

**EBER VE AKŞEHİR GÖLLERİ (AFYONKARAHİSAR) ARASINDAKİ ALANIN
JEOTERMAL POTANSİYELİNİN JEOLojİK VE JEOFİZİK YÖNTEMLERLE
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İhsan YAZICI

**Danışman
Prof. Dr. Ahmet YILDIZ**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2022

Bu tez çalışması 20.FEN.BİL.28 numaralı proje ile AKÜ-BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**EBER VE AKŞEHİR (AFYONKARAHİSAR) ARASINDAKİ
ALANIN JEOTERMAL POTANSİYELİNİN JEOLojİK VE
JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI**

İhsan YAZICI

Danışman

Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2022

TEZ ONAY SAYFASI

İhsan YAZICI tarafından hazırlanan "Eber ve Akşehir Gölleri (Afyonkarahisar) Arasındaki Alanın Jeotermal Potansiyelinin Jeolojik ve Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca...../.../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

Başkan : Prof. Dr. Nuri Dolmaz

Üye : Prof. Dr. Ahmet Yıldız

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Can Başaran

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../.....tarih ve
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

22.07.2022

İmza
İhsan YAZICI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EBER VE AKŞEHİR GÖLLERİ (AFYONKARAHİSAR) ARASINDAKİ ALANIN JEOTERMAL POTANSİYELİNİN JEOLJİK VE JEOFİZİK YÖNTEMLERLE ARAŞTIRILMASI

İhsan YAZICI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

Tez çalışmasında, jeolojik, jeofizik ve mineralojik-petrografik verilerden faydalanarak Sultandağı civarının jeotermal kaynak potansiyelinin belirlenmesi hedeflenmiştir. İnceleme alanı Afyon-Akşehir Grabeni (AAG)'nin güneydoğusunda bulunmaktadır. Jeolojik arazi gözlemlerinde çalışma alanının jeotermal sistemine dair jeolojik özellikleri ortaya konmuştur. Jeotermal sistem bileşenlerinin mineralojik-petrografik özellikleri polarizan mikroskop ve x-ışını kırınımı (XRD) analizleri yardımıyla belirlenmiştir. İnceleme alanında muhtemel jeotermal sistemin üç boyutlu değişimini ortaya koyabilmek için Kuzeybatı-Güneydoğu yönündeki profiller boyunca manyetotellürik (MT) ölçümler gerçekleştirilmiştir. Proje alanına ait özdirenç modellerinde saha jeolojisi çalışmalarına benzer olarak Afyon-Akşehir Gaben Sisteminin (AAG) güney sınırını oluşturan faylar ile bunları değişik yönlerde kesen faylar belirlenmiştir. Farklı doğrultulu fayların kesişim yerlerindeki düşük özdirençli alanlarda detaylı DES ölçümleri alınarak, jeotermal anomaliyi işaret eden düşük özdirençli lokasyonlarda jeotermik gradyanın gözlenebilmesi için araştırma sondajının açılmasında fayda vardır.

2022, xi + 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Afyonkarahisar, Sultandağı, Jeoloji, Jeofizik, Jeotermal.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE GEOTHERMAL POTENTIAL OF THE AREA BETWEEN EBER AND AKŞEHİR LAKES (AFYONKARAHİSAR) BY GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL METHODS

İhsan YAZICI

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Ahmet YILDIZ

In the thesis study, it was aimed to determine the geothermal resource potential of the Sultandağı vicinity by utilizing the geological, geophysical and mineralogical-petrographic data. The study area is located southeast of the Afyon-Akşehir Graben (AAG). Geological features of the geothermal system of the study area were revealed in the geological field observations. Mineralogical-petrographic properties of the geothermal system components were determined with the help of polarizing microscope and x-ray diffraction (XRD) analyses. In order to reveal the three-dimensional change of the probable geothermal system in the study area, magnetotelluric (MT) measurements were carried out along the profiles in the Northwest-Southeast direction. Similar to field geology studies, faults forming the southern border of the Afyon-Akşehir Gaben System (AAG) and faults cutting them in different directions were determined in the resistivity models of the project area. It is beneficial to open exploration drilling in order to observe the geothermic gradient in low resistivity locations indicating geothermal anomaly by taking detailed DES measurements in low resistivity areas at the intersections of faults with different directions.

2022, xi + 54 pages

Keywords: Afyonkarahisar, Sultandağı, Geology, Geophysics, Geothermal,

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Ahmet YILDIZ'a, jeolojik ve jeofizik çalışmalar sırasında yardımcı olan Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde görev yapan Doç.Dr. Metin BAĞCI'ya, Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN'a, Öğr. Gör. Dr. Özcan ÖZYILDIRIM'a, Öğr.Gör. Feyzullah Ekrem ÇONKAR'a ve Arş. Gör. Sami Serkan İŞOĞLU'na teşekkür ederim. Tez çalışmalarının yürütülmesi sırasında 20.FEN.BİL.28 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederim. Son olarak, her koşulda yanımda olup beni destekleyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

İhsan YAZICI
Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Jeotermal Enerji.....	3
2.1.1 Tanım.....	3
2.1.2 Jeotermal Sistemlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	3
3. MATERYAL VE METOT.....	8
3.1 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler.....	8
3.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri.....	8
3.1.2 X-Işınları Kırınımı (XRD) İncelemeleri.....	8
3.2 Jeofizik Çalışmalar	9
3.2.1 Manyetotellürik (MT) Ölçüm Çalışmaları	11
3.2.1.1 Ölçü Alım Tekniği.....	12
3.2.2 Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) Ölçüm Çalışmaları.....	13
4. BULGULAR.....	16
4.1 İnceleme Alanının Jeolojisi.....	16
4.1.1 Stratigrafi	16
4.1.1.1 Değirmendere Formasyonu	16
4.1.1.2 Dereçine Formasyonu	22
4.1.1.3 Büyük Karabağ Mermerleri	24
4.1.1.4 Dort Formasyonu	25
4.1.1.5 Dursunlu Formasyonu	26
4.1.1.6 Alüvyon	27

4.1.2 Tektonizma	27
4.1.3 İnceleme Alanındaki Jeotermal Sistemlerin Özellikleri.....	28
4.2 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler.....	29
4.2.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri.....	29
4.2.2 X-Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri.....	33
4.3. Jeofizik Çalışmalar	35
4.4 MT Verilerinin Ters Çözümü ile Elde Edilen 2B Özdirenç Modellerinin Yorumu	37
4.4.1 Ayırıştırma Analizi ve Döndürme Açısının Kestirimi	37
4.4.2 Manyetotellürik (MT) Verilerinin 2B Ters Çözümü ve Yorumu	40
4.5 DAÖ Verilerinin Ters Çözümü ile Elde Edilen 1B Özdirenç Modellerinin Yorumu	45
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	49
6. KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ.....	54

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
NH ₄	Amonyum
Cu	Bakır
HCO ₃	Bikarbonat
Zn	Çinko
dk	Dakika
δ	Delta
Fe ₂ O ₃	Demir oksit
°	Derece
gr	Gram
H/S	Hipojen-süperjen
Y	İtriyum
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum oksit
CO ₃	Karbonat
Pb	Kurşun
lt/s	Litre/saniye
MgO	Magnezyum oksit
MnO	Manganez oksit
m	Metre
m ²	Metrekare
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
Nb	Niobiyum
Ni	Nikel
HNO ₃	Nitrik asit
O	Oksijen
K ₂ O	Potasyum oksit
°C	Santigrat derece
cm	Santimetre
SiO ₂	Silisyum dioksit
TiO ₂	Titanyum dioksit
%	Yüzde
Zr	Zirkonyum

Kısaltmalar

AAG	Afyon-Akşehir grabeni
AFJET	Afyon Jeotermal Turizm San. ve Tic. A.Ş.
AFZ	Akşehir fay zone
AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
HREE	Ağır nadir toprak elementleri
ASFS	Akşehir-Simav fay sistemi
Ksp	Alkali feldspat

Kısaltmalar (Devam)

B	Batı
LILE	Büyük iyon yarıçaplı litofil elementler
D	Doğu
Do	Dolomit
EG	Etilen glikol
G	Güney
GD	Güneydoğu
GB	Güneybatı
LREE	Hafif nadir toprak elementleri
HFZ	Hamidiye fay zone
AD	Havada kurutulmuş
Hm	Hematit
I-M	İllit-mika
JUAM	Jeotermal ve Maden Kaynakları Uyg. ve Arş. Merkezi
Ka	Kalsit
Kao	Kaolinit
Km	Kilometre
Km ²	Kilometrekare
Q	Kuvars
K	Kuzey
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
REE	Nadir toprak elementleri
MTA	Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü
MT	Manyetotellürik
O-K	Opal-CT/Kristobalit
Plp	Plajiyoklaz
Sme	Simektit
SEM	Taramalı elektron mikroskop
TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
Vc	Volkanik cam
XRD	X-Işınlari kırınımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 İdeal jeotermal sistem modeli (İnt. Kyn. 3).....	4
Şekil 2.2 Jeotermal sistemin basitleştirilmiş modeli (İnt. Kyn. 4).	5
Şekil 2.3 Afyonkarahisar ili mevcut jeotermal alanlar.	7
Şekil 3.1 Yer manyetik alanı ile güneşten gelen parçacıkların etkileşimi (İnt. Kyn. 8). 11	
Şekil 3.2 “+” şeklinde ölçü alma düzeni (Özyıldırım, 2010).....	12
Şekil 3.3 “L” şeklinde ölçü alma düzeni (Özyıldırım, 2010).....	13
Şekil 3.4 Elektrot dizilimlerinin genel gösterimi.	15
Şekil 4.1 İnceleme alanının jeoloji haritası (Umut 2009, Öcal vd. 2011).	17
Şekil 4.2 2 no’lu MT profiline ait jeolojik enine kesit.....	18
Şekil 4.3 3 no’lu MT profiline ait jeolojik enine kesit.....	19
Şekil 4.4 4 no’lu MT profiline ait jeolojik enine kesit.....	20
Şekil 4.5 5 no’lu MT profiline ait jeolojik enine kesit.....	21
Şekil 4.6 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası Afyon (NJ 36-5) paftası içerisinde yer alan ve Afyon Akşehir Grabeni içerisinde tanımlanan Diri Faylar (Emre vd. 2011; 2018).....	28
Şekil 4.7 İnceleme alanı ve çevresinden alınan numunelere ait ince kesit görüntüleri, Kuars (Ku), Kalsit (Ka), Erime boşlukları (Eb), alterasyon ürünleri (Alt), Mika (Mik) ve Dolomit (Dol).....	30
Şekil 4.8 İnceleme alanı ve çevresinden alınan numunelere ait ince kesit görüntüleri Kuars(Ku), Kalsit(Ka), Erime boşlukları(Eb), alterasyon ürünleri(Alt), Mika(Mik) ve Dolomit(Dol)	32
Şekil 4.9 Dereçine formasyonundaki şist seviyelerine ait Su.S.1 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.	33
Şekil 4.10 Dereçine formasyonundaki şist seviyelerine ait Su.S.2 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.	34
Şekil 4.11 Dort formasyonundaki kilitaşlarına ait Su.Kil.1 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.....	34
Şekil 4.12 Sultandağı bölgesinde jeofizik çalışmaların ilk aşamasının gerçekleştiği 3 nolu MT profili(Google Earth ile hazırlanmıştır.)	36
Şekil 4.13 Sultandağı bölgesinde jeofizik çalışmaların 1. ve 2. aşama sonundaki MT profilleri (Google Earth ile hazırlanmıştır.).....	36
Şekil 4.14 Sultandağı, Profil 2 boyunca tüm istasyonlardaki tüm frekans değerleri için hesaplanan döndürme açıları kullanılarak elde edilen gül diyagramları.....	38
Şekil 4.15 Sultandağı, Profil 3 boyunca tüm istasyonlardaki tüm frekans değerleri için hesaplanan döndürme açıları kullanılarak elde edilen gül diyagramları.	38

Şekil 4.16 Sultandağı, Profil 4 boyunca tüm istasyonlardaki tüm frekans değerleri için hesaplanan döndürme açıları kullanılarak elde edilen gül diyagramları.	39
Şekil 4.17 Sultandağı, Profil 5 boyunca tüm istasyonlardaki tüm frekans değerleri için hesaplanan döndürme açıları kullanılarak elde edilen gül diyagramları.	39
Şekil 4.18 Sultandağı, Profil 2, MT özdirenç modeli	41
Şekil 4.19 Sultandağı, Profil 3, MT özdirenç modeli.	43
Şekil 4.20 Sultandağı, Profil 4, MT özdirenç modeli	44
Şekil 4.21 Sultandağı, Profil 5, MT özdirenç modeli	45
Şekil 4.22 3 nolu profil boyunca ölçülen DES verilerinin yapma kesit şeklinde sunumu ve 1B ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç modelleri.....	46
Şekil 4.23 4 no'lu profil boyunca ölçülen DES verilerinin yapma kesit şeklinde sunumu ve 1B ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç modelleri.....	47
Şekil 4.24 Sultandağı, MT verilerinin 2B ters çözümü sonucu elde edilen Özdirenç modelleri ve çalışma alanda istasyon noktalarını gösteren plan haritası.....	48

,

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Proje alanına ait örneklerin kalitatif XRD sonuçları.	35
Çizelge 4.2 2B ters çözümde kullanılan başlangıç modeli.	40



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne ait Leica DM2500P model polarizan mikroskop.....	8
Resim 3.2 Shimadzu XRD-6000 model X-ışını difraktometre cihazı.....	9
Resim 3.3 MT ölçüm noktalarının arazideki konumu.....	10
Resim 3.4 DES ölçüm noktalarının arazideki konumu.	10
Resim 4.1 Değirmendere formasyonundaki şistlerden numune alımı.....	22
Resim 4.2 Dereçine formasyonundaki dolomitik kireçtaşları.....	23
Resim 4.3 Dereçine formasyonundaki dolomitik kireçtaşlarının şistozite düzlemleri...	23
Resim 4.4 Karaçaltepe kireçtaşı ile Büyük Karabağ mermerleri arasındaki tektonik dokanak (Yıldız vd. 2019).	24
Resim 4.5 Büyük Karabağ mermerlerinden bir görünüm.....	25
Resim 4.6 Dort formasyonu çakıllarından bir görünüm.	26
Resim 4.7 Dursunlu formasyonundaki kilttaşlarından bir görünüm.	27

1. GİRİŞ

Aktif Alp-Himalaya Tektonik Kuşağı üzerinde bulunan Ülkemiz sahip olduğu jeolojik konum itibariyle yaklaşık 1000 adet jeotermal kaynağa sahiptir. Türkiye 2021 yıl sonu itibariyle 710 MW kurulu güce sahip olması nedeniyle dünyada 4. Sırada yer almaktadır (İnt. Kyn. 1). Türkiye’de yer alan jeotermal kaynakların %79’u Batı Anadolu’da yer almakta iken, ikinci sırada % 8,5 ile Orta Anadolu ve üçüncü sırada ise % 7,5 ile Marmara Bölgesi yer almaktadır.

İlimiz, Batı Anadolu’daki en önemli jeotermal sahalardan biridir. Bölgedeki fay hatları, tektonik hareketler ve bölgenin jeolojisi, jeotermal kaynakların oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Bölgedeki sıcak sular fay hatları boyunca çıkmakta ve “düşük-orta sıcaklıklı” jeotermal alanlar sınıfında yer almaktadır. Jeotermal kaynaklar kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS)’ne ait faylar boyunca yüzeye çıkmaktadır. İlimizdeki jeotermal kaynaklar da 30°C üzerinde sıcaklığa sahip toplam yedi adet saha bulunmaktadır. Ayrıca bölgedeki jeotermal kaynakların çoğunluğu Akarçay Havzasında yer almaktadır.

Jeofizik yöntemler sayesinde yer içinin yapısı, yeryüzünde ölçülen verilerle ortaya çıkarılabilir. Yer içindeki fiziksel parametrelerin değişmesi jeotermal akışkanların hareketleri sayesinde olmaktadır. Değişim en çok “Özdirenç (1/Öziletkenlik)” parametresinde gözlenmektedir. “Elektrik ve Elektromanyetik” yöntem ise bu parametreyi inceleyen jeofizik yöntemidir. Son 20 yıla kadar olan jeotermal aramalarda Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) yöntemi 1 Boyutlu (1B) olarak kullanılmaktaydı (Şener vd. 1986, Yücel 1995). Günümüzde de birincil veya ikincil jeofizik yöntem olarak DAÖ yöntemi 1B jeotermal çalışmalarda kullanılmakta ve Düşey Elektrik Sondajı (DES) olarak anılmaktadır (Özdemir 2008, Üçer vd. 2013, Kılıç ve Kıyak 2013). Son 20 yıldır Türkiye ve Dünya’da birincil yöntem olarak arazide ölçü alması daha kolay derin araştırma derinliğine sahip olan Manyetotellürik (MT) yöntemi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Pellerin vd. 1996, Wannamaker vd. 2007, Özurlan ve Ulugergerli, 2005, Newman vd. 2008, Candansayar ve Kaya 2009). Bu çalışma ile Sultandağı’nda MT ve DES verileri toplanmış olup jeotermal alan araştırılarak akışkanın

verimli ve sıcak şekilde çıkartılması amaçlanmıştır. MT ve DES verileri toplanarak, MT verileri 2 boyutlu (2B), DES verileri ise 1 boyutlu (1B) olarak yorumlanmıştır. Bu kapsamda proje alanının jeotermal potansiyelini araştırabilmek için öncelikle alanın jeolojik özellikleri araştırılmıştır. Sonrasında Manyetotellürik (MT) çalışması yapılarak bölgedeki jeotermal sistemin elemanlarının düşey ve yanal yayılımının ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Ayrıca Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) yöntemi uygulanarak, Düşey Elektrik Sondaj (DES) ölçü alım tekniği ile veriler toplanmıştır.



2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Jeotermal Enerji

Dünyada hızla büyüyen nüfus ile birlikte artan araç sayısı, ısınma ihtiyacı ve sanayileşme gibi faktörler alternatif enerji kaynaklarına ihtiyacı artırmıştır. Bu sebepten dolayı ülkemizde ve dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına, temiz, düşük maliyetli ve sürekliliği olması nedeniyle daha çok önem verilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin önemli bir payı vardır.

