formasyonu'na ait Kireçtaşı Üyesi, Konglomera-Kumtaşı Üyesi ve Tüf-Tüfit Üyesi'dir. Bütün bu birimler üzerine ise Kuvaterner yaşlı alüvyon uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 4.1).

4.1.1. Sivrihisar Metamorfikleri (Tsm)

Sivrihisar Metamorfikleri pelitik, bazik ve karbonatlı kayaçların metamorfizması sonucunda oluşmuştur. Sivrihisar Metamorfikleri Gözler vd. (1997) tarafından mavişistler, glokofanitik yeşilistler, yeşilistler ve mermerler olmak üzere dört grup altında incelenmiştir. Çalışma alanında Sivrihisar Metamorfikleri'ne ait mavişistler, yeşilistler ve mermerler izlenmektedir. Söz konusu bu litolojiler tek birim olarak haritalanmıştır. Sivrihisar Metamorfikleri çalışma alanının kuzeydoğusunda gözlenmektedir (Şekil 4.2)



Şekil 4.2. Çalışma alanı jeoloji haritası (Gözler vd., 1997'den değiştirilerek alınmıştır).

4.1.2. Eskişehir Metamorfikleri (Tem)

Eskişehir Metamorfikleri pelitik, bazik ve karbonatlı kayaların glokofanitik yeşilşist ile yeşilşist fasiyesinde metamorfizması sonucunda oluşmuştur. Eskişehir Metamorfikleri Gözler vd. (1997) tarafından glokofanitik yeşilşistler, yeşilşistler ve mermerler olmak üzere üç grup altında incelenmiştir (Şekil 4.3). Çalışma alanında Eskişehir Metamorfikleri'ne ait yeşilşistler ve mermerler izlenmektedir. Söz konusu bu litolojiler tek birim olarak haritalanmıştır. Eskişehir Metamorfikleri çalışma alanının kuzeybatısında gözlenmektedir (Şekil 4.2). Eskişehir Metamorfikleri'nin yaşı Gözler vd. (1997) tarafından Triyas olarak belirtilmiştir. Gözler vd. (1997) Eskişehir Metamorfikleri'nin kalınlığı hakkında tahmin yapmanın zor olduğunu belirtmiş, ortalama kalınlığının 1500 m civarında olabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.3. Eskişehir Metamorfiklerine ait mermerden bir görünüm.

4.1.3. Ofiyolitler – Ultramafikler (Mof)

Yeşil, koyu yeşil renkli kromit bantları ve kromit taneleri ihtiva eden dunit, sütlü kahverengi dış görünüşleriyle ve güneş ışığında parlak piroksen mineralleriyle belirgin harzburgit, piroksenit bantlı görünüşte gabrolar ile izotopik gabrolardan oluşmuş, yer yer serpantinleşmiş kısımların görüldüğü okyanus kabuğu malzemesini teşkil eden ultramafik toplulukların birkaçını bir arada görmek mümkündür (Gözler vd., 1997). Çalışma sahasında

düzenli bir istiflenme göstermez. Birim çalışma alanının kuzeyinde gözlenmektedir (Şekil 4.2). Gözler vd. (1997) ultramafikleri oluşturan kayaçları gabrolar, piroksenitler, horbilitler, serpantinler, peridotitler, diyabazlar ve listvenitler olarak ayrı ayrı haritalandırmışlardır (Şekil 4.4). Bu çalışmada ise tek birim olarak haritalanmışlardır. Yaklaşık KD-GB istikametinde uzanın gösteren ofiyolitler metamorfik birimlerin üzerine nap şeklinde gelmektedir

Ofiyolitlerin oluşum ve yerleşim olmak üzere iki yaşı vardır. Gözler vd. (1997) tarafından yapılan çalışmada ofiyolitlerin yerleşim yaşı Alt Triyas Üst Jura olarak belirtilmiştir. Oluşum yaşı yorumsal olarak Karakaya denizinin açılmaya başladığı zamanla eş yaşı olmalıdır. Dolayısıyla Alt Triyas denilebilir.



Şekil 4.4. Ofiyolitler içerisinde açılan yarmadan bir görünüm.

4.1.4 Yörükkaracaören Granodiyoriti (Yky)

Yörükkaracaören Granodiyoriti çalışma alanının kuzeyinde, Tekke Tepe güneyinde ofiyolit birimlerini keserek yüzelemiştir (Şekil 4.2). Yörükkaracaören Granodiyoriti çoğunlukla porfiri dokulu, ufak bir kesimde taneli dokulu olup, topoğrafyaya uygun bir morfolojik yapı göstermektedir (Şekil 4.5). Kayaçta alterasyon ileri derecededir. Feldispatlar çoğunlukla tanınmayacak derecede killeşmiş ve serisitleşmiştir. Yer yer epidot gelişmelerine de rastlanmaktadır. Kirli sarı, açık gri renkli görünümündedir (Gözler vd., 1997). Birim Yörükkaracaören köyü civarında yüzelediği için bu ad ile isimlendirilmiştir (Gözler vd., 1997).

Birim, kendisinden daha yaşlı olan birimleri kesmiştir. Yörükkaracaören Granodiyoritinin metamorfizmaya uğramış kayalar ile olan sınırlarında skarn zonları oluşmuştur. Yörükkaracaören Granodiyoriti Üst Kretase yaşlıdır.



Şekil 4.5. Yörükkaracaören Granodiyoriti arazi görünümü.

4.1.5. Porsuk Formasyonu (Np)

İnceleme sahasında konglomera, kumtaşı, tuf, tüfit, ve kireçtaşlarından oluşmuş olan formasyona, doğu batı yönünde uzanan Porsuk Çayı civarında rastlanıldığından bu isim verilmiştir (Gözler vd., 1997). Kendisinden yaşlı kayaların üzerine uyumsuzlukla gelir.

Porsuk Formasyonu içinde yaş verecek fosile rastlanmamıştır. Stratigrafik incelemeler ve dokanak ilişkilerine göre Porsuk formasyonuna Orta-Üst Miyosen yaşı verilmiştir (Gözler vd., 1997). Birim tuf-tüfit, konglomera-kumtaşı ve kireçtaşı olmak üzere üç üyeye ayrılarak haritalanmıştır (Şekil 4.2).

Kireçtaşı üyesi (Npk)

Kireçtaşı üyesi çalışma alanında geniş bir alanda gözlenmektedir (Şekil 4.2). Beyaz, gri, sarımsı bej renklerde, çalışma alanının batısında silisifiye olmuş ve yer yer silis ara bantlı, poroziteli killi ve tüflü kireçtaşı şeklinde görülürler (Gözler vd., 1997). Kireçtaşı üyesi kendisinden yaşlı birimler üzerine diskordansla gelir.

Konglomera-kumtaşı üyesi (Npkk)

Konglomeralar kendisinden yaşlı tüm birimler üzerine diskordansla gelir. Kumtaşları konglomeralar arasında bantlar halinde veya onlarla düşey ve yanal geçişli olarak görülürler. Kireçtaşlarıyla uyumsuz örtülürler. Tüf ve tüfitlerle yanal ve düşey geçişlidirler (Gözler vd., 1997).



Şekil 4.6. Porsuk Formasyonu konglomera-kumtaşı üyesi tipik görünüm.

Tüf – tüfit üyesi (Nppt)

Beyaz, alacalı pembemsi ve tuğla kırmızısı renge piroklastik malzemelerden oluşmuş, havza kenarlarında kaynamış tüf ve çöküntü havzasında marn ve kil ara katkılı olarak görülürler (Gözler vd., 1997). Tüf-tüfit üyesi çalışma alanının kuzeybatı ve güneydoğusunda gözlenmektedir (Şekil 4.2). Tüf-tüfit üyesi metamorfikler üzerine uyumsuzlukla gelir. Konglomera-kumtaşı üyesi ile yanal ve düşey geçişli görülürler.

4.1.6. Alüvyon (Qal)

Çalışma alanının ortasında ve kuzeybatısında geniş bir alanda yayılım göstermektedir (Şekil 4.2). Çakıl, kum, kil ve silten oluşan, akarsuların, kanal ve taşkın ovalarında biriktirdikleri çökellerdir.

4.2. Yapısal Jeoloji

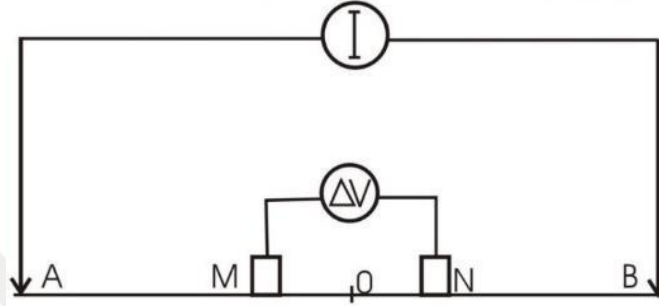
Triyas sonunda aktif olan kuzey-güney yönlü sıkışma sonucunda doğu-batı yönlü kırık sistemleri meydana gelmiştir. Üst Kretase ve sonrasında çalışma alanı çevresinde oluşan kuzey-güney yönlü sıkışmalar bölgeyi etkilemiş ve de özellikle Jura-Üst Kretase birimlerinde doğrultu atımlı faylar gelişmiştir (Gözler vd., 1997).

Diğer taraftan Neojen'de gelişen tektonik olaylar (K-G yönlü gerilmeler) sonucunda da İnönü-Eskişehir-Sivrihisar yönünde gelişen düşey faylar oluşmuştur. Bu faylar Eskişehir'in kuzey ve güneyinden geçmekte olup bir sistem oluşturmaktadır. Ayrıca bu düşey fay sistemi üzerinde sintetik ve antitetik fayların da gelişmiş oldukları gözlenmiştir (Gözler vd., 1997). Gözler ve diğ. (1997)'ne göre, Eskişehir civarında gelişen fay sistemleri üç türdür. Bunlar;

- a) Bindirme Fayları:
- b) Düşey (Normal) Faylar:
- c) Doğrultu Atımlı Faylar:

Çalışma alanı yaklaşık KB-GD doğrultulu İnönü-Eskişehir Fay zonu içerisinde kalmaktadır.

yıllarda yapılan Türkiye Rejyonel Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması Projesi (Bilgin vd., 2009) kapsamında sahaya düşen 9 adet DES ölçü noktasına ait verilerden de yararlanılmıştır. Doğru akım öz direnç yönteminde, Schlumberger elektrot dizilimi kullanılmıştır (Şekil 5.2). Bu elektrot diziliminde ölçüm noktasının derinliği, akım elektrotlarının (A ve B) açıklığına bağlıdır. Akım elektrotları arasındaki uzaklık, jeolojik yapının derinliğine göre ayarlanır.



Şekil 5.2. Schlumberger elektrot dizilimi.

Jeofizik çalışmalar kapsamında ayrıca uzunluğu 2000 m olan bir profil üzerinde doğal potansiyel (SP) çalışmaları yapılmıştır. Örnekleme (kaydırma) aralığı 50 m'dir. Bu yöntemde yer içinde oluşan elektrik akımlarının doğal potansiyel alanda meydana getirdiği değişimler ölçülmektedir. Arazide kaydırma düzeneği ile türev (T) ölçümleri yapılmıştır. Doğal potansiyel alanının T değerlerinden grafik hazırlanmıştır. Mevcut tektonik hatları ve önemli olabilecek noktaları kesecek şekilde oluşturulan SP profiline ait SP grafiğinde, profilin doğusunun oldukça aktif olduğu ve bu etkilerin (-8 ile +8 mV) ölçülere yansıdığı görülmektedir.

Jeofizik etüt çalışmaları değerlendirilmiş ve çalışmaların yoğunlaştırıldığı alanda, sahayı temsil ettiği düşünülen görünür öz direnç seviye haritaları ve 3 adet DES profili üzerinde yine muhtemel jeolojiyi yansıttığı düşünülen görünür öz direnç ve jeoelektrik yapı (model) kesitleri hazırlanmıştır. SP ölçüleri is SP grafiği hazırlanarak yorumlanmıştır.

Çizelge 5.1. DES ölçü noktalarının koordinatları (UTM (ED50) 36. Dilim).

Nokta Adı	Y (sağa)	X (yukarı)	Kot (m)	Nokta Adı	Y (sağa)	X (yukarı)	Kot (m)
T-2	310000	4388750	936	D-12	307200	4394400	940
T-5	310000	4389500	927	D-16	308500	4394150	934
T-7	310000	4390000	930	D-18	309000	4394200	940
T-9	310000	4390500	927	D-20	309525	4394074	942
T-11	310000	4391000	918	D-24	310500	4393850	938
T-13	310000	4391500	925	D-26	311000	4393850	942
T-15	310000	4392000	926	D-28	311500	4393750	942
T-17	310000	4392500	925	D-30	312030	4393675	942
T-19	310000	4393000	933	D-32	312500	4393575	942
T-21	310000	4393500	936	D-38	314000	4393325	942
T-23	310000	4394000	940	D-42	315000	4393075	941
T-25	310000	4394500	944	E-1	310500	4394500	950
T-27	310000	4395000	955	E-2	311000	4394500	952
T-29	310000	4395500	965	E-3	309000	4393500	934
T-31	310000	4396000	998	E-4	309500	4393470	938
T-32	310000	4396250	998	E-5	309500	4395250	960
T-34	310000	4396750	1 020	E-6	309000	4395500	970
T-36	310000	4397250	1 033	E-7	309000	4394625	946
I-2	306002	4390745	934	E-8	308500	4394600	940
I-4	306000	4391250	932	E-9	310500	4395000	956
I-6	306000	4391750	939	E-10	311000	4394925	953
I-8	306000	4392250	938	E-11	309500	4394514	944
I-10	306000	4392751	942	E-12	310500	4395500	972
I-12	306000	4393250	936	E-13	311500	4394350	956
I-14	305994	4393746	934	E-14	311500	4394800	962
I-16	306000	4394260	928	E-15	311500	4395525	982
I-18	306000	4394750	935	E-16	312720	4394594	947
I-20	306000	4395250	939	E-17	309275	4394295	947
I-22	305993	4395737	953	E-18	309250	4394950	955
I-24	306000	4396250	962	E-19	308750	4394400	940
I-26	306000	4396750	989	E-20	309285	4394070	940
I-28	306000	4397250	1 015				
I-30	306000	4397750	1 001				
I-32	306000	4398250	1 054				

5.1.1. DES ölçülerinin değerlendirilmesi

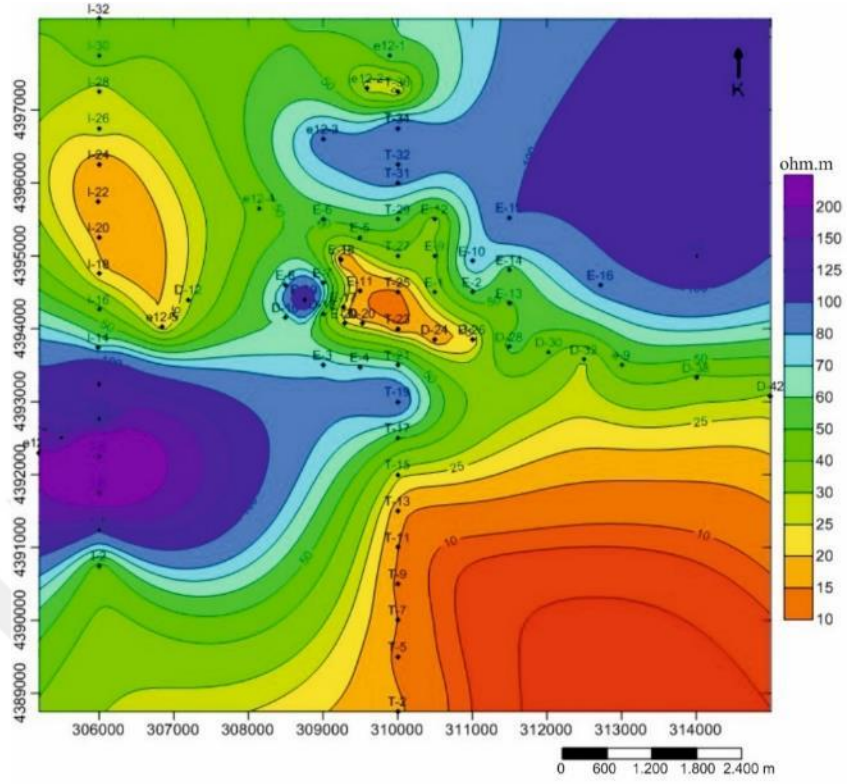
Düşey elektrik sondaj (DES) ölçü noktaları çalışma sahasının tektonik yapısına ve jeolojinin uygun gördüğü şekilde seçilmiş ve profil yöntemiyle çalışılmıştır. Sahanın çok geniş olması her yerde ölçü alımını mümkün kılmamıştır. Önceki yıllarda yapılan Türkiye Rejyonel Jeoelektrik haritalarının Çıkarılması Projesi (Bilgin vd., 2009) kapsamında sahaya düşen 9 adet DES ölçü noktalarından değerlendirmelerde yararlanılmıştır. Rejyonel çalışmalarda da görüldüğü üzere, sahada yapılan DES ölçülerinde birçok noktada potansiyel dengelenememektedir. Bu durum ölçü alımını oldukça zorlaştırmıştır. Kuzey-güney açılımlarda 600 m'den sonra ölçü alınmamaktadır. Bu nedenle açılımlar genelde kuzeybatı-güneydoğu ya da doğu-batı yönlere doğru seçilmiş, 2 adet noktada ölçü tekrarı yapılmıştır. Sahada fayların konumuna, rezervuar yayılımına ve rezervuar modellenmesine yönelik yapılması gereken çalışmalara ilave olarak AMT ve MT çalışmalarının yapılmasının, sahanın çözümüne katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

DES nokta aralıkları 250 m ile 500 m arasında değişmekte olup, araştırma derinliği $AB/2= 1500-2000$ m aralığındadır.

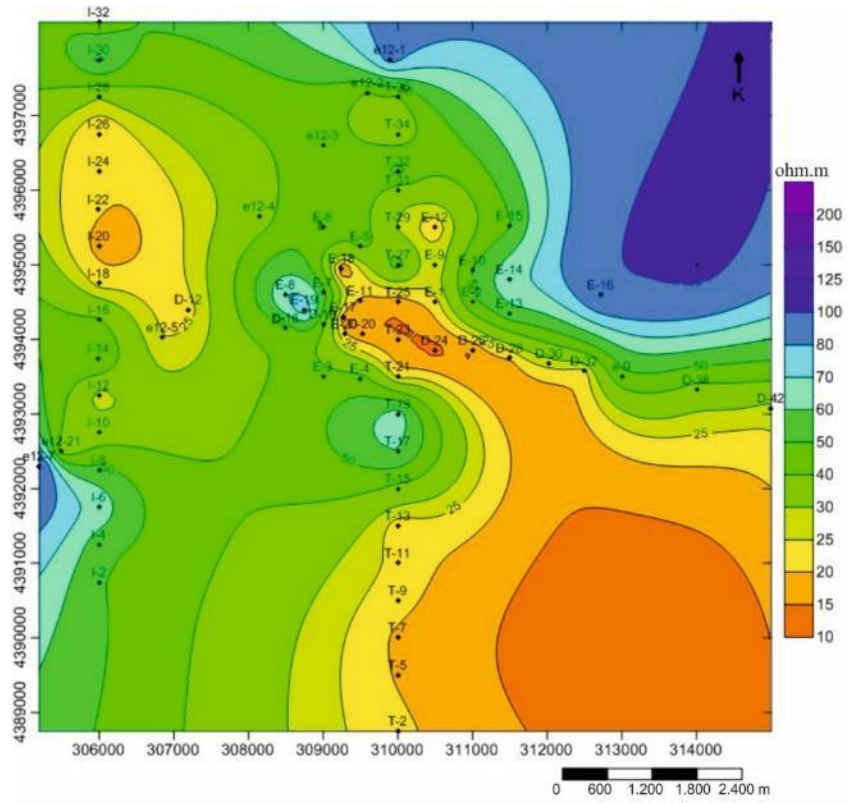
Görünür özdirenç seviye haritaları ve değerlendirmeleri

Görünür özdirenç seviye haritaları, yanal yöndeki özdirenç dağılımını ve buna bağlı olarak da yer altındaki katmanların elektriksel özelliklerini yansıtmaktadır. Nokta sayısı az ve profil çalışılan bölümler olduğundan görünür özdirenç seviye haritalarında türetme değerler dikkate alınmamalıdır. Görünür özdirenç seviye haritaları $AB/2= 100$ m, $AB/2= 250$ m, $AB/2= 500$ m, $AB/2= 800$ m, $AB/2= 1000$ m, $AB/2= 1250$ m, $AB/2= 1500$ m, $AB/2= 1750$ m ve $AB/2= 2000$ m derinlikleri için hazırlanmıştır (Şekil 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11).

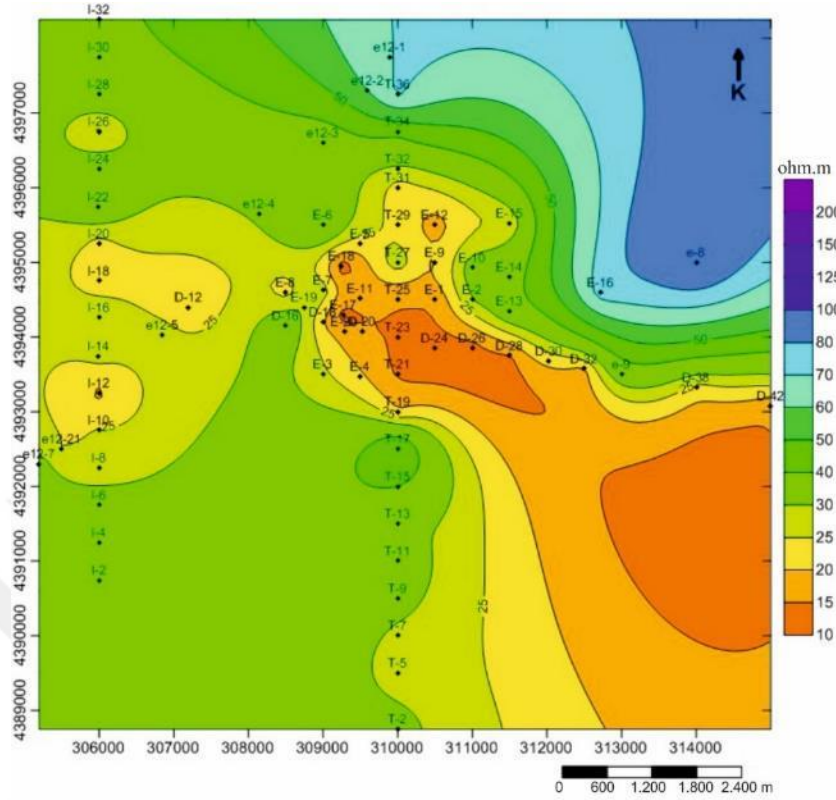
$AB/2= 100$ m, $AB/2= 250$ m ve $AB/2= 500$ m görünür özdirenç seviye haritaları, yüzeydeki ve yüzeye yakın kayaçların elektriksel özelliklerini yansıtmaktadır (Şekil 5.3, 5.4, 5.5). Bu haritalarda, sahanın kuzeydoğu kısmında görülen yüksek özdirenç dağılımları, yüzeylenen yüksek özdirençli kireçtaşları birimlerle eşleştirilmiştir. Kuzeybatıdan güneydoğuya doğru uzanım gösteren fay hatlarının etkileri tüm seviye haritalarında oldukça belirgin olarak izlenmektedir. Türkmentokat mevkiine doğru uzanan sığ seviyelerde de kendi içinde düşük özdirenç (20-25 ohm.m) uzanımları mevcuttur.