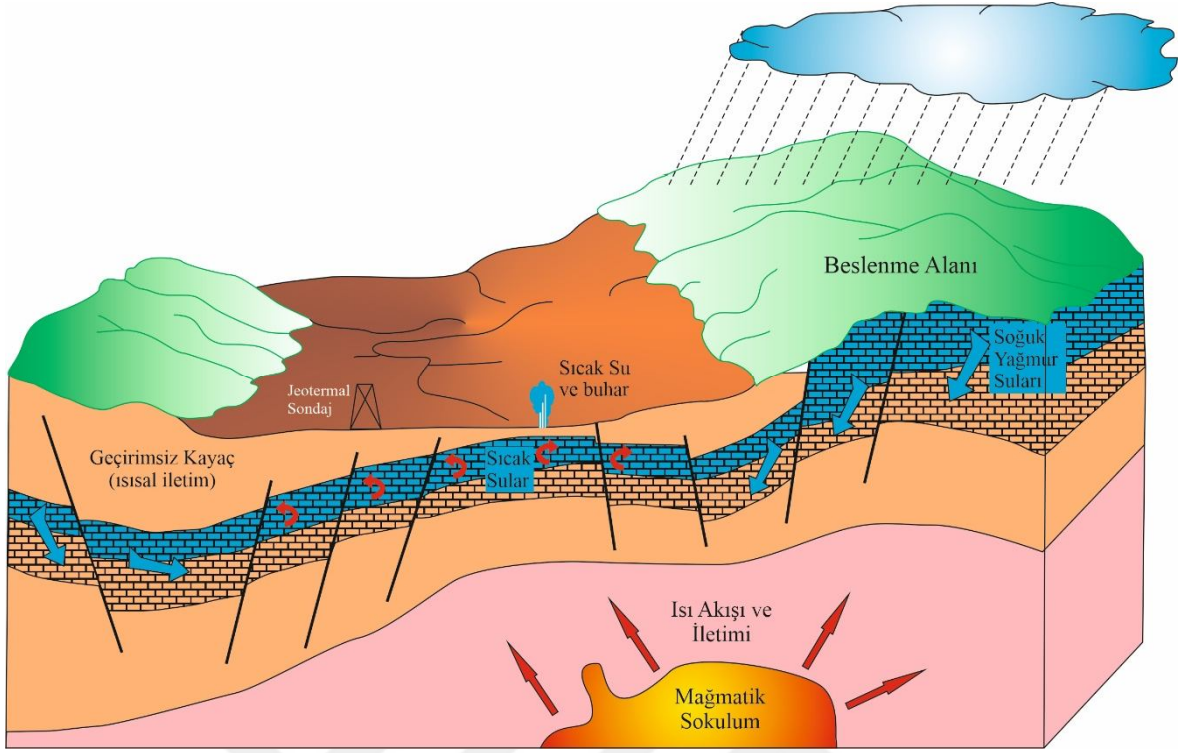
2.1.1 Tanım

İngilizce deki “geo” ve “thermal” kelimeleri sırası ile “yer” ve “ısı” anlamına gelen kelimelerin birleşmesi ile ortaya çıkmış olan jeotermal yer ısısı anlamına gelmektedir. Jeotermal kaynağın; bilimsel anlamı ise; yer küredeki kayaçlar içinde bulunan ısının akışkanlar vasıtası ile taşınıp rezervuar özelliği gösteren kayaçlarda depolanmasıyla meydana gelmiş sıcak su, kuru buhar ve buhardır (İnt. Kyn. 2).

2.1.2 Jeotermal Sistemlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Jeotermal sistemler; beslenme alanı, rezervuar kayaç, ısıyı taşıyan akışkan, örtü kayaç ve ısı kaynağı gibi parametrelerin doğal yollarla bir araya gelmesi sonucu oluşurlar (Şekil 2.1). Isı jeotermal rezervuarda, kayaçlarda yer alan çatlak ve boşlukları dolduran akışkanlarla birlikte kayaçlar içinde bulunur (Yıldız 2019).

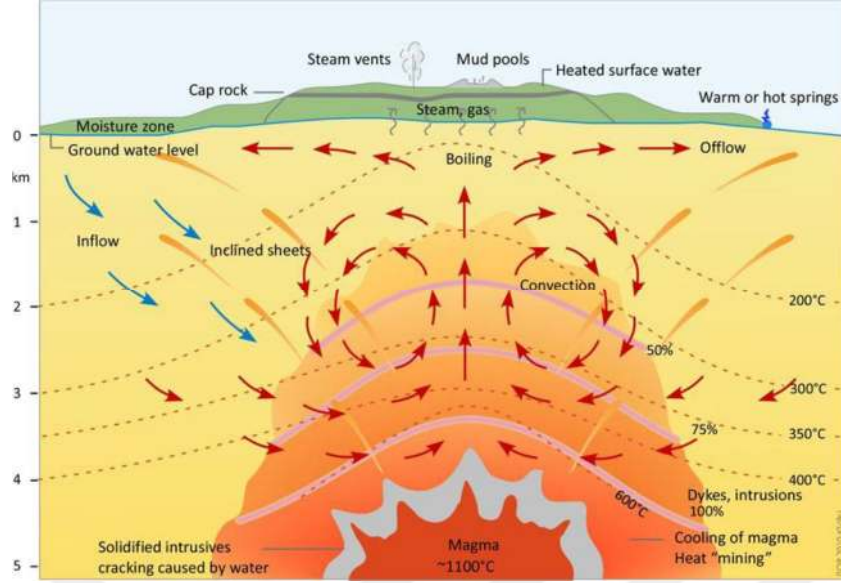
Isı transferi üst mantonun üst bölümlerinde konveksiyon yoluyla, litosferde ise kondüksiyon ile yayılmaktadır. Kayaların ısı iletimi oldukça zayıftır. Sondaj teknolojisinin gelişmesi sebebiyle, günümüzde derin sondajlar daha ekonomik yapılmaya başlamıştır. Bu sondajlarla beraber 200-300 °C’yi bulan yüksek sıcaklık barındıran ortamlara ulaşılmıştır. Jeotermal sistemler birkaç parametreden oluşmakta olup aşağıda verilmiştir (Şahinci 1991).



Şekil 2.1 İdeal jeotermal sistem modeli (İnt. Kyn. 3).

a) Isı Kaynağı: Yerkürenin ilk oluşumunda meydana gelen ısı, ısı kaynakları içerisinde en önemli olanıdır (Şekil 2.1). Bahse konu ısı kaynağı, yer içindeki manto ve magma bölümünden üste doğru ilerlemektedir. Bununla birlikte radyoaktif minerallerin bozunması ile açığa çıkan ısıda unutulmamalıdır. Magmatik intrüzyonlar ve volkanik faaliyetler yer kabuğunun hareketi sebebiyle oluşmaktadır. Sonucunda ise ısı, kabuk içerisinde sığ derinliklere kadar ulaşmaktadır. Bu ısı sayesinde etraftaki kayalarda ısınarak bölgede ısı anamolisi oluşturmaktadır.

b) Isıyı Taşıyan Akışkan: Jeotermal sistemlerde genellikle konvektif (konveksiyon yoluyla) taşıma; yağışlar sonucu yeryüzüne düşen suların yerin gözenekleri ve boşlukları boyunca aşağılara doğru süzülüp sonrasında ısı anamolisine sahip bölgelere ulaşması ve buradan tekrar ısınarak yüzeye doğru sığ derinliklere kadar yükselmesi olayıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Jeotermal sistemin basitleştirilmiş modeli (İnt. Kyn. 4).

c) Rezervuar Kayaç: Yer kabuğunun yüzeye yakın derinliklerinde ısıнын ekonomik olarak üretilebileceği kayaçların hacmine jeotermal sistemlerde rezervuar denilmektedir. İyi bir rezervuar kayaç da bulunması gereken özellikler aşağıdaki maddelerde sahip sıralanmıştır.

- İyi bir kanal sistemi: Yeraltı sularının, ısı kaynağına ulaşarak ısınması, ısınan akışkanın termal konveksiyon akımlarla taşınması,
- Termal konveksiyon akımları: Isınan akışkanın taşınması için ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için rezervuar kayaç içinde taban ve tavan arasında sıcaklık farkı çok az olmalıdır.
- Açık gözeneklilik: Sıcak akışkanın gerektiği kadar depolanması, akışkanın kayaç içinde akabilmesi ve hidrolik iletkenlik katsayısının yüksek olması için birbiriyle bağlantısı olan gözenekler yüksek oranda bulunmalıdır.
- Sığ rezervuar derinliği: Yapılan sondajların ekonomik olması için gereklidir.
- Akışkan miktarı: Jeotermal sistemin uzun süre kullanımını sağlayacak miktarda akışkanın rezervuarda bulunması ve akışkanın kendini sürekli olarak yenilemesi.

d) Örtü Kayaç: Geçirimsiz bir birim olan örtü kayaç, akiferde birikmiş olan akışkanın ısınıı kaybetmemesi için üzerinde bulunan geçirimsiz birimlerdir.

Kondüksiyon ile ısı iletimi önlenemez, fakat bu yolla kaybolan ısı, konveksiyon ile kazanılan ısı yanında önemli değildir. Uygun bir örtü kayaç volkanik arazilerde neredeyse bulunamaz. Bunun sebebi volkanizma, tektonik hareketler sonucuyla oluşmaktadır ve akabinde fay ve çatlak gibi ortamın geçirgenliğini artıran kırıklar oluşur. Jeotermal alanlarda izlenen fümerol ve sıcak su kaynakları, rezervuar kayacın tümüyle korunmadığını, örtü kayacın ideal olmadığını ispatlamaktadır. Örtü kayaç, petrol yataklarında olduğu gibi benzer anlam taşır. Jeotermal alanlarda, petrol yataklarının tersine, jeotermal enerji sürekli olarak yenilenmektedir. Örtü kayaç sayesinde konveksiyon akım oluşmakta, akışkanın ısı ve sıcaklığı korunmaktadır. Örtü kayacın geçirimsiz olma özelliği petrol yataklarındaki kadar önemli değildir. Normal koşullarda suyun sıcaklığının buharlaşma sıcaklığına eşit olması veya üstünde bulunması gerekir. Sondajla rezervuar kayaca ulaşıldığında, sondaj borularındaki basınç, hazne kayaçtan küçük olduğundan, basıncın azalması kaynama sıcaklığının düşmesine sebep olur ve sonuçta buhar fazı gelişir.

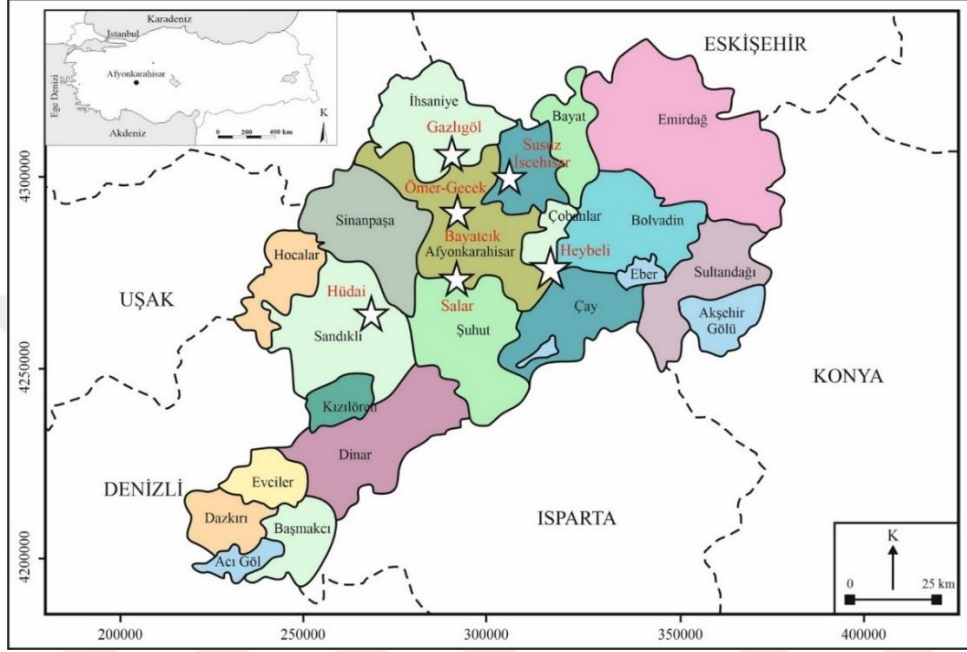
e) Beslenme Alanı: Rezervuarı besleyen jeotermal sistemin etrafındaki alandır. Jeotermal sistemde yeterli miktarda suyun bulunması gerekmektedir. Rezervuarın gerekli miktarda beslenmemesi sonucu bölgedeki sondaj kuyularında ilk olarak verim yükselir. Zamanla basınç ve debi düşebilmektedir. Bu sebeple, enerji üretimini sağlamak için yapılan yapılar kademeli olarak ilerlemelidir ki ileride tesis atıl olarak kalmamalıdır. Suyun yaşı, izotop yöntemleri (trityum) ile saptanır ve bu sayede jeotermal sistemlerin beslenmeleri hakkında bilgi edinilir.

f) Rezervuar Kayaçla Isı Kaynağı Arasında Temel Kayaç: Temel kayaç, genellikle yerkabuğunun 2 veya 5 km derinliklerindeki geçirimsiz metamorfik kayaçlar ile volkanik kayaçlardan oluşmaktadır (Şekil 2.2).

2.1.3 Afyonkarahisar'ın Jeotermal Enerji Potansiyeli

Ülkemizde büyük çoğunluk mevcut olan jeotermal kaynaklar Batı Anadolu'da yer almakta ve Afyonkarahisar ili de bölgenin önemli potansiyele sahip olan sahalarındandır. Afyonkarahisar geneline bakıldığında İhsaniye, Salar, Susuz-İscehisar, Heybeli, Sandıklı,

Gazlıgöl ve Ömer-Gecek jeotermal sahaları olmak üzere yedi adet jeotermal alan mevcuttur (Şekil 2.4). Buralarda üretilen jeotermal sular başta elektrik üretimi, termal turizm, seracılık, konut ısıtmacılığı ihtiyaçları için değerlendirilmektedir. Bazı bölgelerdeki termal suların ise günümüzde aktif kullanımı yoktur.



Şekil 2.3 Afyonkarahisar ili mevcut jeotermal alanlar.

Afyonkarahisar ilindeki jeotermal sahaları sıcaklığına göre sıraladığımızda Ömer-Gecek sahası 50-125°C sıcaklıkta olup elektrik üretimi, seracılık, şehir ısıtma ve turizm amaçlı kullanılmaktadır. Sandıklı sahası 65-85°C ve Gazlıgöl sahası 40-85°C ile seracılık, şehir ısıtma ve turizm için kullanılmaktadır. Heybeli sahası 30-55°C ile seracılık ve turizm için kullanılmaktadır. İscehisar yaklaşık 40°C sıcaklıkta ve turizm için kullanılmaktadır. Sıcaklık kullanım için yeterli olmayan Ihsaniye sahası yaklaşık 36°C ve Salar sahası yaklaşık 30°C sıcaklıklara sahiptirler.

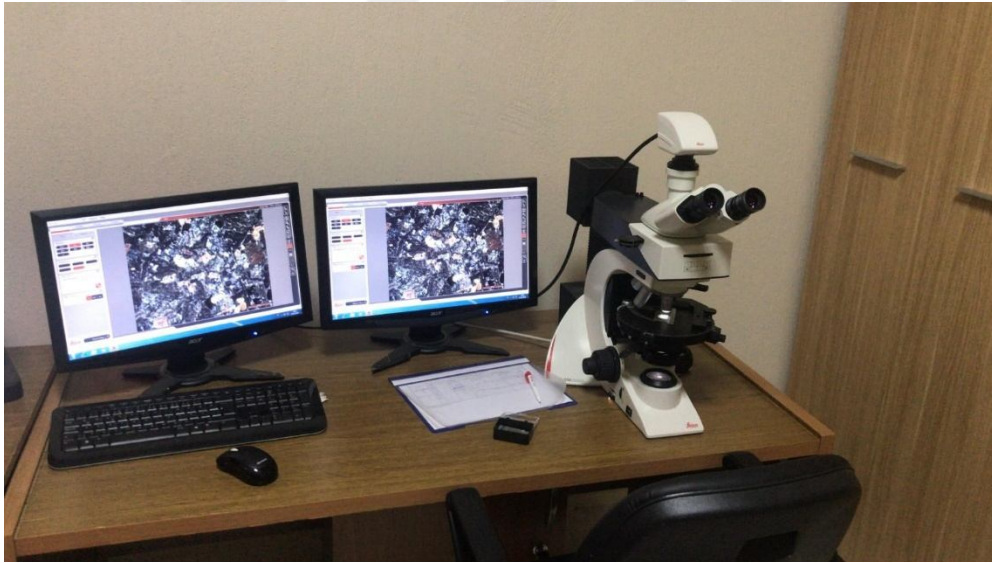
3. MATERYAL VE METOT

3.1 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

Polarizan mikroskop incelemeleri ve X-ışınları difraktometresi (XRD) incelemeleri olmak üzere mineralojik incelemeler 2 şekilde yürütülmüştür.

3.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

Örneklerin mineral bileşimleri ve dokusal özelliklerinin belirlenmesi için gerekli olan Polarizan mikroskop çalışmaları AKÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında Leica DM2500P model mikroskop ile yapılmıştır (Resim 3.1). Bunun için örneklerin ince kesitleri hazırlanmıştır.



Resim 3.1 Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne ait Leica DM2500P model polarizan mikroskop.

3.1.2 X-Işınları Kırınımı (XRD) İncelemeleri

Tüm kayaçların X-ışını kırınımı (XRD) analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM)'nde Shimadzu XRD-6000 model X-ışını difraktometre cihazı (Ni filtreli, Cu, K radyasyonlu) kullanılarak yapılmıştır (Resim 3.2).