Şekil 5.3. AB/2= 100 m görünür öz direnç seviye haritası.



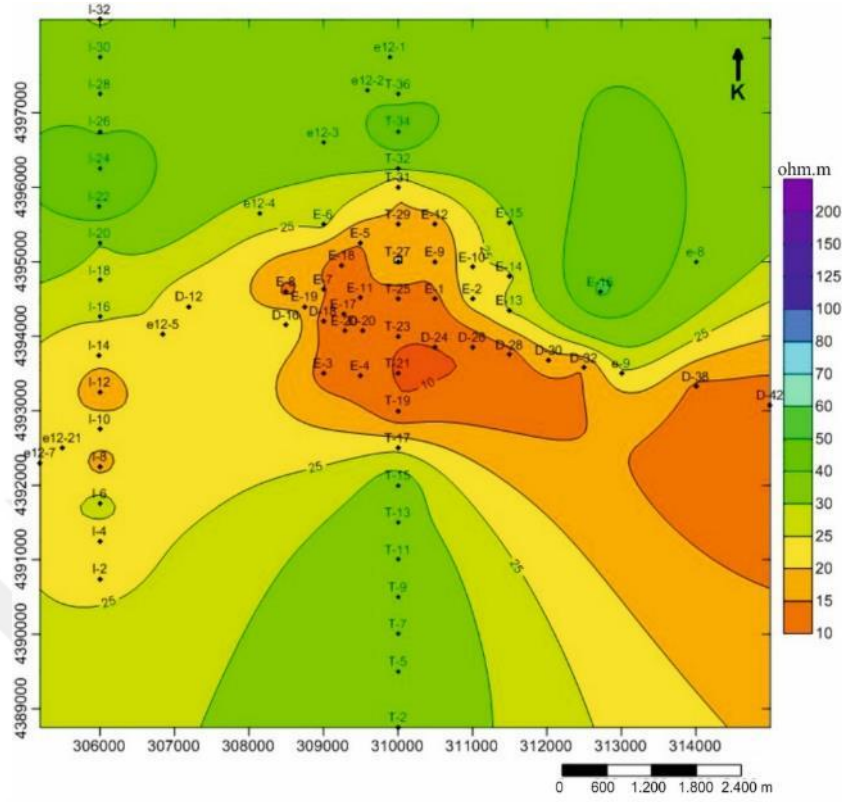
Şekil 5.4. AB/2= 250 m görünür öz direnç seviye haritası.



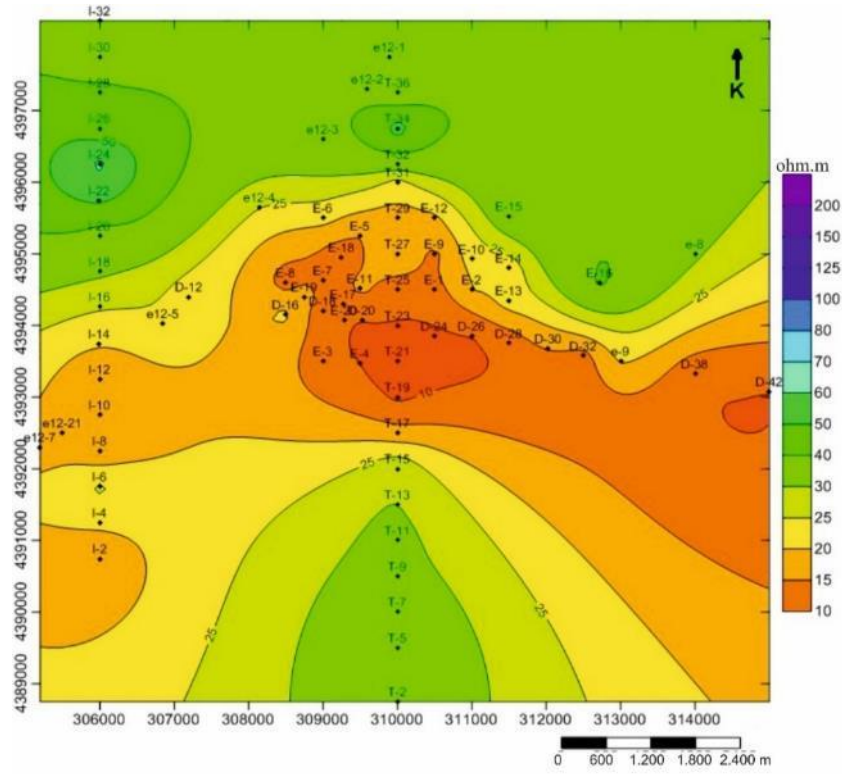
Şekil 5.5. AB/2= 500 m görünür öz direnç seviye haritası.

Sahanın derin seviyelerindeki yanal öz direnç dağılımını görmek amacıyla AB/2= 800 m, AB/2= 1000 m, AB/2= 1250 m, AB/2= 1500 m, AB/2= 1750 m ve AB/2= 2000 m için görünür öz direnç seviye haritaları hazırlanmıştır (Şekil 5.6 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11). Bu görünür öz direnç seviye haritalarında, sahanın kuzeydoğusunda ve güneybatısında daha önceki görünür öz direnç seviye haritalarında gözlenen yüksek öz direnç değerleri görülmemektedir. Bunun dışında büyük bir bölümü sıg seviye haritalarını doğrular niteliktedir. Derin seviye haritalarında da sahanın kuzeydoğusu ve güneyinin sığlaştığı, jeotermal etki ile ilişkilendirilebilecek değerlerin olmadığı görülmektedir. Araştırma sahasının elektrik temelini oluşturan kayaların öz direnç değerleri 30-100 ohm.m arasındadır. Bu değerler kuvarsit, mermer ve benzeri metamorfik kayalarla denştirilebilir.

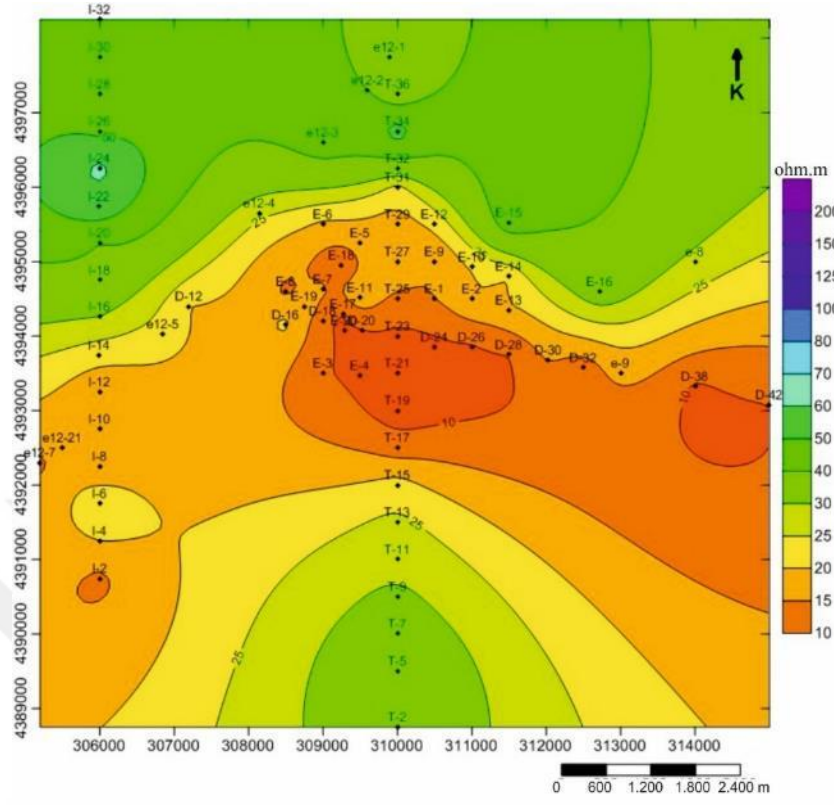
Çalışma sahasına genel olarak bakıldığında, görünür öz direnç seviye haritalarında Türkmentokat yerleşim yerinin batısı ve güneyi önemli bir alan olarak görülmektedir.



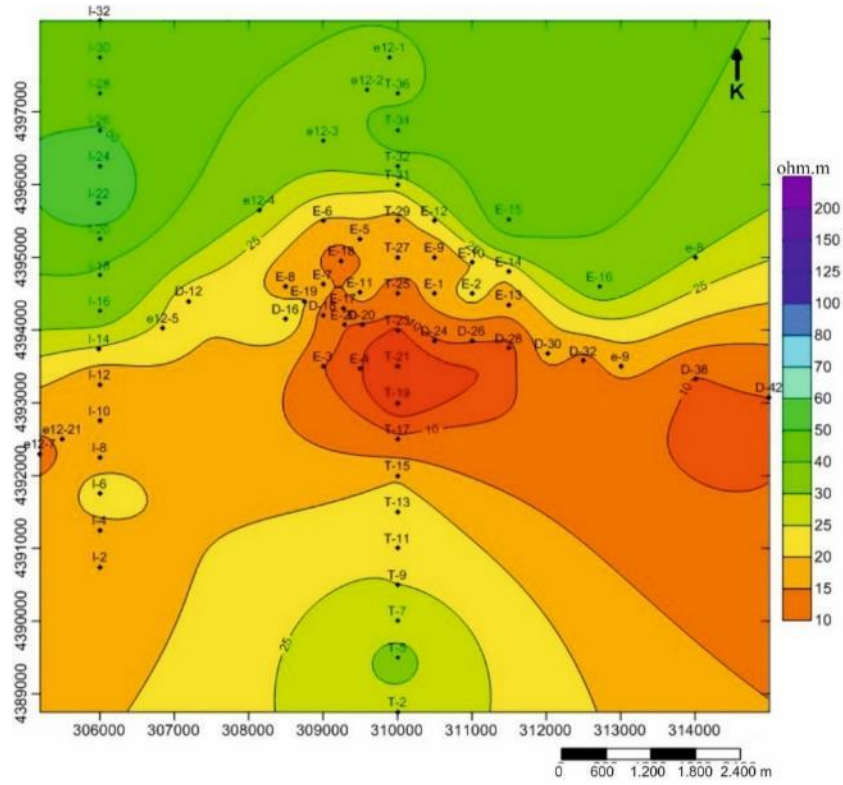
Şekil 5.6. AB/2= 800 m görünür öz direnç seviye haritası.



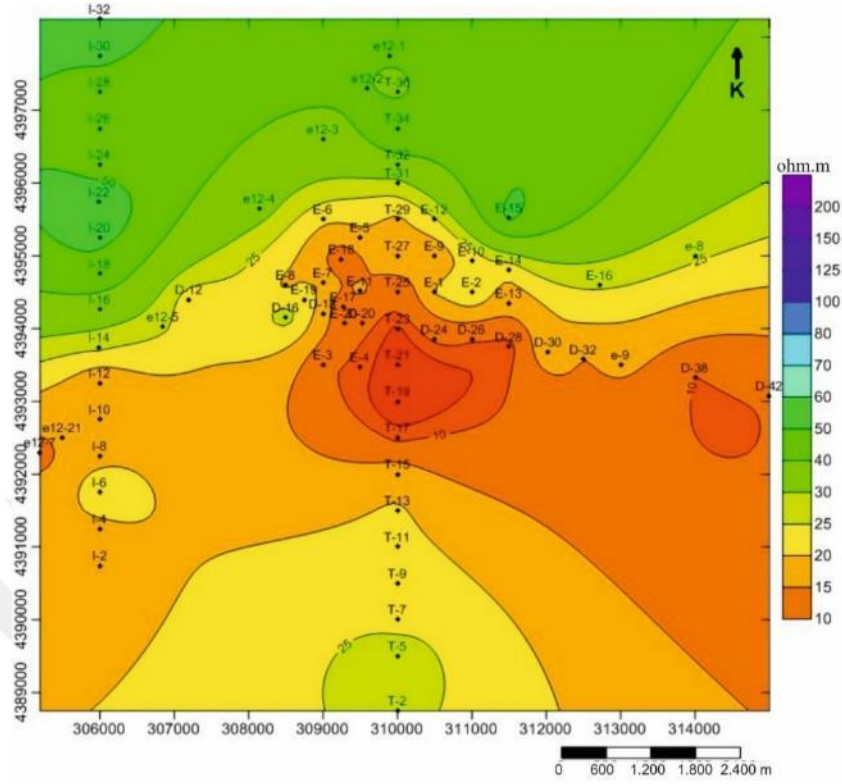
Şekil 5.7. AB/2= 1000 m görünür öz direnç seviye haritası.



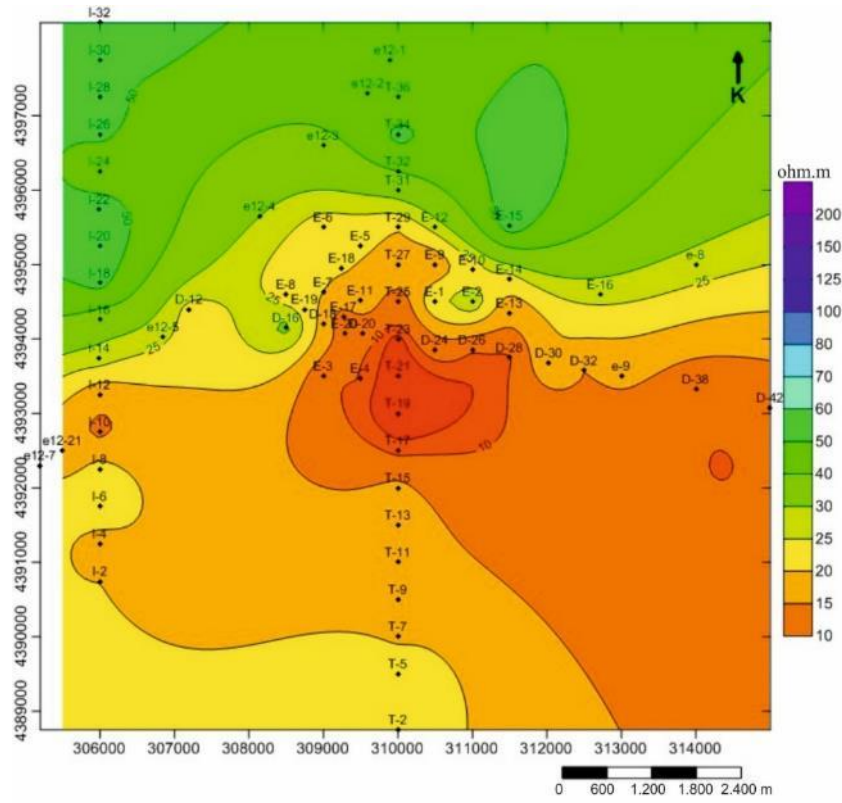
Şekil 5.8. AB/2= 1250 m görünür öz direnç seviye haritası.



Şekil 5.9. AB/2= 1500 m görünür öz direnç seviye haritası.



Şekil 5.10. AB/2= 1750 m görünür öz direnç seviye haritası.



Şekil 5.11. AB/2= 2000 m görünür öz direnç seviye haritası.

5.1.2. DES profilleri, görünür özdirenç ve jeoelektrik yapı kesitlerinin yorumlanması

Profillerin görünür özdirenç ve jeoelektrik yapı kesitleri, profiller üzerinde yer alan DES noktalarındaki ölçümlerde elde edilen görünür özdirenç verilerinden hazırlanmıştır. Görünür özdirenç ve jeoelektrik yapı kesitleri profil doğrultusunda hem yatay, hem de düşey yöndeki özdirenç değişimini göstermektedir. Çalışma alanını yorumlamak için değişik doğrultularda 3 adet DES profili üzerinde görünür özdirenç ve jeoelektrik yapı kesiti hazırlanmıştır (Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14). Bu DES profillerinde görüldüğü üzere beklenen düşük özdirenç değerleri T DES profili ve D DES profilinde T-23 no.lu DES noktası civarında görülmektedir. Bu noktada metamorfik temelin oldukça derin ya da ölçülere tam olarak yansımadağı görülmüştür. T ve D DES profillerinin orta kesimlerine yakın yerlerde yer alan 6 ohm.m ve 10 ohm.m özdirenç değerleri, jeotermal anlamda önemli görülmüştür.

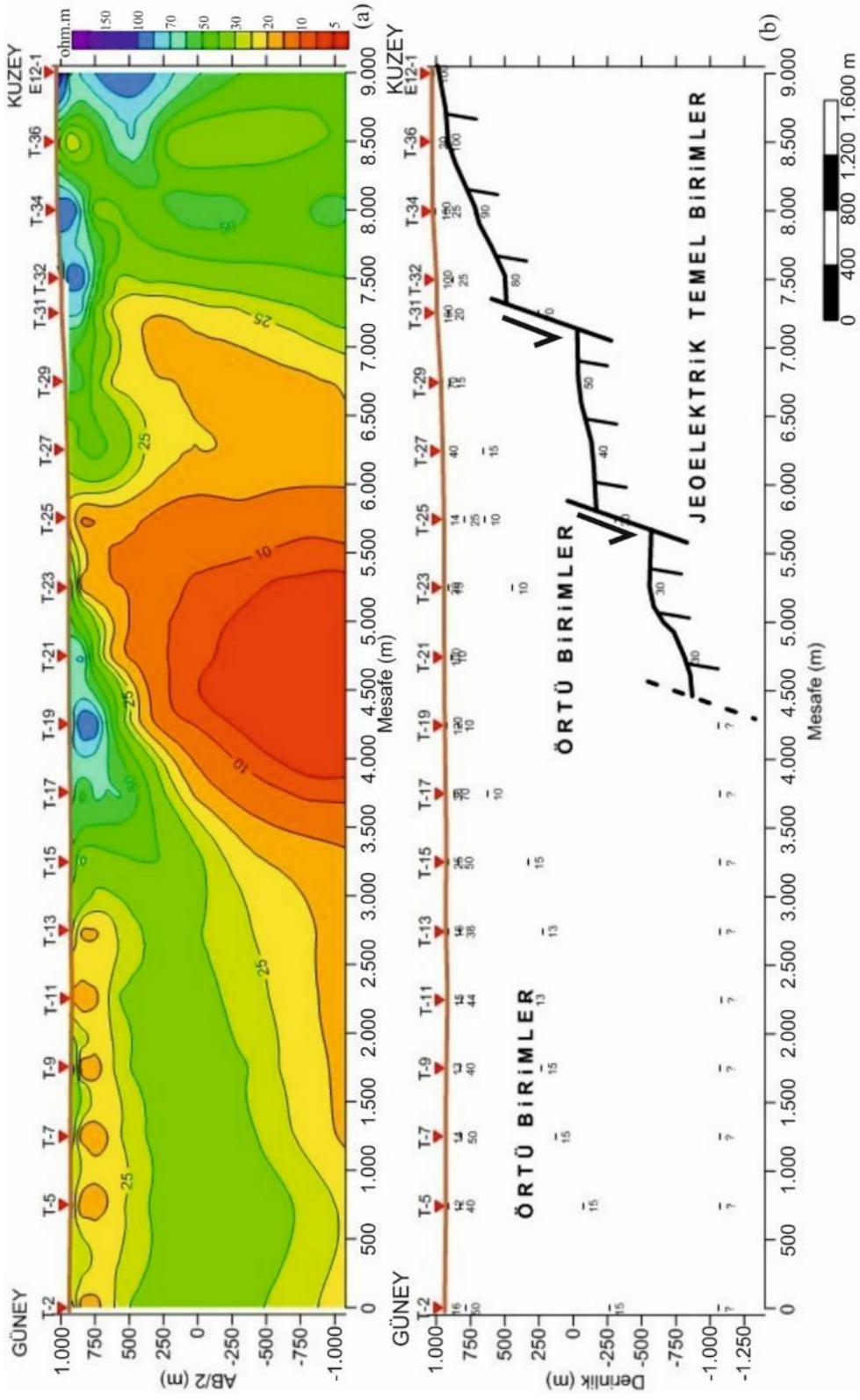
T DES profili, çalışma alanını güney-kuzey yönünde temsil edecek şekilde, 1 adedi eski nokta (Bilgin vd., 2009) olmak üzere 19 adet DES noktasından oluşturulmuş ve 9000 m uzunluğundadır (Şekil 5.12). Bu profilin kuzeyinde görülen yüksek özdirenç değerleri, temel yükselimini temsil etmekte olup söz konusu bu temel birimler güneye doğru T-21 no.lu DES noktasına kadar kademeli olarak derinleşmektedir. Bu noktadan sonra doğu-batı uzanımlı faylarla güneye doğru derinleşmekte ve temel birimler algılanamamaktadır. T-17 no.lu DES noktası ile T-25 no.lu DES noktaları arasının tektonik hareketliliklerden daha çok etkilendiği görülmektedir. Profilin bu noktaları arasında, örtü kayacın etkisinden de kaynaklandığı düşünülen 10 ohm.m'den küçük değerler ölçülmüştür. Ancak rezervuar kayaç ya çok derin ya da ölçülere veri olarak yansımamaktadır.

I DES profili de T DES profili gibi çalışma alanını güney-kuzey yönünde temsil edecek şekilde, T DES profilinin 4 km batısında, 16 adet DES noktasından oluşturulmuş ve 7500 m uzunluğundadır (Şekil 5.13). I DES profilinin de T DES profilini destekler biçimde kuzeyden güneye doğru derinleştiği, güneyde 1300 m kadar temel derinliği olduğu görülmüştür. Profilin güneyinde 20 ohm.m değerleri, kuzeye doğru ise daha yüksek, yaklaşık 50 ohm.m özdirenç değerleri ölçülmüştür. Bu profil üzerindeki noktalarda ölçülen özdirenç değerleri, jeotermal anlamda önemli görülmemiştir.

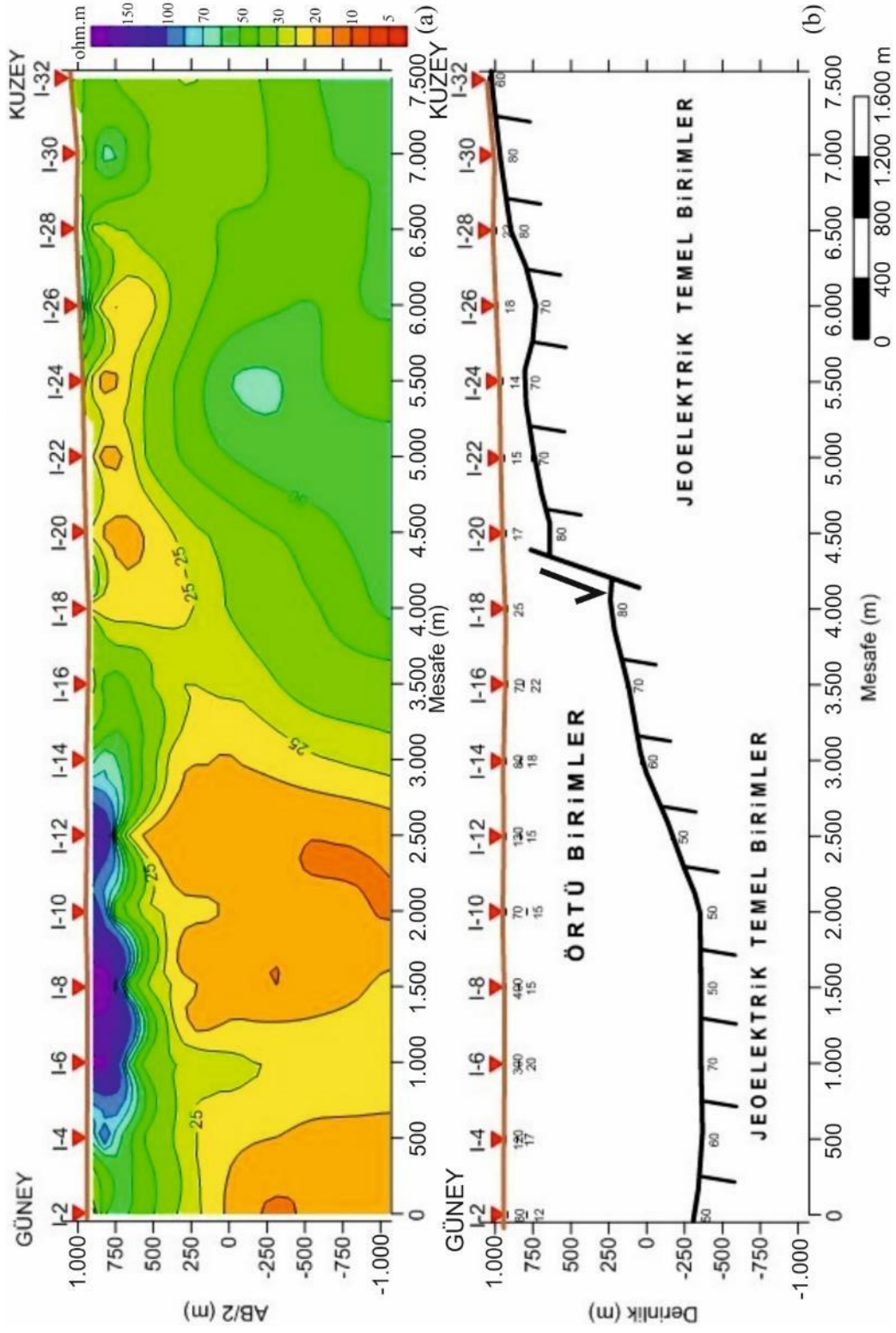
D DES profili, çalışma alanını kuzeybatıdan güneydoğuya doğru temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Profil, 1 adedi eski nokta olmak üzere 15 adet DES noktasından oluşturulmuş ve 9250 m uzunluğundadır (Şekil 5.14). Bu profilin T DES profilini kestiği noktada görülen düşük özdirenç değerleri, kuzeybatıda D-18 DES noktasından profilin en güneydoğusuna kadar

görülmektedir. Bu düşük özdirenç değerlerinin, tektonik hareketliliklerden daha çok etkilendiği düşünülen T-23 no.lu DES noktasında, en düşük olduğu görülmektedir.

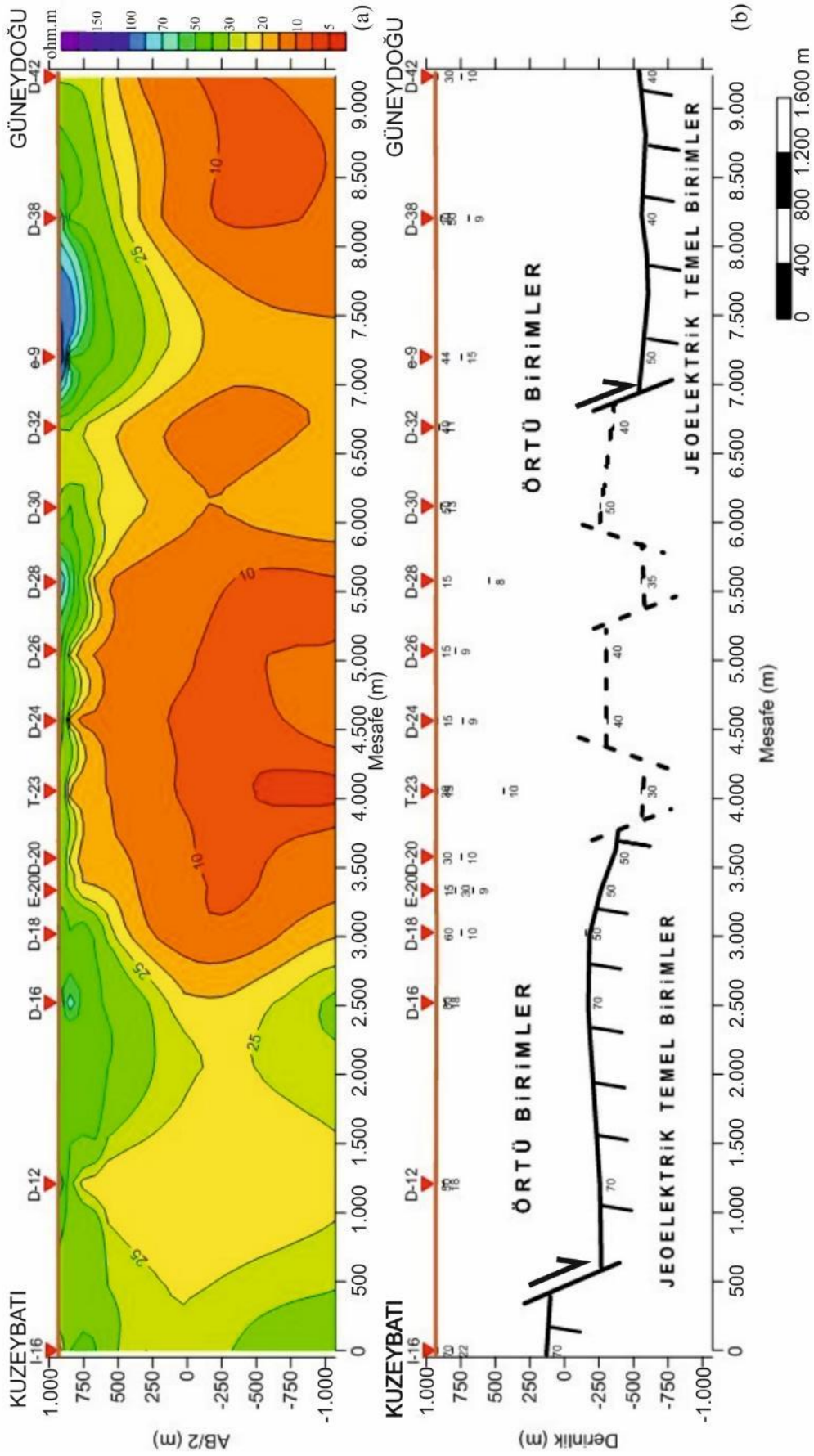
Bu veriler ışığında çalışma alanının orta entalpili saha denilebilecek nitelikte olduğu düşünülmektedir. Sahada ölçü alınan noktalardan oluşturulan profillerde görülen yüksek özdirenç değerleri, kireçtaşı ve ofiyolit birimlerinin yüzlek verdiği soğuk alanlar olarak değerlendirilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda T23 no.lu DES noktası ve çevresinde jeotermal anomali olduğu düşünülmektedir. T-23 no.lu DES noktası ve güneyinde temele ait özdirenç değerleri elde edilememesi ve $AB/2= 1000$ m'den sonra ölçü alınamaması, doğal kaynaklı yöntemlerin gereğini ortaya koymaktadır. Derin seviyelerde en düşük özdirenç değerlerinin T-23 no.lu DES noktası ve civarında olduğu görülmektedir. Bu noktanın 500 m kuzeybatısında D-20 noktasında ise temel kayacın maksimum 1300 m derinlikte, $AB/2= 1300$ m derinlik için özdirenç değerinin ise 10 ohm.m olduğu görülmüştür. Bu değer yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan eldesi için yeterli olmasa da, D-20 no.lu DES noktasının diğer lokasyonlardan daha uygun olabileceği, 2000 ± 200 m derinlikli yapılacak bir sondajla da jeotermal akışkan elde edilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 5.12. T DES profili görünür özdenreç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesitleri.



Şekil 5.13. I DES profili görünür öz direnç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesitleri.

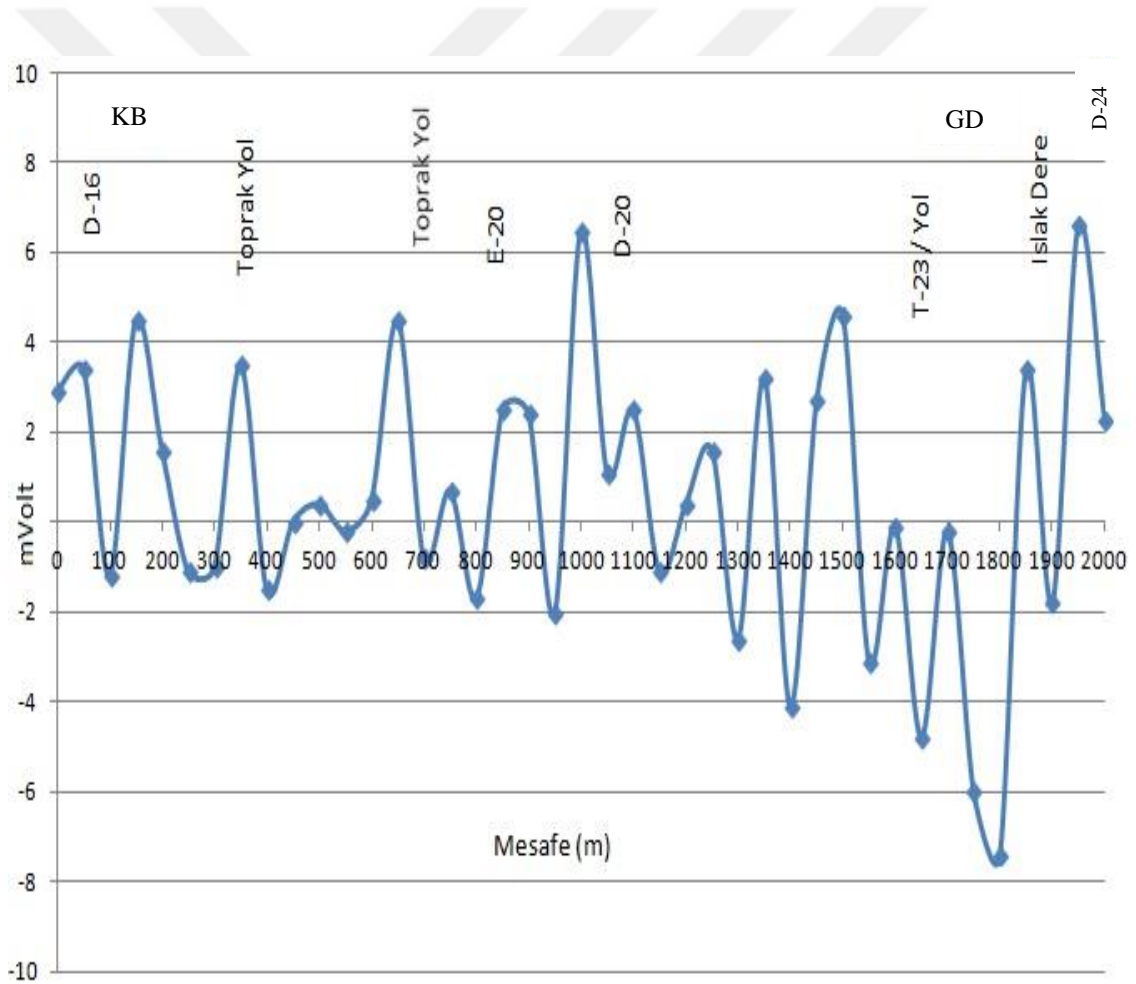


Şekil 5.14. D DES profili görüntür öz direnç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesitleri.

5.1.3. Doğal potansiyel (SP) ölçülerinin değerlendirilmeleri

Çalışma alanında, DES ölçü verilerinin değerlendirilmesiyle, sıcak su anomalisi olduğu düşünülen noktaların (D20-D24 no.lu DES noktaları arası) istikametinde sahanın çözümüne yönelik bir adet SP profili oluşturulmuştur. SP ölçülerinin nokta aralıkları 50 m olup, 40 noktada, toplam 2000 m doğal potansiyel (SP) ölçüsü alınmıştır.

SP profili grafiği incelendiğinde D-20 no.lu DES noktası ile D-24 no.lu DES noktası arasında yaklaşık ± 8 mV'a kadar çıkmaktadır (Şekil 5.15). Bu bölgede yerin altında bir hareketlilik vardır. SP grafiğindeki bu oynama yer altındaki su varlığını göstermektedir.



Şekil 5.15. SP profili SP grafiği.

5.2. Sondaj Çalışması

Çalışma alanında jeotermal enerji anlamında olumlu veri tespit edilen alana önerilen sondaj lokasyonuna en yakın noktada EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajı yapılmıştır. Kuyuya ait bilgiler Çizelge 5.2’de sondaj çalışmasından bir görünüm ise Şekil 5.16’da sunulmuştur.

Çizelge 5.2. EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajına ait bazı bilgiler.

Kuyu Yeri	Eskişehir ili, Odunpazarı ilçesi, Türkmentokat jeotermal sahası
Kuyu Adı	EMT-2016/2
Kule Tipi	MR-6000
Pafta Adı (1/25.000)	İ25 c1
Koordinatlar	X (yukarı) : 4394079 Y (sağa) : 0309952 Z (kot) : 951 m
Kamp Açılış Tarihi	02.02.2016
İlerleme Başlangıç Tarihi	29.02.2016
İlerleme Bitiş Tarihi	10.05.2016
Kamp Kapanış Tarihi	14.08.2016
Kuyu Derinliği	2200,00 m
Sonuç	Artezyen Üretim : Yok
	Kompresör Üretim : 30,0 l/sn.
	Pompa ile Üretim: 27,0-33,0 l/sn. (Kuyu dengeye ulaşmamıştır.)
	Akışkan Sıcaklığı : 52,0 °C (kompresör ile) 51,3 °C (pompa ile)
	Statik Seviye : 69,00 m
	Dinamik Seviye : 132,50 m (Kuyu dengeye ulaşmamıştır.)
	Kuyu Taban (2174,00 m) Sıcaklığı: 78,456 °C (asitleme sonrası ölçülen statik sıcaklık)



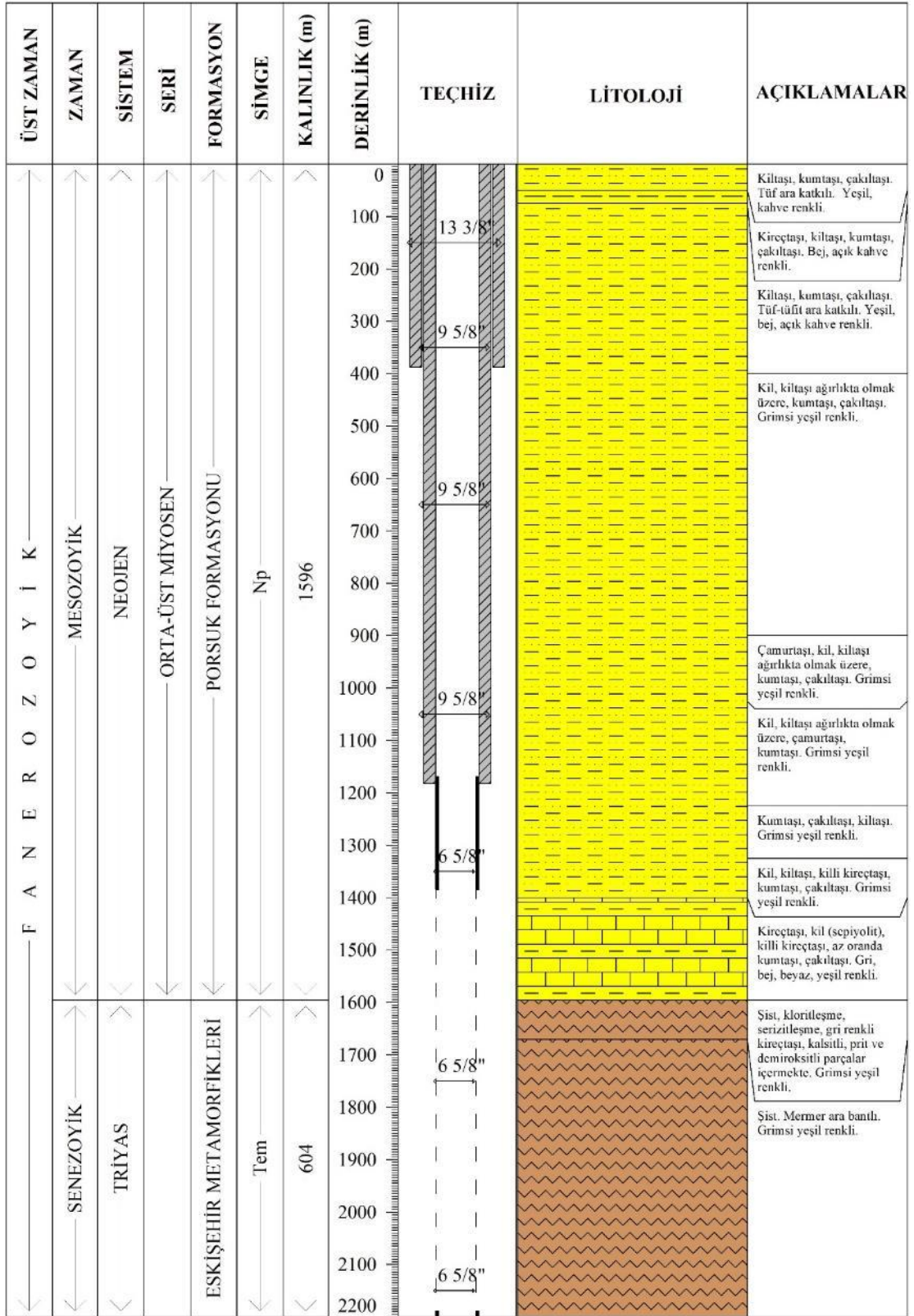
Şekil 5.16. EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajından bir görünüm.

5.2.1. Kuyu litolojisi

Taban derinliği 2200,00 m olan EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında 0,00-1596,00 m'ler arasında Porsuk Formasyonu'na, 1596,00-2200,00 m'ler arasında ise Eskişehir Metamorfikleri'ne ait birimler kesilmiştir. EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajına ait kuyu logu Şekil 5.17 de verilmiştir.

5.2.2. Çamur kaçak zonları

EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondaj kuyusunda, 1426,00 m'den itibaren kısmi çamur kaçakları yaşanmıştır. 1426,00-1429,00 m'ler arası 7,05 m³ çamur kaçağı yaşanan kuyuda, 1493,00 m'den 2200,00 m'ye kadar kısmi çamur kaçaklı ilerleme yapılmıştır. Kuyuda toplam 417,0 m³ çamur kaçağı tespit edilmiştir. Sondaj çamuru kaçak seviyeleri ve kaçak miktarları aşağıda verilmiştir (Çizelge 5.3). Kaçak zonlarının olduğu seviyeler muhtemel rezervuar yerleri olarak düşünülebilir.



Şekil 5.17. EMT-2016/2 jeotermal sondajına ait kuyu logu.

Çizelge 5.3. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusunda tespit edilen çamur kaçak seviyeleri ve kaçak miktarları.

KAÇAK ZONU (m)	KAÇAK MİKTARI (m³)
1426,00-1429,00	7,5
1493,00-2200,00	409,5
TOPLAM	417,0

5.2.3. Çamur çıkış sıcaklıkları

EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında ilerleme sırasında kuyu içerisinde termal gradyandaki değişimleri ve olası rezervuar zonlarını belirlemek amacıyla çamur giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüş, ölçülen çamur çıkış sıcaklıkları onar metre aralıklarla Çizelge 5.4’de verilmiştir. Çamur yoğunluğunda ve viskozitesinde artış olduğu zamanlarda çamura su katıldığından çamur sıcaklıkları dalgalanma göstermektedir. 1380-1470 m seviyeleri arasında çamur sıcaklığında 1,7 °C artış gözlenmiştir. 1493 m den sonra kaçaklar başlamıştır. Bu sıcaklık artışı rezervuara yaklaştığımızı göstermektedir.

5.2.4. Kuyu içi jeofizik log ölçümleri

EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında kuyu taban derinliği 2200,00 m’de iken başta termik (3 kez) olmak üzere, gamma ray, nötron, SP ve rezistivite log ölçüleri alınmıştır.

Kuyuda ilk olarak çamur sirkülasyonunun kesilmesinden 14 saat sonra (11.05.2016) Termik-1 ölçüsü alınmıştır. Ölçüye göre, kuyu tabanında (2198,00 m) beklemesiz 64,0 °C, 5 dk. beklemeli 64,8 °C, 10 dk. beklemeli 65,0 °C ve 15 dk. beklemeli 65,1 °C sıcaklıklar ölçülmüştür. Alınan bu ilk termik ölçüden sonra ertesi gün (12.05.2016) çamur sirkülasyonunun kesilmesinden 38 saat sonra Termik-2 ölçüsü alınmıştır. Ölçüye göre, kuyu tabanında (2198,00 m) beklemesiz 68,2 °C, 5 dk. beklemeli 68,9 °C, 10 dk. beklemeli 69,0 °C ve 15 dk. beklemeli 69,1 °C sıcaklıklar ölçülmüştür. Son olarak ise 13.05.2015 tarihinde çamur sirkülasyonunun kesilmesinden 62 saat sonra Termik-3 ölçüsü alınmıştır. Ölçüye göre, kuyu tabanında (2198,00 m) beklemesiz 68,8 °C, 5 dk. beklemeli 70,1 °C, 10 dk. beklemeli 70,4 °C ve 15 dk. beklemeli 70,5 °C sıcaklıklar ölçülmüştür. Kuyuda alınan jeofizik log ölçülerine göre muhtemel rezervuar zonlarının 1420,00-1440,00 m’ler, 1453,00-1458,00 m’ler, 1505,00-1520,00 m’ler, 1581,00-1600,00 m’ler, 1620,00-1640,00 m’ler, 1748,00-1754,00 m’ler, 1788,00-1810,00 m’ler, ve 1975,00-1990,00 m’ler arası olabileceği görülmüştür. Alınan jeofizik kuyu log ölçüleri, kuyu takip bilgileri ile birlikte değerlendirildikten sonra, bu seviyede ilerlemenin bitirilerek kuyunun teçhiz edilmesine karar verilmiştir.

Çizelge 5.4. EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajına ait çamur çıkış sıcaklıkları.