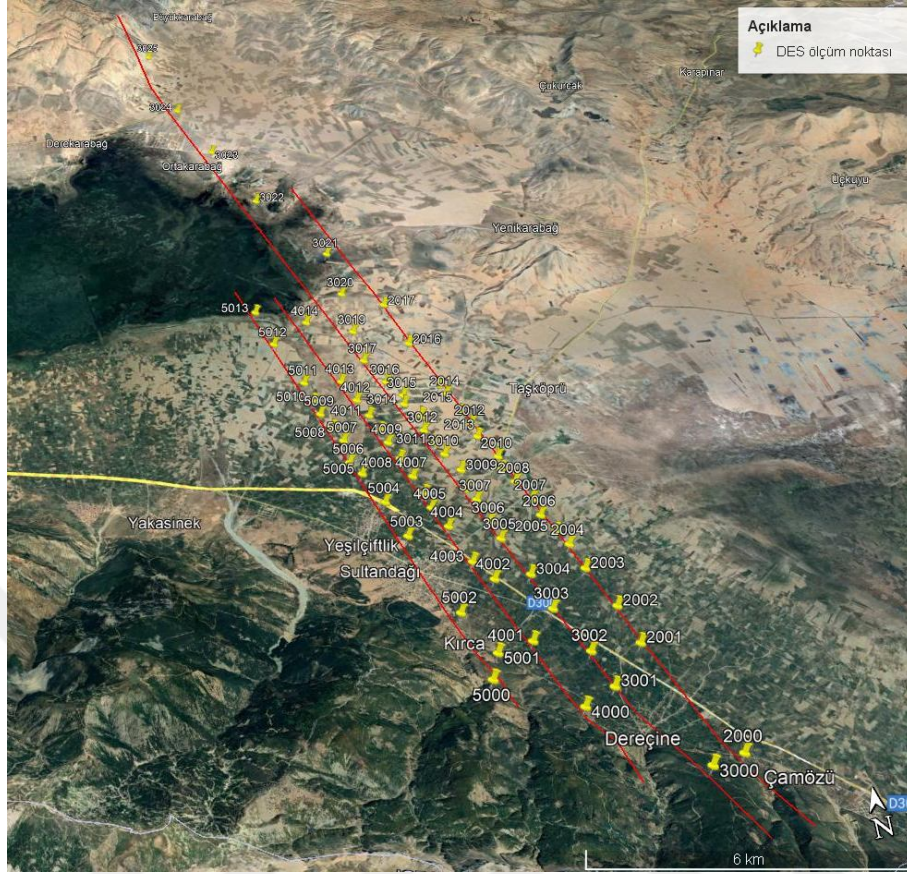
Analizlerde 40 kV (voltaj) ve 30 mA (akım) difraksiyon değerleri seçilmiştir. Numuneler 2°/dk’da taranarak 2°-70° goniometre kırınım açısı aralığında 2000 cps (intensity) pik yoğunluğunda analiz edilmiştir.



Resim 3.2 Shimadzu XRD-6000 model X-ışını difraktometre cihazı.

3.2 Jeofizik alışmalar

Manyetotellürik (MT) yöntemi ve Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) yöntemi jeotermal sistem araştırmalarında en çok tercih edilen yöntemlerdir. Tez çalışmasında da bu yöntemler kullanılarak MT ve DAÖ ölçümleri yapılmış ve noktaların dağılımları sırası ile şekil 3.3-3.4’te gösterilmiştir. Yöntemlerin kısa teorisi ve kaynağına izleyen kısımlarda yer verilmiştir.



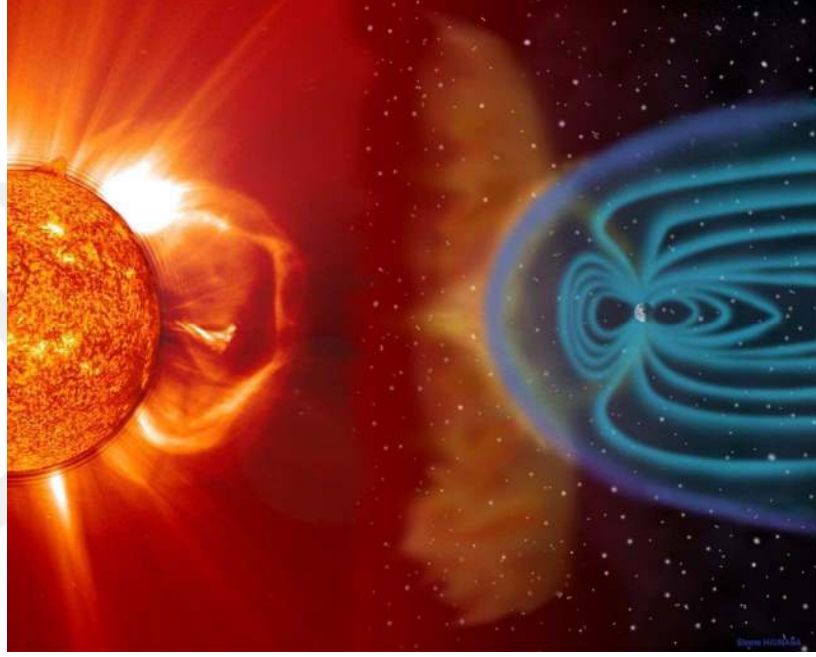
Resim 3.3 MT ölçüm noktalarının arazideki konumu.



Resim 3.4 DES ölçüm noktalarının arazideki konumu.

3.2.1 Manyetotellürük (MT) Ölçüm Çalışmaları

Doğal kaynaklı bir jeofizik elektromanyetik yöntem olan MT yöntemini anlatan ilk incelemeler Tikhonov (1950) ve Cagniard (1953) tarafından ele alınmıştır. Araştırmacılara göre atmosferde, manyetosferde ve iyonosferde meydana gelen olaylar manyetik alandaki değişimlerin kaynağıdır. MT yönteminin kaynağını mevcut olan doğal elektromanyetik alan sağlamaktadır (Şekil 3.1).

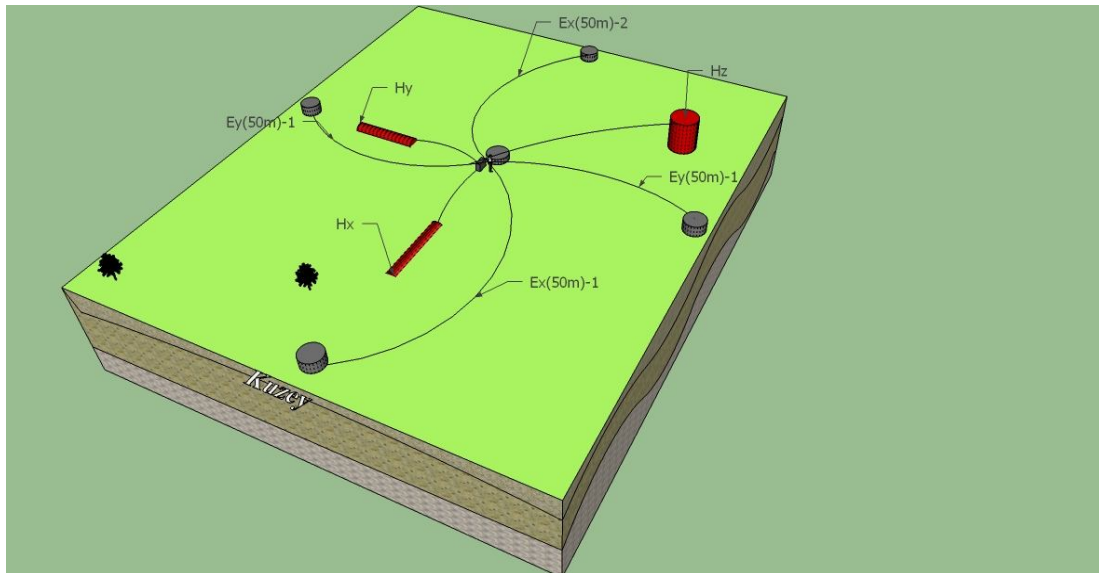


Şekil 3.1 Yer manyetik alanı ile güneşten gelen parçacıkların etkileşimi (İnt. Kyn. 8).

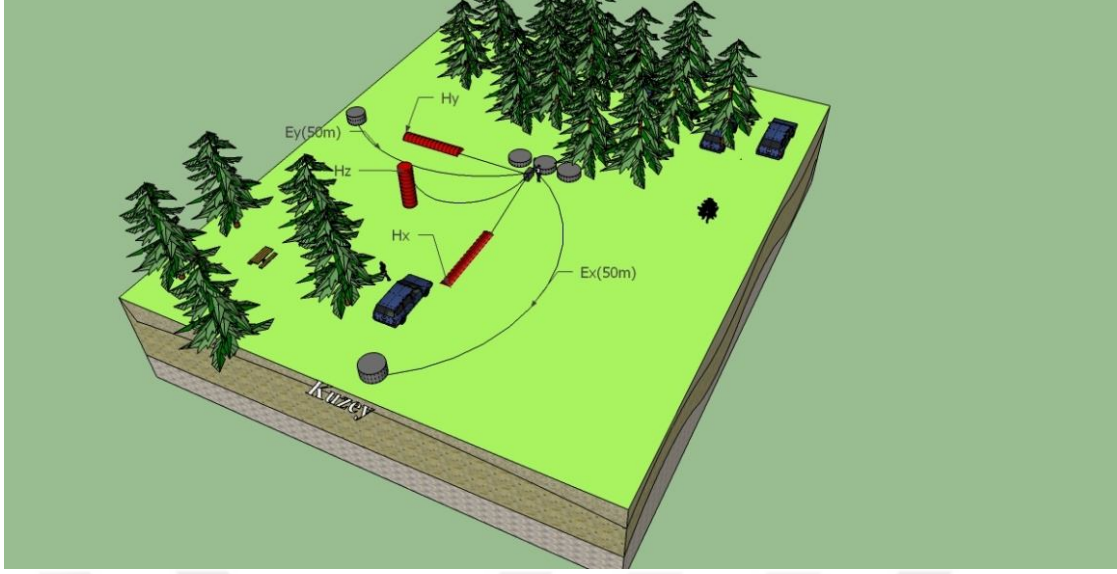
MT yöntemi sayesinde yer kabuğunun en derin bölümlerini incelemek mümkün olabilmektedir (Candansayar 2002). Çalışma alanında MT düzeneğinin kurulacağı yer yapay gürültülere uzak mesafelerde olmalıdır. Bunun sebebi MT düzeneğinin yakında yer alabilecek elektromanyetik verici, yerdeki mevcut elektromanyetik alanı olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Gürültünün olmadığı yerler seçemiyorsak, dipol aralıklarının küçük seçilmesi verinin biraz daha sağlıklı olmasına yardımcı olmaktadır. Bununla beraber bazı zamanlarda, güneşten gelen elektromanyetik sinyaller güneşten dolayı az olursa, ölçü düzeneğinin yeri çok düzgün seçilse bile, sağlıklı veri toplayamama ile yüz yüze kalınabilir (Özyıldırım 2010).

3.2.1.1 Ölçü Alım Tekniği

MT yönteminde ne kadar derin ölçü almak istiyorsak o kadar fazla zamana ihtiyaç vardır. Jeotermal çalışmalar için alınacak ölçünün zamanı ekonomi açısından daha kısa tutulabilir. 4-18 saat jeotermal sahalar için ideal bir zamandır. MT yöntemde arazide çoğunlukla iki türlü düzenek kullanılmaktadır. Bunlar “+” veya “L” şeklinde olmaktadır. “+” şeklinde çalışma düzeneği Şekil 3.2’de ve “L” şeklinde çalışma düzeneği ise Şekil 3.3’te gösterilmektedir. Ölçü alım esnasında karışıklık olmaması için arazi çalışmasında mümkün olduğunca belli bir mantık çerçevesinde tek tip ölçüm alınması faydalı olacaktır. Örneklendirmek gerekirse, H_x ölçüm manyetometresi yapılacak ölçülerde ölçüm alınan yerin kuzeyine yerleştirilebilir, H_y ölçüm manyetometresi de doğuya, H_z ölçüm manyetometresi ise kuzey batı yönünde dik konuma getirilir. Ancak bazen arazi koşullarının buna el vermediği durumlarda konumlandırmalarda değişiklik yapılması mümkündür. Yine bu yüzden E_x bileşeni ölçüsü alan mevcut potlar kuzey-güney, E_y bileşenindeki iki pot ise doğu-batı yönünde konumlandırılabilir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3; Özyıldırım 2010). Sonuç olarak MT yönteminde, manyetik alanın 3 bileşeni (H_x , H_y , ve H_z) ve elektrik alanın 2 bileşeni (E_x ve E_y) ölçülmüş olacaktır.



Şekil 3.2 “+” şeklinde ölçü alma düzeni (Özyıldırım, 2010).



Şekil 3.3 “L” şeklinde ölçü alma düzeni (Özyıldırım 2010).

Genel olarak bakıldığında MT verileri bir doğrultu yönünde çalışır ve ölçülen veriler 2B ters çözüm algoritmaları kullanılarak yorum yapılır. MT verilerinin 2B ters çözümünde, empedans tensörünün 3-boyutluluğu göz önünde bulundurmak gerekir. Bundan dolayı, sabit olduğu var sayılan yer-elektrik doğrultu belirlemek gerekir. Yer elektrik doğrultusu bulunması için ayrıştırma yöntemleri kullanılır.

3.2.2 Doğru Akım Öz direnç (DAÖ) Ölçüm Çalışmaları

Doğru akım ile yapılan çalışmalarda, homojen ve izotrop kayacı elektriksel yönden karakterize eden büyüklük rezistivite (öz direnç) değeridir. Öz direnç, bir materyalin elektrik iletkenliğini gösteren öz iletkenliğin tersidir. Bu durum doğru akımla yaklaşık penetrasyon özelliğine sahip; düşük frekanslı alternatif akımlar içinde aynı kabul edilebilir. Öz direnci ρ (ohm.m) olan, sonsuz izotrop bir ortama herhangi bir yerindeki nokta kaynaktan akım verildiğinde R (m) kadar uzağındaki noktalardaki akım yoğunluğu Ohm Yasası gereğince;

$$J = \frac{E}{\rho} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial V}{\partial R} \quad (3.1)$$

olur. Burada J akım yoğunluğu, E(Volt/m) elektrik alan, V(Volt) gerilim, R kaynaktan olan uzaklıktır. Akım yoğunluğu, akımın geçtiği kesit yüz ölçümüne oranı olarak tanımlanır;

$$J = \frac{I}{A} = \frac{\text{Amper}}{m^2} \quad (3.2)$$

Kaynaktan R uzaklığında olan noktaların bir küre yüzeyi oluşturduğu göz önüne alınarak, (3.1) ve (3.2) no'lu denklemlerin sağ tarafı birbirine eşitlenirse;

$$\frac{I}{4\pi R^2} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial V}{\partial R} \quad (3.3)$$

Buradan;

$$\partial V = \frac{\rho \cdot I}{4\pi R^2} = \partial R \quad (3.4)$$

sonucu elde edilir. Her iki tarafın integrasyonu, nokta akım kaynağının kendisinden R uzaklığında oluşturduğu gerilimi verir;

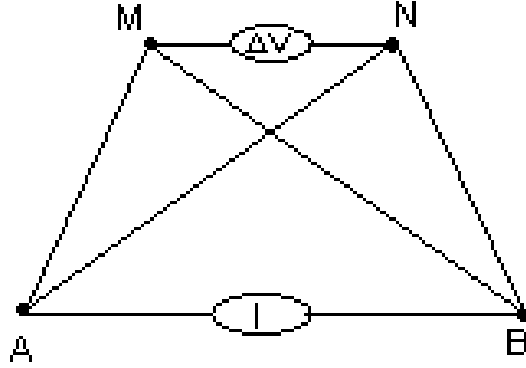
$$V = \frac{\rho \cdot I}{4\pi R} + C \quad (3.5)$$

Kaynaktan çok uzak noktalarda gerilimin sonlu bir değeri olmayacağından C integrasyon sabiti sıfır olmalıdır. Gerçekte yer yuvarı hava ile sınırlı olduğundan, ortamın yarı sonsuz alınması gerekir. O halde gerilim denklemi;

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2\pi R} \quad (3.6)$$

olur. I akımı homojen ve izotrop yarı sonsuz bir ortama, A ve B noktalarındaki elektrotlar verilsin. Bu durumda M ve N noktalarındaki gerilim elektrotları arasındaki gerilim farkı izleyen şekilde hesaplanır.

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho \cdot I}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (3.7)$$



Şekil 3.4 Elektrot dizilimlerinin genel gösterimi.

Denklem (3.8)' dan homojen ortamın özdirenci;

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} + \frac{1}{BM} + \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)} \quad (3.8)$$

olmak üzere,

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (3.9)$$

elde edilir. Buradaki K geometrik faktör olarak isimlendirilir ve uzaklık boyutundadır.