DERİNLİK (m)	SICAKLIK (°C)	DERİNLİK (m)	SICAKLIK (°C)	DERİNLİK (m)	SICAKLIK (°C)	DERİNLİK (m)	SICAKLIK (°C)	DERİNLİK (m)	SICAKLIK (°C)
10	-	450	23,9	890	35,3	1330	37,6	1770	36,4
20	17,7	460	25,9	900	35,5	1340	38,0	1780	35,2
30	17,2	470	26,5	910	30,6	1350	38,6	1790	-
40	15,7	480	29,0	920	30,7	1360	38,7	1800	35,7
50	17,0	490	30,1	930	31,4	1370	-	1810	36,9
60	18,8	500	31,0	940	29,5	1380	37,8	1820	34,9
70	18,8	510	30,9	950	32,3	1390	38,3	1830	36,5
80	18,7	520	29,2	960	33,5	1400	39,0	1840	36,8
90	19,4	530	29,5	970	33,3	1410	-	1850	-
100	20,1	540	30,1	980	33,3	1420	-	1860	38,8
110	21,1	550	31,0	990	33,5	1430	39,3	1870	40,1
120	22,0	560	31,9	1000	34,3	1440	38,4	1880	40,1
130	23,6	570	32,6	1010	36,5	1450	39,3	1890	39,0
140	22,7	580	31,9	1020	36,3	1460	39,5	1900	40,0
150	24,0	590	31,6	1030	36,0	1470	39,5	1910	37,2
160	22,7	600	31,5	1040	36,3	1480	38,5	1920	39,4
170	22,2	610	32,6	1050	36,1	1490	38,7	1930	-
180	25,6	620	32,9	1060	36,2	1500	-	1940	39,7
190	26,1	630	33,5	1070	36,6	1510	-	1950	40,8
200	26,7	640	33,6	1080	37,6	1520	-	1960	40,8
210	25,7	650	33,3	1090	38,5	1530	37,8	1970	42,5
220	25,5	660	33,5	1100	38,8	1540	38,3	1980	42,0
230	22,0	670	34,5	1110	39,1	1550	38,7	1990	42,2
240	22,7	680	32,6	1120	39,0	1560	37,6	2000	42,7
250	23,4	690	34,5	1130	38,5	1570	37,4	2010	42,2
260	24,1	700	35,2	1140	40,0	1580	36,4	2020	41,7
270	25,3	710	34,9	1150	39,3	1590	-	2030	43,0
280	23,7	720	35,2	1160	40,1	1600	35,8	2040	42,8
290	24,4	730	35,8	1170	39,3	1610	37,0	2050	43,1
300	25,6	740	35,7	1180	40,4	1620	38,1	2060	44,0
310	26,5	750	33,6	1190	41,4	1630	-	2070	44,2
320	26,2	760	34,8	1200	33,6	1640	-	2080	44,5
330	26,1	770	35,0	1210	-	1650	33,3	2090	43,8
340	26,7	780	34,9	1220	27,1	1660	34,7	2100	44,7
350	26,7	790	35,3	1230	28,3	1670	34,0	2110	45,9
360	27,3	800	35,1	1240	31,0	1680	34,6	2120	46,4
370	26,7	810	35,1	1250	31,8	1690	-	2130	46,6
380	26,3	820	35,8	1260	33,0	1700	36,2	2140	-
390	23,9	830	35,7	1270	33,8	1710	36,7	2150	-
400	19,7	840	34,6	1280	-	1720	35,7	2160	47,2
410	18,9	850	33,4	1290	-	1730	33,3	2170	47,9
420	20,6	860	34,5	1300	35,8	1740	34,0	2180	-
430	22,5	870	35,0	1310	36,1	1750	35,4	2190	-
440	23,8	880	35,1	1320	37,0	1760	36,8	2200	47,6

5.2.5. Kuyu donanımı

EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında kuyu içi jeofizik log ölçüleri alım işlemlerinden sonra kuyu takip bilgileri de kullanılarak kuyu teçhizi yapılmıştır (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.5. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu çap ve donanım bilgileri.

SEVİYE	KUYU ÇAPI	AÇIKLAMA
0,00-382,70 m	17 1/2 "	-
382,70-1194,00 m	12 1/4"	-
1194,00-2200,00 m	8 1/2"	-
SEVİYE	DONANIM ÇAPI	AÇIKLAMA
0,00-378,40 m	13 3/8"	Muhafaza borusu (casing). Arkası çimentolu.
0,00-1182,25 m	9 5/8"	Muhafaza borusu. Arkası çimentolu.
1168,42-1384,53 m	6 5/8"	Kapalı muhafaza borusu
1384,53-2189,00 m	6 5/8"	Filtreli muhafaza borusu
2189,00-2198,00 m	6 5/8"	Kapalı muhafaza borusu

5.2.6. Kuyu geliştirme ve üretim çalışmaları ile kuyu tamamlama testleri

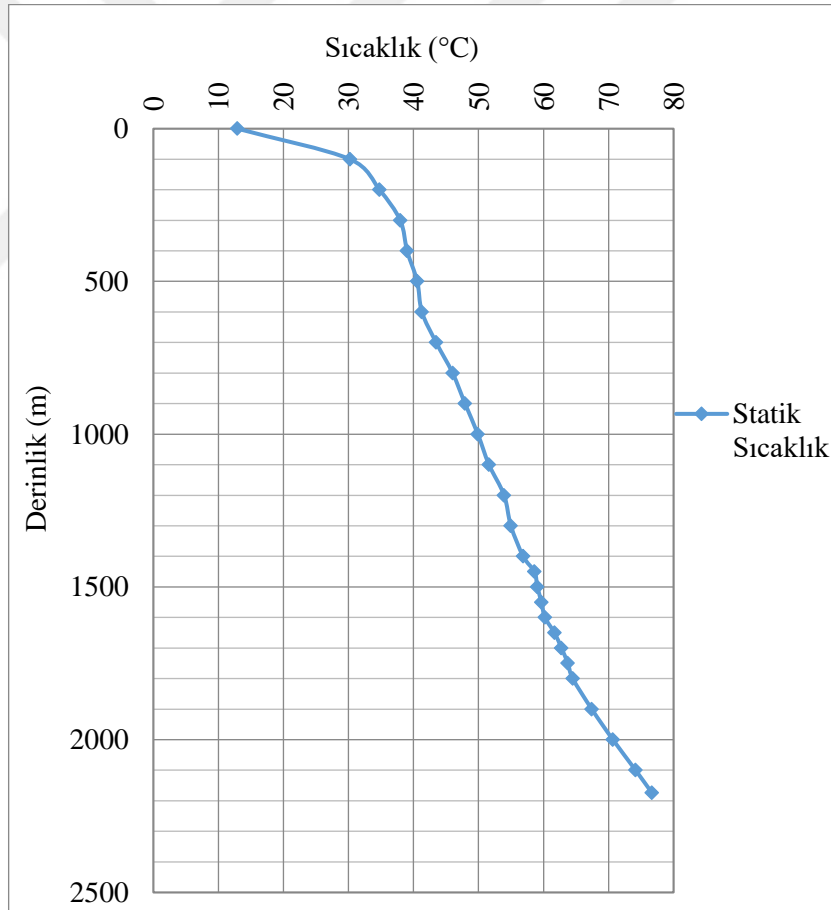
EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında kuyu teçhiz edildikten sonra kuyu geliştirme ve üretim çalışmalarına geçilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında kuyu temizliği ve kompresör ile üretim çalışması yapılarak kuyu testlere hazır hale getirilmiştir. Kuyu testleri kapsamında, 23.05.2016 tarihinde başlanmak suretiyle sırasıyla 1 adet statik sıcaklık ve 1 adet statik basınç ölçüsü alınmış, 1 adet su kaybı (water loss) ve 1 adet çok debili enjeksiyon testi yapılmıştır. 28.05.2016 tarihinde kuyuya asit basılmıştır. Asitleme sonrasında ise 02.06.2016 tarihinde başlanmak suretiyle sırasıyla 1 adet statik sıcaklık ve 1 adet statik basınç ölçüsü alınmış, 1 adet de su kaybı testi yapılmıştır. Kuyuda son olarak üretim testleri gerçekleştirilerek testler tamamlanmıştır.

Asitleme öncesi statik sıcaklık ve statik basınç ölçüleri

EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında 23.05.2016 tarihinde, kuyu başı ana vana seviyesi sıfır alınarak, V6992 basınç ve V7245 sıcaklık ölçü elementleri kuyu tabanına doğru değişik istasyonlarda bekletilmek suretiyle ölçüler tamamlanmıştır. Ölçü elementi 2176,00 metrede tabana oturmuş olup element 2 174,00 metreye çekilerek ölçüler bu seviyeden alınmış ve tamamlanmıştır. Statik sıcaklık ve statik basınç ölçülerine ait değerler Çizelge 5.6 ve 5.7'de, ilgili grafikler ise Şekil 5.17 ve 5.18'de verilmiştir. En yüksek statik sıcaklık değeri 2174,00 m derinlikte 76,676 °C, statik basınç ise yine 2174,00 m'de 208,445 bar olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.6. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi statik sıcaklık ölçüsü değerleri.

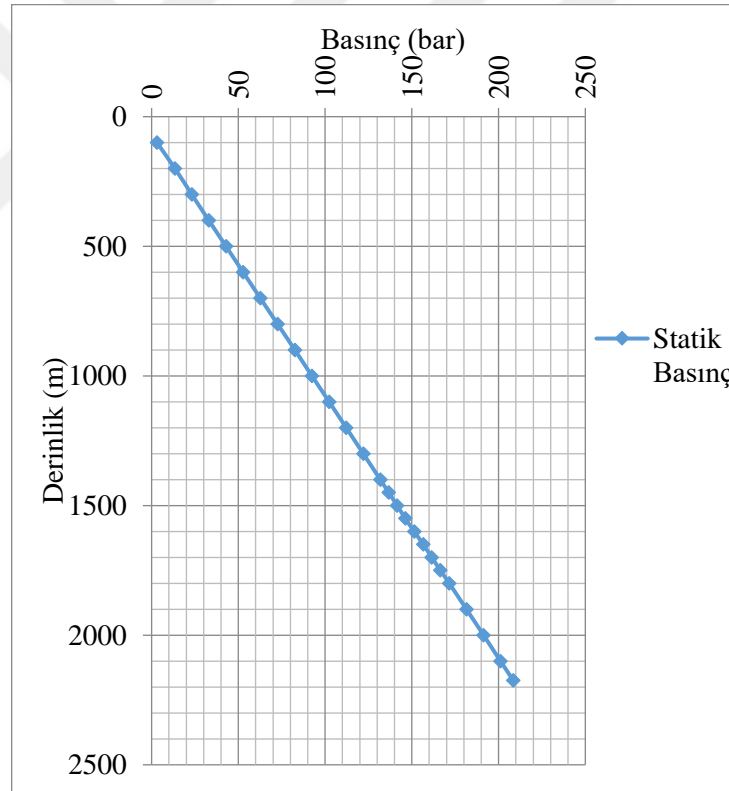
Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
0	12,89	900	47,93	1600	60,22
100	30,23	1000	49,90	1650	61,68
200	34,77	1100	51,61	1700	62,75
300	37,97	1200	53,94	1750	63,74
400	39,02	1300	54,98	1800	64,50
500	40,58	1400	56,87	1900	67,42
600	41,29	1450	58,59	2000	70,67
700	43,50	1500	59,06	2100	74,16
800	46,02	1550	59,68	2174	76,68



Şekil 5.18. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi statik sıcaklık ölçüsü grafiği.

Çizelge 5.7. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi statik basınç ölçüsü değerleri.

Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)
0	-	900	82,59	1600	151,37
100	3,04	1000	92,41	1650	156,58
200	13,46	1100	102,38	1700	161,48
300	23,14	1200	112,192	1750	166,46
400	32,96	1300	122,01	1800	171,59
500	42,86	1400	131,82	1900	181,47
600	52,76	1450	136,65	2000	191,36
700	62,65	1500	141,56	2100	201,09
800	72,62	1550	146,25	2174	208,45



Şekil 5.19. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi statik basınç ölçüsü grafiği.

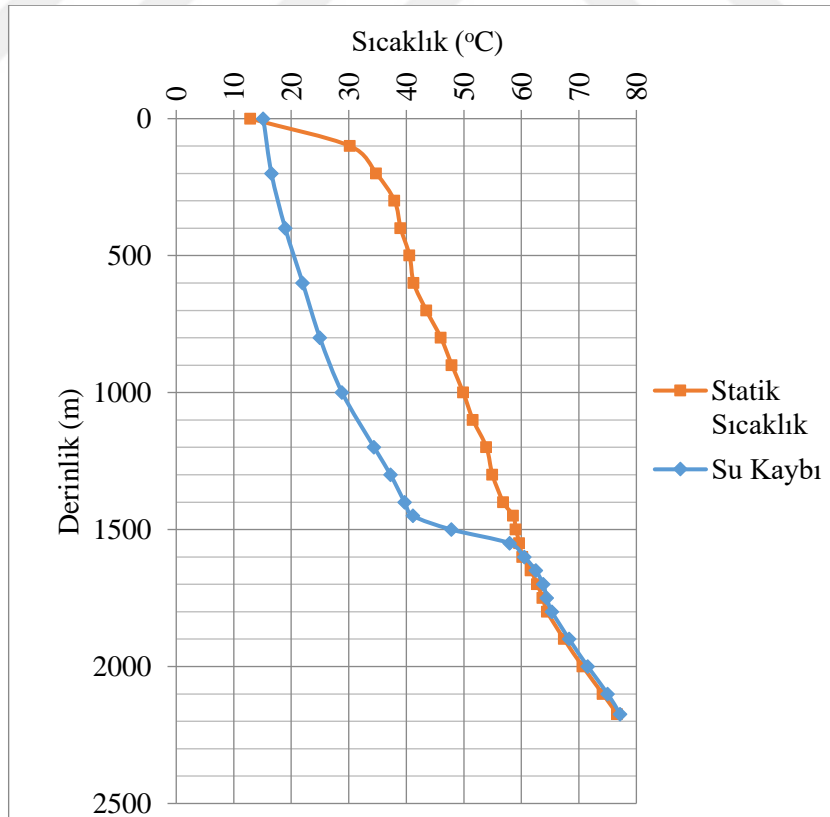
Asitleme öncesi su kaybı testi

EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında 24.05.2016 tarihinde kuyuya ortalama 8,2 l/sn. debide, 59 m³ su basılarak kuyu soğutulmuş, kuyu başı basıncının ölçümün başladığı anda 25 bar'ın üzerine çıkması ve yükselmeye devam etmesi nedeniyle debi 3,5 l/sn.'ye düşürülerek su

basılmaya devam edilirken, ana vana seviyesi sıfır alınarak sıcaklık elementi kuyuya indirilerek değişik istasyonlarda sıcaklık ölçüleri alınmıştır. Kuyuya toplam 99 m³ su basılmıştır. Testin sonunda kuyu başı basıncı 27 bar olarak ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık değerleri Çizelge 5.8’de, bu değerlere ait çizilen grafik ise Şekil 5.19’da verilmiştir. Su kaybı testine göre kuyunun ana rezervuar seviyesinin 1450,00-1550,00 m’ler civarı olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 5.8. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi su kaybı testi sıcaklık ölçüsü değerleri.

Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
0	15,14	1300	37,26	1700	63,81
200	16,56	1400	39,71	1750	64,42
400	18,95	1450	41,18	1800	65,32
600	22,00	1500	47,85	1900	68,31
800	24,98	1550	57,97	2000	71,55
1000	28,84	1600	60,53	2100	75,03
1200	34,41	1650	62,52	2174	77,18

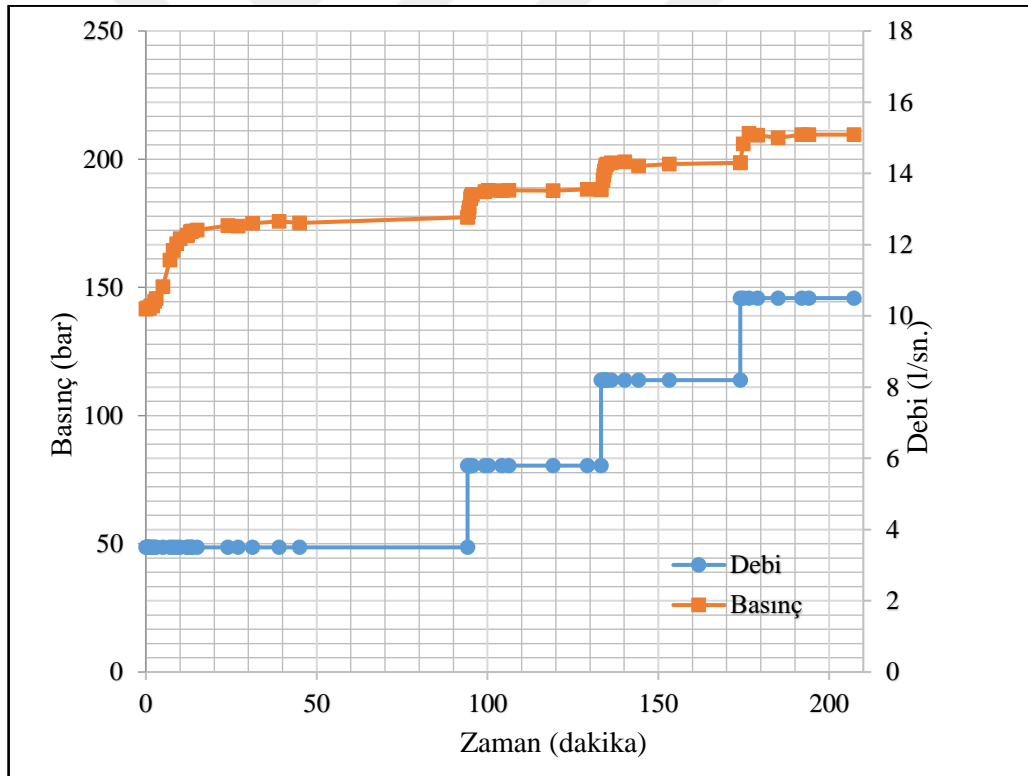


Şekil 5.20. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi su kaybı testi sıcaklık ölçüsü ve statik sıcaklık ölçüsü grafiği.

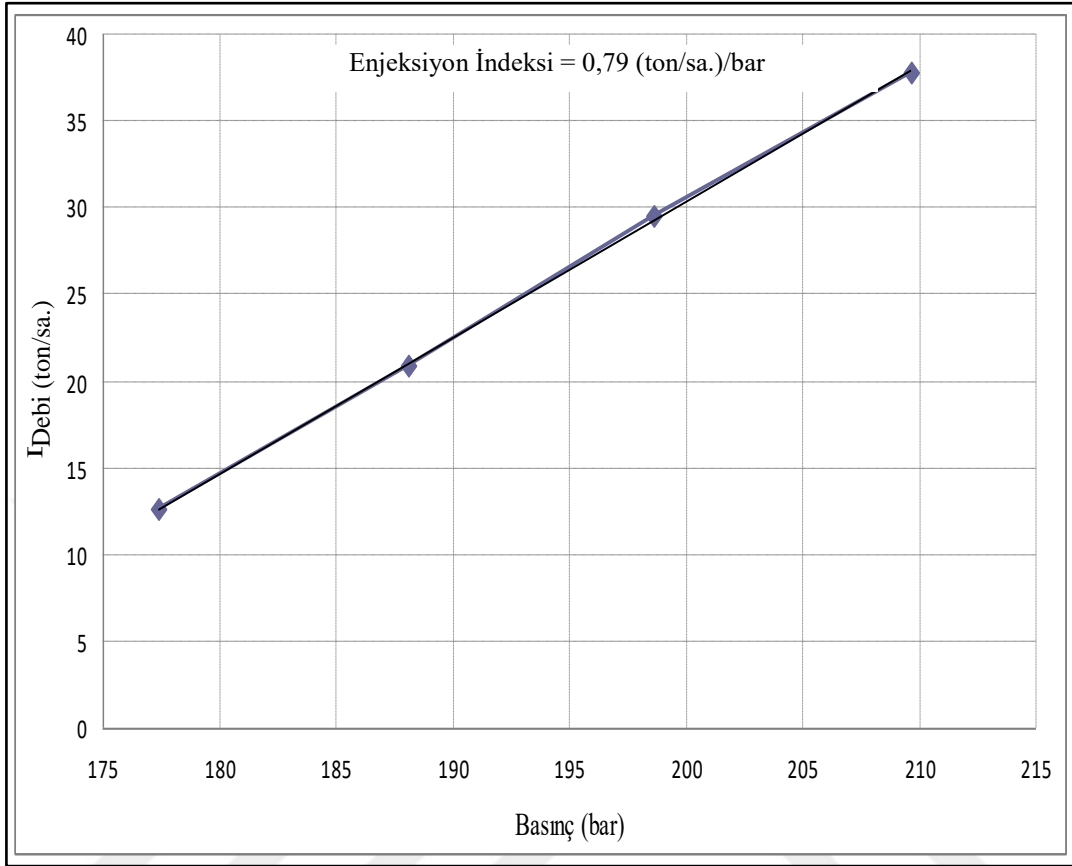
Asitleme öncesi çok debili enjeksiyon testi

25.05.2016 tarihinde ana vana seviyesi sıfır alınarak basınç elementi 1500 metreye indirilmiş ve dört farklı debide (3,5 l/sn., 5,8 l/sn., 8,2 l/sn. 10,5 l/sn.) kuyuya su basılarak çok debili enjeksiyon testi yapılmıştır. Kuyuya toplam 81,34 m³ su basılmıştır. Kuyu başı manometresinde su basmaya başlamadan önce basınç gözlenmemiştir. Testin sonunda kuyu başı basıncı 64 bar iken ölçü tamamlanmıştır. Ölçü sonucu EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusunun enjeksiyon indeksi 0,79 (ton/sa.)/bar olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.20, 5.21). Bu değer kuyuya 1 bar basınç altında 1 saatte 0,79 ton su basılabileceğini gösterir. Enjeksiyon indeksi düşük olduğundan, bu kuyunun reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılması uygun değildir.

Yapılan kuyu testleri sonucunda EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında asitleme yapılmasına karar vermiştir.



Şekil 5.21. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi çok debili enjeksiyon testi ölçü grafiği.



Şekil 5.22. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme öncesi çok debili enjeksiyon testi enjeksiyon indeksi grafiği.

Asitleme uygulaması

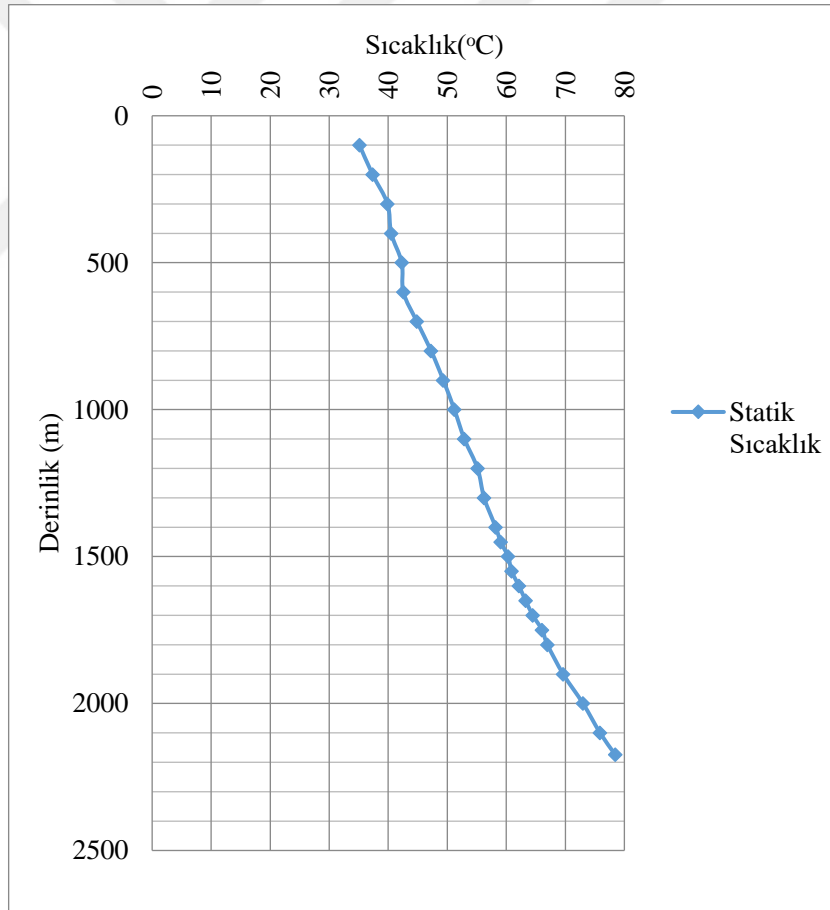
28.05.2016 tarihinde sondaj ekibi tarafından 20 ton HCl asit kuyuya basılmış ve sonrasında kompresör ile aralıklı olarak toplam 11,5 saat üretim yapılarak kuyu temizlenmiştir.

Asitleme sonrası statik sıcaklık ve statik basınç ölçüleri

EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında 02.06.2016 tarihinde, kuyu başı ana vana seviyesi sıfır alınarak, V6992 basınç ve V7245 sıcaklık ölçü elementleri kuyu tabanına doğru değişik istasyonlarda bekletilmek suretiyle ölçüler tamamlanmıştır. Ölçü elementi 2176,00 metrede tabana oturmuş olup element 2174,00 metreye çekilerek ölçüler be seviyeden alınmış ve tamamlanmıştır. Statik sıcaklık ve statik basınç ölçülerine ait değerler Çizelge 10 ve 11’da, ilgili grafikler ise Şekil 5.22 ve 5.23’ de verilmiştir. En yüksek statik sıcaklık değeri 2174,00 m derinlikte 78,456 °C, statik basınç ise yine 2174,00 m’de 214,17 bar olarak ölçülmüştür.

Çizelge 5.9. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası statik sıcaklık ölçüsü değerleri.

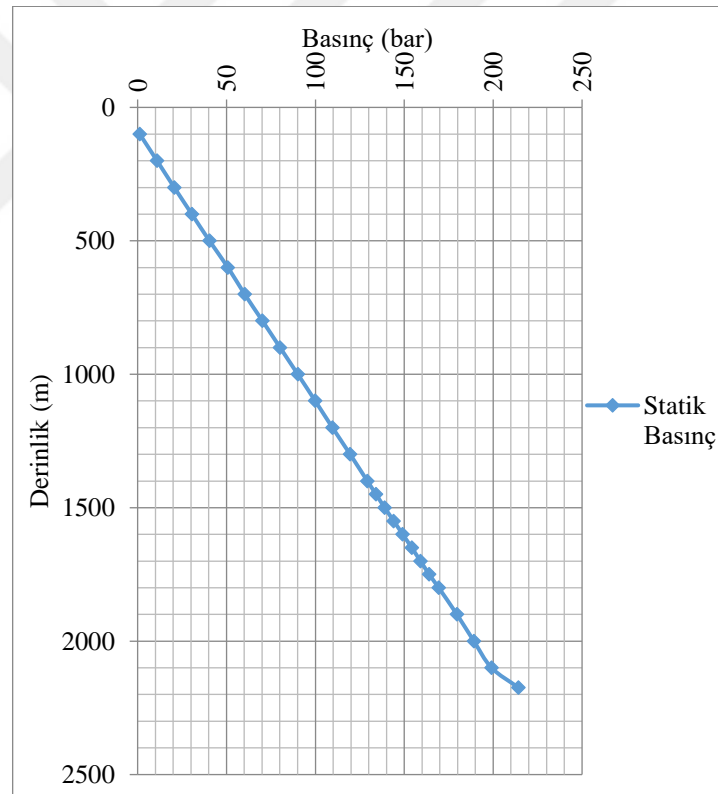
Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
100	35,13	1000	51,21	1650	63,28
200	37,35	1100	52,90	1700	64,50
300	39,89	1200	55,14	1750	66,08
400	40,49	1300	56,24	1800	66,97
500	42,30	1400	58,20	1900	69,64
600	42,55	1450	59,06	2000	73,00
700	44,84	1500	60,30	2100	75,89
800	47,27	1550	60,91	2174	78,46
900	49,33	1600	62,14		



Şekil 5.23. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası statik sıcaklık ölçüsü grafiği.

Çizelge 5.10. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası statik basınç ölçüsü değerleri.

Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)	Derinlik (m)	Basınç (bar)
100	1,18	1000	90,10	1650	154,20
200	10,93	1100	99,92	1700	159,10
300	20,61	1200	109,59	1750	164,01
400	30,51	1300	119,55	1800	169,36
500	40,40	1400	129,22	1900	179,62
600	50,82	1450	134,13	2000	189,13
700	60,20	1500	138,96	2100	199,08
800	70,24	1550	144,09	2174	214,17
900	80,14	1600	149,14		



Şekil 5.24. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası statik basınç ölçüsü grafiği.

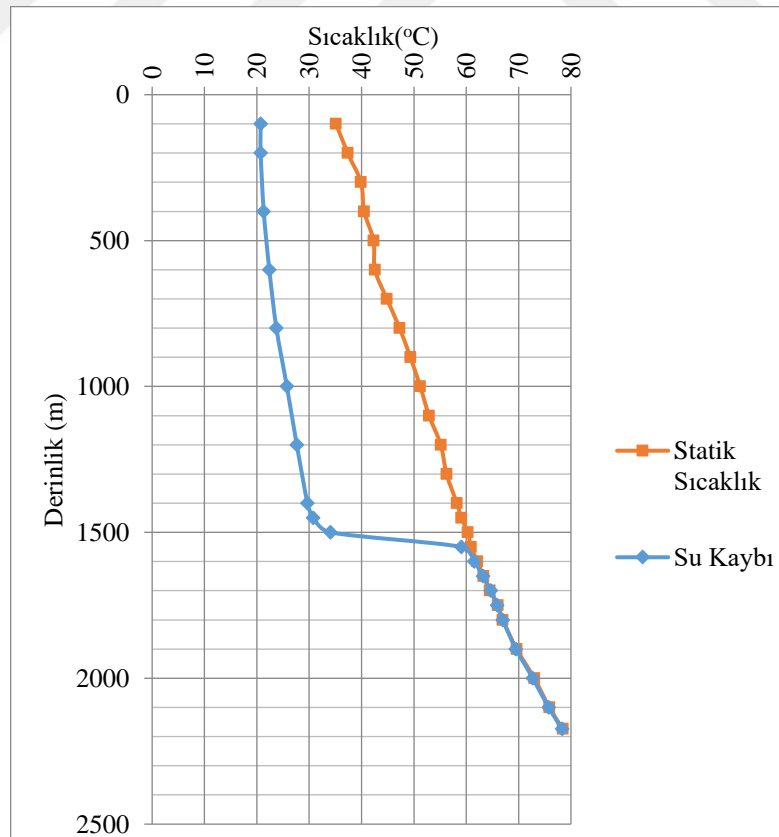
Asitleme Sonrası Su Kaybı Testi

EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında asitleme sonrasında 03.06.2016 tarihinde kuyuya ortalama 12,25 l/sn. debide, 106 m³ su basılarak kuyu soğutulmuş, kuyu başı basıncı gözlenmemiştir. Ana vana seviyesi sıfır alınarak sıcaklık elementi kuyuya indirilerek değişik

istasyonlarda sıcaklık ölçüleri alınmıştır. Testin sonunda kuyu başı basıncı sıfır olarak gözlemlenmiştir. Ölçülen sıcaklık değerleri Çizelge 5.12’de, bu değerlere ait çizilen grafik ise Şekil 5.24’de verilmiştir. Asitleme sonrası su kaybı testine göre kuyunun ana rezervuar seviyesinde değişme olmamış, rezervuar seviyesinin 1450,00-1550,00 m’ler civarı olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.11. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası su kaybı testi sıcaklık ölçüsü değerleri.

Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
100	20,73	1400	29,68	1750	65,93
200	20,73	1450	30,78	1800	66,97
400	21,31	1500	34,05	1900	69,49
600	22,38	1550	59,06	2000	72,71
800	23,74	1600	61,53	2100	75,75
1000	25,74	1650	63,21	2174	78,31
1200	27,63	1700	64,72		



Şekil 5.25. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusu, asitleme sonrası su kaybı testi sıcaklık ölçüsü ve statik sıcaklık ölçüsü grafiği.

Asitleme sonrası çok debili enjeksiyon testi

03.06.2016 tarihinde su kaybı testinde 155 m³ su basımını takiben kuyu başında basınç gözlenmemesinden dolayı test bittikten sonra, maksimum stroke ile 35 l/sn. ile 7 dakikada 15,4 m³ su kuyuya basılmış, kuyu başında yine basınç gözlenmemiştir. Bu deneme ile çok debili enjeksiyon testinde kuyu başında basınç oluşmayacağı görülmüştür. Bu nedenle çok debili enjeksiyon testi yapılmamıştır. Asitleme öncesi çok debili enjeksiyon testinde enjeksiyon indeksi 0,79 (ton/sa.)/bar olarak hesaplanmıştı. Asitleme sonrasında kuyu başında basınç oluşmamış olup, kuyuya basılan tüm su kaçak ile kaybolmuştur. Bu nedenle asitleme sonrası kuyunun reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Üretim çalışmaları

EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusunda, asitleme uygulaması öncesi gerçekleştirilen testler sırasında yaklaşık 12 l/sn. debi ölçülmüştür. Artezyenik üretim olmayan EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusunda asitleme uygulaması sonrası kompresör ve pompa kullanılarak kuyu geliştirme ve üretim çalışmaları yapılmıştır. Asitleme operasyonu sonrasında 255,00 m derinlikten yapılan kompresör ile üretim çalışmasında 30,0 l/sn. debide, 52,0 °C sıcaklığa sahip akışkan elde edilmiştir.

Kompresör ile kuyu geliştirme ve üretim çalışması yapıldıktan sonra 180 m derinliğe dalgıç pompa indirilmiş olup yapılan üretim çalışmasında 27,0-33,0 l/sn. debide, 51,3 °C sıcaklığa sahip akışkan elde edilmiştir. Pompa ile üretim çalışmasında atık problemi nedeniyle uzun süreli üretim yapılamamış, kuyu denge durumuna ulaşmadan çalışmalar sonlandırılmıştır.

Jeotermal model ve jeotermal potansiyel

Jeotermal bir sistem genel olarak; geçirimsizlik (iletimsizlik) ve depolama özelliğine sahip bir rezervuar (hazne kayaç), bu rezervuara enerji transfer eden bir ısı kaynağı (ısıtıcı), bu enerjiyi taşıyan akışkan, akışkanın iletimini sağlayan akım kanalları (fay, kırık, çatlaklar) ve sistemin ısını koruyup sisteme basınç kazandıran örtü kayaçtan oluşur.

Jeotermal sistemde akışkan, ısının ya da enerjinin taşınmasını sağlamaktadır. Yer altına süzülen meteorik kökenli sular, derin yer altı suyu dolaşımı süresince magmatik sokulumların ve/veya yüksek jeotermal gradyanın etkisiyle ısınır. Süreç sonunda oluşan jeotermal akışkan (mineralli su + buhar + gaz) fay, kırık, çatlak türü tektonik süreksizlikler yoluyla yeryüzüne ulaşarak kaynaklar şeklinde boşalır veya yapılan sondaj kuyuları aracılığıyla yapay yoldan üretilir.

Çalışma sahasında, ısı kaynağı olarak yorumlanabilecek Üst Kretase yaşlı Yörükkaracaören Granodiyoriti yüzeylenmektedir. Birim çalışma sahasının kuzeyinde küçük bir alanda mostra vermiştir. Jeotermal sistemin ısı kaynağı olarak, U-Th serisi elementlerce zengin olduğu düşünülen granit ve granodiyoritlerden kaynaklı radyojenik ısı olarak düşünülmektedir. Bu durum çalışma alanı için de kabul edilebilir bir durum olarak görülmektedir. Ayrıca bölgedeki ana tektonik yapı olan Eskişehir Fay Zonu, katettiği mesafeler boyunca ortaya çıkan sıcak su çıkışlarından dolayı ısıyı taşıyan-transfer eden bir fay özelliğindedir. Dolayısıyla buradaki jeotermal sistemin ısıtıcı unsurlarından birinin de bu tektonizmanın etkisi olacağı görülmektedir (Taşkıran vd., 2013). Çalışma sahasında Senozoyik yaşlı Porsuk Formasyonu'na ait Konglomera-Kumtaşı Üyesi ve Tüf-Tüfit Üyesi birimleri örtü özelliğinde iken Kireçtaşı Üyesi ve Mesozoyik yaşlı birimler rezervuar özelliği gösterir. Tektonik dokanaklardan da jeotermal akışkan elde edilebilir. Isı kaynağı olarak yukarıda da ifade edildiği şekli ile Yörükkaracaören Granodiyoriti kaynaklı radyoaktif ışınma düşünülmektedir. Çalışma sahası düşük ve orta entalpili bir jeotermal saha sınıfına girmektedir. Çalışma alanı için oluşturulan jeotermal model Şekil 5.25'de verilmiştir. EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajında 0-1.596 m'ler arasında Porsuk Formasyonu'na, 1596-2200 m'ler arasında ise Eskişehir Metamorfikleri'ne ait birimler kesilmiştir. 1400-1596 m'ler arası Porsuk Formasyonu'na ait kireçtaşı, kil (sepiyolit), killi kireçtaşı, az oranda kumtaşı, çakıltaşı birimleri kesilmiştir. Bu birim rezervuar özelliği göstermekte olup EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajından üretilen akışkan bu birim içerisinde gelmektedir (Purtul vd., 2017).

Satman (2007) kapasite hesabını, maksimum akış debisi cinsinden aşağıdaki formülle ifade etmektedir:

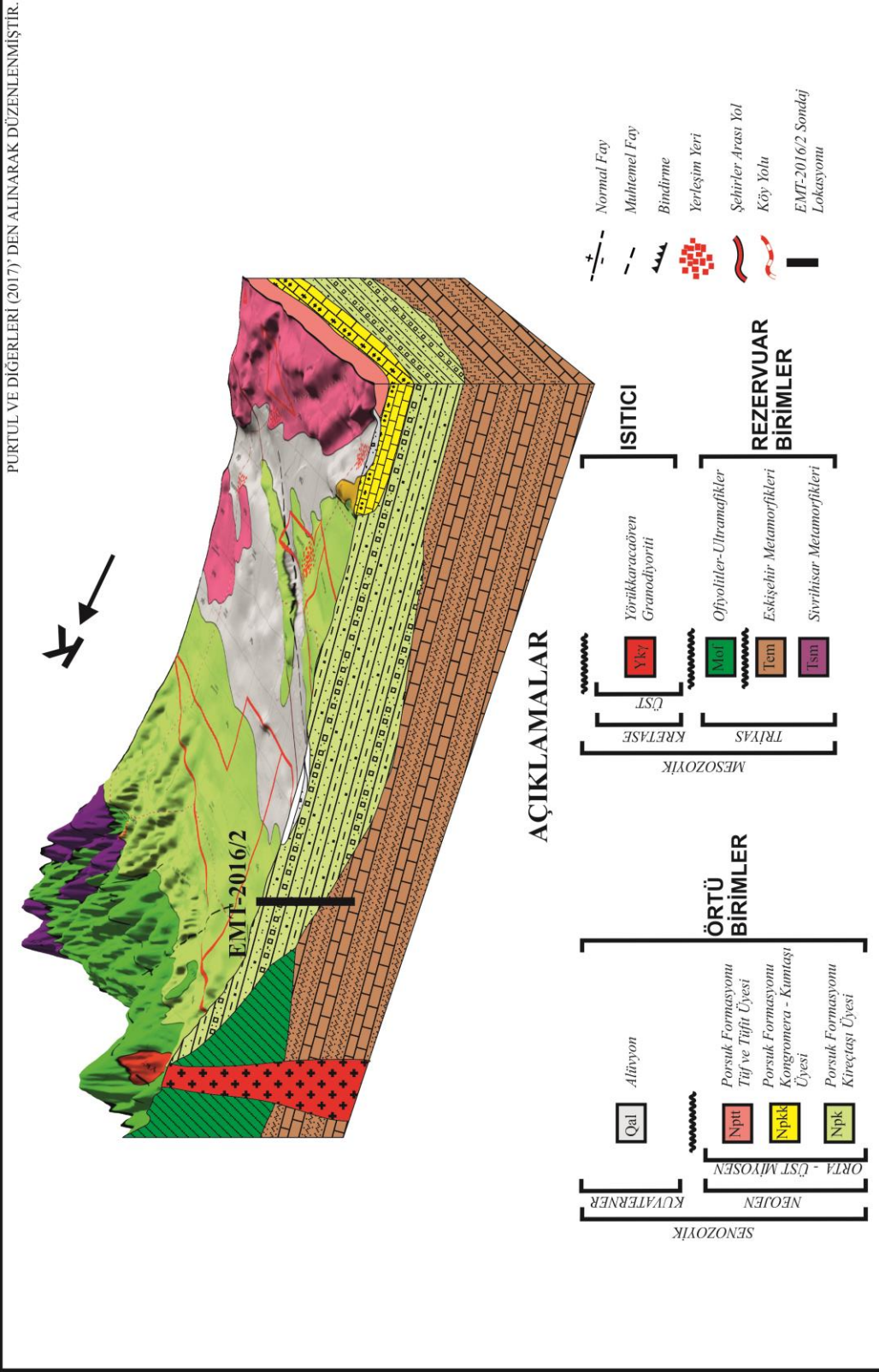
$$\text{Kapasite} = W_{\max} \times \Delta T \times 0.004184 \quad (5.1)$$

Bu denklemden kapasite (Mw_t) termal gücü, W_{\max} maksimum akış debisini, ΔT giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı, 0,004184 joule kat sayısını temsil etmektedir. Bu denklem EMT-2016/2 kuyusu için uygulanacak olursa;

$$W_{\max} = 30 \text{ l/sn.} \quad \Delta T = \text{Üretim sıcaklığı} - \text{Atım sıcaklığı} = 51,3 - 25 = 26,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Kapasite} = MW_t = 30 \times 26,3 \times 0,004184 = 3,3 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

EMT-2016/2 jeotermal kuyusu açılarak 3,3 Mwt ısı enerjisi potansiyeli görünür hale gelmiş olup, bu bölge için ilk araştırma sonucudur. Çalışma sahasında yapılacak ilave sondajlarla bölgenin jeotermal potansiyelini daha detaylı bir şekilde ortaya koymak mümkündür.



Şekil 5.26. Çalışma alanı jeotermal modeli (ölçeksiz).

6. HİDROJEOKİMYA

6.1. Fiziksel Parametreler

Çalışma kapsamında 55 adet sıcak ve soğuk su örneği üzerinde yerinde ölçüm yapılmıştır (Çizelge 6.1). Bu örneklerden 10 tanesinden kimyasal analiz amaçlı su numunesi alınmış ve analizleri yaptırılarak suların kökensel ilişkisi araştırılmıştır. Kimyasal analizleri yapılan örnekler ES-1, ES-2, ES-4, ES-6, ES-12, ES-22, ES-39, ES-45, ES-54 ve ES-55 no.lu örneklerdir. Ayrıca sondaj kuyusundan elde edilen EMT-2016/2 örneği üzerinde de kimyasal analizler yapılmıştır.

Örnekleme öncesinde fiziksel pH, sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC) ve tuzluluk ölçümleri yapılmıştır. Örnekler, katyonlar ve anyonlar için 250 ml hacimdeki polietilen kaplara alınmıştır. Katyon örnekleri 0.45µm teflon filtre ile filtrelenerek pH> 2 olacak şekilde HNO₃ ilavesiyle korumaya alınmıştır. Anyonlar ise sadece filtrelenerek alınmıştır.

Kimyasal analizler MTA Genel Müdürlüğü laboratuvarında yapılmıştır (Çizelge 6.2). Major iyonlar iyon kromatografi yöntemi ile, alkalinite (HCO₃, CO₃) ise titrimetrik yöntemle gerçekleştirilmiştir. Major iyonların meq/l derişimlerine göre hesaplanan analitik hataları ES-6 (%10) ve ES-55 (%9) dışında kalan örneklerde %5 lik kabul sınırının altındadır. Appelo ve Postma (2005) tarafından önerilen EC ve toplam iyonik derişimler (meq/L) arasındaki ilişki dikkate alındığında analiz hatalarının nedeni incelenmiştir.

$$\Sigma \text{anyonlar} = \Sigma \text{katyonlar (meq/L)} = \text{EC}/100 (\mu\text{S/cm}) \quad (6.1)$$

ES-6 noktasında toplam anyon miktarının 4.82 meq/L (beklenen EC= 482 µS/cm), toplan katyon miktarının 3.95 meq/L (beklenen EC=395 µS/cm) ve ölçülen EC değerinin 318 µS/cm olması nedeniyle analitik hata yüzdesin %10 olarak gerçekleşmesinde anyon analizlerinde, muhtemelen alkalinite tayininden kaynaklı bir hata söz konusudur. ES-55 noktasına ise aynı yöntem ile analitik hatanın katyonlar içinde olması gerektiği belirlenmiştir. Ancak hatanın hangi katyondan kaynaklı olabileceği konusunda değerlendirme yapma imkânı bulunmamaktadır.

Örnekleme yapılan soğuk su noktalarının sıcaklıkları 11.8-23 °C arasında değişmektedir. Eskişehir ilinin 10.9 °C olan yıllık ortalama sıcaklığı ile karşılaştırıldığında suların tümünde jeotermal gradyan ile etkisi ile bir ısı kazanımının olduğu anlaşılmaktadır. EM-2016/2 sondaj kuyusunda derinliğin etkisi ile kuyu başı sıcaklığı 51.3 °C olarak ölçülmüştür.

Çizelge 6.1. Yerinde ölçümü gerçekleştirilen sulara ait lokasyon bilgileri ve yerinde ölçümü yapılan fiziksel parametreler.