Denklem (3.7) sadece homojen ortam için geçerliydi. Fakat gerçekte yer homojen değildir. O yüzden arazide ölçtüğümüz Potansiyel Fark (ΔV), ve verilen Akım'dan (I) yararlanarak hesaplanan özdirenç değeri, Görünür Özdirenç (ρ_a) olarak adlandırılır. Bu değer, jeolojik yapının şekline, özdirencine ve kullanılan elektrot dizilimine bağlıdır. Görünür Özdirenç değeri izleyen şekilde yazılabilir;

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I} \quad (3.10)$$

K= Geometrik Faktör (Elektrod dizilim tekniğine göre değişir)

ΔV = Ölçülen potansiyel fark (mV)

I = Yere verilen akım (mA)

ρ_a = Görünür özdirenç (ohm-m)

4. BULGULAR

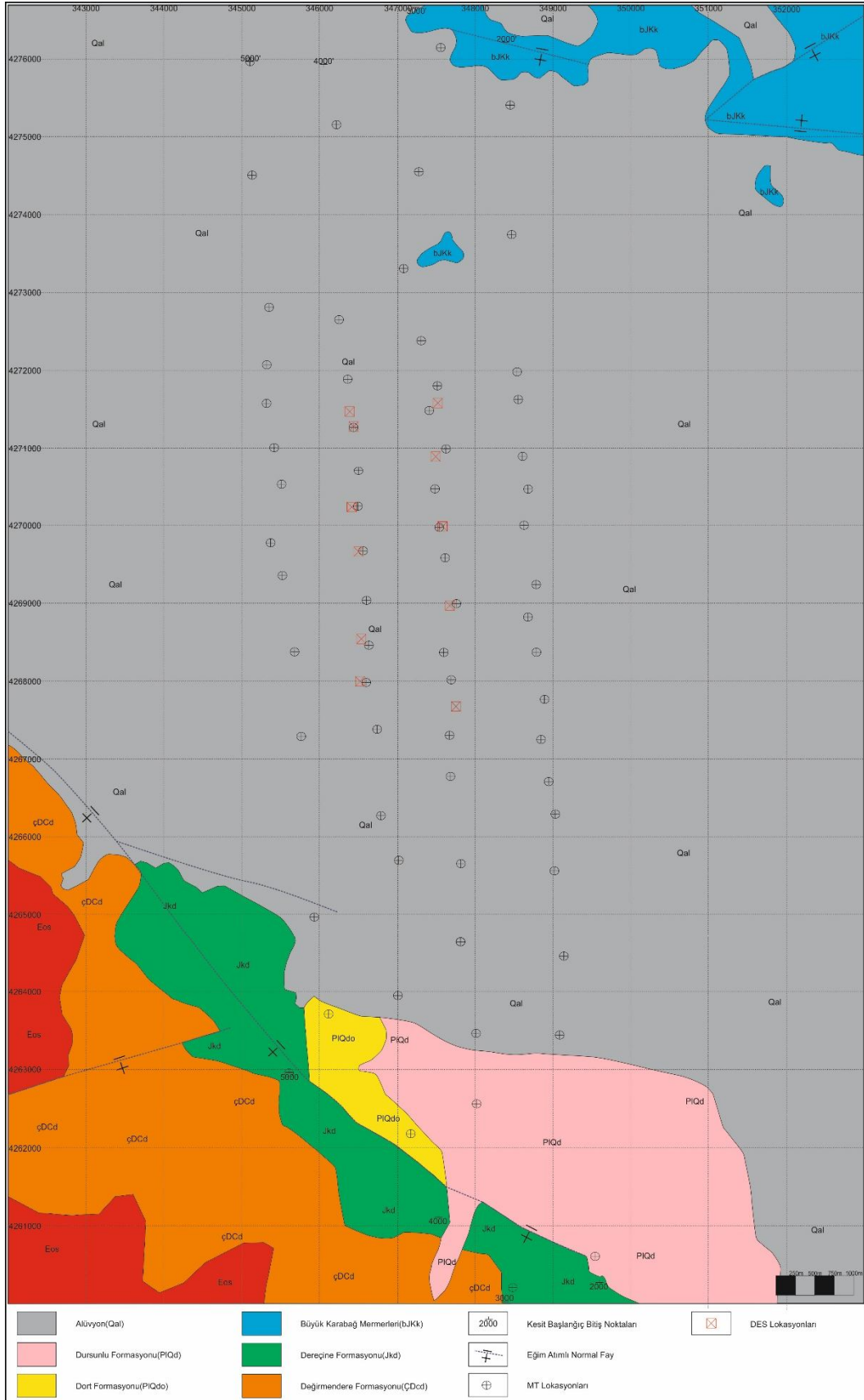
4.1 İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanında atlı farklı formasyon gözlenmiş ve haritalanmıştır. Çalışma alanında yer alan en yaşlı birim Karbonifer-Üst Devoniyen yaşa sahip olan Değirmendere formasyonuna ait şistlerdir. Değirmendere formasyonunun üzerinde Kretase-Üst Jura yaşlı Dereçine formasyonu gözlenmiştir. Kretase-Jura yaşlı Büyük Karabağ formasyonuna ait rekristalize kireçtaşları temel kayaçların üzerine açılı uyumsuzlukla gelmiştir. Bu birimin üzerine ise gene açılı uyumsuzlukla Dort formasyonuna ait genellikle çakıltaşı içeren sedimanlar yer almaktadır. Dort formasyonunun üzerinde Dursunlu formasyonuna ait litolojik olarak yamaç molozu görünümünde çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı birimleri gözlenmiştir. Kuvaterner yaşa sahip olan alüvyonlar ise çalışma bölgesindeki en genç birimlerdir (Şekil 4.1).

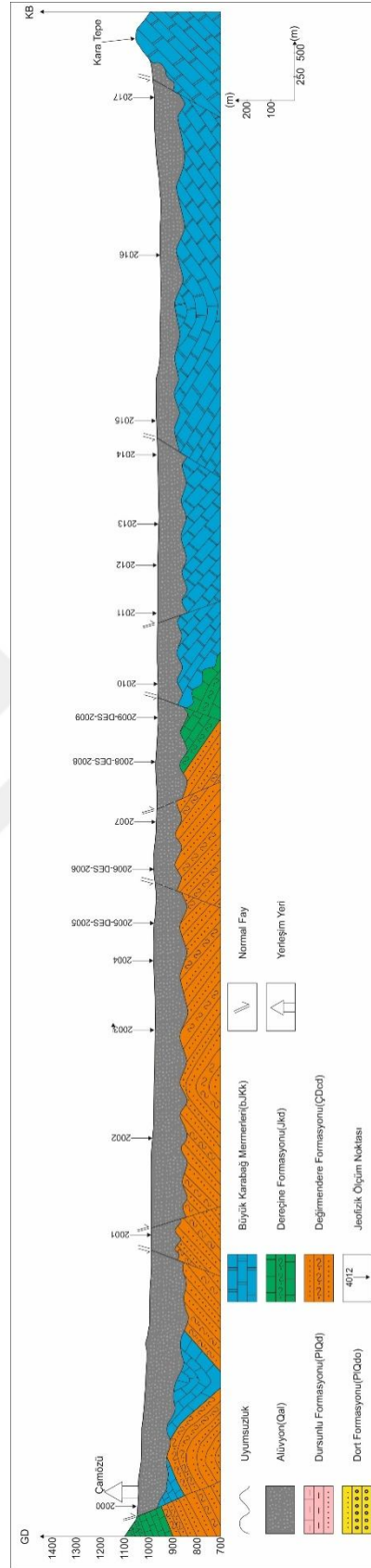
4.1.1 Stratigrafi

4.1.1.1 Değirmendere Formasyonu

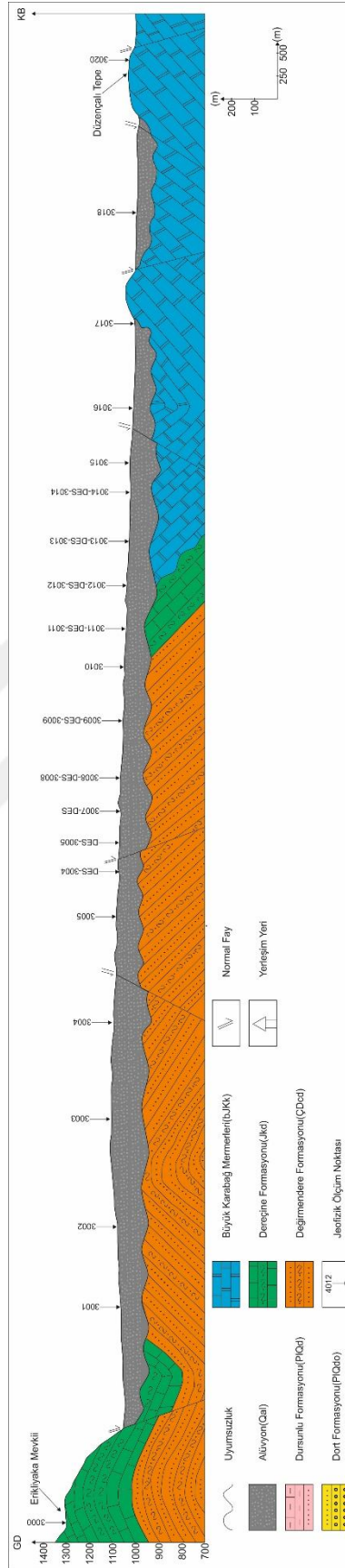
Formasyon yeşilşist fasiyesinde metamorfizması sonucu kırıntılı ve karbonatlardan oluşmuş olup, Metin vd. (1987) Çay grubu olarak incelemiş, Özgül vd. (1991) Değirmendere formasyonu olarak adlandırmıştır. Değirmendere Formasyonu klorit, serisit, kuvarsit ve kayraklardan oluşmaktadır. Kuvarsit ve yeniden kristallenmiş kireçtaşı ve dolomitler ara katkılarını sağlar. Şist ve fillitler gri, kahve, yeşil ve mor renklerde olup iyi gelişmiş şistozite düzlemlerine sahiptirler.



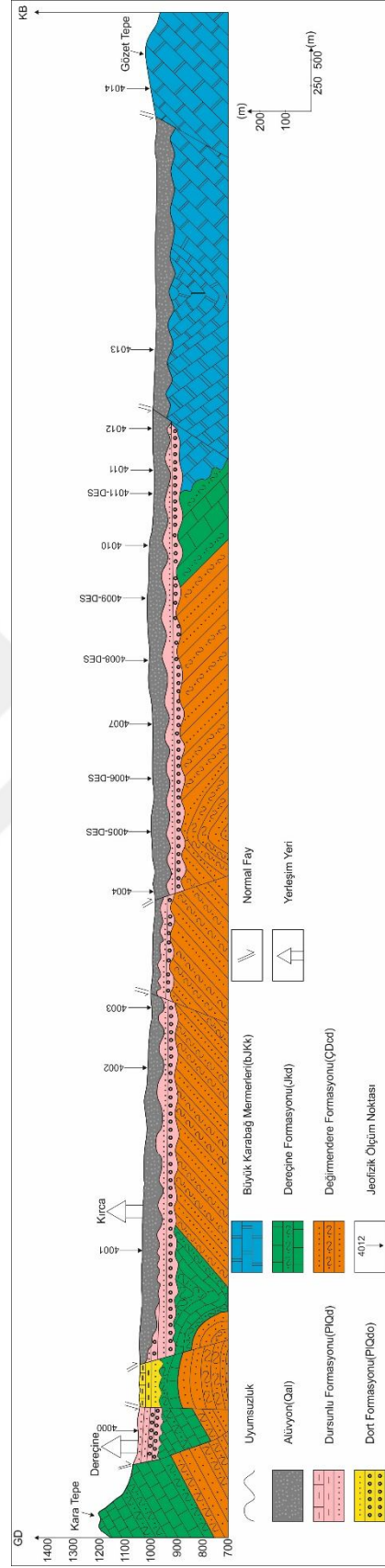
Şekil 4.1 İnceleme alanının jeoloji haritası (Umut 2009, Öcal vd. 2011).



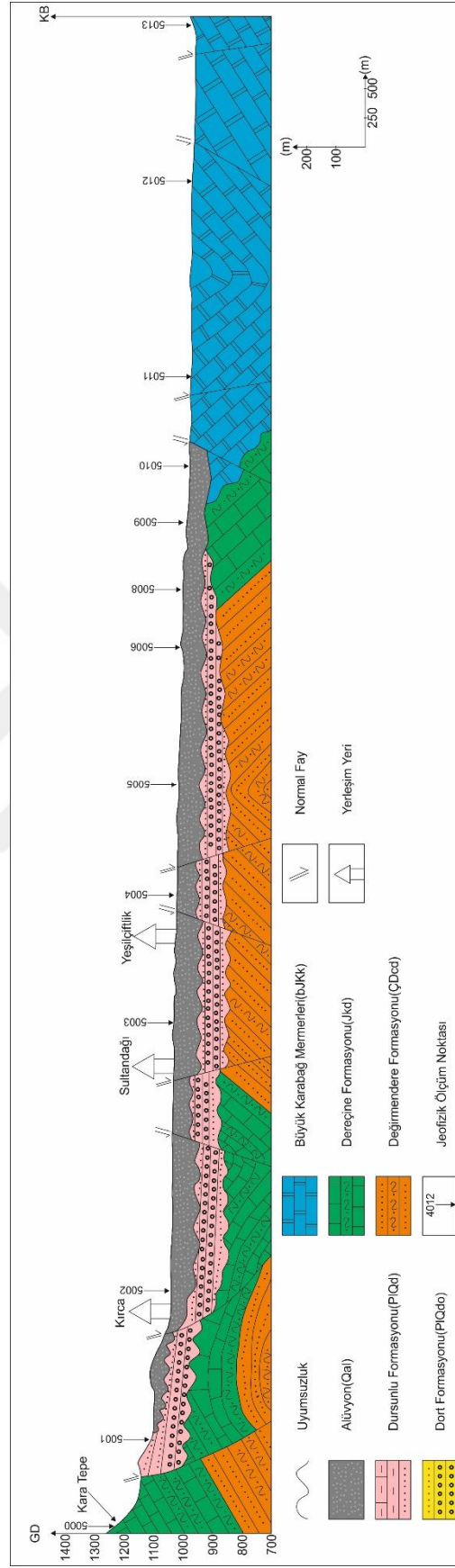
Şekil 4.2 2 no'lu MT profiline ait jeolojik enine kesit.



Şekil 4.3 3 no'lu MT profiline ait jeolojik enine kesit.



Şekil 4.4 4 no'lu MT profiline ait jeolojik enine kesit.



Şekil 4.5 5 no'lu MT profiline ait jeolojik enine kesit.



Resim 4.1 Değirmendere formasyonundaki şistlerden numune alımı.

4.1.1.2 Dereçine Formasyonu

Dolomitik ya da neritik kireçtaşları ile başlayıp yukarı doğru çakmaktaşı ve yumrulu mikritleri kapsayan birim, Özgül vd. (1991) tarafından incelenip adlandırılmıştır. Dereçine formasyonu kalınlığı 5-20 m arasında değişen genellikle koyu gri renkli dolomitik kireçtaşları ile başlamaktadır. Şistozite düzlemleri boyunca beyaz renkli kalsitik yüzeyler oluşmuştur.



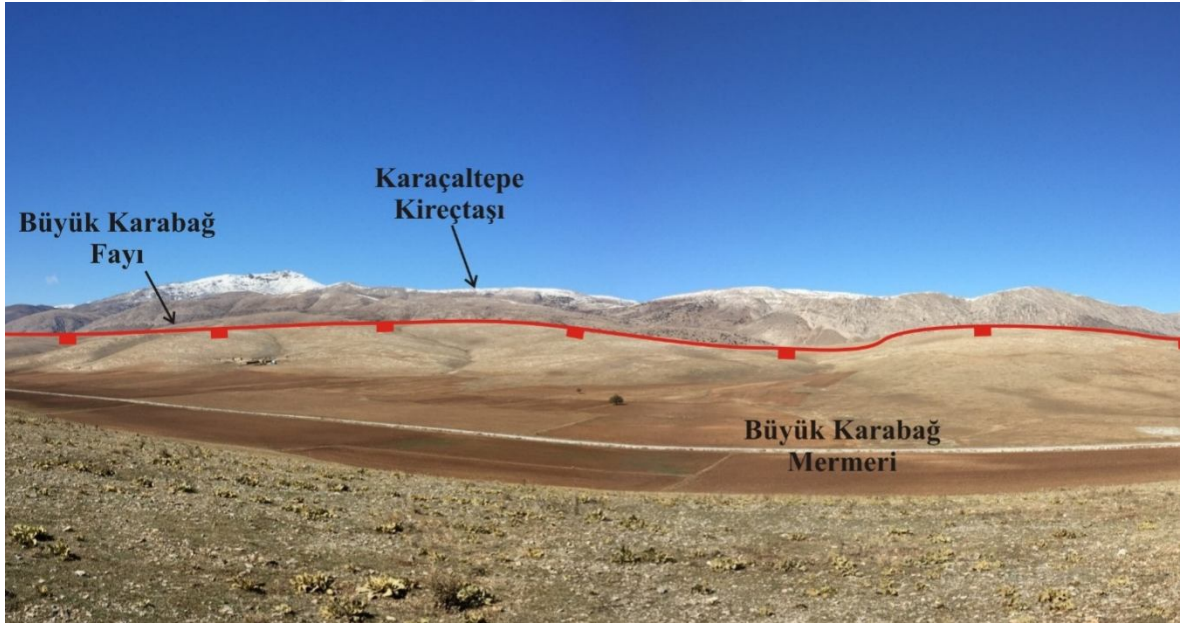
Resim 4.2 Dereçine formasyonundaki dolomitik kireçtaşları.



Resim 4.3 Dereçine formasyonundaki dolomitik kireçtaşlarının şistozite düzlemleri.

4.1.1.3 Büyük Karabağ Mermerleri

Birim ilk kez Kibici vd. (2001) tarafından adlandırılmış, ayrı bir birim olarak haritalanmış ve Karaçaltepe formasyonunun üyesi olarak incelenmiştir. Gri, koyu gri ve siyah renkli olan Karaçaltepe formasyonu, kalın-orta tabakalanmalıdır ve dolomitik özelliktedir. Üste doğru açık gri ve beyaz renkli olan ve litolojik ve petrografik olarak kristalize kireçtaşı-mermer özellikleri gösteren Büyük Karabağ mermerlerine geçiş yapmaktadır. Karaçaltepe kireçtaşları içinde KD-GB yönlü olarak uzanım sunan mermerler bu birimle tektonik olarak birbirinden ayrılmakta olup (Şekil 4.4), mermerlerin tabaka kalınlığı yer yer 2 m'ye ulaşmaktadır. Yıldız vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada Büyük Karabağ mermerlerinin mineralojik-petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından İscehisar mermerlerine benzer özellikler sunduğu ve gelecekte İscehisar mermerlerine alternatif olarak işletilebileceği belirtilmiştir (Şekil 4.5).



Resim 4.4 Karaçaltepe kireçtaşı ile Büyük Karabağ mermerleri arasındaki tektonik dokanak (Yıldız vd. 2019).



Resim 4.5 Büyük Karabağ mermerlerinden bir görünüm.

4.1.1.4 Dort Formasyonu

Akşehir Gölü çevresinde gevşek tutturulmuş, kum, çakıl, blok boyutundaki birim Demirkol vd. (1977) tarafından Dort Formasyonu olarak adlandırılıp incelenmiştir. Birim genel olarak yatay konumlanmıştır. Çakıllar kısmen yuvarlanmış olup çoğunlukla belirgin köşeli ve az köşelidir. Çakılları, kireçtaşı, şist ve kuvarsit gibi daha yaşlı kayaçların parçaları oluşturmaktadır. Taban konglomerası özelliği göstermekte olup metamorfik kayaçlara göre daha yumuşak bir topoğrafya oluşturmuştur (Resim 4.6).



Resim 4.6 Dort formasyonu çakıllarından bir görünüm.

4.1.1.5 Dursunlu Formasyonu

Beyaz, sarı renkli kil, kıltaşı, çakıltaşı ve kumtaşıyla oluşan birim Umut vd. (1987) tarafından Dursunlu formasyonu olarak ayırt edilmiştir. Litolojik olarak genelde yamaç molozu özelliği görünümündedir. Çakıllar kireçtaşı ve şist kökenlidir. Arazi çalışmaları esnasında çevre köylülerin pekmez toprağı olarak kıltaşı birimden malzeme aldıkları gözlenmiştir (Resim 4.7).



Resim 4.7 Dursunlu formasyonundaki kilaşlarından bir görünüm.

4.1.1.6 Alüvyon

Proje alanının önemli bir bölümünde çakıl, kum, silt ve kil gibi gevşek tutturulmamış alüvyal düzlükler bulunmaktadır. Bölge tektoniğine bağlı olarak yamaç molozu, alüvyon yelpazesi ve alüvyon bölgedeki en genç çökellerdir.