ÖRNEK ADI	KOORDİNAT		SICAKLIK	ELEKTRİKSEL İLETKENLİK	TUZLULUK	pH
	Y (sağa)	X (yukarı)	°C	µS/cm	ppt	
ES-1	310024	4395235	21,4	388	0,21	7,58
ES-2	308278	4397190	23,0	415	0,21	7,60
ES-3	308201	4400203	11,9	358	0,23	7,01
ES-4	313041	4388710	23,0	423	0,21	7,30
ES-5	319343	4394722	12,0	296	0,18	7,60
ES-6	315090	4396602	13,5	257	0,16	7,75
ES-7	303437	4394095	12,3	359	0,22	7,65
ES-8	312990	4389087	21,4	429	0,22	7,48
ES-9	312174	4399370	12,3	593	0,38	8,05
ES-10	313053	4398590	14,2	-	-	-
ES-11	312894	4398109	19,3	-	-	-
ES-12	310234	4398725	11,8	422	0,26	7,61
ES-13	306974	4391647	14,4	478	0,23	7,86
ES-14	306960	4390935	13,7	467	0,23	7,68
ES-15	306165	4390685	15,0	359	0,22	7,58
ES-16	306600	4387965	14,9	401	0,24	7,75
ES-17	307118	4388805	15,6	355	0,21	7,81
ES-18	307946	4388768	14,0	411	0,25	7,74
ES-19	307738	4389489	16,2	356	0,21	7,75
ES-20	308317	4388962	14,5	446	0,27	7,71
ES-21	308656	4390409	17,3	363	0,21	7,80
ES-22	308684	4390718	16,7	370	0,21	7,62
ES-23	309268	4389597	17,8	410	0,23	7,79
ES-24	307494	4391177	13,7	361	0,22	7,60
ES-25	306341	4393877	13,3	428	0,27	7,73
ES-26	313116	4393655	14,5	312	0,19	8,01
ES-27	312809	4393714	15,0	328	0,19	8,06
ES-28	308265	4394889	15,4	381	0,23	7,72
ES-29	309710	4393525	14,7	479	0,29	7,74
ES-30	311060	4394189	15,5	363	0,21	7,65
ES-31	311756	4393581	14,8	341	0,20	7,72
ES-32	311797	4392979	15,4	354	0,21	7,91
ES-33	311028	4393061	15,4	420	0,25	7,78
ES-34	308755	4392571	15,0	455	0,27	7,87
ES-35	308189	4391640	14,2	388	0,24	7,92
ES-36	311332	4388150	15,4	375	0,22	7,92
ES-37	313018	4390012	19,6	444	0,20	7,70
ES-38	313209	4390477	19,1	443	0,23	7,87
ES-39	312999	4391039	18,7	430	0,23	7,77
ES-40	313705	4390633	18,2	424	0,23	8,06
ES-41	314550	4389513	13,9	411	0,25	8,00
ES-42	310954	4388624	14,6	433	0,26	7,88
ES-43	309523	4389137	19,3	448	0,24	7,80
ES-44	308950	4389831	18,4	394	0,22	7,87
ES-45	306755	4396726	16,0	295	0,17	7,75
ES-46	306700	4398381	14,4	365	0,21	8,07
ES-47	311469	4395920	17,0	365	0,20	7,97
ES-48	307078	4394465	15,2	415	0,25	7,90
ES-49	307746	4391850	15,0	431	0,26	7,88
ES-50	306804	4391399	14,0	386	0,23	6,54
ES-51	306811	4393541	14,1	429	0,26	7,83
ES-52	310311	4391819	14,5	400	0,23	7,77
ES-53	312317	4390623	16,5	429	0,25	7,74
ES-54	311940	4392395	16,0	389	0,23	7,71
ES-55	306078	4393743	14,4	509	0,31	7,80

Çizelge 6.2. Örneklenen sulara ait kimyasal analiz sonuçları.

Numune No	ES-1	ES-2	ES-4	ES-6	ES-12	ES-22	ES-39	ES-45	ES-54	ES-55	EMT-2016/2	
Numune Alım Yeri	Eskişehir-Türkmentokat											
Debi (l/sn.)	2,0(A)	0,5(A)	10(P)	0,8(A)	0,3(A)	10 (P)	10 (P)	5 (A)	10 (P)	10 (P)	27-33(P)	
Sıcaklık (°C) (*)	21,4	23,0	23,0	13,5	11,8	16,7	18,7	16,0	16,0	14,4	51,3	
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
KATYONLAR	K ⁺	1,47	1,70	5,31	<1,00	<1,00	2,54	3,52	<1,00	1,51	2,91	37,60
	Na ⁺	9,48	9,81	17,80	3,00	2,42	13,70	18,80	5,92	12,00	31,20	6034,00
	Ca ⁺²	26,10	1,65	43,00	34,40	16,30	41,50	39,00	30,30	30,00	61,10	321,00
	Mg ⁺²	37,70	56,10	24,20	25,30	62,70	26,50	29,80	26,30	36,70	28,40	95,70
	NH ₄ ⁺											-
	Fe (total)											2,22
	As (total)											0,02
	B (total)											56,80
	Mn (total)											< 0,05
	Li ⁺											6,20
	Al ⁺⁺⁺											< 0,2
	TOPLAM	74,75	69,26	90,31	62,70	81,42	84,24	91,12	62,52	80,21	123,61	6553,54
ANYONLAR	HCO ₃ ⁻	275,00	305,00	245,00	277,00	341,00	239,00	263,00	221,00	275,00	269,00	461,00
	CO ₃ ⁻²	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	< 10
	SO ₄ ⁻²	7,90	10,10	27,30	9,62	37,20	26,10	33,60	5,19	13,20	29,00	639,00
	Cl ⁻	7,93	7,37	10,50	2,70	4,05	10,30	10,80	6,56	10,10	24,10	9503,00
	I ⁻											-
	F ⁻											2,20
	S ⁻² (titrasyon)											-
	Br ⁻											33,20
	NO ₂ ⁻											-
	NO ₃ ⁻											-
	PO ₄ ⁻³ (total)											-
	OH ⁻											-
	TOPLAM	290,83	322,47	282,80	289,32	382,25	275,40	307,40	232,75	298,30	322,10	10638,40
Diğer Eleman	SiO ₂	37,20	14,60	41,50	14,60	30,40	40,40	40,00	19,70	35,30	48,60	22,50
	CO ₂	13,91	7,73	15,61	11,13	13,70	12,09	13,31	8,88	8,78	6,82	14,72
	TOPLAM	51,11	22,33	57,11	25,73	44,10	52,49	53,31	28,58	44,08	55,42	37,22
TOPLAM MİNERALİZASYON	416,69	414,06	430,22	377,75	507,77	412,13	451,83	323,85	422,59	501,13	17229,16	
pH (24,1 °C)	7,5	7,8	7,4	7,6	7,6	7,5	7,5	7,6	7,7	7,8	7,7	
Sp.Kon.(µS/cm)(20,0°C)	408	410	420	318	486	413	484	484	430	594	25900	
Toplam Sertlik (A°)	12,30	13,20	11,60	10,60	16,70	11,90	12,30	10,30	12,60	15,10	-	
Geçici Sertlik (A°)	12,30	13,20	11,30	10,40	15,60	11,00	12,10	10,20	12,60	12,40	-	
Kalıcı Sertlik (A°)	0,00	0,00	0,30	0,20	1,10	0,90	0,20	0,10	0,00	2,70	-	
(*) Numunenin alındığı andaki debi ve sıcaklık P : Pompa Debisi A : Artezyen Debisi												

Soğuk su noktalarındaki EC değerleri 257-593 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında değişmesi nedeniyle, bölgedeki su noktalarının sınırlı su-kayaç etkileşimine maruz kalmış sular oldukları anlaşılmaktadır. EM-2016/2 sondaj kuyusunda EC değerinin 25900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gibi oldukça yüksek olması bu suyun iyonik derişim bakımından aşırı zenginleşmiş olduğu anlaşılmaktadır.

6.2. Suların Kimyasal Sınıflandırılması

6.2.1. Su tipleri

Back (1966)'ya göre, bir sudaki anyon ve katyonlardan ağırlık olarak (meq/l) %50'yi aşanlar, suyun hidrokimyasal fasiyes tipini ortaya koymaktadır. İyonlardan hiçbirinin %50'yi geçmediği sular ise karışık su tipine karşılık gelmektedir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979)'nin öngördüğü sınıflamada ise; suda çözülmüş anyon ve katyonlardan bollukları %20'yi aşanlar sırasıyla önce katyonlar sonra anyonlar %meq değerleri giderek azalacak şekilde yazılarak su tipi belirlenmektedir. Sınıflamada ayrıca suyun içerdiği ve sınıflamaya girecek sınıra değere ulaşan özel elemanlar, radyoaktiflik, gaz içeriği sıcaklık ve mineralli olup olmadığı belirtilir (Canik, 1998). Çalışma sahasındaki su kaynaklarından ve kuyularından alınan örneklerle ait Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979)'nin öngördüğü sıralama ve buna göre belirlenmiş su tipleri Çizelge 6.3'te gösterilmiştir.

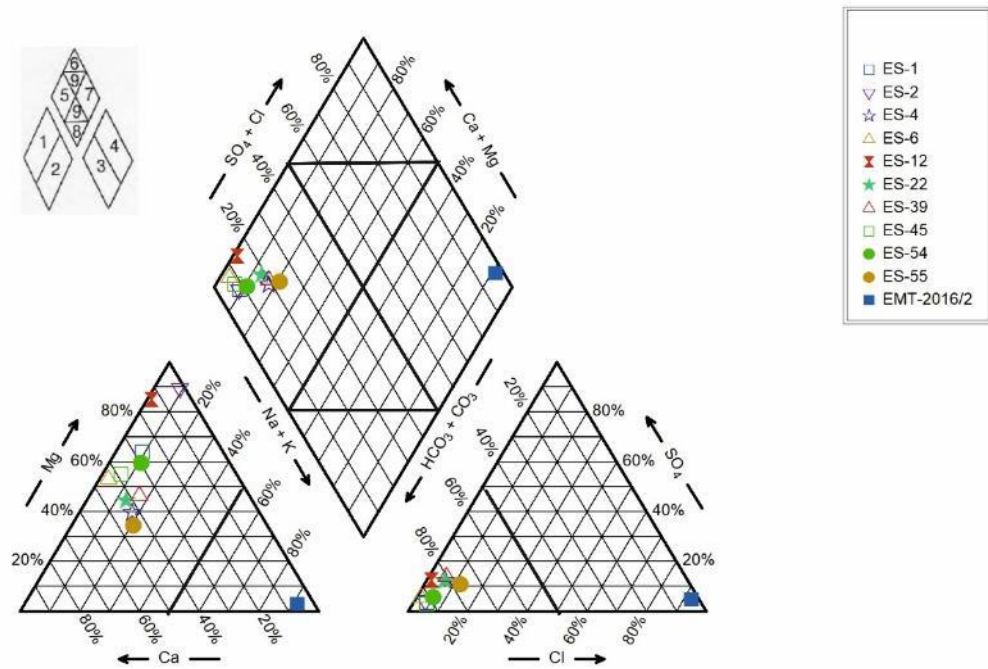
Çizelge 6.3. Yüzde meq/l cinsinden analiz değerleri ve su tipleri.

No.	Örnek Adı	DERİŞİM (%meq/l)							Katyon Sırası	Anyon Sırası	Su Tipi (IAH a göre)
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃			
1	ES-1	26,80	63,92	8,45	0,83	3,27	4,50	92,23	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-Ca-HCO ₃ mineralce fakir, sıcak su
2	ES-2	1,55	89,34	8,33	0,78	3,87	3,88	92,25	Mg>Na>Ca>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-HCO ₃ mineralce fakir, sıcak su
3	ES-4	42,57	39,41	15,25	2,77	11,66	6,13	82,21	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-Mg-HCO ₃ mineralce fakir, sıcak su
4	ES-6	43,77	52,92	3,31	0,00	5,00	2,00	93,00	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Mg-Ca-HCO ₃ mineralce fakir, soğuk su
5	ES-12	13,32	84,87	1,81	0,00	12,04	1,70	86,26	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Mg-HCO ₃ mineralce fakir, soğuk su
6	ES-22	42,16	44,40	12,22	1,22	11,37	6,10	82,53	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Mg-Ca-HCO ₃ mineralce fakir, soğuk su
7	ES-39	36,72	46,14	15,44	1,70	13,18	5,65	81,17	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Mg-Ca-HCO ₃ mineralce fakir, soğuk su
8	ES-45	38,42	54,96	6,62	0,00	2,81	4,61	92,58	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Mg-Ca-HCO ₃ mineralce fakir, soğuk su
9	ES-54	29,53	59,45	10,23	0,79	5,52	5,52	88,96	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Mg-Ca-HCO ₃ mineralce fakir, soğuk su
10	ES-55	44,72	34,31	19,94	1,03	10,55	11,95	77,50	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ mineralce fakir, soğuk su
11	EMT-2016/2	5,58	2,74	91,34	0,34	4,62	92,76	2,62	Na>Ca>Mg>K	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl borlu bromürlü mineralli sıcak su

6.2.2. Suların kökeni

Piper diyagramı temel olarak suların sınıflandırılması ve değerlendirilmesinde kullanılır. Anyon ve katyon (%meq/l) dağılımları ile bu dağılımlara bağlı olarak şekillenen hidrokimyasal fasiyeslerin gösteriminde görsel kolaylık sağlar.

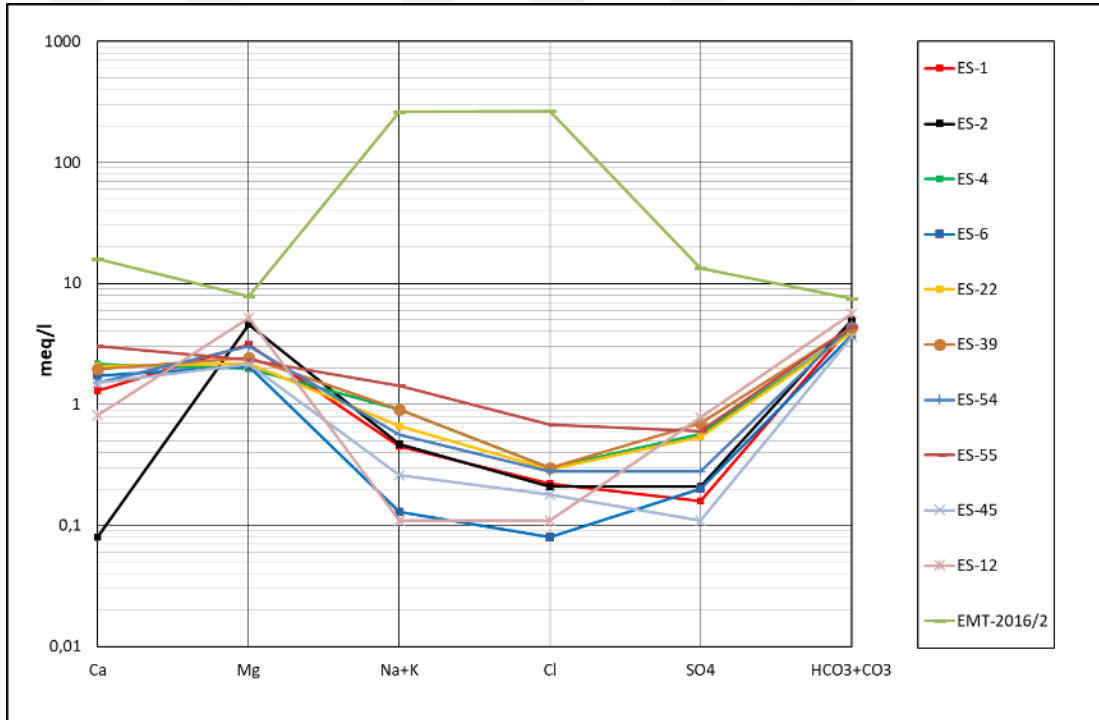
Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların hidrojeokimyasal açıdan benzer ve farklı yönlerini görmek amacıyla Piper diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Çalışma alanında örneklenen sulara ait Piper diyagramı.

Çalışma sahasındaki su kuyularından ve kaynaktan alınan örneklerin suları 1, 3 ve 5 no.lu bölgelere düşmektedir. 1. bölge sularında toprak alkaliler, alkalilerden fazla olup, bunlar karbonatlı ve sülfatlı sulardır. 3. bölge sularında zayıf asitler, kuvvetli asitlerden fazla olup, $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl} + \text{SO}_4^{2-}$ 'dir. 5. bölge sularında karbonat sertliği %50'den fazladır. Yani karbonat sertliği karbonat olmayan sertlikten büyüktür. Bunlar CaCO_3 ve MgCO_3 'lülülüdür. EMT-2016/2 jeotermal kuyusundan alınan örnek 2, 4 ve 7 no.lu bölgelere düşmektedir. 2 bölge sularında alkaliler toprak alkalilerden fazla olup, bu sular tuzlu ve sodalı sulardır ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} < \text{Na}^+ + \text{K}^+$). 4. Bölge sularında Kuvvetli asitler zayıf asitlerden fazla olup, $\text{Cl} + \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ 'tir. 7. bölge sularında karbonatlı olmayan alkaliler %50'den fazladır. Yani karbonatlı alkalilerden büyüktür. Bunlar NaCl, NaSO_4 ve KCl'lü sulardır.

Sahadaki analizi yapılan kuyulara ait suların birbirleriyle olan kökensel ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla yarı logaritmik Schoeller diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 6.2). Yarı logaritmik Schoeller diyagramında izlenen paralellik, suların aynı akım yolu üzerinde olduklarını ve/veya benzer litolojilerle temasta olduklarını ve beslenme alanlarının aynı olduğunu göstermektedir. İyon dağılımı açısından farklılık göstermeleri akım yolunun, suyun kayaçla temas ettiği sürenin uzun veya kısa olması ile ilgilidir. Çalışma sahasından alınan örneklerin kimyasal analiz değerleri yarı logaritmik Schoeller diyagramında incelendiğinde EMT-2016/2 örneği hariç diğer örneklerin paralellik gösterdiği görülmektedir. Bu da örneklerin aynı akım yolu üzerinde olduklarını ve/veya benzer litolojilerle temasta olduklarını ve beslenme alanlarının aynı olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.2. Çalışma alanında örneklenen sulara ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı.

EMT-2016/2 örneğinde hakim katyon Na, hakim anyon Cl'dir. Diğer örneklerde hakim katyonun Mg ve Ca, hakim anyonun HCO₃ olduğu görülmektedir. TDS değerlerine baktığımızda da EMT-2016/2 örneği yüksek TDS değeriyle dikkat çekmektedir. Diğer örneklerin laboratuvar analizlerine göre TDS değerleri 377,75-507,77 mg/l arasında değişmekte olup EMT-2016/2 örneğinin TDS değeri 17229,16 mg/l'dir. Suların pH değerleri 7,4 ile 7,8 arasında değişmektedir.

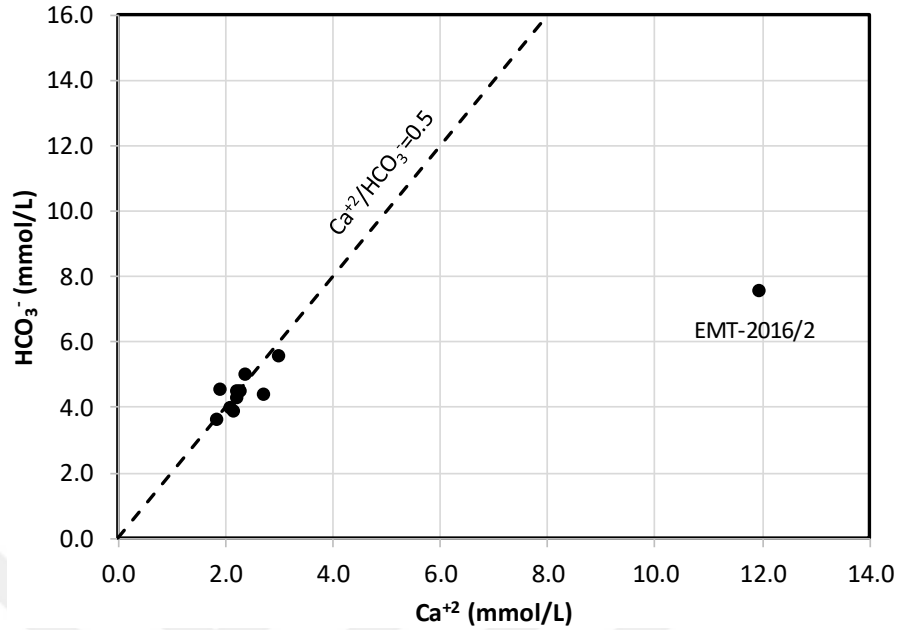
Bölgedeki suların Ca+Mg-HCO₃ tipi sular sınıfına girmesi bölgenin jeolojik yapısı dikkate alındığında karbonatlar ile ofiyolitik kayalar içindeki magnezyumca zengin minerallerin çözünmesini düşündürmektedir. Sulara bulunan kalsiyumun kaynağı kalsit ve aragonit (CaCO₃), dolomit (CaMg-(CO₃)₂), jips (CaSO₄.2H₂O), anhidrit (CaSO₄), florit (CaF₂), plajyoklas (anortit-CaAl₂Si₂O₈), piroksen (diyopsit-CaMgSi₂O₆), amfibol (NaCa₂(Mg,Fe,Al)Si₈-O₂₂(OH)₂) gibi minerallerdir (Hounslow 1995). Çalışma sahasındaki sulardaki kalsiyum kaynağının Porsuk Formasyonu içerisindeki kireçtaşı birimleri olduğu düşünülmektedir.

Olivin, piroksen, amfibol ve koyu renkli mikaların önemli bileşenlerinden biri magnezyumdur. Magnezyum silikat mineralleri veya olivinler ile kimyasal reaksiyon vermiş sulara da magnezyum hakim kation durumundadır. Örneklenen sulara hakim magnezyum miktarı çalışma sahasında bulunan ofiyolit-ultramafik kayalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışma sahasında suların beslenme alanında ofiyolit birimleri içerisinde magnezit ocakları bulunmaktadır.

Karbonatların çözünme sürecinde, örneğin aşağıda verilen kalsitin çözünme tepkimesinde, molar derişim olarak Ca/HCO₃ = 0.5 olacak şekilde Ca ve HCO₃ iyonları suya geçer. Benzer şekilde ultramafik minerallerden forsterit gibi magnezyumca zengin minerallerin çözünme tepkimesinde Mg/ HCO₃ oranı 0.5 olarak olacak şekilde su fazına geçerler.



Her iki tepkimenin bölgedeki soğuk sulardaki majör iyon bileşimleri denetlemesi durumunda su fazında Ca+Mg/HCO₃ oranının 0.5 olması beklenir. Çalışma kapsamında örneklenen su noktalarının Ca⁺² ve HCO₃⁻ derişimleri Şekil 6.3'te gösterilmektedir. Soğuk sularının tamamının Ca/HCO₃ = 0.5 doğrusu üzerinde yer almaları nedeniyle yukarıda örnekleri verilen tepkimelerin suların kimyaları üzerinde etkin rol oynadıkları anlaşılmaktadır. Kısacası, soğuk sular karbonatlar ve ofiyolit birimler içindeki magnezyum mineralleri ile etkileşimde olup kimyasal özellikleri bu mineraller tarafından denetlenmektedir.



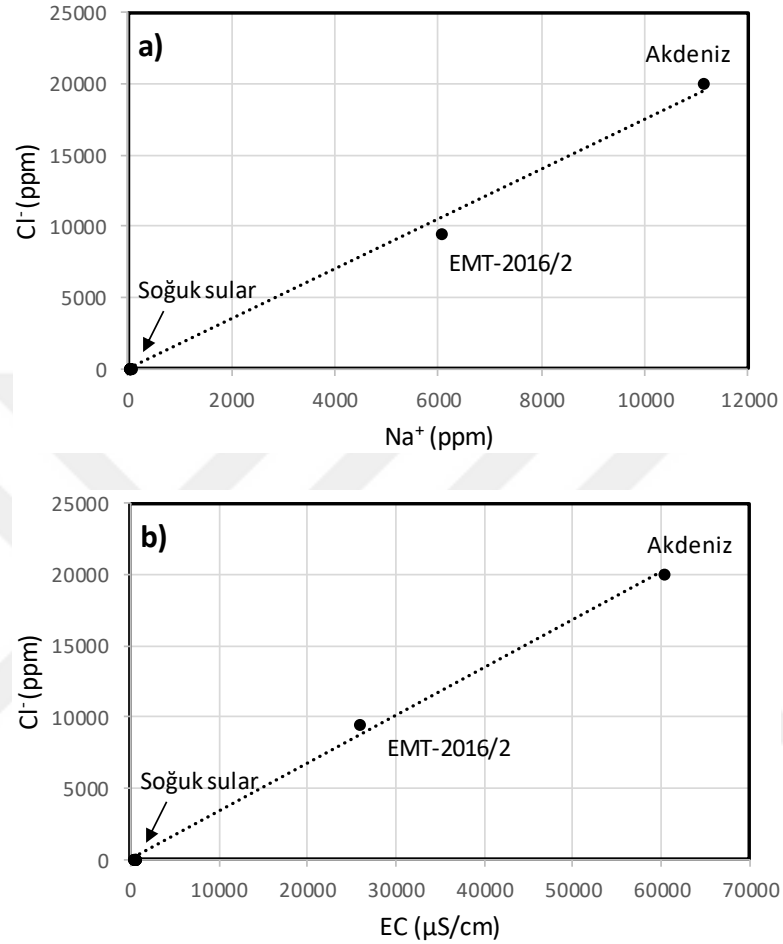
Şekil 6.3. Örneklenen su noktalarının Ca^{+2} ve HCO_3^- ilişkisi.

EMT-2016/2 örneği diğer örneklerden farklılık göstermektedir. Bu derin sondaj kuyu suyunun Na-Cl fasiyesinde olması iki şekilde açıklanabilir. Birincisi, halit gibi tuzlu mineraller içeren evaporitlerin çözünmesi, ikincisi ise paleodeniz suyunun varlığı. Jeotermal sahanın bulunduğu bölgede evaporit içerebilecek bir kayaç grubuna rastlanılmamıştır. Sondaj sırasında alınan kırıntılı numularda da benzer bir minerale rastlanılmamıştır. İkinci sürecin varlığını ortaya çıkarmak amacıyla örneklenen suların Na-Cl ilişkileri ile yeraltısularında korunumlu kabul edilen EC-Cl ilişkileri olarak Şekil 6.4'te gösterilmektedir. Karşılaştırma amacıyla Şimşek (2003)'ten alınan Ege Denizi'ne ait değerlerde bu grafiklere aktarılmıştır.

EMT-2016/2 örneği gerek Şekil 6.4a daki Na-Cl grafiğinde, gerekse Şekil 6.4b'deki EC-Cl grafiğinde Ege Denizi ile tatlı sular arasındaki doğrusal bir karışım çizgisi üzerinde yer aldığı açıkça görülmektedir. Şüphesiz paleodeniz suyunun kimyasal bileşiminin Ege Denizi'nin güncel bileşimi ile aynı olması beklenmemektedir. Ancak, korunumlu bu bileşenler EMT-2016/2 kuyusunda belirgin bir şekilde deniz suyunun varlığını göstermektedir.

Deniz suyu etkisinin izlemesinde kullanılan bir diğer yöntem ise Cl/Br oranlarının karşılaştırılmasıdır. Ege Denizi'nin güncel Cl derişimi 20029.2 ppm olarak belirlenmiştir. (Şimşek, 2003). Deniz sularının güncel Br derişimi ise 65 ppm civarındadır (Hem, 1985). Bu koşullarda deniz sularının Cl/Br oranının 308 civarında olması beklenmektedir. EMT-2016/2 örneğinin Cl/Br oranı bu değere oldukça yakın 286 (9503/33,2) olarak hesaplanmıştır. Sunulan

bu değerler EMT-2016/2 kuyusundaki suların bir kısmının muhtemelen sedimantasyon sırasında hapsolmuş deniz suları olduğu anlaşılmaktadır.



şekil 6.4. Örneklenen su noktalarının, a) Na-Cl ve b) EC-Cl ilişkisi.

Jeotermal sondajlarda kabuklaşma ve aşındırma sık karşılaşılan sorunlardandır. Çalışma sahasından alınan örneklere aşındırma ve kabuklaşma açısından değerlendirmek için Langelier kalsiyum denge diyagramı oluşturulmuştur. Suyun pH 1 ve suyun hesaplanan doğunluk pH'ı (pHs) arasındaki farka göre Langelier indeksi (I) hesaplanır.

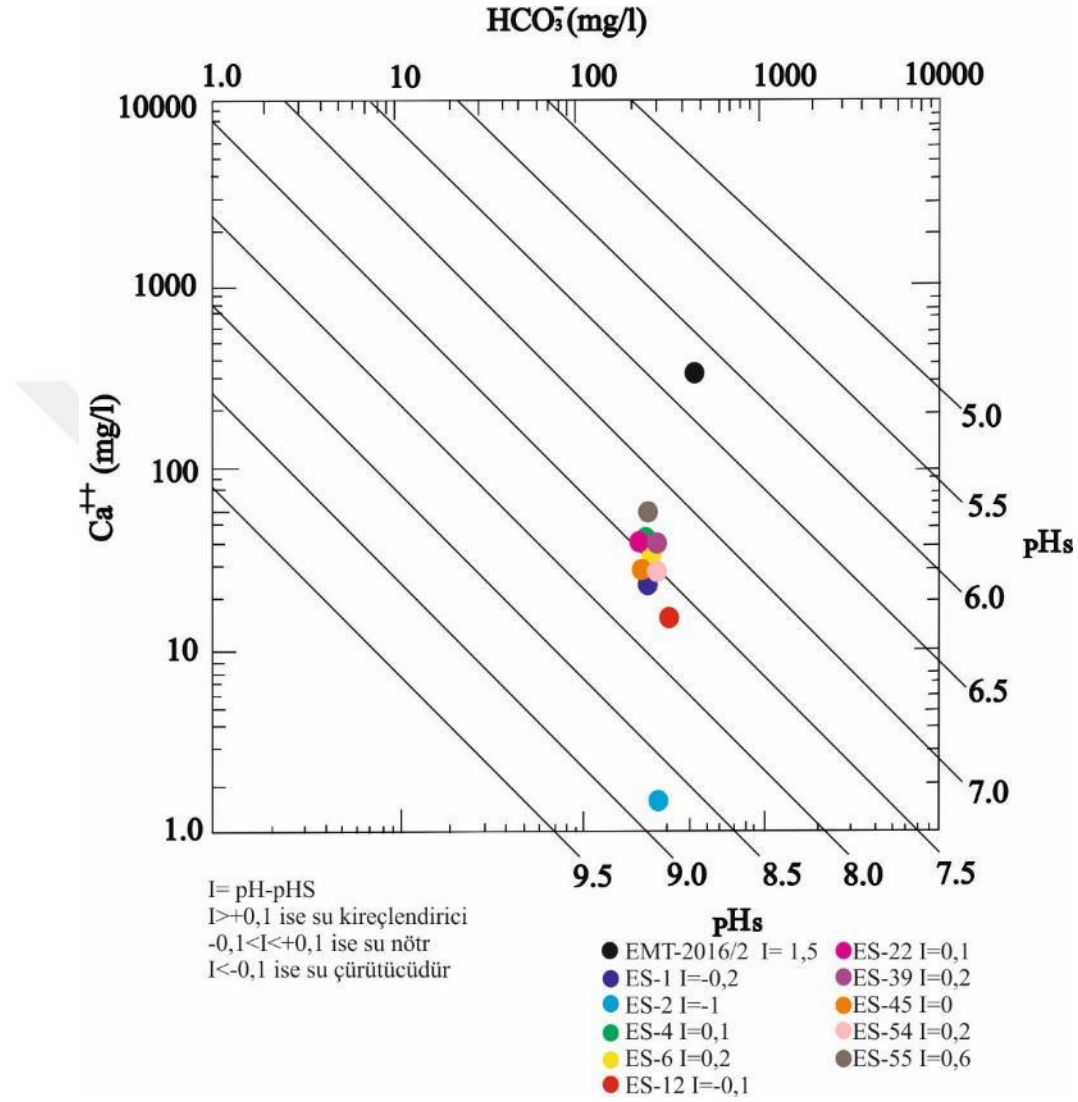
$I > 0,1$ ise su kabuk yapıcı

$-0,1 < I < 0,1$ ise su nötr

$I < -0,1$ ise su urtc özelliktedir.

Hesaplanan I değerlerine göre çalışma alanındaki sulardan ES-2 urtc özellikte, EMT2016/2, ES-1, ES-6, ES-39, ES-54, ES-55 örneklere kabuklaştırıcı özellikte, ES-4, ES-12,

ES-22 ve ES-44 örnekleri ise nötr özelliktedir (Şekil 6.5). EMT-2016/2 jeotermal kuyusu üretime açılırsa kuyuda kabuklaşma olacağı düşünülmektedir.



Şekil 6.5. Çalışma alanında örneklenen sulara ait Langlier kalsiyum denge diyagramı.

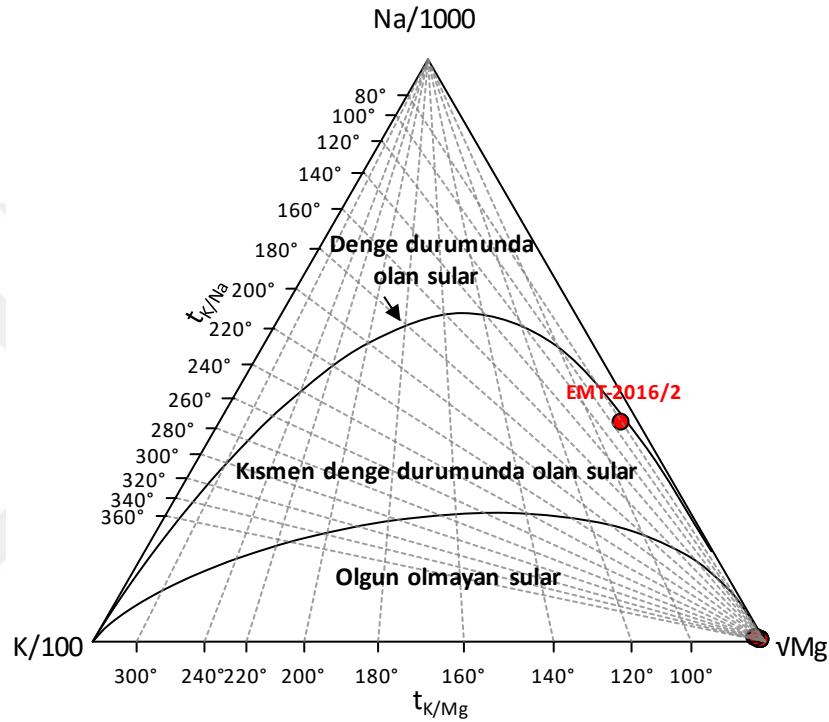
6.2.3. Jeotermometre hesapları

Çalışma sahasından alınan suların kimyasal jeotermometre kullanımına uygunlukları Giggenbach (1988) tarafından önerilen Na-K-Mg üçlü-denge yöntemi ile değerlendirilmiştir. Giggenbach (1988) tarafından önerilen ve aşağıda verilen Na-K ile K-Mg jeotermometre eşitliklerine göre oluşturulan Na-K-Mg üçgeni Şekil 6.6'da sunulmuştur.

$$t_{Na-K}(^{\circ}C) = 1390 / (1.750 + \log(Na/K)) - 273.15 \quad (6.4)$$

$$t_{K-Mg}(^{\circ}C) = 4410 / (14.0 + \log(K^2/Na)) - 273.15 \quad (6.5)$$

EMT-2016/2 kuyusu dışındaki örnekler “denge durumunda olmayan sular” olması nedeniyle bu sular için kimyasal jeotermometreler uygulanmamıştır. EMT-2016/2 kuyusu ise denge eğrisine oldukça yakın bir konumdadır. Bu noktanın güvenilir kabul edilebilecek rezervuar sıcaklığı Na-K ve K-Mg jeotermometrelerine göre sırası ile 65 °C ile 71 °C olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.6. Na-K-Mg üçgen diyagramı.

Çalışma sahasının muhtemel rezervuar sıcaklığının tahmini için ayrıca silis jeotermometreleri (kuvars jeotermometresi ve kalsedon jeotermometresi) kullanılması düşünülebilir. Ancak özellikle EMT-2016/2 noktasında olasılıkla örnekleme sırasında yapılan hatlardan dolayı silis derişimi 22.5 ppm gibi düşük çıkmıştır. Kuvars jeotermometreleri bu nokta için 53-73 °C aralığında sıcaklık değerleri türetmiştir. Ancak 120-180 °C’den daha düşük koşullarda sudaki silis çözünürlüğünün kuvars yerine kalsedon tarafından denetlendiği (Fournier, 1991; D’Amore ve Arnórrsson, 2000) varsayımı nedeniyle bu değerler güvenilir kabul edilmemiştir. Kalsedon jeotermometreleri ise 36-39 °C aralığında, boşalım sıcaklığından daha düşük değerler türetmiştir. Bu nedenle silis jeotermometre sonuçları güvenilir kabul edilmemiştir.

7. İZOTOP HİDROLOJİSİ

7.1. Giriş

İzotop teknikleri yeraltı ve yüzey sularının beslenme alanlarının belirlenmesi, buharlaşma, deniz suyu girişi ve farklı su kütleleri arasındaki fiziko-kimyasal etkileşimlerin incelenmesi amaçlı çalışmalarda yaygın olarak kullanılırlar. Jeotermal konulu çalışmalarda ise rezervuardaki akışkanın kökeninin saptanması (meteorik, deniz suyu vb.), rezervuar sıcaklığı tahmini ve var ise yüksek sıcaklık koşullarında yoğun su-kayaç etkileşimi sonucunda gerçekleşmesi olası olan ^{18}O -zenginleşmesinin (jeotermal sapma) varlığının ortaya konulması amacıyla izotop teknikleri kullanılmaktadır.

Çevresel izotop hidrolojisinde, sulara fiziko-kimyasal süreçler sonucunda gerçekleşen izotopik değişimler izlenir ve değerlendirilir. İzotop hidrolojisinde çok sayıda farklı izotop kullanılır. Bunlardan başlıca olanları suyun molekül yapısına giren ^{18}O , ^2H (döteryum) ve ^3H (trityum) dur. ^{18}O ve ^2H döteryum kararlı izotop, ^3H ise radyoaktif bir izotoptur.

Çalışma sahasında ES-1, ES-2, ES-4, ES-6, ES-22 ve EMT-2018/2 no.lu su örnekleri üzerinde suyun kararlı izotopları olan oksijen-18, döteryum ve radyoaktif izotopu olan trityum analizleri yapılmıştır. Analiz değerleri Çizelge 7.1 de verilmiştir.

Çizelge 7.1. İzotop analiz değerleri.

Örnek Adı	^3H (TU)	Hata	$\delta^{18}\text{O}$ (‰VSMOW)	Hata	δD (‰VSMOW)	Hata
1 EMT-2016/2	0,16	0,66	-6,27	0,12	-62,22	0,62
2 ES-1	0,35	0,56	-9,75	0,17	-71,76	1,01
3 ES-2	0,00	0,54	-9,93	0,16	-73,02	1,04
4 ES-4	0,00	0,54	-9,61	0,16	-69,53	0,98
5 ES-6	7,14	0,78	-9,97	0,16	-70,88	0,78
6 ES-22	0,25	0,54	-9,59	0,16	-71,17	0,91

7.2. Oksijen18-Döteryum İlişkisi

Hidrojen ve oksijen kararlı izotopları jeotermal sulara köken belirlemek için anahtar konumdadır. Sıcak akışkanlar bir kaynak kökenli ya da farklı kaynakların karışımı da olabilirler. Jeotermal sahalarda yapılan araştırmalar da jeotermal suların meteorik su bileşimine yakın

bileşimler verdiği, $\delta^{18}\text{O}$ değerinde pozitif yönde sapma gösterdiği görülmüştür. Günümüzde jeotermal suların çoğunun meteorik kaynaklı olduğu ve suların yer altında dolaşımı esnasında jeotermik gradyan ile sıcaklıklarının arttığı düşünülmektedir.

Jeotermal suların taze yeraltısularına oranla daha yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahip olması suların yer altında kayalar ile etkileşimde bulunmasından kaynaklanmaktadır. ^{18}O bakımından gerçekleşen bu zenginleşme “jeotermal sapma” olarak adlandırılmakta olup su-kayaç etkileşimi sonucunda ağır izotoplar bakımından zengin kayalardan termal akışkana geçiş olmakta ve jeotermal akışkan $\delta^{18}\text{O}$ açısından zenginleşerek artmaktadır. Hidrojen kayaç oluşturan ana elementlerden olmadığı için ve kayalardaki hidrojen sayısı akışkana göre az miktarda olduğundan akışkan kayaç arasındaki etkileşim sıcak akışkanların δD değerlerini değiştirmemektedir (Ulutürk, 2009).

Yağışların ve yüzey sularının $\delta^{18}\text{O}$ ile δD içerikleri arasında doğrusal bir ilişki vardır. Gözlenen bu ilişki şu bağıntı ile verilmektedir:

$$\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + \text{D} \quad (7.1)$$

Denklemdaki D katsayısı döteryum fazlasını vermektedir ve her bölgeye göre değişmektedir. Bu nedenle her bölgenin kendine özgü bir meteorik su doğrusu vardır. $\delta\text{D} = 8(\delta^{18}\text{O}) + 10$ formülü ile ifade edilen (Craig, 1961) dünya meteorik su doğrusu grafiği kullanılarak $\delta^{18}\text{O}$ - δD değerleri gösterilmiştir (Şekil 7.1).

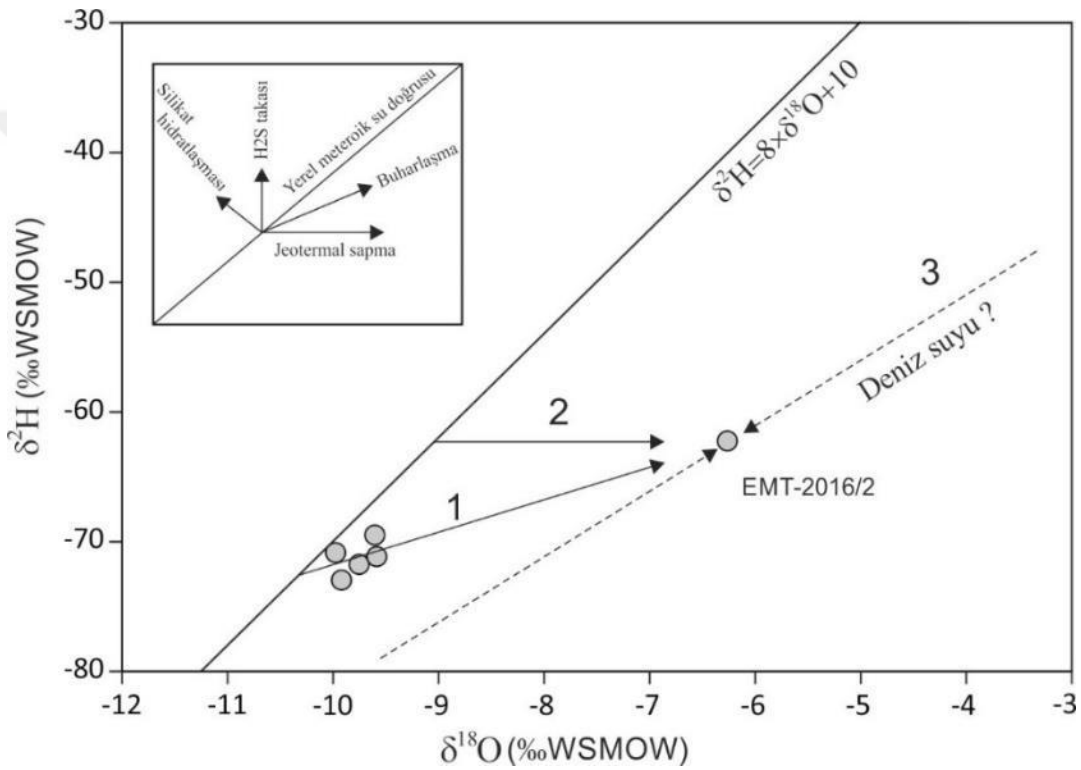
ES-1, ES-2, ES-4, ES-6 ve ES-22 su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ - δD grafiği içinde döteryum fazlası +10 olan doğru yakınındaki konumları meteorik kökene işaret etmektedir. EMT-2016/2 no.lu su örneği farklı olarak $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri bakımından diğer noktalara göre zenginleşerek meteorik su doğrusundan daha pozitif izotopik değerlere doğru saptığı görülmektedir. Bu sapmanın nedenini ortaya çıkarabilmek için $\delta^{18}\text{O}$ - δD grafiği içinde izotopik bileşimleri etkileyebilecek süreçler kavramsal olarak Şekil 7.1 içinde gösterilmiştir.

İzotopik zenginleşme için birinci olasılık olarak buharlaşma (1) öne çıkmakla birlikte EMT-2016/2 kuyusundan alınan suyun >2000 m derinden gelmesi nedeniyle bu sürecin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD içeriklerini etkilemesi mümkün görülmemektedir. Aslında EMT-2016/2 kuyusunda, derin dolaşım nedeniyle $\delta^{18}\text{O}$ ve δD içeriklerinin yükselti etkisiyle birlikte bölgedeki sıcak dolaşım sularına göre daha fakir (negatif) olması beklenirdi.

İkinci olasılık olarak yüksek entalpili jeotermal sistemin varlığını işaret eden jeotermal sapma (2) söz konusu olması durumunda EMT-2016/2 noktasının sadece $\delta^{18}\text{O}$ bakımından

zenginleşmesi beklenirdi. Bu nedenle, EMT-2016/2 noktasında jeotermal sapma etkin olsa bile bu noktada δD değerlerindeki zenginleşmeyi açıklamaktan uzaktır.

Son olası süreç ise paleodeniz suyu katkısıdır (3). Paleodeniz suyunun $\delta^{18}O$ - δD bileşimine (modern deniz suyu = 0‰ WSMOW) ait veri bulunmadığından bu karışımı kantitatif olarak açıklamak mümkün değildir. Ancak bu noktanın Na-Cl bileşimli yüksek iyonik derişimi ile birlikte değerlendirildiğinde $\delta^{18}O$ ve δD içeriklerindeki zenginleşme için en olası sürecin paleodeniz suyu katkısı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7.1. Çalışma alanındaki suların $\delta^{18}O$ - δD grafiği.

7.3. Tritiyum İçeriği

Tritiyum (3H) izotop hidrolojisi araştırmalarında sık kullanılan suyun radyoaktif izotoplarından. Yarı ömrü 12,32 yıl (4500+8 gün) olan ve beta bozunması veren tritiyum, atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluştuğu gibi, termonükleer denemeler sonucunda da oluşmaktadır (Unterweger ve Lucas, 2000). Tritiyum derişimi tritiyum birimi (TU) olarak verilmekte olup, 1 tritiyum birimi 10^{18} hidrojen atomuna karşı bir tritiyum atomunun bulunmasını ifade eder.