4.1.2 Tektonizma

 nceleme alanı Afyon-Akşehir Grabeni içinde yer almakta olup, Türkiye Diri Fay Haritası'na göre proje alanı ve yakın çevresinde çok sayıda diri fay bulunmaktadır (şekil 4.6). Bu haritaya göre, Bolvadin ve Sultandağı alanları,  obanlar Fay Zonu (1 numara), Dişli Fayı (2 numara), Bolvadin Fayı (3 numara), Büyük Karabağ Fayı (4 numara),  ukurcak Fayı (5 numara), Sultandağı Fayı (6 numara), Karamık Fayı (7 numara), Kali Fay Zonu (8 numara) ve Işıklar Fay Zonu (9 numara) olmak üzere 7'si diri 2'si olası diri

jeotermal sahası 125°C sıcaklığa sahip su rezervuarları içermekte olup çalışma alanına en yakın Heybeli jeotermal sahası 55°C sıcaklığa sahip su rezervuarları içermektedir. Jeotermal sıcaklık verileri Afyon Jeotermal Tesisleri 'den (AFJET) alınmıştır. Bu çalışmada, inceleme alanında jeotermal sahalarının yapısal özelliklerini değerlendirmek için jeolojik haritalama, jeomorfolojik ve yapısal analizleri içeren yeni saha kanıtları sunulmaktadır.

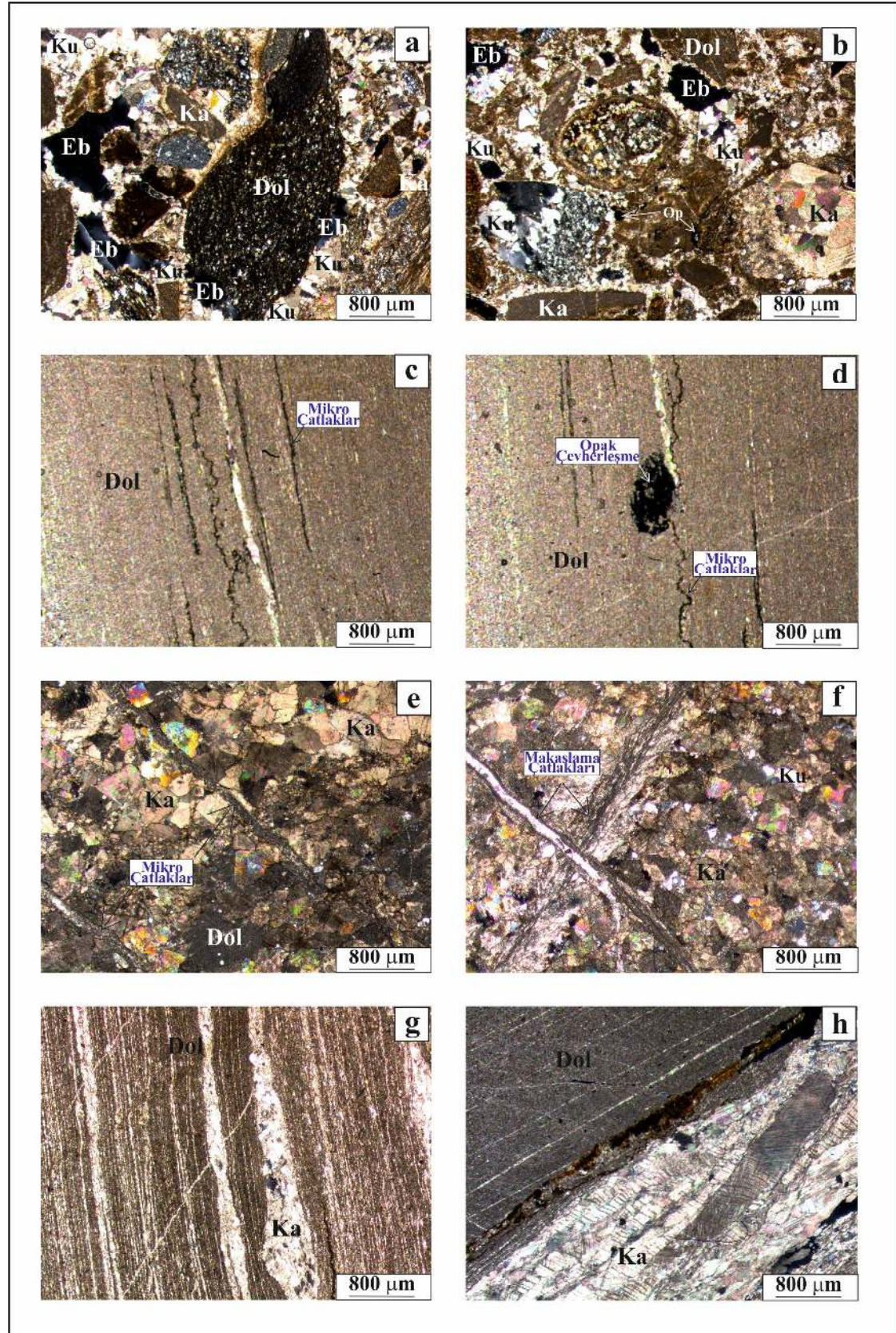
4.2 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

Mineralojik ve Petrografik incelemeleri polarizan mikroskop ve XRD analiz incelemeleri olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir.

4.2.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

Proje alanındaki farklı kaya türlerinin mineralojik-petrografik özelliklerinin belirlenmesi için Dereçine formasyonunun dolomitik kireçtaşları, Büyük Karabağ mermerleri ile Dort Formasyonuna ait çakıltaşları polarizan mikroskopta incelenmiştir. Dort Formasyonuna ait çakıltaşlarında yapılan incelemede çakılların kötü boylandığı ve iyi tutturulmamış olduğu gözlenmektedir. Kesitte erime boşlukları olduğu ve çakıltaşını oluşturan malzemenin genellikle metamorfik parçalar içerdiği görülmüştür. Kesitte kuvars, kalsit ve dolomit mineralleri gözlenmektedir. Ayrıca kesitte küresel ikincil dolgular yer almaktadır (Şekil 4.7 a.b).

Dereçine formasyonunun dolomitik kireçtaşında polarizan mikroskop incelemelerinde belirgin ince laminal bantlı yapılar gözlemlenmiştir. Örnek kireçtaşları ve şistlerin sınır dokanağını temsil etmektedir. Matriks içerisindeki dolomitik mineraller içinde mikro çatlaklarda opak minerallerin varlığı gözlemlenmektedir. Bu opak mineraller genellikle stilolit(solucan) yapıları şeklindedir (Şekil 4.7 c.d).



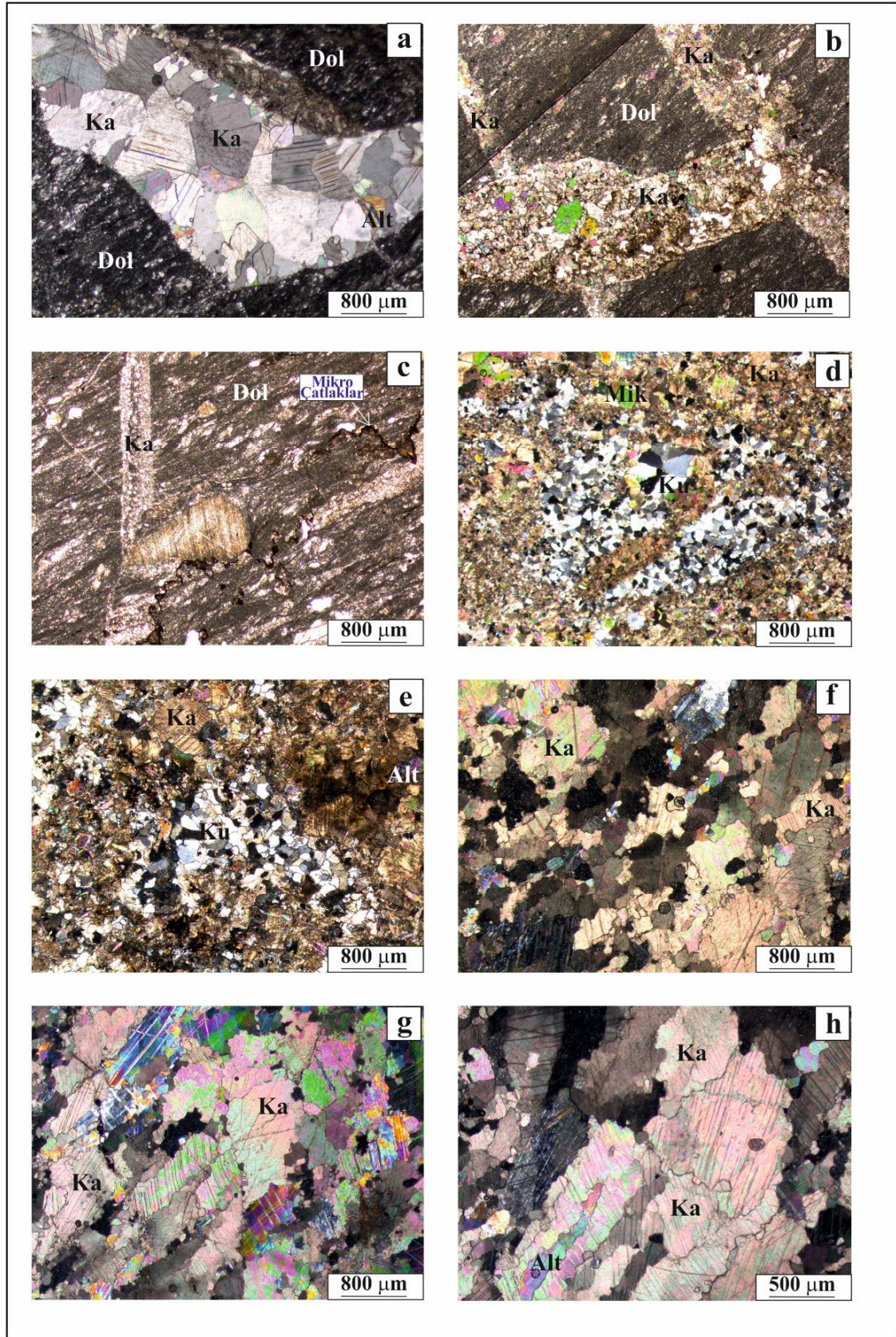
Şekil 4.7 İnceleme alanı ve çevresinden alınan numunelere ait ince kesit görüntüleri, Kuvars (Ku), Kalsit (Ka), Erime boşlukları (Eb), alterasyon ürünleri (Alt), Mika (Mik) ve Dolomit (Dol).

Dolomitik kireçtaşı el örneğinden yapılan kesitte birincil kalsit kristalleri yer almakta olup ayrıca daha iri taneli ikincil dolomit kristalleri bulunmaktadır. Kesitte kalsit, dolomit ve kuvars mineralleri bulunmaktadır. İncelemede mikro makaslama çatlakları gözlenmiş olup bu çatlaklara kalsit mineralleri yerleşmiştir (Şekil 4.7 e.f).

Kayacın matriksi mitritik dokuya sahip dolomit kristallerinden oluşmaktadır. Birbirine paralel çok sayıda mikro çatlaklara yerleşmiş kalsit bantları gözlemlenmiştir. İkincil kalsit damarlarına paralel olarak gelişmiş çatlaklar içerisine opak mineraller yerleşmiştir. İkincil kalsit tanelerinde yönlenme gözlenmiş olup bu yönlenme çatlak hattına paralel gelişmiştir (Şekil 4.7 g.h). Dereçine formasyonuna ait koyu gri renkli dolomitik kireçtaşı el örneğinde yapılan ince kesitte kayacın matriksi mitritik dokuya sahip dolomit kristallerinden oluşmaktadır. Kayaç içerisindeki mikro çatlaklara sekonder (ikincil) kalsitik mineralleri yerleşmiştir. Dolomit ve kalsit minerallerinin sınır dokanaklarında yer yer opak mineraller vardır. Kalsit tanelerinin içinde gelişen çatlaklarda alterasyon ürünleri gözlemlenmiştir. Kalsit sınırına yakın yerleşmiş dolomit kristalleri daha iri taneli oldukları görünmekte olup kalsit kristallerinde polisentetik ikizlenme yapıları vardır. Kesitte ana kalsit dolgu hattını kesen paralel çok sayıda ikincil kalsit damarları gözlenmektedir. Matriks içinde yer yer litik materyaller (kayaç parçaları) bulunmakta olup pitikmatik (solucan) kıvrımlar içinde opak minerallerin varlığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.8 a-c).

Rekristalize kireçtaşında yapılan kesitte kalsit, kuvars ve mika mineralleri yer almaktadır. Kayacın silis içeriği yüksek olduğu gözlenmektedir. Kesitte yer yer alterasyon ürünlerinin yer aldığı görülmektedir (Şekil 4.8 d;e).

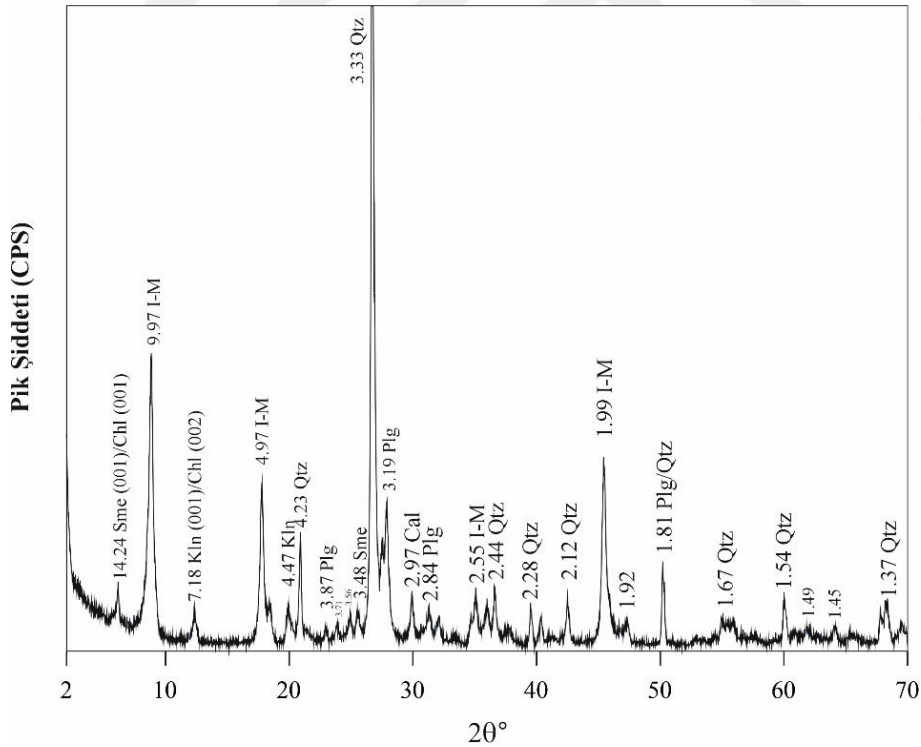
Kayaç mermer olup, kayacı kalsit taneleri oluşturmaktadır. İnce kesitte kayaça granoblastik (eştane boyu) doku gözlemlenmektedir. Kalsitlerde polisentetik ikizlenmeler hakimdir. Yer yer kalsit tanelerinde alterasyon izleri vardır (Şekil 4.8 f-h).



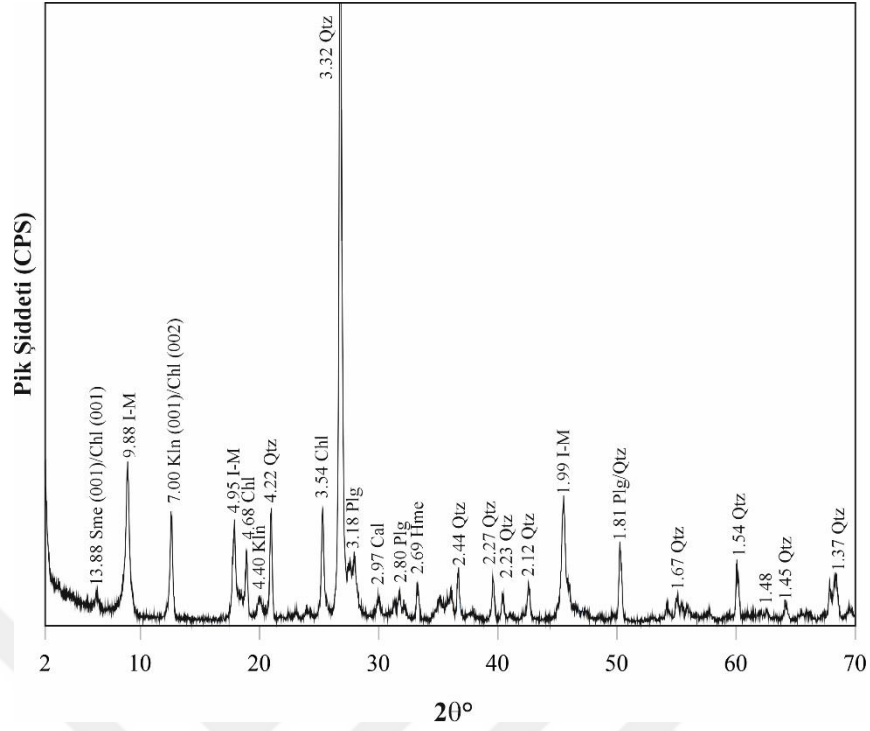
Şekil 4.8 İnceleme alanı ve çevresinden alınan numunelere ait ince kesit görüntüleri Kuvars(Ku), Kalsit(Ka), Erime boşlukları(Eb), alterasyon ürünleri(Alt), Mika(Mik) ve Dolomit(Dol)

4.2.2 X-Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri

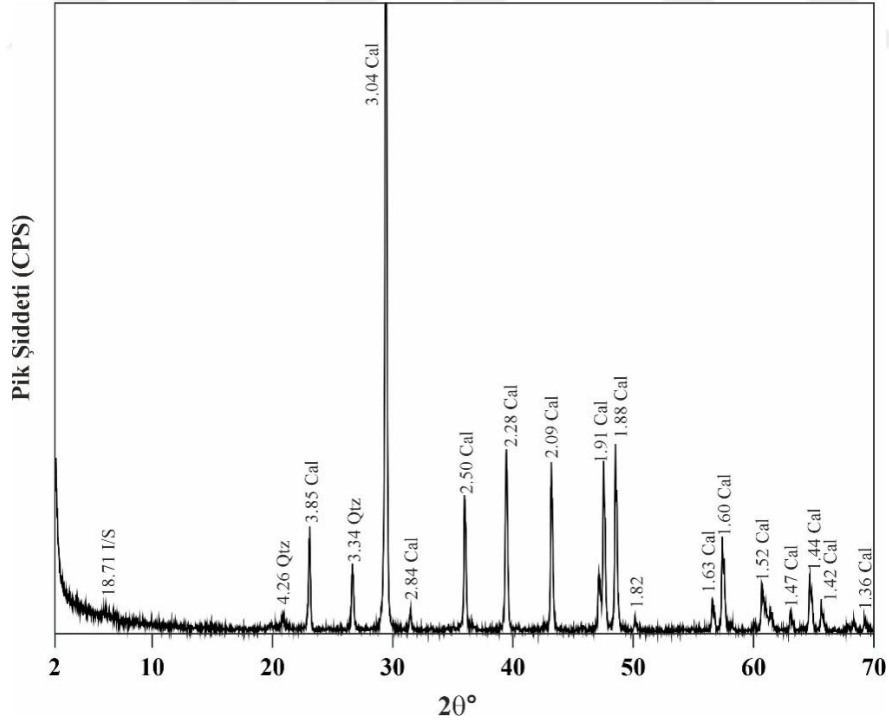
Proje alanındaki jeotermal sistemin geçirimsiz temelini oluşturan Dereçine formasyonundaki şist seviyelerinden (Su.S.1 ve Su.S.2) ve jeotermal sistemin örtü birimleri içinde yer alan Dort formasyonunun kıltaşlarından (Su.Kil.1) alınan örneklerinin x-ışını kırınımı (XRD) grafikleri Şekil 4.9-4.11’de örneklerin kalitatif mineralojik analizleri ise Çizelge 4.1’de verilmiştir. Şist örneklerinin XRD analizleri büyük oranda benzerlikler göstermektedir. Örneklerdeki en önemli kayaç yapıcı mineraller illit-mika, kuvars ve plajiolit. Simektit, klorit ve kaolinit örneklerdeki başlıca kil mineralleridir (Şekil 4.9-4.11). Ayrıca örneklerde düşük oranda kalsit ve hematit mineraline rastlanmıştır. Su.Kil.1 örneği büyük oranda kalsit mineralinden meydana gelmiştir. Ayrıca kil minerali olarak karışık tabakalı illit/simektit minerali gözlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.9 Dereçine formasyonundaki şist seviyelerine ait Su.S.1 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.



Şekil 4.10 Dereçine formasyonundaki şist seviyelerine ait Su.S.2 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.



Şekil 4.11 Dort formasyonundaki kilaşlarına ait Su.Kil.1 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.

Çizelge 4.1 Proje alanına ait örneklerin kalitatif XRD sonuçları.

Örnek Kodu	I/S	Sme	Chl	I-M	Kln	Qtz	Plg	Cal	Hme
Su.S.1		+	+	+	+	+	+	+	
Su.S.2		+	+	+	+	+	+	+	+
Su.Kil.1	+							+	

Not:(I/S): Karışık tabakalı illit/simektit, (Sme): Simektit, (Chl): Klorit, (I-M): İllit-mika, (Kln): Kaolinit, (Qtz): Kuvars, (Plp): Plajiyoklaz, (Cal): Kalsit, (Hme): Hematit.

4.3. Jeofizik Çalışmalar

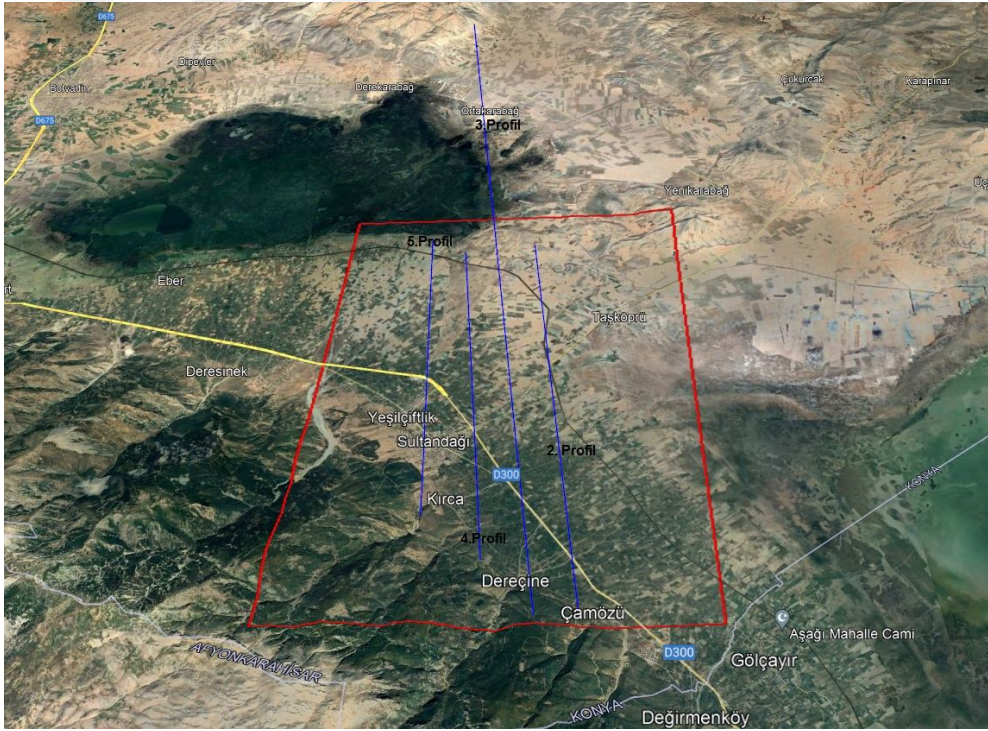
Tez kapsamında Sultandağı bölgesinde gerçekleştirilen jeolojik çalışmalar sonrasında, bölgedeki jeotermal sistemin elemanlarının düşey ve yanal yöndeki yayılımını ortaya koyabilmek amacıyla jeofizik (manyetotellürik (MT) ve doğru akım öz direnç (DAÖ)) çalışmaları yapılmıştır. Çalışma alanında yapılan jeofizik çalışmalar 3 aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Aşama: Bölge jeolojisine uygun olarak bu aşamada Afyon Akşehir Grabeni'nin tamamını ve grabenin kuzey ve güney bölümündeki horst yapısını kapsayacak şekilde KB-GD doğrultulu profil doğrultusu (3 no'lu profil) boyunca MT ölçümleri alınmıştır. Bu aşamadaki temel hedef detay çalışmalar öncesinde bölgenin jeotermal yapısının ortaya konmasıdır. Bu aşamadan elde edilen çalışmalar sonucunda detay jeofizik çalışmalar planlanmıştır (Şekil 4.12).

2. Aşama: MT verilerinin yorumlanması sonucu elde edilen 3 no'lu profilin öz direnç kesiti yardımıyla, 3 no'lu profil doğrultusuna paralel olacak şekilde 2, 4 ve 5 no'lu profil doğrultuları boyunca MT verileri toplanmıştır. Toplanan ölçüler bilgisayar programları yardımı ile ön veri işlemden geçirilmiştir. Daha sonra veriler yorumlanarak, 2 boyutlu öz direnç modelleri hazırlanmıştır. Şekil 4.13'te 2. aşamada MT verilerinin toplandığı profiller verilmiştir.



Şekil 4.12 Sultandağı bölgesinde jeofizik çalışmaların ilk aşamasının gerçekleştiği 3 nolu MT profili (Google Earth ile hazırlanmıştır.)



Şekil 4.13 Sultandağı bölgesinde jeofizik çalışmaların 1. ve 2. aşama sonundaki MT profilleri (Google Earth ile hazırlanmıştır.)

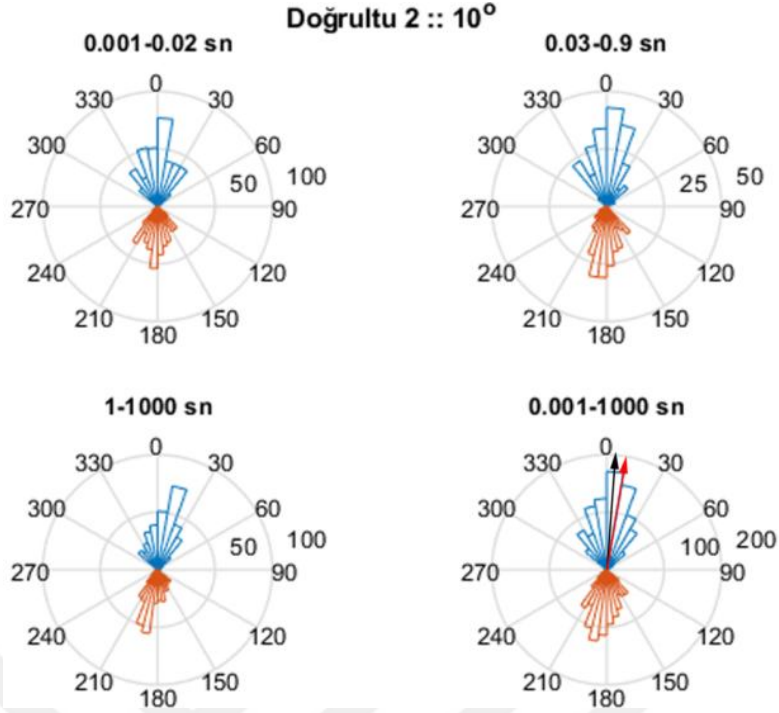
3. Aşama: 1 ve 2. aşamada toplanan MT verilerinden elde edilen sonuçlar sonrası 3 ve 4 no'lu profiller üzerinde doğru akım öz direnç (DAÖ) ölçümleri yapılmıştır. Bu aşamadaki çalışmaları en önemli hedefi MT ve DAÖ verilerinin korelasyonunu sağlayarak, ileride yapılması planlanan jeotermal sondaj kuyu yerinin belirlenmesidir. DAÖ yöntemi, MT yöntemine göre yapay kaynaklardan daha az etkilenen ikincil yöntem olarak uygulanmıştır.

4.4 MT Verilerinin Ters Çözümü ile Elde Edilen 2B Öz direnç Modellerinin Yorumu

4.4.1 Ayırıştırma Analizi ve Döndürme Açısının Kestirimi

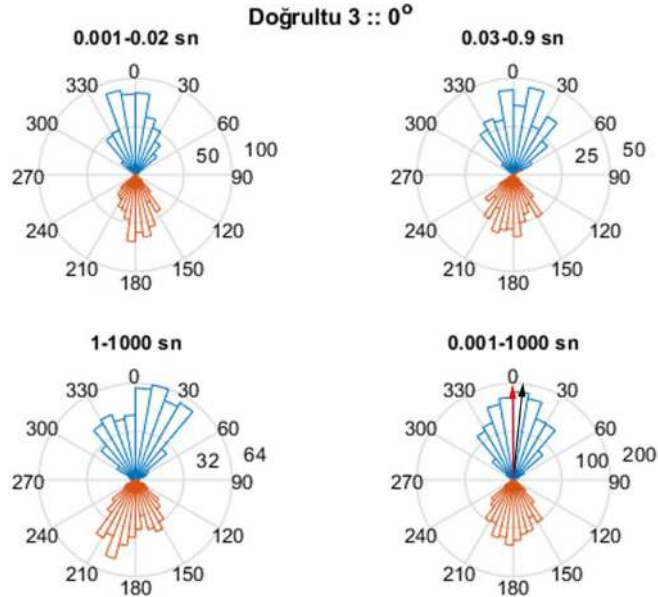
Verilerin 2-B yorumlanabilmesi için, her doğrultu için ayrı ayrı yer-elektrik doğrultusu bulunmuştur. Bu çalışmada, yer elektrik doğrultusu bulunması için veriler öncelikle Groom ve Bailey (1989) tarafından yapılmış (G&B) ayırıştırma analizi ile ve sonra McNeice ve Jones (2001) tarafından geliştirilmiş 'strike' kodu ve Özyıldırım (2010) tarafından geliştirilmiş FNIDEC kodu ile de yer elektrik doğrultusunun doğruluğu sınanmıştır. Şekil 4.14-4.17'de sırasıyla Profil 2-5 için döndürme açıları bulunmuştur. Analizler sonunda 2B ters çözüm için döndürme açıları Profil 1 için 10° , Profil 2 için 0° , Profil 3 için 25° ve Profil 4 için 20° her üç ayırıştırma analizi ile değerlendirilerek seçilmiştir.

Her doğrultu için elde edilen empedans tensörleri, yukarıdaki kısımda anlatılan açılar yönünde döndürülmüştür. Çalışmalar esnasında manyetik kuzey yönü x-olarak işaretlenmektedir. Önceki bölümde belirtilen açılara döndürülen doğrultuların empedans tensörlerinden Z_{xy} bileşeni TE-modu ve Z_{yx} bileşeni ise TM-modu olarak seçilmiştir. Bununla birlikte empedans faz değerleri ve görünür öz direnç her iki mod için elde edilmiştir. Çalışmalarda veri işlem bölümünden sonra bütün doğrultular için toplanan verilerin 2B ters çözümü yapılarak öz direnç modelleri elde edilmiştir.

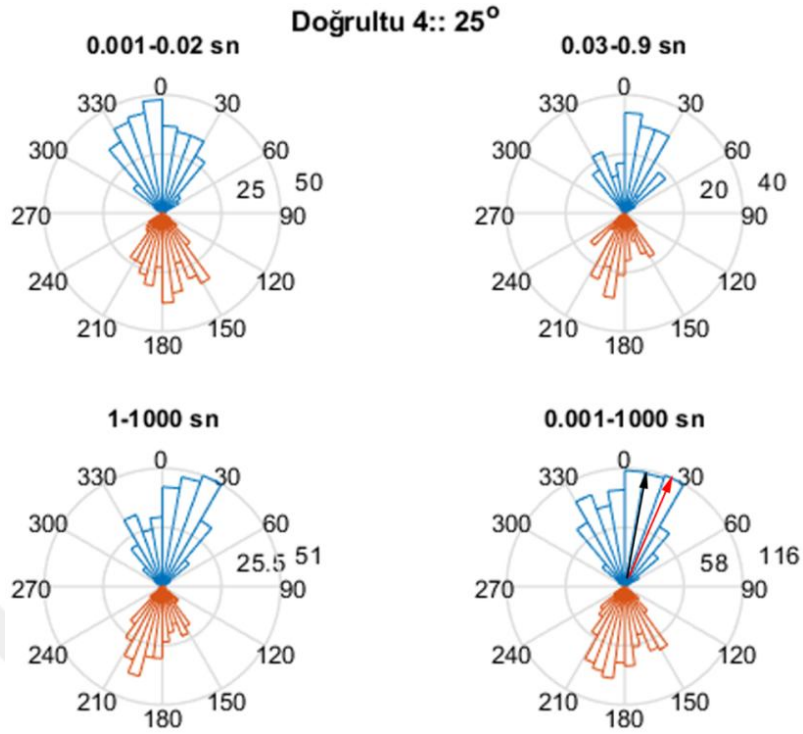


Şekil 4.14 Sultandağı, Profil 2 boyunca tüm istasyonlardaki tüm frekans değerleri için hesaplanan döndürme açıları kullanılarak elde edilen gül diyagramları

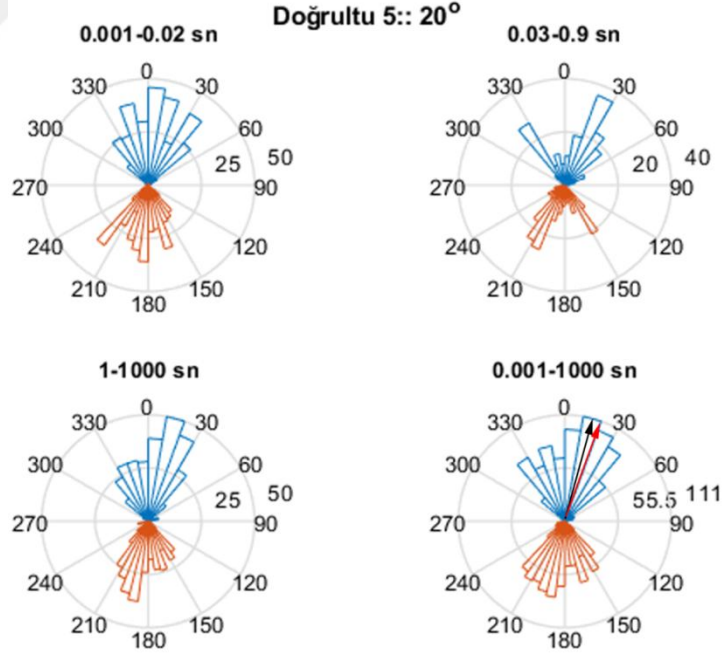
(Gül diyagramları çizilen bütün şekillerde, her bir diyagram üzerinde döndürme açısı değerlerinin kullanıldığı frekans aralığı gösterilmiştir)



Şekil 4.15 Sultandağı, Profil 3 boyunca tüm istasyonlardaki tüm frekans değerleri için hesaplanan döndürme açıları kullanılarak elde edilen gül diyagramları.



Şekil 4.16 Sultandağı, Profil 4 boyunca tüm istasyonlardaki tüm frekans değerleri için hesaplanan döndürme açıları kullanılarak elde edilen gül diyagramları.



Şekil 4.17 Sultandağı, Profil 5 boyunca tüm istasyonlardaki tüm frekans değerleri için hesaplanan döndürme açıları kullanılarak elde edilen gül diyagramları.

4.4.2 Manyetotellürik (MT) Verilerinin 2B Ters Çözümü ve Yorumu

TE ve TM modu belirlenen veriler için 2-B ters çözümü uygulanmıştır. Çözüm esnasında için AKÜ JUAM Müdürlüğü'nün sahip olduğu 'Wingling' Programı kullanılmıştır. Ters çözümlerde, model ağının x-yönündeki blok sayısı istasyon sayısına göre değişmektedir. Genel olarak x- yönünde ortalama 130 ve z-yönünde 170 blok kullanılmıştır. Tüm ters çözümlerde z-yönünde blok kalınlıkları logaritmik olarak derine doğru %10 artan şekilde seçilmiştir. X-yönündeki blok kalınlıkları ise istasyonlar arası mesafe ve topoğrafya değişimine göre ayarlanmıştır. Genel olarak her iki istasyon arası en az dört bloğa bölünmüştür. Ters çözümde, başlangıç modeli olarak Çizelge 4.2'deki 1B model seçilmiştir. Çalışma alanında istasyonlar arası mesafe yaklaşık 0.5-2 km olarak seçilmiştir. Aşağıda her bir doğrultu için elde edilen 2B öz direnç modelleri sunulmuştur.

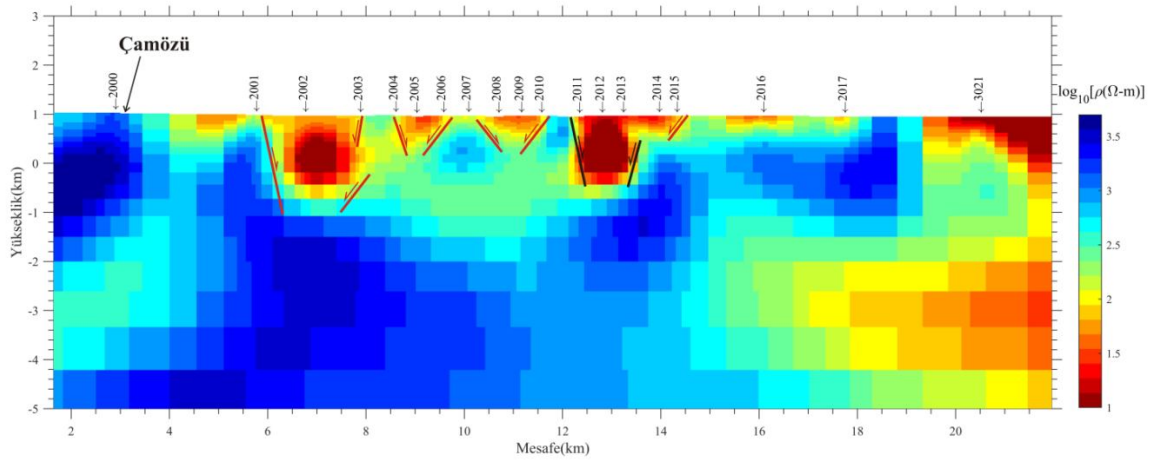
Çizelge 4.2 2B ters çözümde kullanılan başlangıç modeli.

Tabaka No	Özdirenç (ohm-m)	Derinlik (km)
Sedimanter Örtü	50	0 – 2
Üst Kabuk	500	2 – 13
Alt Kabuk	5	13 – 30
Manto Üst Sınır	250	30 – 50
Manto	1	50 – Sınır

Çalışmada profillerin doğrultuları olası fayları dik kesecek şekilde oluşturulmuştur. Her model yorumlandığında muhtemel olabilecek gömülü fay sınırları, modeller üzerinde kırmızı çizgiler ile gösterilmiştir. Bütün modellerde renk göstergesi aynı alınmıştır (10-5000 ohm.m aralığında). Yine bütün modeller z-yönünde 5 km ve 7 km derinliğe (deniz seviyesinden başlayarak) kadar sunulmuştur. Aşağıda 2B öz direnç modeli yorumunda, faylar modeller üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.18-4.21). Modeller üzerinde gösterilen faylar genellikle bölgede önceki çalışmalar tarafından belirlenmiş ve adlandırılmış faylarla oldukça uyumludur. Söz konusu faylar, bölgedeki jeotermal akışkanların dolaşımı için uygun gözenekli ve geçirgenli ortam oluşturmaktadırlar.

Alüvyon, Kıran ve Dort formasyonunun geçirimsiz seviyelerini yansıtan ve jeotermal sistemin örtü birimlerini oluşturan düşük öz dirençli ($<20 \text{ ohm.m}$) modellerin üst seviyelerinde (yüzeyden itibaren ilk 2000m), metamorfik kayaçların üst seviyelerini yansıtan yüksek öz dirençli seviyeler ($>100 \text{ ohm.m}$) örtü birimlerin altında ve örtü birimlerle uyumlu olarak yayılım sunarken, jeotermal sistemin geçirimsiz temelini temsil eden yüksek öz dirençli seviyeler ($>100 \text{ ohm.m}$) de bölgenin tektonik yapısına bağlı olarak yayılım sunmaktadırlar.

Profil 2: Profil 2 boyunca 19 MT ölçüsü alınmıştır. Bütün istasyonlarda toplanan TE ve TM modu 50000 Hz – 1000 sn arası verilerin veri kalitesi iyidir. Veri kalitesi iyi olabilmesi için veriler yer yer 3-4 kez tekrar edilmiş, düzelmeyen yerlerde sistemin yerleri değiştirilmiştir. Ölçüm süresi de yer yer azaltılıp arttırılmıştır. Profil 2 için TE- ve TM-modu verilerinin birleşik ters çözümü sonucu bulunan 2B öz direnç modeli Şekil 4.18’de görülmektedir. Bu model %2.6 karekök (RootMeanSquares- RMS) hata ile bulunmuştur.

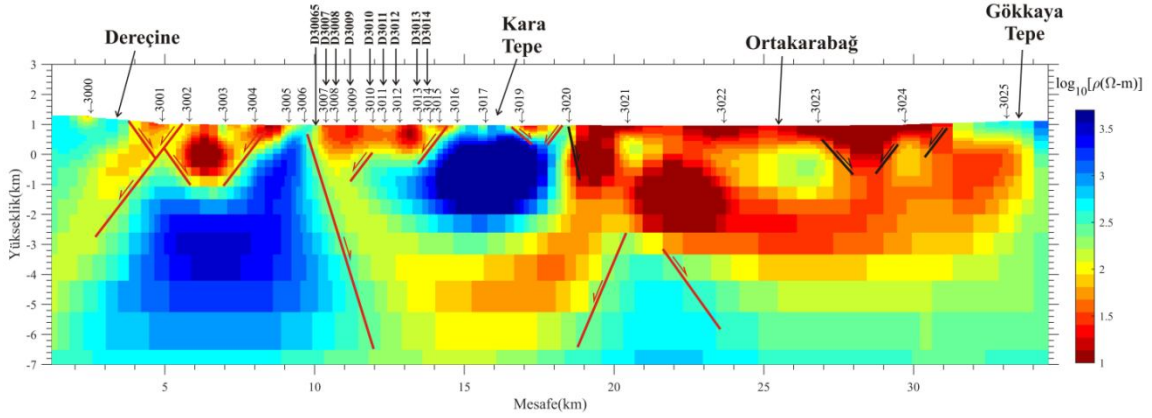


Şekil 4.18 Sultandağı, Profil 2, MT öz direnç modeli

Jeotermal sistemin örtü kayaçlarını oluşturan düşük öz dirençli birimlerin kalınlığı modelin GD bölümünde (Çamözü ve çevresinde) maksimum 400m’dir. Diğer taraftan profilin orta bölümlerinde (2001-2013arası) birimin kalınlığı 2000m’ye ulaşmaktadır. Metamorfik kayaçların üst seviyelerini yansıtan yüksek öz dirençli seviyeler ile jeotermal sistemin geçirimsiz temelini temsil eden yüksek öz dirençli seviyeler de örtü birimlerle uyumlu olarak bölgede yayılım sunmaktadır. Profil boyunca Afyon-Akşehir grabeninin (AAG) güney bölümünü sınırlayan faylarla bunları verevine kesen ikincil faylar tespit

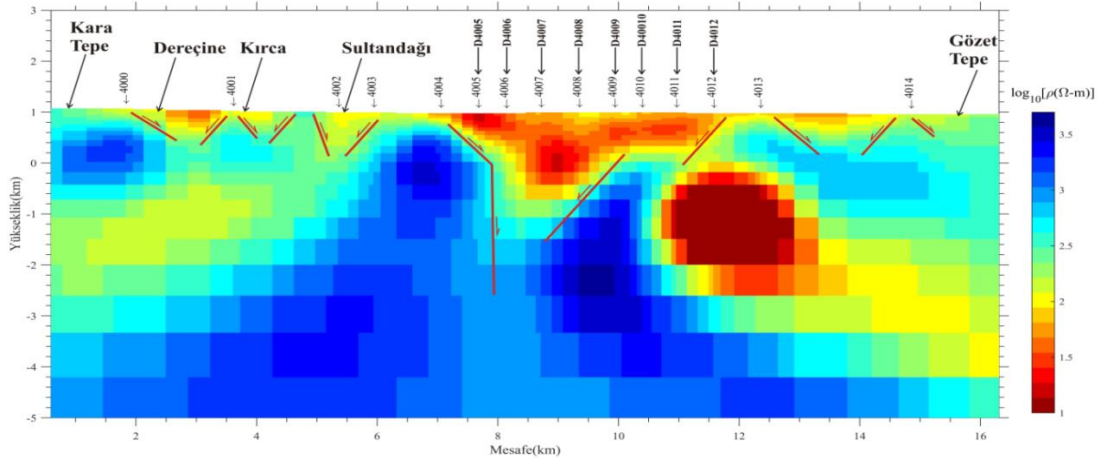
edilmiştir. 2001-2002 arasında gözlenen ve KB'ya doğru eğimli olan fay AAG'nin güney sınırındaki havza kenarı fayıdır. 2003 no'lu istasyon altında bu fayı karşılayan GD'ya eğimli diğer bir fay, bu bölgede küçük bir graben yapısı oluşturmuştur. Söz konusu tektonik yapı 2015 no'lu istasyona kadar devam etmiş olup, 2001-2015 no'lu istasyonlar arasında doğrultuları yaklaşık aynı olan buna karşı eğim yönleri farklı faylarla havzanın derinleşmesine neden olmuştur.

Profil 3: GB'da Dereçine civarından başlayıp, KD'ya doğru Gökkaya Tepe'de son bulan 30km uzunluğundaki Profil 3, bölge tektonik yapısını bütünüyle ortaya koymak amacıyla 25 MT ölçüsünden oluşturulmuştur (Şekil 4.19). Jeotermal sistemin örtü birimleri 3001 ile 3025 no'lu istasyonlar arasında yüzeyden itibaren gözlenmektedir. Bu birimler 3000-3006 no'lu istasyonlar arasında maksimum 2000 m kalınlığındadır. Profilin orta bölümlerinde (3006-3021 arası) 8000 m'ye ulaşan kalınlıklar sunmaktadır. Yüksek kalınlığa ulaşan örtü birimlerin düşey yöndeki devamlılığı ve düşük öz direnç yaratan jeolojik birimler bölgede yapılacak sondajla denetlenmelidir. Metamorfik kayaların üst seviyelerini yansıtan yüksek öz dirençli seviyeler ile jeotermal sistemin geçirimsiz temelini temsil eden yüksek öz dirençli seviyelerin derinliği 3000-3006 ile 3016-3018 no'lu istasyonlar arasında yüzeye kadar ulaşmaktadır. Bu birimlerin arazideki mostra yayılımlarıyla MT modellerindeki dağılımları oldukça uyumludur. AAG'nin kenar fayları ve bölge tektonik yapısını şekillendiren faylar Profil 3 'te de belirgin bir şekilde gözlenmiştir. 3000-3006 arasındaki KD ve GB'ya eğimli faylar 2 no'lu profile benzer şekilde bu bölgede küçük bir graben yapısı oluşturmuştur. 3006-3007 no'lu istasyonlar arasında gözlenen ve kuzeye eğimli olan fay havzanın derinleşmesine ve örtü birimlerin kalınlığının artmasına neden olmuştur. 3013-3020 arasındaki fayların Çukurcak fayı, 3023-3025 no'lu istasyonlar arasındaki fayların ise Büyük Karabağ fayıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir.



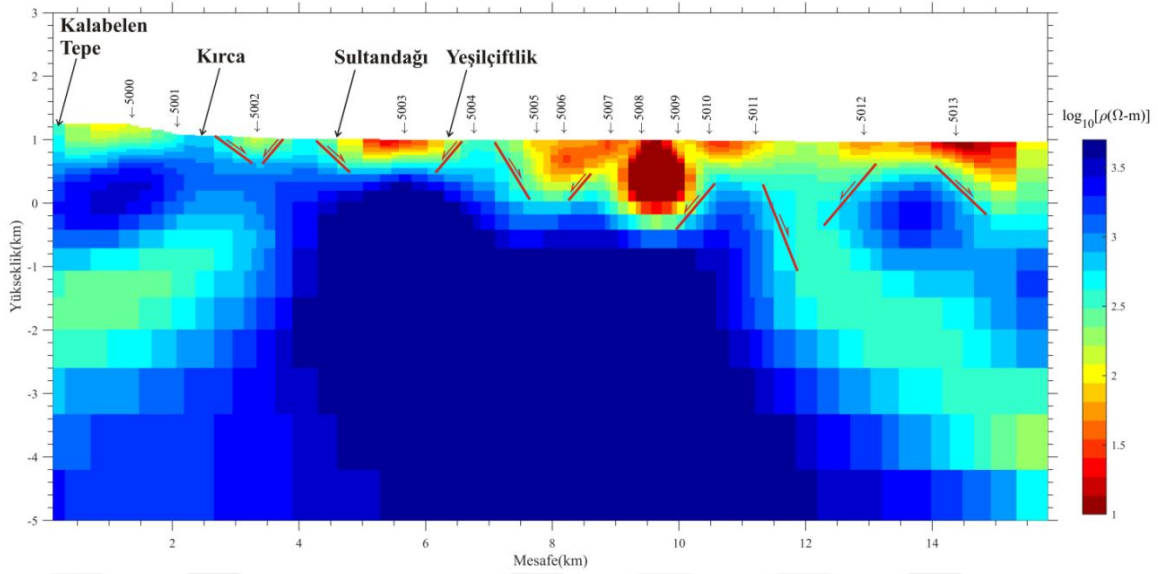
Şekil 4.19 Sultandağı, Profil 3, MT öz direnç modeli.

Profil 4: GD’da Kara tepede başlayıp, KB’da Gözet tepede son bulan, 16 km uzunluğunda ve 14 MT istasyonundan oluşan profildir (Şekil 4.20). 2 ve 3 no’lu profillerle uyumlu olarak Profil 4’te de 4000-4003 no’lu istasyonlar arasında bölge tektonik yapısıyla ilişkili olarak düşük öz dirençli örtü birimler yaklaşık 1 km kalınlığında küçük bir graben oluşturmuştur. 4004-4012 arasında örtü birimlerin kalınlığı 2.5 km’ye kadar ulaşmaktadır. Metamorfik kayaların üst seviyelerini yansıtan yüksek öz dirençli seviyeler ile jeotermal sistemin geçirimsiz temelini temsil eden yüksek öz dirençli seviyeler Kara tepe ile 4000 no’lu istasyon arası ile 4003-4005 no’lu istasyonlar arasında kalan bölgelerde yüzeye kadar ulaşmaktadır. Diğer taraftan bu birimler bölge tektonizmasının etkisiyle ve örtü birimleriyle uyumlu bir şekilde dağılım sunmaktadır. 4010-4013 no’lu istasyonlar arasında yüzeyden itibaren 1000m-2000m derinliklerinde yaklaşık dairesel geometrideki düşük öz dirençli (<20 ohm.m) seviyelerin KB’ya yönünde derine doğru uzantısının olması bu bölgedeki faylarla ilişkili olarak oluştuğu düşünülen ısı odası olarak yorumlanmıştır. 4000-4004 no’lu istasyonlar arasında gözlenen faylar AAG’nin güney sınırını oluşturan graben kenarı ve bunları verevine kesen ikincil faylarıdır. 4012-4014 no’lu istasyonlar arasındaki fayların ise Çukurcak fayının uzantıları olarak düşünülmektedir.



Şekil 4.20 Sultandağı, Profil 4, MT öz direnç modeli

Profil 5: GD’da Kalabelen tepede başlayıp, Kırca, Sultandağı ve Yeşilçiftlik yerleşim birimlerini kat ettikten sonra KB’da 5013 no’lu istasyonda son bulan 14 km uzunluğunda ve 13 MT istasyonundan oluşan profildir (Şekil 4.21). 2, 3 ve 4 no’lu profillerde modellerin GD bölümünde gözlenen ve düşük öz dirençli üst seviyelerini örtü birimlerinin oluşturduğu küçük graben yapısı 5002 no’lu istasyon çevresinde görülmektedir. Örtü birimler bölge faylarının etkisiyle KB’ya doğru derinleşmekte ve 5007-5009 no’lu istasyonlar arasında yaklaşık 1.5km kalınlığa ulaşmaktadır. Bu birimlerin altında ise diğer profillerde olduğu gibi metamorfik kayaların üst seviyelerini ve jeotermal sistemin geçirimsiz temelini temsil eden yüksek öz dirençli seviyeler yer almaktadır. 5001-5004 no’lu istasyonlar arasında gözlenen faylar AAG’nin güney sınırındaki graben kenar faylarıyla bunları verevine kesen ikincil faylarıdır. 5007-5013nolu istasyonlar arasındaki faylar ise Çukurcak fayının uzantıları olarak yorumlanmıştır.

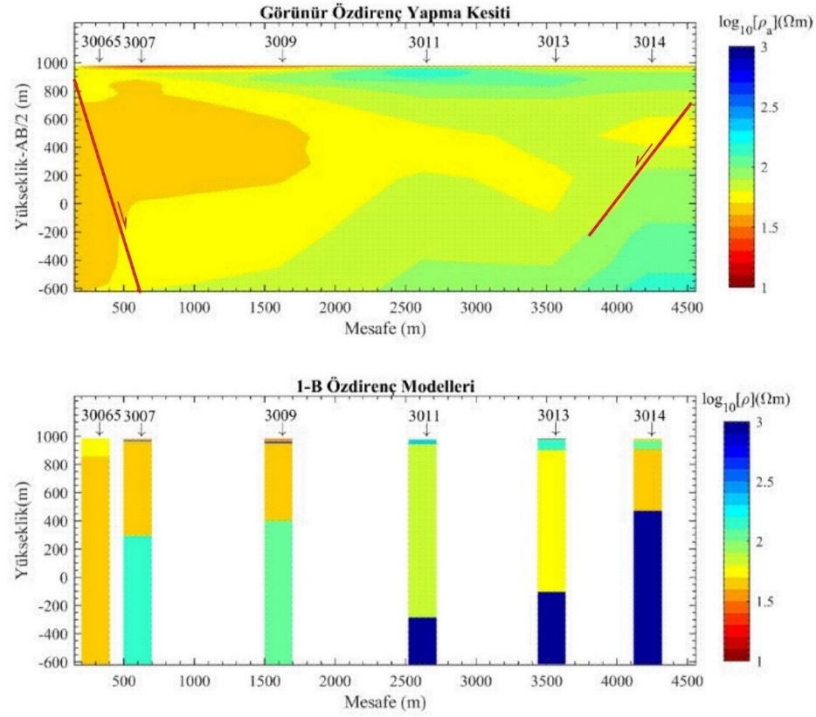


Şekil 4.21 Sultandağı, Profil 5, MT öz direnç modeli

4.5 DAÖ Verilerinin Ters Çözümü ile Elde Edilen 1B Öz direnç Modellerinin Yorumu

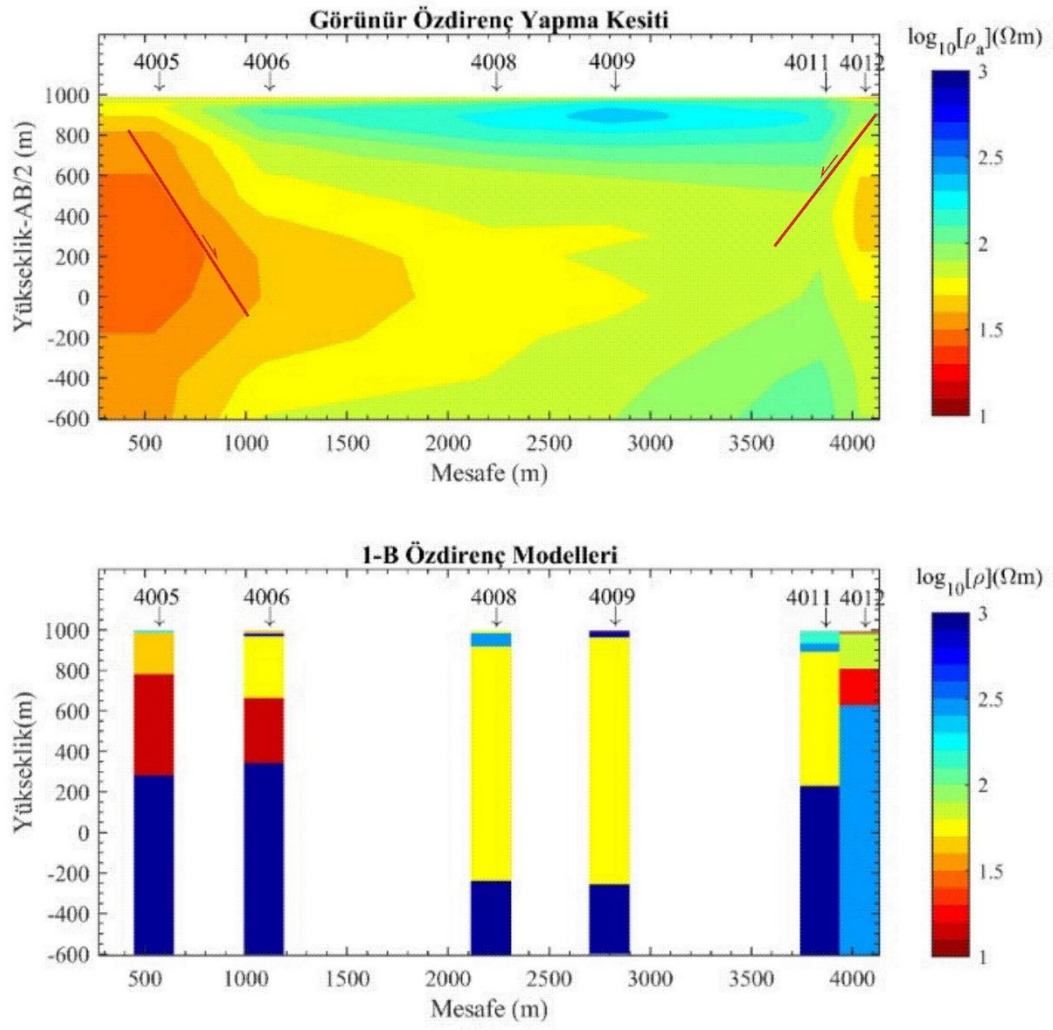
Çalışma alanında manyetotellürik MT modelleri sonucunda jeotermal potansiyel açısından ümitli görülen noktalarda yüzeyden itibaren ilk 1000 m derinliklerinin detaylı incelemesinin yapılabilmesi, yapay kaynak özelliğinden dolayı gürültülerden MT yöntemine kıyasla daha az etkilenmesi ve MT sonuçlarının karşılaştırılabilmesi için ikincil yöntem olarak düşey elektrik sondajı (DES) ölçümleri yapılmıştır. 11 noktada ölçülen Şekil 4.24’te konumları verilen DES verileri her noktada elektrotları arasındaki fark toplam da maksimum 4 km olacak şekilde ölçülmüştür.

DES verilerinin 1B yorumu, MT modelleri ve jeolojik gözlem sonuçları birlikte değerlendirilerek bölgenin sıg ve derin jeolojik yapısı ortaya konmuş, potansiyeli en yüksek bölgelerde sondaj önerilerinde bulunulmuştur. DES verilerin ters çözümü için Proje kapsamında alınan “wingling” Programının DAÖ kısmı kullanılmıştır ve her noktada ayrı ayrı değerlendirilmiştir. 3. ve 4. Profillerde ölçülen verilerin yapma kesiti ve ters çözüm sonucu elde edilen 1B modellerin birleştirilmesi sırası ile Şekil 4.22; 4.23’te sunulmuştur.

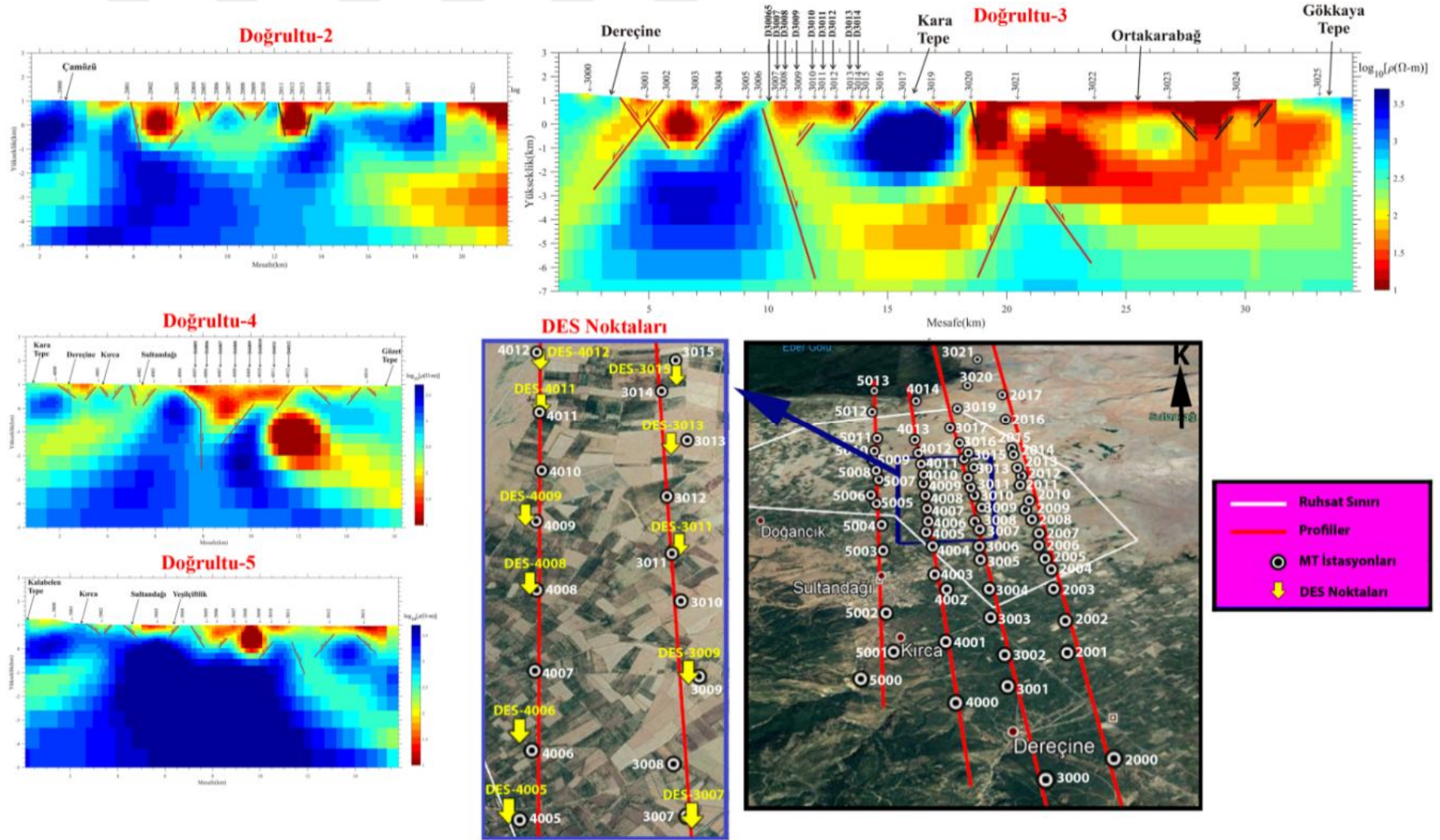


Şekil 4.22 3 nolu profil boyunca ölçülen DES verilerinin yapma kesit şeklinde sunumu ve 1B ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç modelleri.

Profil 3 boyunca ölçülen DES verileri incelendiğinde; MT verileri ile uyum sağladığı görülmektedir. Özdirenç ölçeği 10 ile 1000 ohm.m olarak bütün modellerde aynı alınmıştır. >500 ohm.m özdirençindeki geçirimsiz metamorfik temele yüzeyden itibaren 800-1000m derinliğinden itibaren girildiği Şekil 4.22 ve 4.23'deki modellerde görülmektedir. Geçirimsiz metamorfik temelin üst bölümünde yer alan ve jeotermal sistemin rezervuar kayacı özelliğindeki seviyeye 4 no'lu profilde 4005 ve 4006 no'lu noktalarda ilk 300 metreden sonra; 3 no'lu profilde ise 3007 nolu noktada ilk 700m derinliğinden sonra girildiği görülmektedir (<20ohm.m).



Şekil 4.23 4 no'lu profil boyunca ölçülen DES verilerinin yapma kesit şeklinde sunumu ve 1B ters çözüm sonucu elde edilen özdirenç modelleri.



Şekil 4.24 Sultandağı, MT verilerinin 2B ters çözümü sonucu elde edilen Özdirenc modelleri ve çalışma alanda istasyon noktalarını gösteren plan haritası.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

İnceleme alanında temel kayaçları Çay birimine ait, klorit, serisit, kuvarsit ve kayraklardan oluşan Paleozoyik yaşlı Değirmendere formasyonu ve dolomitik kireçtaşlarından Mesozoyik yaşlı Dereçine formasyonu oluşturmaktadır. Temel kayaçların üzerine uyumsuzluk olarak gelen, kristalize kireçtaşı-mermer özelliği gösteren Jura-Kretase yaşlı Büyük Karabağ mermerleri yer almaktadır. Bu kayaçların üzerini uyumsuzlukla örten birimler ise kumtaşı-çakıltası-kiltaşı-çakıl gibi kayaçlardan oluşan Plisoyen yaşlı Dort ve Dursunlu formasyonlarıdır. Tüm bu birimleri ise alüvyon ve yamaç molozu malzemeler örtmektedir.

İnceleme alanı Afyon-Akşehir grabeni içerisinde yer almakta olup, çevresinde 7'si diri, 2'si olası diri fay niteliğinde olan 9 fayın bulunmaktadır. Çalışma alanı bu fayların deprem tehlikesi altında kalan bir bölgede bulunmakta olup, bunlardan Sultandağı, Çukurcak ve Büyük Karabağ fayları proje alanı içerisinde yer almaktadır.

Proje alanının jeolojik ve tektonik yapısı göz önünde bulundurularak Afyon Akşehir grabeninin kuzey ve güney bölümünde bulunan horst yapısını kapsayacak şekilde KB-GD doğrultulu 4 profil boyunca Manyetotellürik (MT) ölçümler alınmıştır. MT verilerinin yorumlanması sonucunda jeotermal anomaliyi işaret eden lokasyonlarda Düşey Elektrik Sondajı (DES) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. MT ve DES verilerinin bilgisayar programlarında yorumlanması sonucunda öz direnç modelleri oluşturulmuştur. DES verilerinin 1B yorumu, MT modelleri ve jeolojik gözlem sonuçları birlikte değerlendirilerek bölgenin sıg ve derin jeotermal yapısı ortaya konmuştur.

Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarının rezervuar kayacı mesozoyik yaşlı Dereçine kireçtaşlarıdır. Bölgede yarı geçirimli özellikte olan killi-çakıllı seviyeler Pliyosen yaşlı Dort ve Dursunlu formasyonlarına aittir. Paleozoyik yaşlı Değirmendere formasyonu ise jeotermal sistemin temel kayacını oluşturmaktadır. Sahanın ısı kaynağını tektonizma ile gelişen yüksek jeotermik gradyan olduğu düşünülmektedir. İnceleme alanında sıcak su kaynaklarını, beslenme alanına düşen meteorik suların derinlere süzülmesi, burada ısınan jeotermal suların faylar aracılığı ile yüzeye yükseleceği sonucuna varılmıştır.

Bölgede yapılan jeolojik araştırmalarla birlikte gerçekleştirilen MT ve DES verilerinin değerlendirmesi sonucunda elde edilen özdirenç modellerine göre inceleme alanının jeotermal potansiyelinin olduğu, AAG'nin kenar faylarıyla bunları verevine kesen ikincil fayların kesişim noktalarındaki düşük özdirençli alanlarda detaylı DES lmleri alınarak, jeotermal anomaliyi işaret eden düşük özdirençli lokasyonlarda jeotermal anomalinin teyiti ve bölgedeki jeotermik gradyanın gözlenebilmesi için araştırma sondajının açılmasında fayda görülmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Aktuğ B, Nocquet J M, Cingöz A, Parsons A, Erkan Y, England P, Lenk O, Gürdal M A, Kılıçoğlu A, Akdeniz H, and Tekgül A, 2009, Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: limits to block-like behaviour. *Journal of Geophysical Research*. 114, B10404.
- Barka A, Reilinger R, Şaroğlu F, Şengör C, 1995 The Isparta Angle: Its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region. *International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region*, O. Pişkin, M. Ergun, Y. Savaşçın, G. Tarcan 18, 9-14
- Başaran C, 2017, Heybeli Jeotermal Alanın (Afyonkarahisar) Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 143s, Denizli
- Candansayar M E, Kaya C, Konak N, Kılıç A R, Dikmen Ü, vd., 2009, Investigation of crustal structure along Zonguldak-Akşehir transect with magnetotellurics method. *2nd International Symposium on the Geology of the Black Sea Region*, Congress Center of MTA Ankara, TURKEY, 5-9
- Canik B, Çelik M, Arıgün Z, 2000, Jeotermal Enerji, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, 65, 18-27
- Cagniard L, 1953, Basic Theory of the Magneto Telluric Method of Geophysical Prospecting. *Geophysics*, 18, 605-635.
- Doğdu M Ş, Bayarı C S, 2002, Akarçay Havzası'nda (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme: 2. Yeraltısuyu kirliliği. *Yerbilimleri*. 23(25): 35-49.
- Duman T Y, Özalp S, Elmacı H, Emre Ö, 2018, Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), 17.
- Emre Ö, Duman T Y, Olgun Ş, Özalp S, Elmacı H, 2011, Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), 16.

- Kibici Y, Yıldız A, Bağcı M, 2001, Afyon Kuzeyinin Jeolojisi ve Mermer Potansiyelinin Araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu, 3-5 Mayıs, Afyonkarahisar, 73-84.
- Koçyiğit A, 1984, Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolayında Levha İçi Yeni Tektonik Gelişim, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 27,1.
- Koçyiğit A, Özacar A, 2003, Extensional Neotectonic regime through the NE edge of outer Isparta Angle, SW Turkey: New field and seismic data, Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 67-90.
- Metin S, Genç Ş, Bulut V, 1987, Afyon ve Dolayının Jeolojisi, 8103.
- Özkaymak Ç, Sözbilir H, Tiryakioğlu İ, Baybura T, 2017, Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Jeolojik, Jeomorfolojik ve Jeodezik Analizi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 60, 169-188.
- Özkaymak Ç, Sözbilir H, Geçievi O M, Tiryakioğlu İ, 2019, Late Holocene Coseismic Rupture and Aseismic Creep on the Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia., Turkish Journal of Earth Sciences, 787-804.
- Özyıldırım Ö, 2010, Manyetotellürik Yönteminde Frekans Düzgünleştirilmiş Empedans Ayırıştırma Analizi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 59s, Sivas
- Şahinci A, 1991, Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri, Reform Matbaası, 247,
- Şaroğlu F, Emre Ö, Boray A, 1987, Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri, MTA Derleme No:8174, 394.
- Tiryakioğlu İ, Baybura T, Özkaymak Ç, Sözbilir H, Sandıkçioğlu A, Erdoğan S, Yılmaz İ, Uysal M, Yılmaz M, Yıldız A, Dereli A M, Yalçın M, Dumlupınar İ, Yalım A H, Ertuğrul O, 2015, Sultandağı Fayı Batı Kısmı Fay Aktivitelerinin Multidisipliner Çalışmalarla Belirlenmesi, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7, 7-16.
- Tiryakioğlu İ, Özkaymak Ç, Baybura T, Sözbilir, H. and Uysal M, 2018, Comparison of Palaeostress Analysis, Geodetic Strain Rates and Seismic Data in the Western Part of The Sultandağı Fault in Turkey. Annals of Geophysics, 61(3), 1-14.

- Ulugergerli E, and Candansayar M E, 2002, Automated mesh design for two dimensional magnetotelluric interpretation codes, Journal of the Balkan Geophysical Society, 5, 7-14
- Yıldız A, Bağcı M, Çetintaş S, Demirbilek M, Kibici Y, İlbeyli N, 2019, The determination of alteration extent using minero-petrographical, geochemical and geomechanical properties in granitic rocks from the Tavşanlı Zone 19, 3-15
- Yürür T, Köse O, Demirbağ H, Özkaymak Ç, and Selçuk L, 2003, Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism. Geodynamica Acta, 16, 83-87.

İnternet Kaynakları

- 1-<https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2021-installed-power-generation-capacity-mwe/> 12.06.2021
- 2- <https://www.enerjiportali.com/jeotermal-nedir-jeotermal-enerji-nedir/> 22.09.2021
- 3-<http://jeofizikmuhendisi.blogspot.com/2013/02/aktif-tektionigin-ikrami-sifir-zararli.html> 22.09.2021
- 4- <https://dpg-dtec.com/home/geothermal-background/> 22.09.2021
- 5- <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari> 21.10.2021
- 6- <https://www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-jeotermal-enerji.html> 19.05.2022
- 7- <https://www.kozmikanafor.com/jupiterin-devasa-manyetik-alani/> 07.06.2022
- 8- <https://deprem.afad.gov.tr/depremdetay?eventID=398307> 19.05.2022