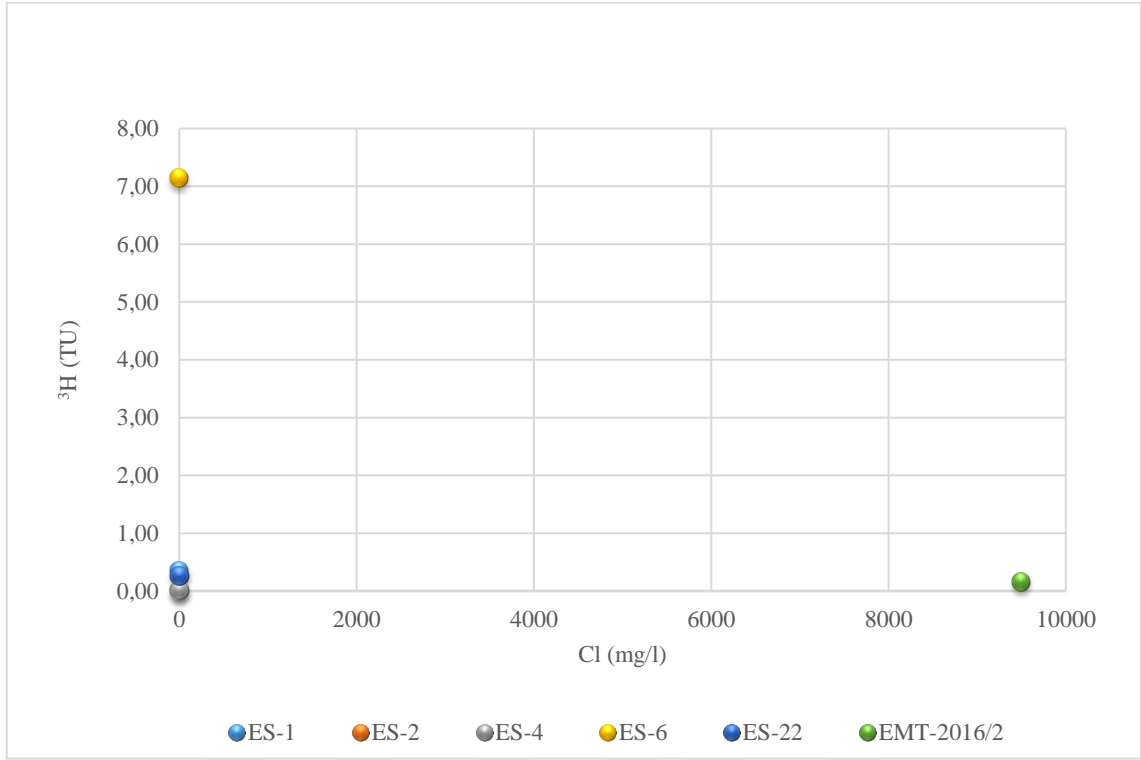
Radyoaktif bozunmanın dışında çevresel faktörlerden etkilenmemesi nedeniyle ^3H yer altı suyu araştırmalarının yaşlarını belirlemede kullanılabilir. Ayrıca yeraltı sularının rezervuarda yenilenme sürelerinin tahmini yapılmaktadır (Çifter ve Sayın, 2002).

Atmosferde bulunan trityum sayısı 1952'deki nükleer denemelerden önce 5-10 TU olmasına rağmen nükleer denemelerden sonra bu sayı kuzey yarım kürede 1000 TU'dan fazla miktara (1963'te 4000 TU) yükselmiştir (Yılmaz, 2007).

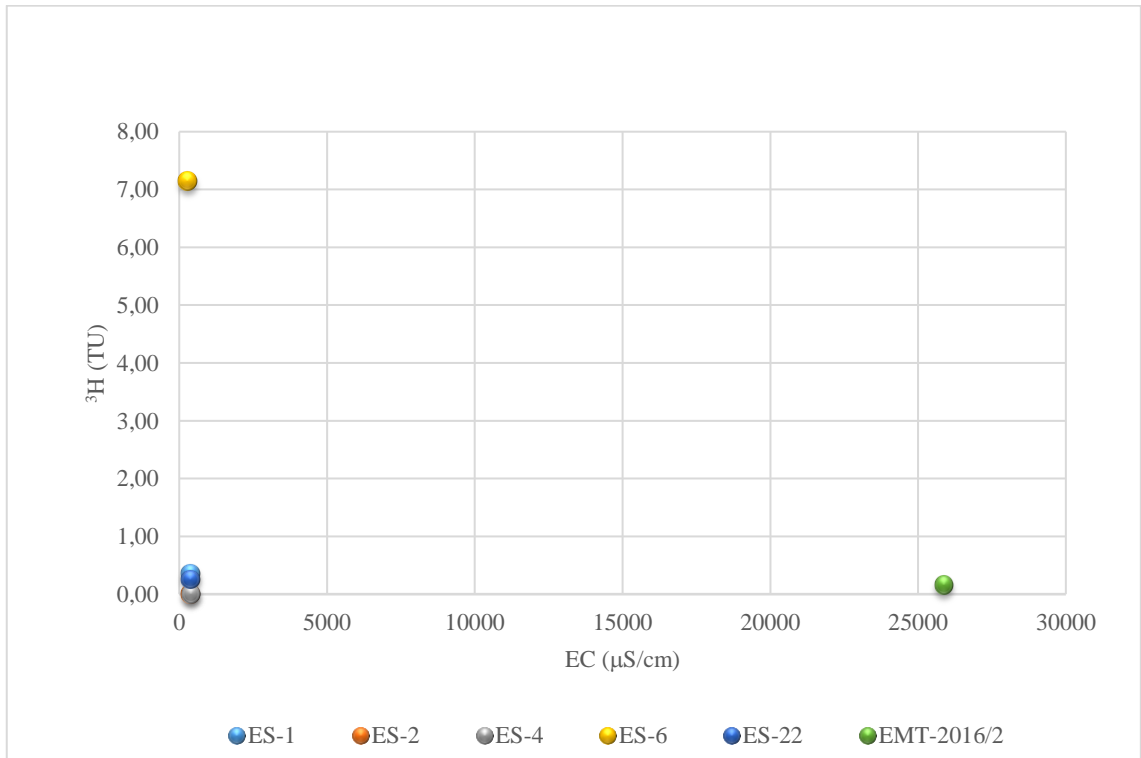
Çalışma sahasından alınan örneklerin trityum içerikleri 0,00 TU ile 7,15 TU arasında değişmektedir (Çizelge 7.1).

Analiz sonuçlarına göre ES-1, ES-2, ES-4, ES-22 EMT-2016/2 örneklerinde düşük trityum değeri görülmektedir. Bu durum suların derin dolaşım, güncel yağış etkisinden uzak ve uzun geçiş süreli olduğunu göstermektedir. Nispeten eski suların beslenmektedir. ES-6 örneğinin trityum değeri 7,15 TU olarak ölçülmüştür. Bu su çalışma sahasında bulunan tek kaynaktan alınmıştır, diğer örnekler göre daha genç sudur.

Çalışma alanındaki suların yeraltında kalış sürelerini değerlendirmek için Cl^{-3}H (Şekil 7.2) ve EC^{-3}H (Şekil 7,3) grafikleri oluşturulmuştur. Her iki grafik incelendiğinde ES-6 örneğinin güncel yağışlardan etkilendiği ve sığ dolaşım olduğu görülmektedir. ES-1, ES-2, ES-4, ES-22 suları düşük klorür, EC ve trityum içeriği nedeniyle uzun dolaşıma sahip olan ve karışıma maruz kalmış sular olarak düşünülen sulardır. EMT-2016/2 örneği yüksek klorür, yüksek EC ve düşük trityum içeriği ile diğer örneklerden ayrıldığı ve derin dolaşıma sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 7.2. Çalışma alanındaki suların Cl- ^3H grafiği.



Şekil 7.3. Çalışma alanındaki suların EC- ^3H grafiği.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasıyla Eskişehir-Türkmentokat jeotermal sahasının keşfi için disiplinler arası gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen veriler incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

İnceleme alanının jeolojisi daha önceki çalışmalardan yararlanılarak gözden geçirilmiştir. Çalışma alanında en altta Triyas yaşındaki metamorfik ve ofiyolitik kayalar ile bunları kesen Üst Kretase yaşındaki granodiyorit birimi yer almaktadır. Temelde yer alan Triyas yaşlı Sivrihisar Metamorfik ve Eskişehir Metamorfik kayaları kendi içerisinde litostratigrafik olarak yeşilist, mavişist ve mermer olarak ayrılmıştır. Jeolojik haritası yapılan alanda metamorfik birimler kendi içerisinde ayırtılmamış, Sivrihisar Metamorfikleri ve Eskişehir Metamorfikleri olarak haritalaması yapılmıştır. Bu metamorfik kayalar üzerinde tektonik uyumsuz olarak serpantin, peridotit ve listvenit içeren ofiyolit kayaçları yer almaktadır. Temel birimleri Üst Kretase yaşlı Yörükaraören Granodiyoriti kesmektedir. Tüm bu birimlerin üzerinde Neojen yaşlı birimler uyumsuz olarak bulunmaktadır. Bu birimler; Orta-Üst Miyosen yaşlı sedimanter ve volkanik birimlerden oluşan, Porsuk Formasyonu'na ait Kireçtaşı Üyesi, Konglomera-Kumtaşı Üyesi ve Tüf-Tüfit Üyesi'dir. Bütün bu birimler üzerine ise Kuvaterner yaşlı alüvyon uyumsuz olarak gelmektedir.

Jeofizik etüt çalışmaları kapsamında toplam 65 adet lokasyonda düşey elektrik sondaj (DES) ölçüsü alınmış ve inceleme alanı değerlendirilmiştir. Jeoelektrik özdirenç çalışmalarında genellikle $AB/2= 2000$ metrelik teorik derinlik araştırılmıştır. Ancak $AB/2= 1000$ m derinlikten sonraki ölçüler, 100 m ve 200 m potansiyel elektrotlarının dengelenmemesi nedeniyle güçlükle alınmıştır. Jeofizik çalışmalar kapsamında ayrıca uzunluğu 2000 m olan bir profil üzerinde doğal potansiyel (SP) çalışmaları yapılmıştır. DES çalışmaları sonucunda görünür özdirenç seviye haritaları ve jeoelektrik yapı kesitleri oluşturulmuştur. Bu veriler ışığında çalışma alanının orta entalpili saha denilebilecek nitelikte olduğu düşünülmüştür. D-20 noktasında ise temel kayacın maksimum 1300 m derinlikte, $AB/2= 1300$ m derinlik için özdirenç değerinin ise 10 ohm.m olduğu görülmüştür. Bu değer yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan eldesi için yeterli olmasa da, D-20 no.lu DES noktasının diğer lokasyonlardan daha uygun olabileceği, 2000 ± 200 m derinlikli yapılacak bir sondajla da jeotermal akışkan elde edilebileceği düşünülmektedir.

Çalışma alanında jeotermal enerji anlamında olumlu veri tespit edilen alana önerilen sondaj lokasyonuna en yakın noktada EMT-2016/2 jeotermal araştırma sondajı yapılmıştır. EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusunda, asitleme uygulaması öncesi gerçekleştirilen testler

sırasında yaklaşık debi 12 l/sn. ve enjeksiyon indeksi 0,79 (ton/sa.)/bar olarak hesaplanmıştır. Debiyi artırmak için 20 ton HCl asit kuyuya basılmış ve sonrasında kompresör ile aralıklı olarak toplam 11,5 saat üretim yapılarak kuyu temizlenmiştir. Asitleme operasyonu sonunda kompresör ile kuyu geliştirme ve üretim çalışması yapıldıktan sonra 180 m derinliğe dalgıç pompa indirilmiş olup yapılan üretim çalışmasında 27,0-33,0 l/sn. debide, 51,3 °C sıcaklığa sahip akışkan elde edilmiştir. Asitleme öncesi çok debili enjeksiyon testinde enjeksiyon indeksi 0,79 (ton/sa.)/bar olarak hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında 55 adet sıcak ve soğuk su örneği üzerinde yerinde ölçüm yapılmıştır. Bu örneklerden 10 (ES-1, ES-2, ES-4, ES-6, ES-12, ES-22, ES-39, ES-45, ES-54 ve ES-55) tanesinden kimyasal analiz amaçlı su numunesi alınmış ve analizleri yaptırılarak suların kökensele ilişkisi araştırılmıştır. Ayrıca sondaj kuyusundan elde edilen EMT-2016/2 örneği üzerinde de kimyasal analizler yapılmıştır.

Örnekleme yapılan soğuk su noktalarının sıcaklıkları 11.8-23 °C arasında değişmektedir. Eskişehir ilinin 10.9 °C olan yıllık ortalama sıcaklığı ile karşılaştırıldığında suların tümünde jeotermal gradyan ile etkisi ile bir ısı kazanımının olduğu anlaşılmaktadır.

EMT-2016/2 hariç diğer örneklerde hakim kationun Mg ve Ca, hakim anyonun HCO_3 olduğu görülmektedir. Bölgedeki suların $\text{Ca}+\text{Mg}-\text{HCO}_3$ tipi sular sınıfına girmesi bölgenin jeolojik yapısı dikkate alındığında karbonatlar ile ofiyolitik kayalar içindeki magnezyumca zengin minerallerin çözünmesini düşündürmektedir.

EMT-2016/2 örneği diğer örneklerden farklılık göstermektedir. EMT-2016/2 örneği gerek Na-Cl grafiğinde, gerekse EC-Cl grafiğinde olasılıkla paleo-denizsuyu ile tatlı sular arasındaki doğrusal bir karışım çizgisi üzerinde yer aldığı açıkça görülmektedir. 2016/2 kuyusunda belirgin bir şekilde deniz suyunun varlığını göstermektedir.

Deniz suyu etkisinin izlemesinde kullanılan bir diğer yöntem ise Cl/Br oranlarının karşılaştırılmasıdır. Modern denizsuyunun Cl/Br oranının 308 civarında olması beklenmektedir. EMT-2016/2 örneğinin Cl/Br oranı bu değere oldukça yakın 286 (9503/33,2) olarak hesaplanmıştır. Sunulan bu değerler EMT-2016/2 kuyusundaki suların bir kısmının muhtemelen sedimantasyon sırasında hapsolmuş deniz suları olduğu anlaşılmaktadır.

Jeotermal sondajlarda kabuklaşma ve aşındırma sık karşılaşılan sorunlardandır. Çalışma sahasından alınan örnekleri aşındırma ve kabuklaşma açısından değerlendirildiğinde ES-2 çürütücü özellikte, EMT2016/2, ES-1, ES-6, ES-39, ES-54, ES-55 örnekleri kabuklaştırıcı

özelliğinde, ES-4, ES-12, ES-22 ve ES-44 örnekleri ise nötr özelliğindedir. EMT-2016/2 jeotermal kuyusu üretime açılırsa kuyuda kabuklaşma olacağı düşünülmektedir.

Çalışma sahasından alınan suların kimyasal jeotermometre kullanımına uygunlukları Giggenbach (1988) tarafından önerilen Na-K-Mg üçlü-denge yöntemi ile değerlendirilmiştir. EMT-2016/2 kuyusu dışındaki örnekler “denge durumunda olmayan sular” olması nedeniyle bu sular için kimyasal jeotermometreler uygulanmamıştır. EMT-2016/2 kuyusu ise denge eğrisine oldukça yakın bir konumdadır. Bu noktanın güvenilir kabul edilebilecek rezervuar sıcaklığı Na-K ve K-Mg jeotermometrelerine göre sırası ile 65 °C ile 71 °C olarak hesaplanmıştır.

Çalışma sahasında ES-1, ES-2, ES-4, ES-6, ES-22 ve EMT-2018/2 no.lu su örnekleri üzerinde suyun kararlı izotopları olan oksijen-18, döteryum ve radyoaktif izotopu olan trityum analizleri yapılmıştır. ES-1, ES-2, ES-4, ES-6 ve ES-22 su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ - δD grafiği içinde döteryum fazlası +10 olan doğru yakınındaki konumları meteorik kökene işaret etmektedir. EMT-2016/2 no.lu su örneği farklı olarak $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri bakımından diğer noktalara göre zenginleşerek meteorik su doğrusundan daha pozitif izotopik değerlere doğru saptığı görülmektedir.

İzotopik zenginleşme için birinci olasılık olarak buharlaşma öne çıkmakla birlikte EMT-2016/2 kuyusundan alınan suyun >2000 m derinden gelmesi nedeniyle bu sürecin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD içeriklerini etkilemesi mümkün görülmemektedir. İkinci olasılık olarak yüksek entalpili jeotermal sistemin varlığını işaret eden jeotermal sapma söz konusu olması durumunda EMT-2016/2 noktasının sadece $\delta^{18}\text{O}$ bakımından zenginleşmesi beklenirdi. Bu nedenle, EMT-2016/2 noktasında jeotermal sapma etkin olsa bile bu noktada δD değerlerindeki zenginleşmeyi açıklamaktan uzaktır. Son olası süreç ise paleodeniz suyu katkısıdır. EMT-2016/2 örneğinin izotop değerlerinin, Na-Cl bileşimli yüksek iyonik derişimi ile birlikte değerlendirildiğinde $\delta^{18}\text{O}$ ve δD içeriklerindeki zenginleşme için en olası sürecin paleodeniz suyu katkısı olduğu düşünülmektedir.

Çalışma sahasından alınan örneklerin trityum içerikleri 0,00 TU ile 7,15 TU arasında değişmektedir. Analiz sonuçlarına göre ES-1, ES-2, ES-4, ES-22 EMT-2016/2 örneklerinde düşük trityum değeri görülmektedir. Bu durum suların derin dolaşimli, güncel yağış etkisinden uzak ve uzun geçiş süreli olduğunu göstermektedir. Nispeten eski sulardan beslenmektedir.

Çalışma alanındaki suların yeraltında kalış sürelerini değerlendirmek için Cl-ve EC-³H grafikleri oluşturulmuştur ve her iki grafik incelendiğinde ES-6 örneğinin güncel yağışlardan etkilendiği ve sık dolaşimli olduğu görülmektedir. ES-1, ES-2, ES-4, ES-22 suları düşük klorür,

EC ve trityum içeriği nedeniyle uzun dolaşıma sahip olan ve karışıma maruz kalmış sular olarak dūřınılen sulardır. EMT-2016/2 rneđi yüksek klorür, yüksek EC ve düşük trityum içeriği ile diğer örneklerden ayrıldığı ve derin dolaşıma sahip olduğu görülmektedir.

EMT-2016/2 jeotermal kuyusu açılarak 3,3 Mwt ısı enerjisi potansiyeli görünür hale gelmiş olup, bu bölge için ilk araştırma sonucudur. Çalışma sahasında yapılacak ilave sondajlarla bölgenin jeotermal potansiyelini daha detaylı bir şekilde ortaya koymak mümkündür.

EMT-2016/2 jeotermal araştırma kuyusunda pompa ile üretim çalışmasında atık problemi nedeniyle uzun süreli üretim yapılamamış, kuyu denge durumuna ulaşmadan çalışmalar sonlandırılmıştır. Bu kuyuda uzun süreli pompa testi yapılarak kuyunun dengeye ulaşması ve kritik debinin belirlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Appelo, C. ve Postma, D. (2005), *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. 2nd Edition, Balkema, Rotterdam.
- Back, W. (1966), Hydrochemical facies and ground-water flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 498-A, 42s.
- Bilgin, T. R., Yılmaz, A. (2009), Türkiye rejyonel jeoelektrik haritalar projesi Eskişehir, Kırka, Seyitgazi, Çifteler, Han jeofizik etüt raporu. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 11104, 15s., Ankara (yayımlanmamış).
- Canik, B. (1998), Hidrojeoloji, Yer Altı Sularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 286 s.
- Craig, H. (1961), Isotopic variation of meteoric waters. *Science*, 133 (3465); 1702-1703s.
- Çifter, M. ve Sayın, M. (2002), İzotopların Hidrolojide Kullanımı, Editörler: Uzun, O. Ve Alişan, M. Hidrolojide izotop tekniklerinin kullanılması sempozyumu, 1-14s., Adana.
- D'amore, F., Arnórsson, S. (2000), Geothermometry. Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use, Ed: Arnórsson, S., IAEA, Vienna, 152-199s.
- Eskişehir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü (2019), <http://www.eskisehirkulturturizm.gov.tr/TR-111593/iklim-ve-bitki-ortusu.html>
- Fournier, R.O. (1991), Water geothermometers applied to geothermal energy. Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, UNITAR/UNDP, Rome, 37-69s.
- Giggenbach, W. F. (1988), Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 2749-2765s.
- Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E., Asutay, H.J. (1997), Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9231, 93 s., Ankara (yayımlanmamış).
- Hem, J.D. (1985), Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, *USGS Water Supply Paper* 2254, US Gov. Print. Office, 263s.
- Hounslow, A., W. (1995), *Water Quality Data: Analysis and interpretation*. USA. CCR Press 416s.
- IAH (International Association of Hydrogeologists). (1979), Map of Mineral and Thermal Water of Europe Scale: 1:500000, United Kingdom.
- Özyazıcı, E. (1962), Eskişehir rezistivite ve termik etüdü. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 3230, 50 s., Ankara (yayımlanmamış).
- Piper, A.M. (1944), A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions, American Geophysical Union*, 25, 914-928s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Purtul, E., Destur, M., Turalı, Ü., Beker, K. 2017, Eskişehir ili Odunpazarı ilçesi AR: 2013260018 no.lu Türkmentokat ve AR: 2013260020 no.lu Harmandalı jeotermal kaynak arama ruhsat alanlarına ait jeotermal etüt (jeoloji-jeofizik) raporu MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 13721, 43s., Ankara (yayımlanmamış).

Satman, A. (2007), “Türkiye’nin Enerji Vizyonu”, Jeotermal enerjiden elektrik üretimi semineri. TESKON 2007, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 25-28 Ekim, 3-18s., İzmir.

Şentürk, N. (1991), Eskişehir yöresindeki sıcak su kuyuları sıcak su kaynaklarının koruma alanları raporu. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9231, 27s., Ankara (yayımlanmamış).

Şimşek, Ş. (2003), Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Buyuk Menderes Graben, Turkey, *Geothermics*, 32, 669-678s.

Taşkıran, L. (2014), Mahmutiye-Alpu (Eskişehir) arasının jeotermal enerji potansiyelinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 151s.

Taşkıran, L., Keleş, S., Emiroğlu, Ş. 2013, Eskişehir-Mahmutiye-Çifteler-Alpu jeotermal ruhsat sahaları (31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 No.lu) jeotermal etüt (Jeoloji-Jeofizik) raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 8103, 86s., Ankara (yayımlanmamış).

Ulutürk, Y. (2009), Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) Dolayının Jeolojisi ve Suların Kökensel Yorumu. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 130-140s.

Unterweger, M.P., Lucas, L.L. (2000), Calibration of the national institute of standards and technology tritiated-water standards, *Applied Radiation and isotopes USA*.

Yılmaz, E. (2007), Y. Yerköy (Yozgat) sıcak ve mineralli sularının hidrojeokimyasal incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 106s.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Purtul Engin
Doğum tarihi ve yeri : 1981 - Ankara
e-mail : enginpurtul@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Dumlupınar Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı	Devam ediyor
Lisans	Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği	2004
Lise	İncirli Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce