



**BOLVADİN (AFYONKARAHİSAR) GÜNEYBATI BÖLÜMÜNÜN DERİN
JEOTERMAL YAPISININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Gazi AYNACI

Danışman

Prof.Dr. Ahmet YILDIZ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2023

Bu tez çalışması 18.FENBİL.11 numaralı proje ile AKÜ-BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BOLVADİN (AFYONKARAHİSAR) GÜNEYBATI BÖLÜMÜNÜN
DERİN JEOTERMAL YAPISININ ARAŞTIRILMASI

Mehmet Gazi AYNACI

Danışman

Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Mehmet Gazi AYNACI tarafından hazırlanan “Bolvadin (Afyonkarahisar) Güneybatı Bölümünün Derin Jeotermal Yapısının Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 07 / 07 / 2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği Adı Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

Başkan : Prof.Dr. Ömer ELİTOK
Süleyman Demirel Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof.Dr. Ahmet YILDIZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Can BAŞARAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

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.

16 / 06 / 2023

Mehmet Gazi AYNACI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BOLVADİN (AFYONKARAHİSAR) GÜNEYBATI BÖLÜMÜNÜN DERİN JEOTERMAL YAPISININ ARAŞTIRILMASI

Mehmet Gazi AYNACI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

Bu çalışmada Bolvadin'in güneybatı bölümünün jeolojik ve jeofizik yöntemlerle jeotermal enerji potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Paleozoyik yaşlı Paşadağ kireçtaşları ile Doğanlar şisti içinde gözlenen kalkışist ve kuvarsit türündeki kayalar da jeotermal sistem için rezervuar kayaç özelliğindedirler. Doğanlar şistleri geçirimsiz temel, Gebeceler formasyonunun kilce zengin seviyeleriyle alüvyon örtü kayaç niteliği taşımaktadır. Bolvadin çalışma alanı tektonik olarak Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) içinde yer almakta ve grabenin kenar faylarının etkisi altında kalmaktadır. Proje alanının jeolojik yapısı göz önünde bulundurularak KB-GD doğrultulu ölçüm profilleri boyunca toplam 75 istasyonda manyetotellürik (MT) verisi ve 10 istasyonda Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) verileri toplanmıştır. Jeofizik ve jeolojik gözlem sonuçları birlikte değerlendirilerek bölgenin sıg ve derin jeotermal yapısı ortaya konmuştur. MT modellerine göre; proje alanında Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultulu profillerde geçirimsiz örtü kayacı yansıtan düşük özdirençli (<20 ohm.m) seviyeler profillerin KB bölümlerinde daha ince bir görünüm sergilerken, GD'ya doğru örtü kalınlığı artmaktadır. Metamorfik kayaların üst seviyelerini yansıtan yüksek özdirençli seviyeler (>100 ohm.m) ile jeotermal sistemin geçirimsiz temelini temsil eden yüksek özdirençli seviyeler (>100 ohm.m) de örtü seviyeleriyle uyumlu olarak çalışma alanının kuzeybatısından güneydoğusuna doğru derinleşmektedir. Ayrıca yüzeyden itibaren 1.5km derinlikten itibaren belirlenen düşük özdirençli (<10 ohm.m) seviyelerin jeotermal sistemin muhtemel ısı odası olarak yorumlanmıştır.

2023, xiii + 59 sayfa

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, jeoloji, jeofizik, manyetotellürik, Bolvadin, Afyonkarahisar.



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE DEEP GEOTHERMAL STRUCTURE OF THE SOUTHWEST SECTION OF BOLVADIN (AFYONKARAHİSAR)

Mehmet Gazi AYNACI

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Geological

Engineering

Supervisor: Prof. Ahmet YILDIZ

In this study, it is aimed to investigate geothermal energy potential of the southwestern part of Bolvadin with geological and geophysical methods. Paleozoic aged Paşadağ limestones and calcschist and quartzite type rocks observed in Doğanlar schist are also reservoir rocks for the geothermal system. Doğanlar schists have the characteristics of an alluvial cover rock with an impermeable basement and clay-rich layers of the Gebeceler formation. Bolvadin study area is tectonically located within the Afyon-Akşehir Graben (AAG) and is under the influence of the edge faults of the graben. Considering the geological structure of the project area, magnetotelluric (MT) data were collected at 75 stations and Direct Current Resistivity (DDA) data at 10 stations along the NW-SE directional measurement profiles. The results of geophysical and geological observations were evaluated together and the shallow and deep geothermal structure of the region was revealed. According to MT models; In the project area, low resistivity (<20 ohm.m) levels reflecting impermeable cover rock in the Northwest-Southeast oriented profiles exhibit a thinner appearance in the NW sections of the profiles, while the cover thickness increases towards SE. The high resistivity levels (>100 ohm.m) reflecting the upper levels of the metamorphic rocks and the high resistivity levels (>100 ohm.m) representing the impermeable foundation of the geothermal system also deepen from the northwest to the southeast of the study area in accordance with the cover levels. In addition, the low resistivity (<10 ohm.m) levels determined from a depth of 1.5 km from the surface have been interpreted as the possible heat chamber of

the geothermal system.

2023, xiii + 59 pages

Keywords: Geothermal, Geology, Geophysics, magnetotelluric, Bolvadin, Afyonkarahisar



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Ahmet YILDIZ, arazi çalışmaları sırasında büyük destek gördüğüm Doç.Dr. Metin BAĞCI, Dr.Öğr.Üyesi Can BAŞARAN Öğr.Gör. Feyzullah Ekrem ÇONKAR ile jeofizik verilerin değerlendirmesi ve model oluşturma çalışmalarında yardım eden Öğr.Gör.Dr. Özcan ÖZYILDIRIM'a, jeofizik çalışmalar sırasında işçi ve araç desteği sağlayan Bolvadin Belediye Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tez çalışmalarına 18.FENBİL.11 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı tüm aileme teşekkür ederim.

Mehmet Gazi AYNACI
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
RESİMLER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	2
1.2 Çalışma Alanının Yeri	2
1.3 Yerleşim Merkezleri ve Ulaşım.....	3
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
3. MATERYAL ve METOT	7
3.1 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler	7
3.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri	7
3.1.2 X-Işınlari Difraktoğramı (XRD) İncelemeleri	7
3.2 Jeokimyasal İncelemeler	8
3.3 Jeofizik Çalışmalar.....	8
3.3.1 Manyetotellirik (MT) Yöntem Ölçüm Çalışmaları	8
3.3.2 Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) Ölçüm Çalışmaları	9
4. BULGULAR.....	10
4.1 İnceleme Alanının Jeolojisi.....	10
4.1.1 Stratigrafi	10
4.1.1.1 Afyon Metamorfitleri.....	10
4.1.1.2 Gebeceler Formasyonu	12
4.1.1.3 Köroğlu Volkanitleri.....	12
4.1.1.4 Alüvyon.....	14
4.1.2 Tektonizma	14
4.1.3 İnceleme Alanındaki Jeotermal Sistemin Özellikleri.....	15
4.2 Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal Özellikler.....	16
4.2.1 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler.....	16

4.2.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri.....	16
4.2.1.2 X-Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri	19
4.2.2 Jeokimyasal İncelemeler.....	24
4.3 Manyetotellürik (MT) Yöntem Çalışmaları Verilerinin Analizi ve 2B Ters Çözümü	27
4.3.1.1 Ayırıştırma Analizi ve Döndürme Açısının Kestirimi.....	28
4.3.1.2 TE- ve TM-Modu Empedans Bileşenlerinin Belirlenmesi	28
4.3.2 Manyetotellürik Verilerinin 2B Ters Çözümü	29
4.3.3 Doğrultular	30
4.3.3.1 Doğrultu 1	30
4.3.3.2 Doğrultu 3	31
4.3.3.3 Doğrultu 4	32
4.3.3.4 Doğrultu 5	32
4.3.4 Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) Ölçüleri, Uygulanan Veri İşlem Aşamaları ve 1B Ters Çözümü	33
4.3.5 2B Özdirenç Modellerinin Yorumu	37
4.3.5.1 Manyetotellürik (MT) Verilerinin 2B yorumu.....	38
4.3.5.2 DES Verilerinin Yorumu	42
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	46
6. KAYNAKLAR	48
EKLER.....	54

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
°	Derece
°C	Santigrat derece
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum oksit
cm	Santimetre
CO ₃	Karbonat
Cu	Bakır
dk	Dakika
Fe ₂ O ₃	Demir oksit
gr	Gram
H/S	Hipojen-süperjen
HCO ₃	Bikarbonat
K ₂ O	Potasyum oksit
NH ₄	Amonyum
Pb	Kurşun
SiO ₂	Silisyum dioksit
TiO ₂	Titanyum dioksit
Y	İtriyum
Zn	Çinko
Zr	Zirkonyum
δ	Delta

Kısaltmalar

AD	Havada kurutulmuş
AFZ	Akşehir fay zone
B	Batı
D	Doğu
Do	Dolomit
EG	Etilen glikol
G	Güney
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
HFZ	Hamidiye fay zone
Hm	Hematit
HREE	Ağır nadir toprak elementleri
K	Kuzey
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
Km	Kilometre
Km ²	Kilometrekare
Ksp	Alkali feldspat
LILE	Büyük iyon yarıçaplı litofil elementler

Kısaltmalar (Devam)

LREE	Hafif nadir toprak elementleri
MT	Manyetotellürik
MTA	Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü
O-K	Opal-CT/Kristobalit
Plp	Plajiyoklaz
Q	Kuvars
REE	Nadir toprak elementleri
SEM	Taramalı elektron mikroskop
Sme	Simektit



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası.	3
Şekil 4.1 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).	15
Şekil 4.2 Afyonkarahisar ili ve çevresi mevcut ve alternatif jeotermal alanları (Gürsoy vd. 2003'ten değiştirilerek alınmıştır).	16
Şekil 4.3 Doğanlar şistine ait örneklerin polarizan mikroskop görüntüleri (Çift Nikol), Cal: Kalsit, Ms: Muskovit, Opg: Opak Mineral, Qz: Kuvars, Fs: Çatlak, Por: Gözenek.	17
Şekil 4.4 Paşadağ kireçtaşlarına ait örneklerin polarizan mikroskop görüntüleri. A, C ve E Çift Nikol; B, D ve F Tek Nikol görüntülerdir. Cal: Kalsit, Ms: Muskovit, Opg: Opak Mineral, Qz: Kuvars, Fs: Çatlak, Por: Gözenek.....	18
Şekil 4.5 Seydiler ignimbiritlerine ait TMAV-1 kodlu örneğin polarizan mikroskop görüntüleri. A, C ve E Çift Nikol; B, D ve F Tek Nikol görüntülerdir. Sa: Sanidin, Plg: Plajioklas, Pum: Pomza, Opg: Opak Mineral, Por: Gözenek, Mtx: Matriks.	20
Şekil 4.6 Adatepe andezitine ait TMAK-1 kodlu örneğin polarizan mikroskop görüntüleri. A, C ve E Çift Nikol; B, D ve F Tek Nikol görüntülerdir. Sa: Sanidin, Plg: Plajioklas, Ms: Muskovit, Opg: Opak Mineral, Qz: Kuvars, Por: Gözenek, Mtx: Matriks.	21
Şekil 4.7 Doğanlar şistine ait Pzş-1 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.	22
Şekil 4.8 Doğanlar şistine ait Pzş-6 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.	22
Şekil 4.9 Paşadağ kireçtaşlarına ait Pzmr-3 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.	23
Şekil 4.10 Paşadağ kireçtaşlarına ait Pzmr-4 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.	23
Şekil 4.11 Seydiler ignimbiritine ait Tmav-1 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.	24
Şekil 4.12 Adatepe andezitine ait Tmak-1 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.	24
Şekil 4.13 İnceleme alanındaki volkanik kayaçların Le Maitre vd. (2002)'ne ait Toplam Alkali (TAS) diyagramına göre adlandırılması.	26
Şekil 4.14 a. Çalışma sahasının yer bulduru haritası, I. aşama MT ölçüm noktalarının yerleri, b. I. ve II. aşama MT ölçüm noktalarının konumları, c. I. ve II. aşama MT ölçüm noktalarının konumları ile DES noktalarının konumları (Google Earth ile hazırlanmıştır).	27
Şekil 4.15 Bolvadin sahası, MT istasyonlardaki tüm frekans değerleri için hesaplanan döndürme açıları kullanılarak elde edilen gül diyagramları.	29
Şekil 4.16 Doğrultu 1 boyunca ölçülen TE- ve TM-modu verilerin 2B ters çözümü sonucu.	31
Şekil 4.17 Doğrultu 3 boyunca ölçülen TE- ve TM-modu verilerin 2B ters çözümü sonucu.	31

Şekil 4.18 Doğrultu 4 boyunca ölçülen TE- ve TM-modu verilerin 2B ters çözümü sonucu.	32
Şekil 4.19 Doğrultu 5 boyunca ölçülen TE- ve TM-modu verilerin 2B ters çözümü sonucu.	33
Şekil 4.20 DES-1 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu.....	34
Şekil 4.21 DES-2 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu.....	35
Şekil 4.22 DES-4 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu.....	35
Şekil 4.23 DES-5 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu.....	35
Şekil 4.24 DES-6 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu.....	36
Şekil 4.25 DES-7 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu.....	36
Şekil 4.26 DES-8 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu.....	36
Şekil 4.27 DES-10 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu.....	37
Şekil 4.28 DES-11 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu.....	37
Şekil 4.29 DES-12 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu.....	37
Şekil 4.30 Doğrultu 1, MT öz direnç modeli.	39
Şekil 4.31 Bolvadin, Doğrultu 3, MT öz direnç modeli.	40
Şekil 4.32 Doğrultu 4, MT öz direnç modeli.	41
Şekil 4.33 Doğrultu 5, MT öz direnç modeli.	42
Şekil 4.34 Bütün MT doğrultuların Elde edilen modeller ve doğrultuların Google Earth üzerindeki konumları, DES noktalarının Google Earth ve 2B öz direnç modelleri üzerindeki konumları.....	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1 İnceleme alanına ait kayaçların ana, iz ve nadir toprak element (NTE) içerikleri.	25
---	----



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Polarizan mikroskop analizlerinin yapıldığı Leica DM2500P model polarizan mikroskop.	7
Resim 3.2 Shimadzu XRD-6000 model X-ışını kırınımı cihazı.	8
Resim 4.1 Doğanlar şistinde şistozite düzlemleri.	11
Resim 4.2 Paşadağ kireçtaşlarında arazi yüzeyindeki bloklar.	11
Resim 4.3 Feleli marnı taban seviyelerinde marn-çakıлтаşı ardalanması.	13
Resim 4.4 Kale köyü çevresinde yayılım sunan Köroğlu volkanitleri (Altta Seydiler ignimbiriti, üstte Adatepe andeziti)	14
Resim 4.5 RVA-1 tek kanallı özdirenç cihazı.....	34



1. GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda önemi anlaşılan jeotermal enerji alanlarının araştırılması, geliştirilmesi ve değerlendirilmesi sonucu jeotermal enerji kaynaklarımız hakkında önemli projeler gerçekleştirilmiş ve geliştirilmeye de devam etmektedir.

Jeotermal enerji, etrafındaki yeraltı sularından ve yerüstü sularından daha fazla gaz, çözünmüş mineral ve değişik tuzlar içerebilen, yerkabuğunun çeşitli katmanlarında birikmiş olan ısıнын meydana getirdiği sıcaklıkların, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklıktan daha fazla olduğu sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Bu sıcak su ve buharların elde edildiği alanlar ise jeotermal kaynak olarak tanımlanabilir.

Jeofizik yöntemler ile yer içinin yapısı, yeryüzünde ölçüm yapılarak belirlenebilmektedir. Her jeofizik yöntemin uygulanabilmesi için belirli bir fiziksel parametre özelliği bulunmaktadır. Örneğin; Manyetik yöntemde manyetik geçirgenlik, sismik yöntemde hız, gravite yönteminde yoğunluk, elektrik ve elektromanyetik yöntemlerde ise özdirenç parametreleri kullanılmaktadır.

Jeotermal akışkanların hareketleri, yer içinde bu fiziksel parametrelerin değişmesine neden olur. Bu değişim en çok "Özdirenç (1/Öziletkenlik)" parametresinde görülür. Bu parametreyi inceleyen Jeofizik Yöntemler ise "Elektrik ve Elektromanyetik" yöntemlerdir. Son 20 yıla kadar jeotermal aramalarda Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) yöntemi 1 Boyutlu (1B) olarak kullanılmaktaydı (Şener vd. 1986, Yücel 1995). Halen günümüzde de jeotermal çalışmalarda birincil veya ikincil jeofizik yöntem olarak DAÖ yöntemi 1B olarak kullanılmakta ve Düşey Elektrik Sondajı (DES) olarak anılmaktadır. (Özdemir 2008, Üçer vd. 2013, Kılıç ve Kıyak 2013). Fakat son 20 yıldır dünyada ve Türkiye'de DES verileri yerine, birincil yöntem olarak arazide ölçü alması daha kolay ve sismolojiden sonra en derin araştırma derinliğine sahip olan Manyetotellürik (MT) yöntemi yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Pellerin vd. 1996, Wannamaker vd. 2007, Özurlan ve Ulugergerli 2005, Newman vd. 2008, Candansayar ve Kaya 2009).

Düşey elektrik sondajı (DES) yöntemi ise jeotermal araştırmalarda yapay kaynak özelliği ve gürültülerden daha az etkilenmesinden dolayı, MT yöntemine yardımcı yöntem olarak kullanılmaktadır.

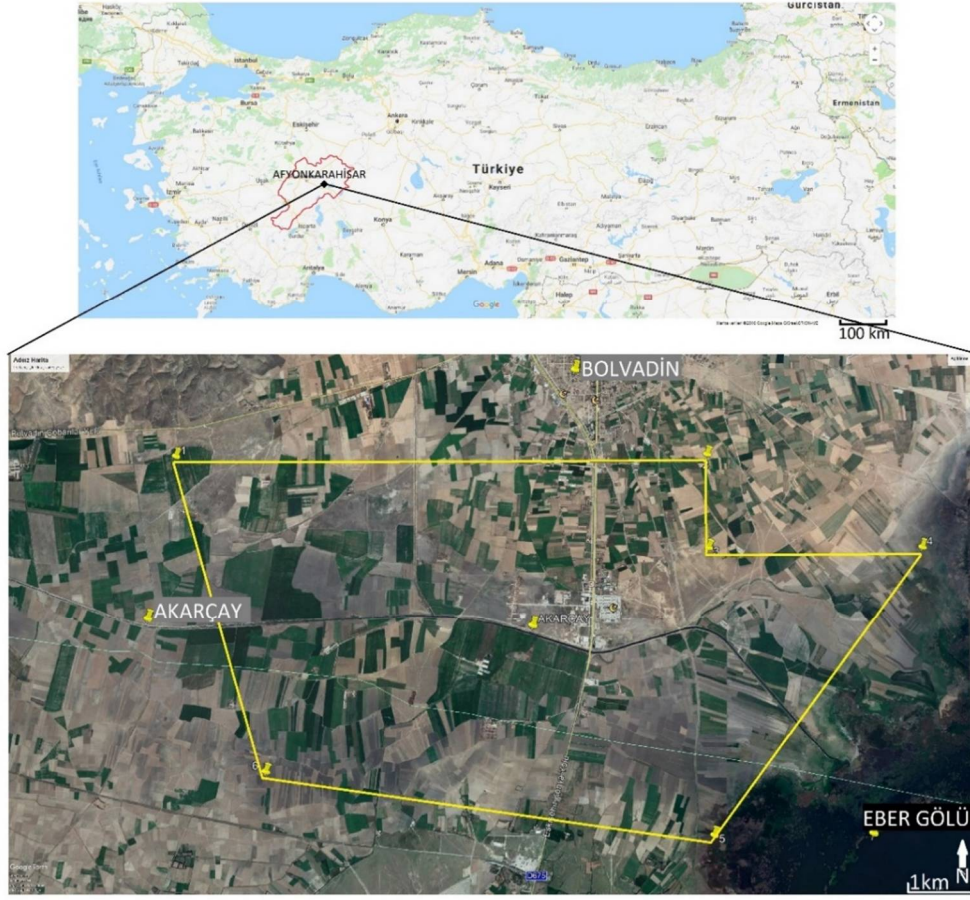
Çalışma kapsamında 4 adet Doğrultuda 75 istasyonda MT verileri ölçülmüş olup, Ölçülen veriler, AKÜ, JUAM Müdürlüğü lisanslı “WinGLink” yazılımı ile değerlendirilmiştir. Sahanın derin senaryosunun jeolojik ve tektonik temeller dikkate alınarak yorumlanmıştır. Ayrıca MT modellerinden elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurularak DAÖ verileri, DES ölçü alım tekniği ile potansiyel bölgelerde uygulanmıştır. MT ve DES verileri birlikte yorumlanarak öz direnç modelleri sonucunda inceleme alanının sığ ve derin jeotermal yapısı ortaya konmuştur.

1.1 Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı Afyonkarahisar ili Bolvadin ilçesinin güneybatı bölümü ve çevresinin jeolojik ve jeofizik yöntemler kullanılarak, jeotermal enerji potansiyelinin araştırılması, çalışma alanındaki jeotermal sistemin en önemli bileşenleri olan örtü kayaç, rezervuar kayaç ve ısı kaynağının yanal ve düşey yöndeki farklılığın jeofizik yöntemlerle tespit edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca çalışma alanında bilinen jeotermal kaynaklar dışında yeni jeotermal sistem için uygun olan daha sıcak alanların tespit edilmesi ve jeolojik ve jeofizik bulgular kullanılarak yeni keşfedilen jeotermal sistemin kavramsal modelinin oluşturulması ve derin jeotermal sistem içeren jeolojik ortamlarla ilgili ülkemizin bilgi birikimine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

1.2 Çalışma Alanının Yeri

Bolvadin ilçesi sınırları içerisinde kalan çalışma alanı Akarçay deresinin de içerisinde bulunduğu 1/25.000 ölçekli K25-c2 ve K26- d1 Paftalarında Kalıntoprak Mevkii, Sırt Mevkii, Çayırılar Mevkii ve Develi Kuyuluş Mevkii'lerini kapsamaktadır.



Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası.

1.3 Yerleşim Merkezleri ve Ulaşım

Afyonkarahisar ili Bolvadin ilçesi güneybatısında bulunan inceleme alanı Eber Gölü ile Bolvadin, Hamidiye, Kadıköy, Çay gibi önemli yerleşim merkezleri arasında kalmaktadır. İnceleme alanına Bolvadin-Çobanlar karayolu ve Eskişehir-Konya karayolu üzerinden ulaşım sağlanmaktadır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

İnceleme alanının içinde bulunduğu Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS)'nin güneydoğu kesiminde yer almaktadır. AAG kuzeydoğudaki Orta Anadolu ile güneybatıdaki Isparta açısını (Blumenthal 1963) birbirinden ayırmaktadır. Yaklaşık 4-20 km genişliğindeki AAG, 130 km uzunluğunda, KB-GD uzanımlı, aktif olarak büyüyen bir kıtasal rift alanıdır (Koçyiğit 1984, Koçyiğit vd. 2000, Koçyiğit ve Özacar 2003). Afyon-Akşehir Grabeni ve çevresinde yüzlek veren kayalar başlıca üç grup altında toplanmaktadır; Neojen öncesi Afyon Zonu, Neojen birimleri ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı modern graben dolgusu (Okay vd. 1996, Okay ve Tüysüz 1999, Bozkurt ve Oberhanslı 2001).

Afyonkarahisar bölgesindeki sondaj kuyularının derinlikleri 240m-1300m arasında değişmekte olup, bu kuyulardan elde edilen jeotermal suyun sıcaklığı ise 45-125 °C arasındadır. Bölgedeki araştırmalarda genellikle 1500m'ye kadar olan seviyeler incelenmiş, ancak AKÜ Jeotermal-Mineralli Sular ve Maden Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (JUAM) Müdürlüğü'nün yürüttüğü birkaç proje dışında daha derindeki jeotermal sistemin özellikleriyle ilgili günümüze kadar çok fazla çalışma yapılmamıştır.

Bolvadin ve çevresinde jeotermal kaynakların araştırılması üzerine yapılan çalışmalar çoğunlukla Heybeli Kaplıcası ve çevresinde yoğunlaşmıştır. Ayrıca Bolvadin'in kuzeyinde Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen projeler de bulunmaktadır. Aşağıda bu projeler hakkında bilgiler verilmiştir.

Erişen (1972): "Afyon-Heybeli (Kızılkilise) Jeotermal araştırma sahasının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları" başlıklı çalışmada, Akşehir-Afyon grabeni içinde yer alan çok sayıdaki sıcak su kaynağının jeokimyasal özelliklerini araştırmış, jeofizik etütlerle rezervuarın derinlikle ilgili bilgiler edinilmiştir. Çalışmanın sonucunda araştırmacı, Çobanlar-Çay ilçeleri arasında kalan bölgede sık aralıklarla rezistivite etütlerinin yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Demirel vd. (2003): MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı tarafından yapılan ve “Afyon-Çobanlar Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi Projesine Esas Etüt, Test ve Değerlendirme Raporu” başlıklı çalışmada bölgedeki gömülü yapının boyutları belirlenmiş, elde edilen bilgileri jeotermal rezervuar ve hidrojeolojik yapılarla ilişkilendirilmiş ve mevcut fayların konumları tespit edilmiştir. Söz konusu çalışmadan üretilen rezistivite ve doğal potansiyel sonuçlarının bir bölümü çalışmamızda kullanılmıştır.

Yıldız vd. (2011): JUAM Müdürlüğü ile Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’nün ortaklaşa yürüttüğü çalışmalarda, jeotermal akışkanı barındırdığı düşünülen üç farklı iletken zon belirlenmiştir. Heybeli Kaplıcası’nın bulunduğu iletken zon yaklaşık 2 km genişliğinde ve 1600 m derinliğindedir. Çalışmalar sonucunda bölgede açılacak derin sondajlarla kaplıcanın bulunduğu havzanın geliştirilmesi gerektiği ve belirlenen 3 iletken zonda detaylı çalışmaların yapılması gerektiği ifade edilmiştir.

Beker vd. (2014): MTA Genel Müdürlüğü tarafından Afyonkarahisar ilindeki jeotermal arama çalışmaları kapsamında Bolvadin AR: 287 nolu jeotermal arama ruhsat sahasında jeolojik, hidrojeolojik ve jeofizik çalışmalarını kapsayan jeotermal etüt çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında 60 km²’lik alanın 1:25.000 ölçekli jeolojik haritalama çalışması yapılmış, 5 adet su örneği üzerinde kimyasal analizi gerçekleştirilmiştir. Sahanın tektonik yapısını ortaya çıkarmak, jeotermal anomali sınırlarını belirlemek, jeotermal anomali sınırları ile jeotermal sistemin örtü ve rezervuar kayaçlarının düşey ve yanal yöndeki yayılımını belirlemek amacıyla jeofizik çalışmalar kapsamında jeoelektrik rezistivite çalışması uygulanmıştır. Ruhsat sahasında yapılan jeolojik ve jeofizik etüt sonucunda sahanın jeotermal enerji varlığı açısından olumsuz olduğu sonucuna varılmıştır.

Purtul vd. (2016): MTA’nın 2014-33-13-10 nolu projesinde AR: 315 nolu Dipevler ve AR: 312 nolu Derekarabağ jeotermal kaynak arama ruhsat sahalarının jeotermal potansiyelini araştırmıştır. Bölgede öncelikle söz konusu alanların jeolojik, hidrojeolojik ve jeofizik çalışmaları kapsayan jeotermal etüt çalışmaları yapılmış, daha

sonra AR: 315 nolu Dipevler sahasında sondajlı çalışma gerçekleştirilmiştir. 1291 m derinlikte 53.48 °C sıcaklık ölçülmüştür. Ayrıca yapılan üretim çalışmalarında 33.6 °C sıcaklık ve 1.8 lt/sn debide (kompresörle) akışkan üretilmiştir. Sondaj çalışması neticesinde beklenen fay zonları kesilemediğinden, kuyuda istenilen verimin yakalanamadığı, mevcut lokasyonda muhtemel fayı kesmek için daha derin bir sondaja ihtiyaç olduğu ve sahanın düşük ve orta entalpili bir jeotermal saha olması nedeniyle mevcut lokasyonda daha derin bir sondajı yapmanın ekonomik olmayacağı sonucuna varılmıştır.



3. MATERYAL ve METOT

3.1 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

3.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

Çalışma alanındaki jeotermal sistemde rezervuar, geçirimsiz temel ve ısı kaynağı oluşturabilecek özelliklerdeki kayaç örneklerinin polarizan mikroskop analizleri için gerekli olan ince kesit örnekleri Maden Tetkik Arama (MTA) Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Hazırlanan ince kesitler AKÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ndeki görüntü analiz sistemli Leica DM2500P model polarizan mikroskopla incelenerek, kayaçların mineralojik ve petrografik özellikleri ortaya konmuştur.



Resim 3.1 Polarizan mikroskop analizlerinin yapıldığı Leica DM2500P model polarizan mikroskop.

3.1.2 X-Işınları Difraktoğramı (XRD) İncelemeleri

Jeotermal sistemin ana bileşenlerini oluşturan kayaçların XRD analizleri AKÜ Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM)'nde Shimadzu XRD-6000 model X-ışını kırınımı cihazı ($\text{CuK}\alpha$ radyasyonlu, Ni filtreli) kullanılarak yapılmıştır (Resim 3.2). Analizlerde 40 kV (voltaj) ve 30 mA (akım) difraksiyon değerleri tercih edilmiştir.

Numuneler $2^\circ/\text{dk}$ 'da taranarak $2^\circ-70^\circ$ (2θ) goniometre kırınım açısı değerlerinde 2000 cps (intensity) pik yoğunluğunda analizi yapılmıştır.



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

3.2 Jeokimyasal İncelemeler

Jeotermal sistemin ana bileşenlerini oluşturan kayaların jeokimyasal bileşimlerinin belirlenmesi için örneklerin majör, iz ve nadir toprak element analizleri yapılmıştır. Bunun için öğütülerek $-100\ \mu\text{m}$ tane boyutuna getirilen örneklerin jeokimyasal analizleri İTÜ Maden Fakültesi Jeokimya Analiz Laboratuvarında yapılmıştır.

3.3 Jeofizik Çalışmalar

3.3.1 Manyetotellürik (MT) Yöntem Ölçüm Çalışmaları

Çalışmada kullanılan MT yönteminin kaynağı, iyonosfer ve manyetosferde oluşan, yere ulaşmadan iyonosfer içinde soğurulan 1 Hz.'in üzerindeki değişimler ve 1 Hz.'in altındaki güneşten gelen yüklerdir. MT yöntemi, kullanılan frekans aralığına bağlı olarak, birkaç yüz metreden, kilometrelerce derinliğe kadar yer içinin öz direnç yapısını incelenmesine olanak sağlamaktadır (Özyıldırım 2010). MT yönteminde ölçü alımı zamanın fonksiyonu olarak alındığı için, derin seviyelerin araştırmasını kapsayan çalışmalarda ölçüm zamanı artabilmektedir. Genellikle jeotermal saha araştırmalarında jeotermal sistemin derinliğine bağlı olarak ölçüm zamanı 4-18 saat aralığında

olabilmektedir.

MT yönteminde elektrik alanın Ex, Ey ve manyetik alanın Hx, Hy, Hz bileşenleri zaman ortamında ölçülmektedir. Zaman serileri Metronix marka MT aletlerinde istenilen frekans bandlarında ölçülebilmektedir. Farklı frekans bandlarında ölçülen zaman serilerinin tahmin edilebilen gürültülerden ayıklanması gerekmektedir. Bu gürültü ayıklama işlemi zaman serisi analizinin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Zaman serisi analizi Metronix marka MT aletinin kendi lisanslı programı olan 'ProcMT' isimli yazılım ile yapılmıştır. MT verileri veri işleminden geçirilerek görünür öz direnç değerleri üretilmektedir.

3.3.2 Doğru Akım Öz direnç (DAÖ) Ölçüm Çalışmaları

Doğru Akım Öz direnç (DAÖ) yöntemi sığ (1,2-100, 200 metre) ve orta derinlikteki (200-1000 metre) araştırmalarda en çok kullanılan jeofizik yöntemlerdendir. Jeotermal çalışmalarda, genellikle DAÖ yöntemi, Düşey elektrik sondajı (DES) ölçü alım tekniği ile ve Schlumberger elektrot dizilimi ile ölçülür. Daha sonra 1B tabakalı model varsayımı ile yeraltının 1B öz direnç dağılımı sunulur (Candansayar ve Tezkan 2008, Özyildirim vd. 2017).

DAÖ yönteminde ölçüm yapılırken, araştırmaya göre elektrot dizilim ve aralıklarının seçilmesi gerekmektedir. Schlumberger ve Wenner dizilimi genellikle derin amaçlı araştırmalarda kullanılmaktadır (Candansayar 2007). Dipol-Dipol dizilimi maden aramalarında, Pole-Dipol dizilimi ise Yanal süreksizliklerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Jeotermal çalışmalarda 1B yeraltı modeli varsayımı yapılarak, Schlumberger elektrot dizilimi kullanılır. Schlumberger elektrot dizilimi, potansiyel fonksiyonunun gradiyent değerinin ölçüldüğü Schlumberger elektrot diziliminde, bir profil boyunca mekezi bir noktaya göre simetrik olarak dizilmiş 4 elektrot kullanılır. Bu dizilimde elektrotlar, M ve N'nin orta noktasına göre simetriktir. $\overline{MN}$ aralığı, $\overline{AB}$ aralığından çok küçük olmalıdır ($\overline{AM} \geq 5\overline{MN}$). Bunun amacı M ve N arasında oluşan alanın potansiyelini daha net bir şekilde ölçmeye çalışmaktır. Schlumberger elektrot dizilimi genelde bu elektrot sistemi ile Düşey Elektrik Sondajı (DES) ölçüsü alınır.

4. BULGULAR

4.1 İnceleme Alanının Jeolojisi

4.1.1 Stratigrafi

İnceleme alanının temelinde Paleozoyik yaşı Afyon metamorfitleti bulunmaktadır. Formasyon Doğanlar şistleri ve Paşadağ kireçtaşıdan oluşmaktadır. Temel kayaçların üzerine uyumsuzlukla Senozoyik yaşı birimler gelmektedir. İnceleme alanındaki en genç birim alüvyondur (EK 1.). Birimlerin litolojik özellikleri aşağıda verilmiştir.

4.1.1.1 Afyon Metamorfitleti

a) Doğanlar Şistleri: Farklı mineralojik bileşimde (albit, klorit, muskovit, biyotit, kuvars ve kalsit) şistlerden oluşmaktadır. Birimin şistozite ve çatlak düzlemleri boyunca kuvarsit damarları gözlenmektedir (Metin vd. 1987, Kibici vd. 2001). Tektonizmanın etkisiyle yer yer kıvrımlı yapıların gözlemlendiği birim kahve, boz, yeşil renklidir. Granoblastik doku sunmaktadır (Öktü vd. 1997) (Resim 4.1).

b) Paşadağ Kireçtaşı: Birim litolojik olarak İscehisar mermerlerine benzerlikler göstermektedir. Dokusal olarak kristalize kireçtaşı özelliklerine sahip olan birim beyaz, gri ve bazı bölgelerde koyu gri renkler sunmaktadır. Alta doğru Doğanlar şistine geçiş yapan birimi uyumsuzlukla Senozoyik yaşı birimler örtmektedir. Birimin kalınlığının 100 m ile 250 m arasında değiştiği belirtilmiştir (Kibici vd. 2001) (Resim 4.2).



Resim 4.1 Doğanlar şistinde şistozite düzlemleri.



Resim 4.2 Paşadağ kireçtaşlarında arazi yüzeyindeki bloklar.

4.1.1.2 Gebeceler Formasyonu

Formasyon Köprülü volkanosedimanter ile Feleli marnı üyelerinden oluşmaktadır. Erişen (1972), Tatlı (1973) ve Metin vd. (1987) tarafından Gebeceler formasyonu olarak adlandırılan birim Ömer-Gecek jeotermal alanında Ömer-Gecek formasyonu olarak adlandırılmış ve volkanosedimanter istif Köprülü üyesi olarak ayırtlanmıştır (Ulutürk 2009, Yıldız vd. 2011, Yıldız vd. 2018).

a) Köprülü Volkanosedimanter Üyesi: Karakteristik olarak Afyonkarahisar şehir merkezinin kuzeyinde yer alan Köprülü Köyü civarında yayılım gösteren birim ilk kez Harut (1995) tarafından adlandırılmıştır. Birim lav ve piroklastik türündeki volkanik ara katkılarla kireçtaşı ve marn türünde sedimanter kayalardan oluşmaktadır (Öcal vd. 2011).

b) Feleli Marnı: Birim kirli sarı-kahve renkli, belirsiz tabakalı, içinde serpinti halinde ve çakıl içeren çamurtaşı ve marnlardan oluşur. Tipik olarak Kocaöz Kasabası (Feleli Kasabası) çevresinde yayılım sunan birim inceleme alanında Arslanoğlu Tepe'nin batısında ve Dipevler çevresinde yayılım sunmaktadır (EK-1). İnceleme alanı dışında birim üzerine Adatepe andeziti gelirken, inceleme alanında ise Kuvaterner yaşlı birimler yer alır. Kalınlık ve yayılımına bakıldığında en fazla kalınlık 50 m'dir. Genel olarak karasal ortamda oluşmuş olan birimin yaşı Üst Pliyosendir (Resim 4.3).

4.1.1.3 Köroğlu Volkanitleri

İnceleme alanının da içinde bulunduğu Afyonkarahisar ili ve çevresinde Miyosen döneminde şiddetli volkanik aktiviteler meydana gelmiştir (Alıcı vd., 1998; Çoban ve Flovver, 2007). Bölge volkanizmasının üzerinde yapılan petrojenetik çalışmalarda Afyon Volkanitlerinin yaşı 15.5 ± 0.2 ile 8.6 ± 0.2 My olarak hesaplanmış olup, bölgedeki volkanizmanın kuzeyden güneye doğru gençleştiği ifade edilmiştir. Tipik olarak Afyon-Ankara karayolu üzerindeki Köroğlu mevkiinde gözlenen ve Aydar vd. (2003) tarafından adlandırılan Köroğlu volkanitleri inceleme alanında Şeydiler ignimbiriti ve Karakaya bazaltı ile temsil edilmektedir.



Resim 4.3 Feleli marnı taban seviyelerinde marn-çakıltası ardalanması.

a) Seydiler İgnimbiriti: Karakteristik olarak İscehisar ilçesinin kuzeyinde yer alan Seydiler Kasabası ve çevresinde yayılım sunan birim Aydar vd. (1998) tarafından "Pümis akma çökelleri" olarak da tanımlanmıştır. Metin vd. (1987) birimi Seydiler tuf ve aglomerası olarak adlandırmış ve yaklaşık kalınlığı 50-150 m olarak belirtilmiştir. Süt beyaz ve krem renkli olan birim, kalın tabakalanmalar sunar. Peri bacaları şeklinde morfolojik yapılarla karakteristiktir (Yıldız 1997).

b) Adatepe Andeziti: Trakit, trakiandezit, trakibazalt bileşiminde olan birim Aydar vd. (1998) tarafından Köroğlu volkanitlerinin lav türündeki üyesi olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanının dışında Kale köyü ve çevresinde yayılım sunarlar. Genel olarak koyu gri renkli olup, yer yer mega sanidin kristalleri içermektedir (Resim 4.4).



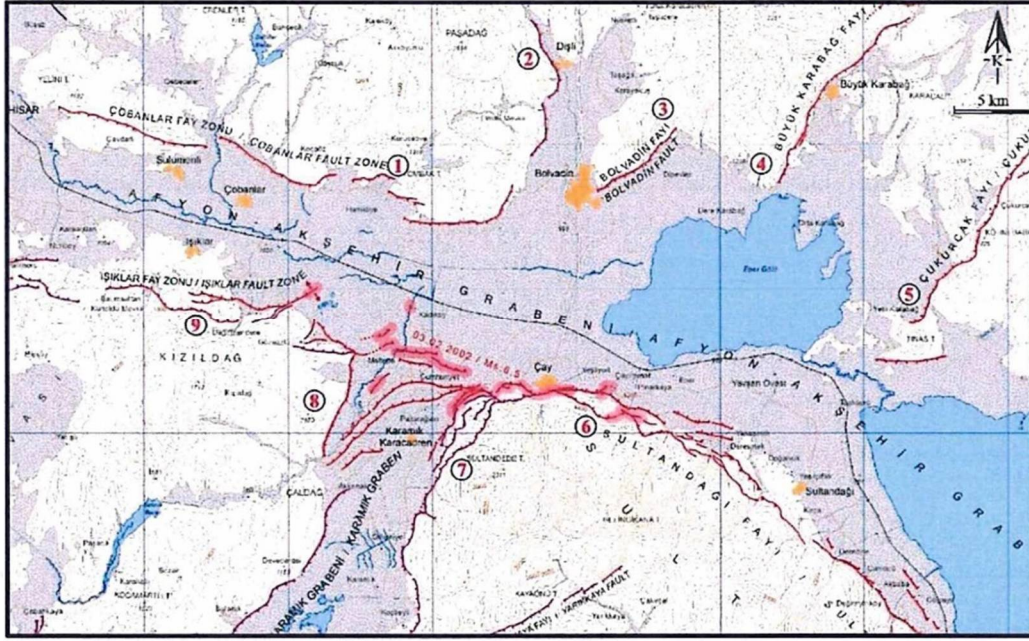
Resim 4.4 Kale köyü çevresinde yayılım sunan Koroğlu volkanitleri (Altta Seydiler ignimbiriti, üstte Adatepe andeziti)

4.1.1.4 Alüvyon

Kuvaterner yaşlı olan birim inceleme alanındaki düzlüklerde kum, çakıl ve kil türünde çimentosuz çökellerden meydana gelmektedir.

4.1.2 Tektonizma

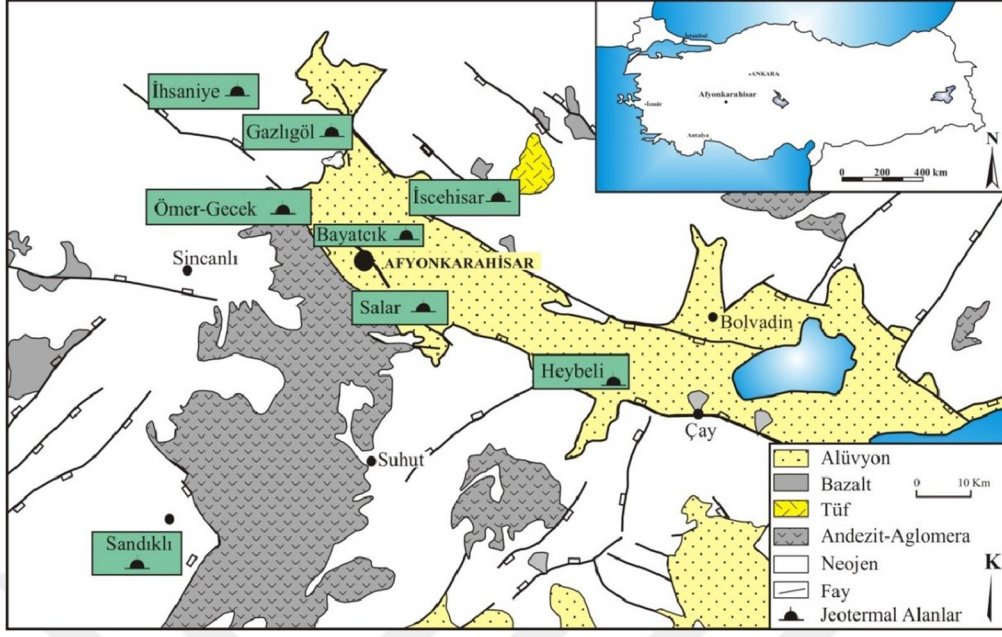
Afyon-Akşehir Grabeni içinde yer alan İnceleme alanı ve çevresinde 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası'na göre çok sayıda diri fay haritalanmıştır. Bu haritaya göre, Bolvadin ve Sultandağı Alanları, Çobanlar Fay Zonu (1 numara, Şekil 4.1), Dişli Fayı (2 numara, Şekil 4.1), Bolvadin Fayı (3 numara, Şekil 4.1), Büyük Karabağ Fayı (4 numara, Şekil 4.1), Çukurcak Fayı (5 numara, Şekil 4.1), Sultandağı Fayı (6 numara, Şekil 4.1), Karamık Fayı (7 numara, Şekil 4.1), Kali Fay Zonu (8 numara, Şekil 4.1) ve Işıklar Fay Zonu (9 numara, Şekil 4.1) olmak üzere 7'si diri 2'si olası diri fay niteliğinde olan toplamda 9 fayın birleşme eğilimi gösterdiği ve bu fayların deprem tehlikesi altında kalan bir bölgede yer almaktadır.



Şekil 4.1 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).

4.1.3 İnceleme Alanındaki Jeotermal Sistemin Özellikleri

İnceleme alanı jeolojik yapı itibariyle Ömer-Gecek, Bayatcık ve Susuz bölgelerine benzer özellikler sunmaktadır. Paleozoyik yaşlı Paşadağ kireçtaşları ile Doğanlar şisti içinde gözlenen kalkışist ve kuvarsit türündeki kayalar da jeotermal sistem için rezervuar kayaç özelliğindedirler. Doğanlar şistlerinin mika bakımından zengin seviyeleri geçirimsiz temel, Gebeceler formasyonunun kilce zengin seviyeleriyle alüvyon örtü kayaç niteliği taşımaktadır. Bolvadin çalışma alanı tektonik olarak Çobanlar fay zonu, Dişli fayı ve Bolvadin fayının etkisi altında kalmaktadır. Bu fayların doğrultu ve eğim yönlerinin farklı oluşları Bolvadin çalışma alanında gerek rezervuarı besleyen suların aşağıya süzülmesi ve gerekse jeotermik gradyanın etkisiyle ısınan, basıncı artan ve bileşimi değişen jeotermal akışkanların yukarı çıkması için doğal yollar oluşturma potansiyelleri bulunmaktadır.



Şekil 4.2 Afyonkarahisar ili ve çevresi mevcut ve alternatif jeotermal alanları (Gürsoy vd. 2003'ten değiştirilerek alınmıştır).

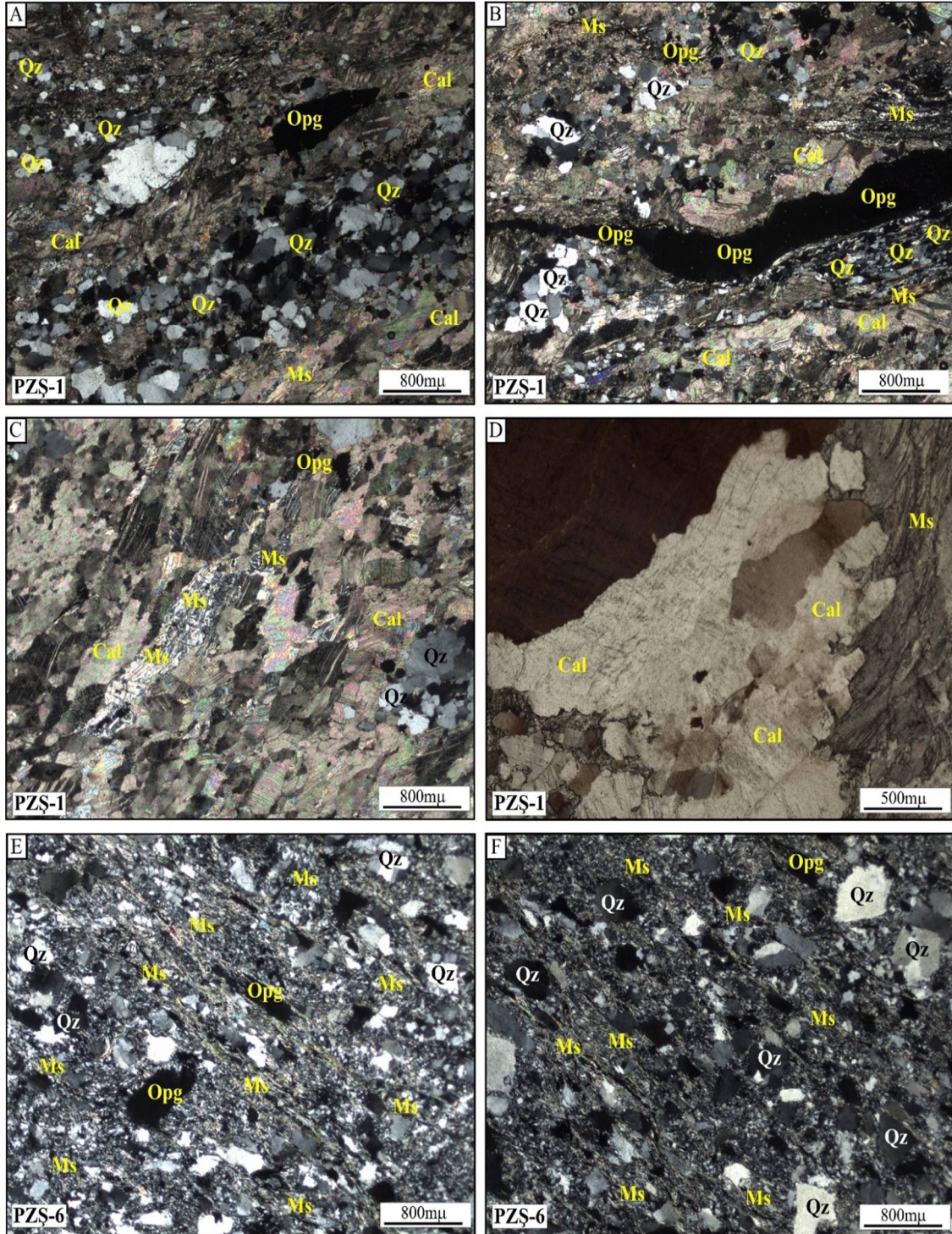
4.2 Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal Özellikler

4.2.1 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

İnceleme alanındaki jeotermal sistemde örtü ve rezervuar kayayı oluşturan birimlerin mineralojik-petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla örneklere uygulanan polarizan mikroskop ve x-ışını kırınımı (XRD) analizlerine ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

4.2.1.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

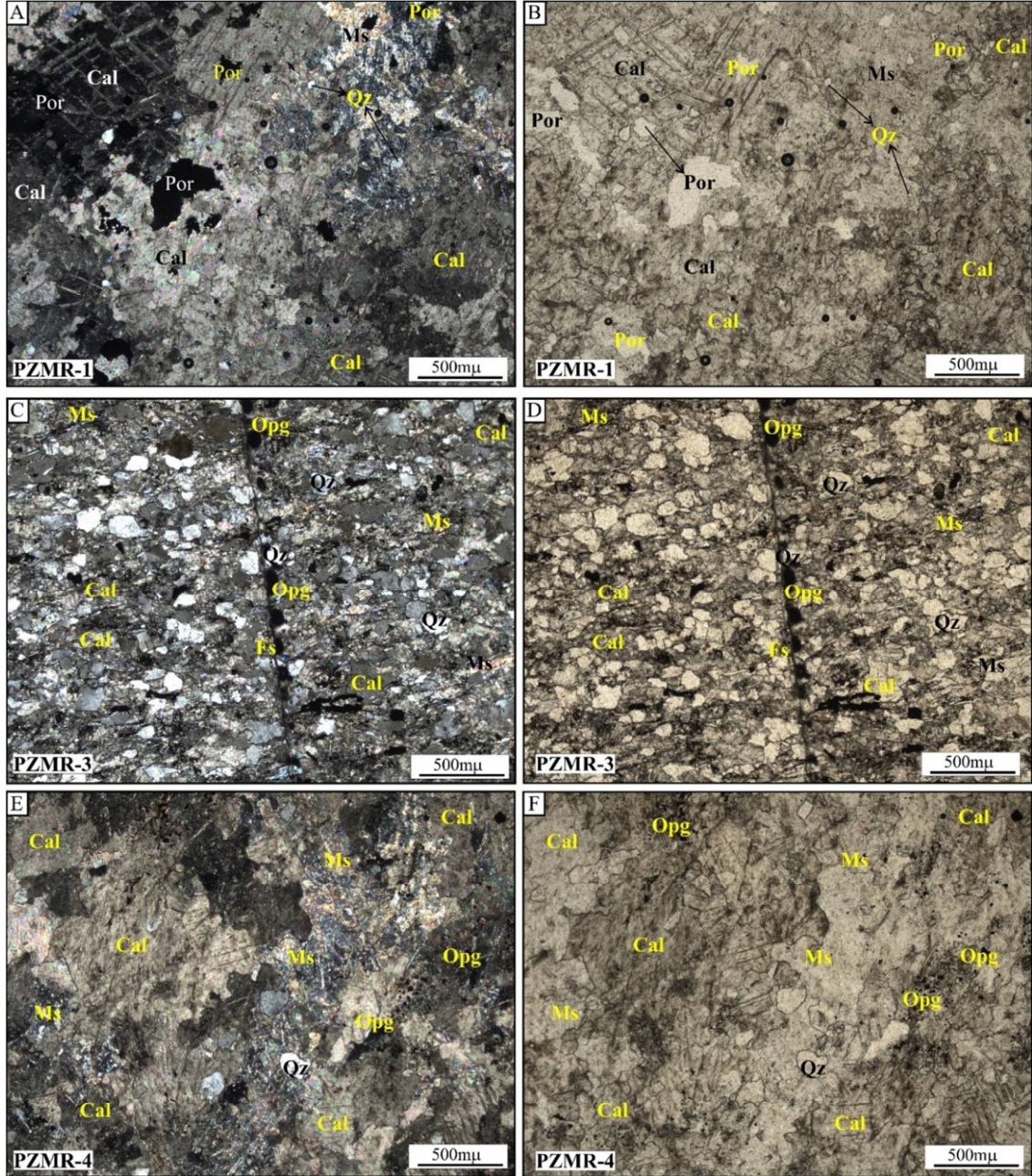
Afyon metamorfitlelerinin şist ve kristalize kireçtaşı türündeki örnekleri üzerinde yapılan incelemelerde Doğanlar şistine ait PZŞ-1 ve PZŞ-6 kodlu örneklerin lepidogranoblastik doku sunan sırasıyla kalkışist/kristalize kireçtaşı ve kuvarsşist türünde kayalar olduğu gözlenmiştir. Örneklerde kuvars kristallerinin şistozite düzlemleriyle uyumlu olarak yönlendiği, (Şekil 4.3 A-D) kuvars kristallerine muskovitle az oranda opak minerallerin eşlik ettiği belirlenmiştir. (Şekil 4.3 E-F).



Şekil 4.3 Doğanlar şistine ait örneklerin polarizan mikroskop görüntüleri (Çift Nikol), Cal: Kalsit, Ms: Muskovit, Opg: Opak Mineral, Qz: Kuvars, Fs: Çatlak, Por: Gözenek.

PZMR-3 ve PZMR-4 kodlu kristalize kireçtaşı örnekleri granoblastik dokulu olup büyük oranda kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Kalsit kristallerinde çatlaklar ve

kristal sınırları boyunca yer yer ayrışma/alterasyon izleri gözlenmiştir. Kalsit kristallerinde şistozite düzlemleriyle uyumlu yönlenme ve tektonik deformasyon etkisiyle c eksenini yönünde genişleme görülmektedir. PZMR-3 örneğinde mikro çatlak yapılarının varlığı göze çarpmaktadır (Şekil 4.4 A-B).



Şekil 4.4 Paşadağ kireçtaşlarına ait örneklerin polarizan mikroskop görüntüleri. A, C ve E Çift Nikol; B, D ve F Tek Nikol görüntülerdir. Cal: Kalsit, Ms: Muskovit, Opg: Opak Mineral, Qz: Kuvars, Fs: Çatlak, Por: Gözenek.

Büyük boyutlu kalsit kristallerinin kenar zonları boyunca sıkışma tektoniğini yansıtan breşik doku izlenmiştir (Şekil 4.4 C-D). PZMR-4 örneğinde kalsit tanelerinin sınırlarında tanelerin birbirlerinin içine doğru yerleşmesi olarak tanımlanan tane sınır göçü olarak bilinen (grain boundary migration) olaylarının varlığı gözlenmiştir (Şekil 4.4 E-F).

Seydiler ignimbiritlerinden alınan TMAV-1 kodlu örnekte genel olarak akma dokusu görülmektedir. Örnekteki en önemli fenokristal sanidin minerali olup, ayrıca düşük oranda biyotit minerali de gözlenmektedir. Değişik büyüklüklerde pomza parçaları da kayaçtaki başlıca litik materyaldir (Şekil 4.5 A-F). İri sanidin kristallerinde deformasyon izleriyle kayacın matriksinde ileri derece ayrışma görülmektedir. Adatepe andezitine ait TMAK-1 kodlu örneğin matriksinde camı yapı ve plajiolklas mineralleri gözlenmiştir. Plajiolklas minerallerinde zonlanma iyi gelişmiştir. Kayaçtaki fenokristalleri çoğunlukla iri sanidin mineralleri oluşturmaktadır. Sanidin ve plajiolklas kristallerinde yer yer ayrışma Muskovit mineralleri kayaçta uzun çubuk yapısıyla karakteristik olup iç kesimlerinde ayrışma izleri mevcuttur (Şekil 4.6 A-F).

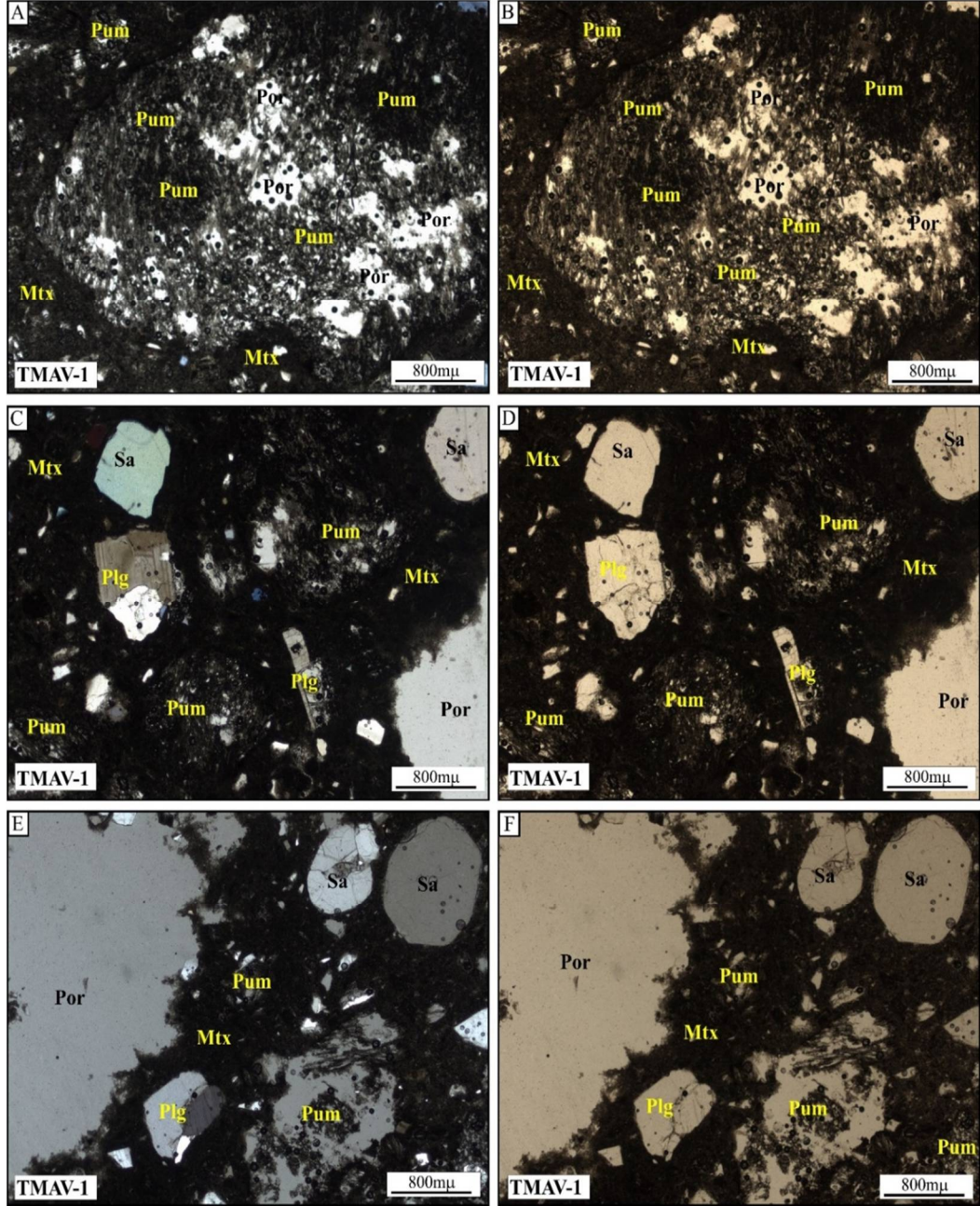
4.2.1.2 X-Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri

Doğanlar şistine ait Pzş-1 örneğinin büyük oranda kalsit, Pzş-6 örneğinin ise kuvars mineralinden oluştuğu ve bu minerallere her iki örnekte de illit-mika mineralinin eşik ettiği görülmüştür (Şekil 4.7-4.8). Ayrıca örneklerde gözlenen düşük oranda kaolinit (Pzş-1) ve hematit (Pzş-6) mineralleri bu örneklerdeki ayrışmayı işaret etmektedir.

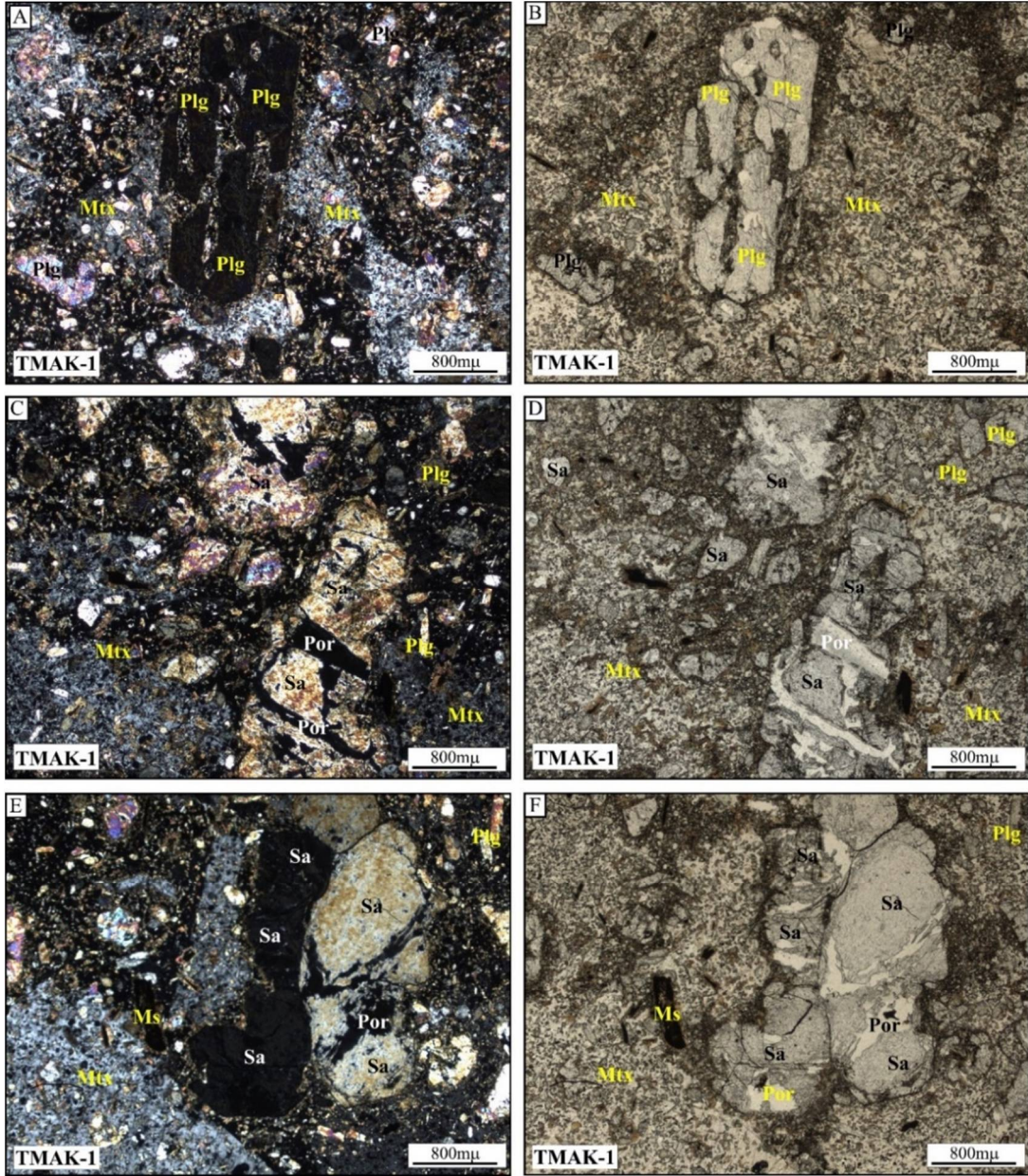
Paşadağ kireçtaşlarında en önemli kayaç yapıcı mineral kalsittir. Pzmr-3 ve Pzmr-4 kodlu örneklerde bu minerale kuvars ve illit-mika mineralleri eşlik etmiştir (Şekil 4.9-4.10).

Seydiler ignimbiritinin XRD grafiğinde amorf faz oranını yansıtan eğri karakteristiği oldukça belirgindir. Amorf yapının polarizan mikroskop çalışmalarında gözlenen volkan camı matriksten kaynaklandığı düşünülmektedir. Plajiolklas, sanidin, kuvars ve illit-mika kayaçtaki en önemli minerallerdir (Şekil 4.11). Adatepe andeziti plajiolklas,

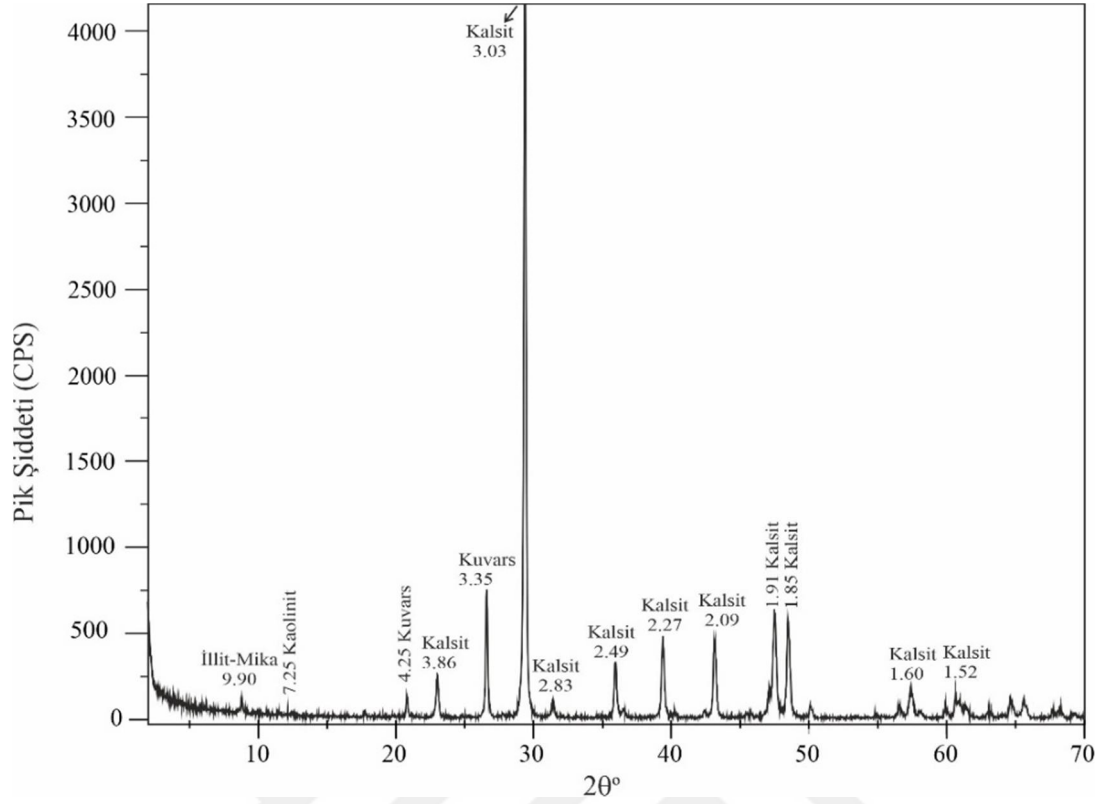
sanidin, illit-mika ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır. Düşük oranda gözlenen hematit minerali kayadaki ayrışmayı işaret etmektedir (Şekil 4.12).



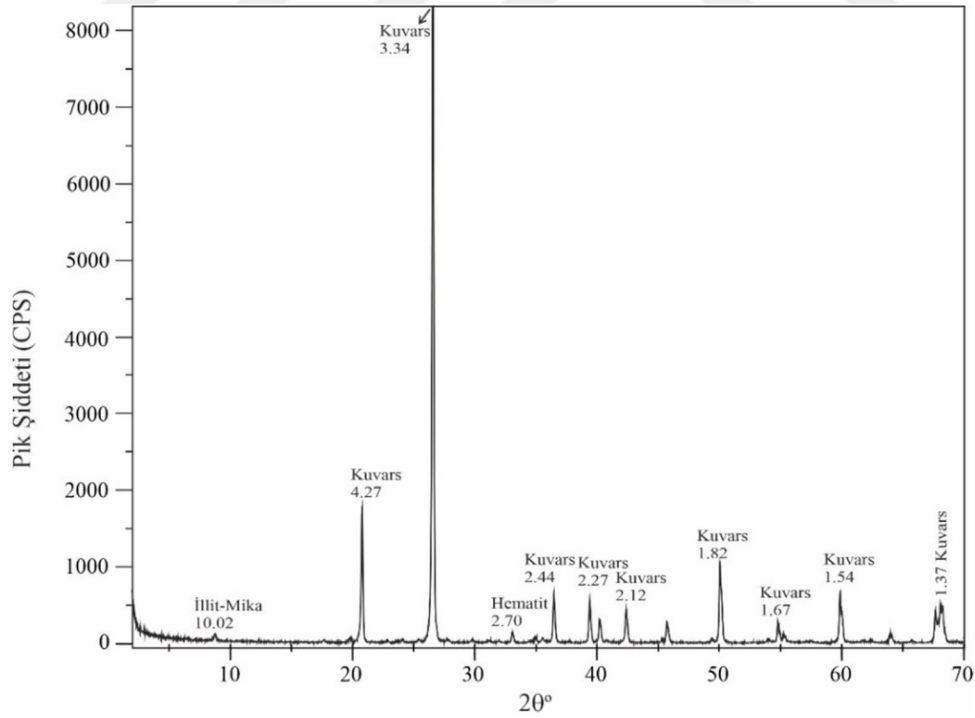
Şekil 4.5 Seydiler ignimbiritlerine ait TMAV-1 kodlu örneğin polarizan mikroskop görüntüleri. A, C ve E Çift Nikol; B, D ve F Tek Nikol görüntülerdir. Sa: Sanidin, Plg: Plajiolklas, Pum: Pomza, Opg: Opak Mineral, Por: Gözenek, Mtx: Matriks.



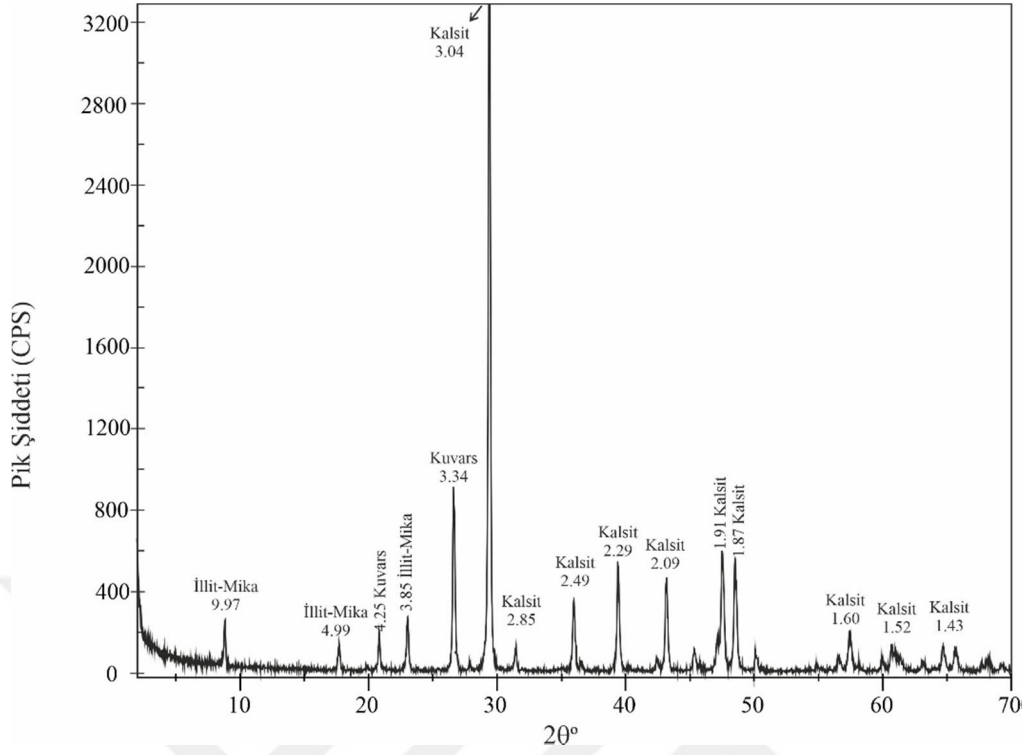
Şekil 4.6 Adatepe andezitine ait TMAK-1 kodlu örneğin polarizan mikroskop görüntüleri. A, C ve E Çift Nikol; B, D ve F Tek Nikol görüntülerdir. Sa: Sanidin, Plg: Plajioklas, Ms: Muskovit, Opg: Opak Mineral, Qz: Kuvars, Por: Gözenek, Mtx: Matriks.



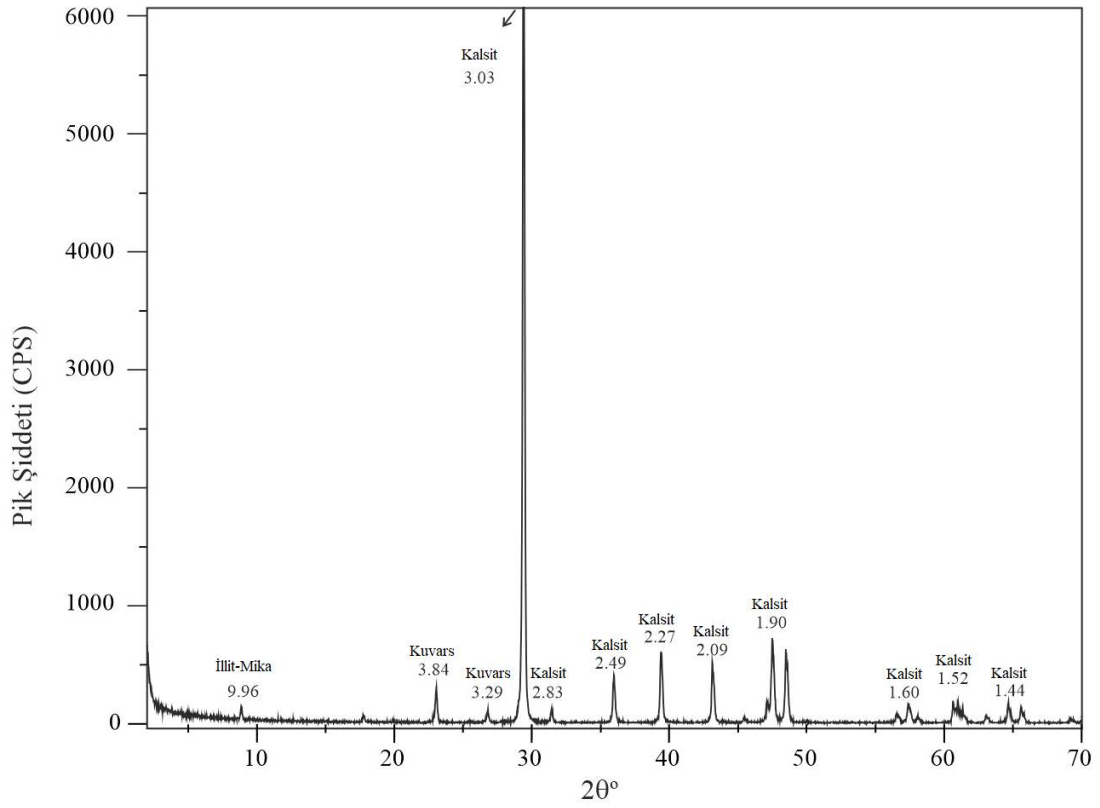
Şekil 4.7 Doğanlar şistine ait Pzş-1 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.



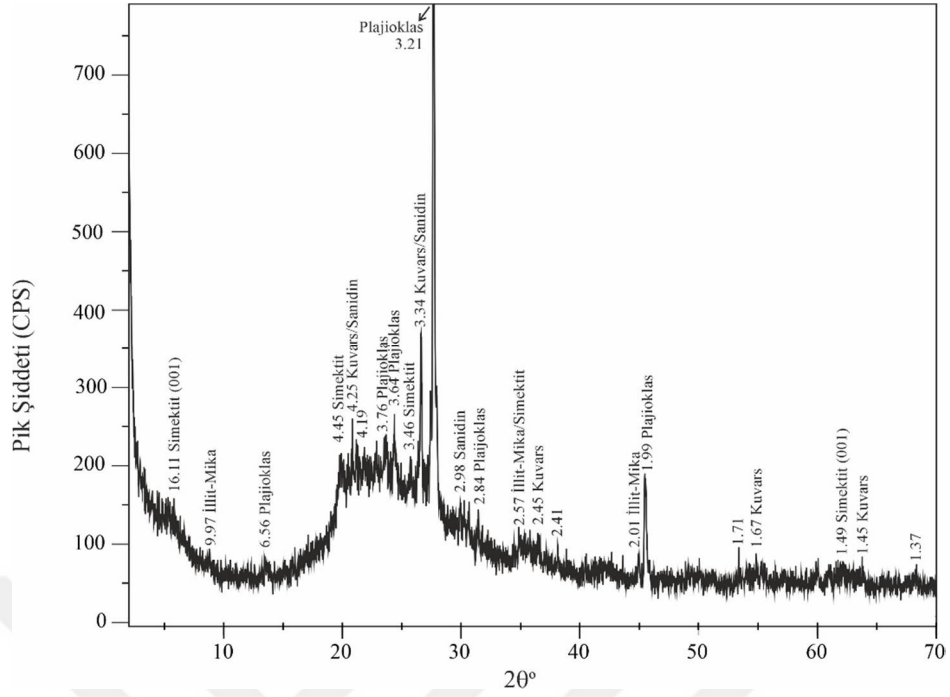
Şekil 4.8 Doğanlar şistine ait Pzş-6 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.



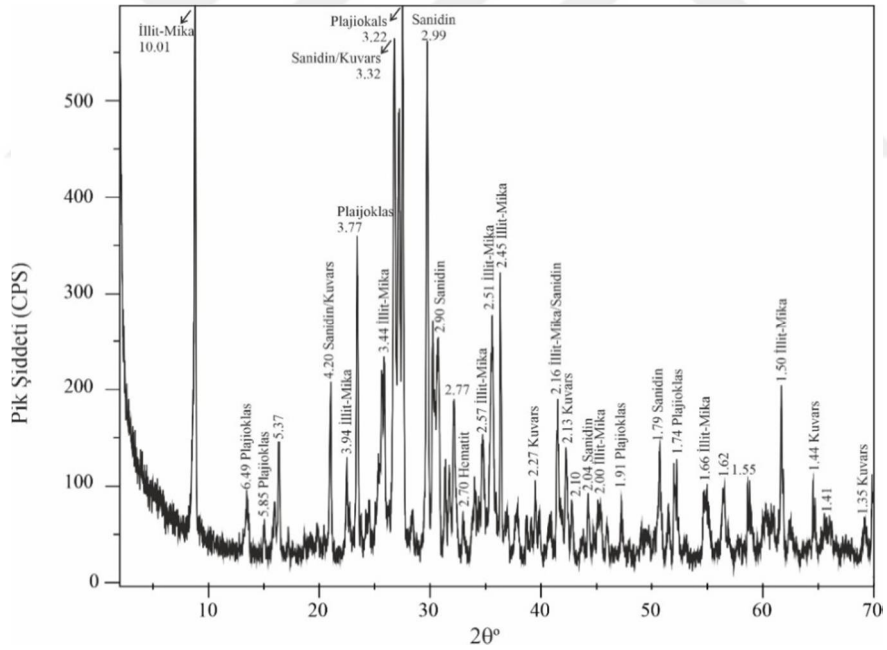
Şekil 4.9 Paşadağ kireçtaşlarına ait Pzmr-3 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.



Şekil 4.10 Paşadağ kireçtaşlarına ait Pzmr-4 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.



Şekil 4.11 Seydiler ignimbiritine ait Tmav-1 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.



Şekil 4.12 Adatepe andezitine ait Tmak-1 kodlu örneğin tüm kaya XRD grafiği.

4.2.2 Jeokimyasal İncelemeler

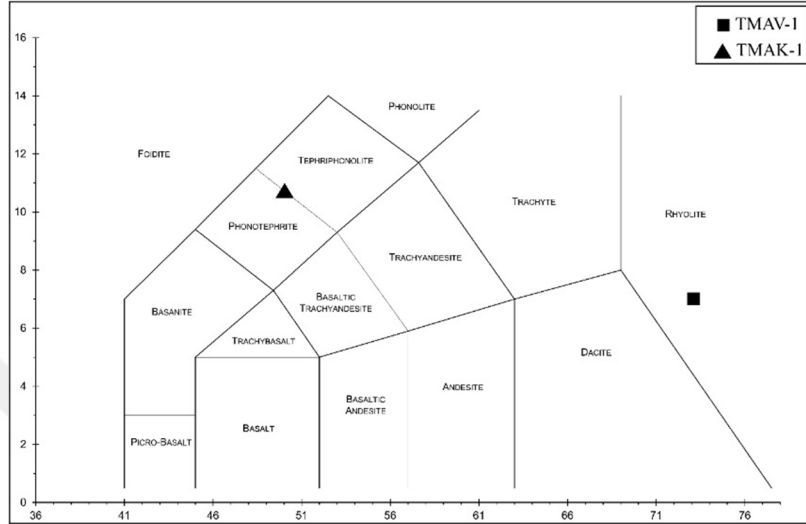
İnceleme alanına ait volkanik örneklerin ana, iz ve nadir toprak element (NTE) içerikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 İnceleme alanına ait kayaçların ana, iz ve nadir toprak element (NTE) içerikleri.

	Conc.	Pzş-1	Pzş-6	Pzmr-3	Pzmr-4	Tmav-1	Tmak-1
SiO₂	%	8.91	86.69	8.83	1.09	73.09	49.99
TiO₂	%	0.05	0.40	0.23	0.02	0.06	2.44
Al₂O₃	%	1.19	5.90	1.59	0.51	12.23	10.78
Fe₂O₃	%	0.93	4.18	1.13	0.29	0.81	7.39
MnO	%	0.03	ND	0.03	0.01	0.06	0.08
MgO	%	0.29	0.09	0.26	0.20	0.62	8.81
CaO	%	52.59	0.05	52.20	54.63	0.90	6.17
Na₂O	%	0.12	0.35	0.03	ND	1.03	0.98
K₂O	%	0.21	1.40	0.43	0.13	5.97	9.75
P₂O₅	%	ND	0.02	0.02	0.01	0.03	1.13
Cr₂O₃	%	ND	0.01	ND	ND	ND	0.09
A.Z.	%	35.37	0.85	35.17	42.79	5.00	1.85
Toplam	%	99.69	99.94	99.92	99.68	99.80	99.46
Cs	ppm	0.5	1.5	0.5	0.1	42.1	6.3
Ga	ppm	ND	ND	ND	ND	16.4	9.8
Hf	ppm	0.2	0.4	0.3	0.1	3.0	25.7
Rb	ppm	11.3	28.4	11.8	4.0	376.1	525.4
Sn	ppm	0.7	1.4	3.5	0.9	12.6	7.2
Th	ppm	0.8	3.8	1.1	1.0	33.3	11.7
U	ppm	0.4	0.6	1.5	0.3	20.3	2.6
Y	ppm	9.1	3.6	5.4	2.9	44.0	21.0
Cd	ppm	0.1	ND	ND	0.3	0.2	0.3
Sb	ppm	0.6	2.7	0.6	0.2	2.5	0.3
Au	ppm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
La	ppm	22.7	13.6	5.0	5.2	19.2	64.1
Ce	ppm	20.8	27.1	10.0	6.5	39.8	140.4
Pr	ppm	2.6	2.9	1.2	0.8	5.1	16.4
Nd	ppm	10.2	12.4	4.8	2.8	18.9	64.4
Sm	ppm	2.3	1.9	1.1	0.7	5.7	10.6
Eu	ppm	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2	2.6
Gd	ppm	2.0	1.5	1.1	0.5	6.7	8.8
Tb	ppm	0.3	0.2	0.2	0.1	1.2	1.0
Dy	ppm	1.4	0.7	1.0	0.5	7.2	4.8
Ho	ppm	0.3	0.1	0.2	0.1	1.4	0.8
Er	ppm	0.8	0.4	0.6	0.4	4.2	2.2
Tm	ppm	0.1	0.0	0.1	0.0	0.6	0.2
Yb	ppm	0.5	0.4	0.5	0.2	4.0	1.4
Lu	ppm	0.1	0.1	0.0	0.0	0.6	0.2

N.D. tespit edilemedi.

Jeokimyasal olarak adlandırabilmek için volkanik kayaç örnekleri Le Maitre vd. (2002) tarafından geliştirilen toplam alkali silis diyagramına yerleştirilmiştir (Şekil 4.13). Bu grafiğe göre Tmav-1 kodlu örneğin riyolit, Tmak-1 kodlu örneğin ise fonotefrit bileşimde oldukları görülmüştür.



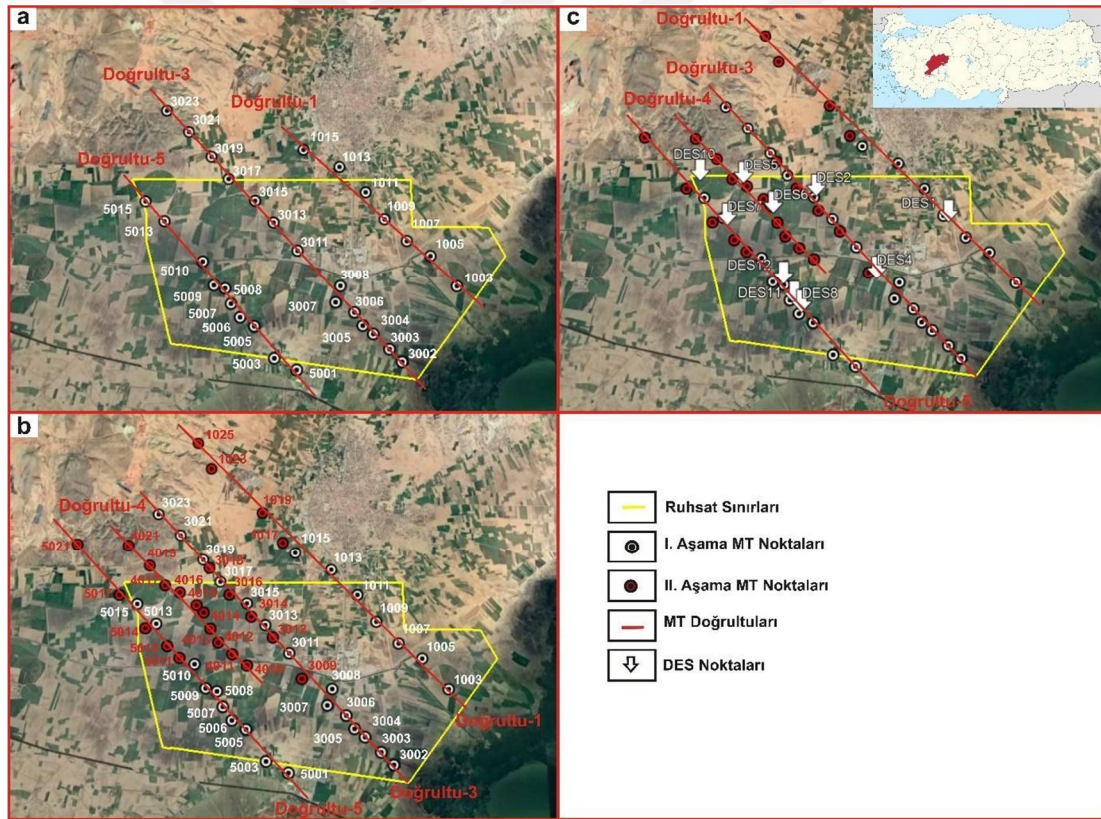
Şekil 4.13 İnceleme alanındaki volkanik kayaçların Le Maitre vd. (2002)'ne ait Toplam Alkali (TAS) diyagramına göre adlandırılması.

Pzş-1 örneğindeki %52.59 oranındaki CaO ile birlikte %8.91 SiO₂ ve %1.19 Al₂O₃ konsantrasyonu bu örneğin karbonatlı kayaç olduğunu göstermektedir. Örneğe ait XRD analizinde en önemli kayaç yapıcı mineralin kalsit olması, düşük oranda illit-mika içermesi bu örneğin kalkışist olduğu yönündeki görüşü desteklemektedir. Pzş-6 kodlu örnek %86.69 oranında SiO₂ içermektedir. Ayrıca örnekteki % 5.90 Al₂O₃ ve %4.18 Fe₂O₃ bu örneğin polarizan mikroskop ve XRD sonuçlarıyla oldukça uyumludur. Pzmr-3 ve Pzmr-4 örneklerinde %52.20 ile %54.63 arasında değişen CaO konsantrasyonları bu örneklerdeki kalsit mineraliyle ilişkili olup, birimin kalsitik kireçtaşı olduğunu göstermektedir. Pzmr-3 örneği %8.83 oranında SiO₂ içermektedir. Örneklerde hafif nadir toprak element içeriklerinin (LREE) daha yüksek, ağır nadir toprak element (HREE) içeriklerinin ise daha düşük içeriklerinin olduğu belirlenmiştir. La, Ce, Pr ve Nd içeriklerinin diğer nadir toprak elementlere göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. İz element içeriklerinde ise örneklerde Rb element içeriğinde önemli bir zenginleşme (enrichment) olmuş diğer element ise tüketilme söz konusudur (Çizelge 4.1).

4.3 Manyetotellürik (MT) Yöntem Çalışmaları Verilerinin Analizi ve 2B Ters Çözümü

4.3.1 MT Ölçüleri ve Uygulanan Veri İşlem Aşamaları

İnceleme alanında yaklaşık KB-GD (Kuzeybatı- Güneydoğu) yönünde I. Ölçüm aşamasında sahada 3 doğrultu (Doğrultu-1, 3, 5 “Kuzeybatıdan Güneydoğuya doğru”; Şekil 4.14 a) boyunca ve II. ölçüm aşamasında sahada 4 doğrultu (Doğrultu 1, 3, 4, 5 “Kuzeybatıdan Güneydoğuya doğru”; Şekil 4.14 b) boyunca toplam 30 (I. Aşama) + 24 (II. Aşama) = 54 istasyonda MT ölçüleri alınmıştır. Şekil 4.14 c). Veri kalitelerinin düşük olduğu durumlarda ölçü lokasyonu veya sistem (pot, bobin, alıcı) değiştirilerek tekrar ölçüleri alınmıştır. Tekrar noktaları dahil toplamda 75 istasyonda MT verisi toplanmıştır. MT istasyonlarının koordinatları EK-3’de verilmiştir.



Şekil 4.14 a. Çalışma sahasının yer bulduru haritası, I. aşama MT ölçüm noktalarının yerleri, b. I. ve II. aşama MT ölçüm noktalarının konumları, c. I. ve II. aşama MT ölçüm noktalarının konumları ile DES noktalarının konumları (Google Earth ile hazırlanmıştır).

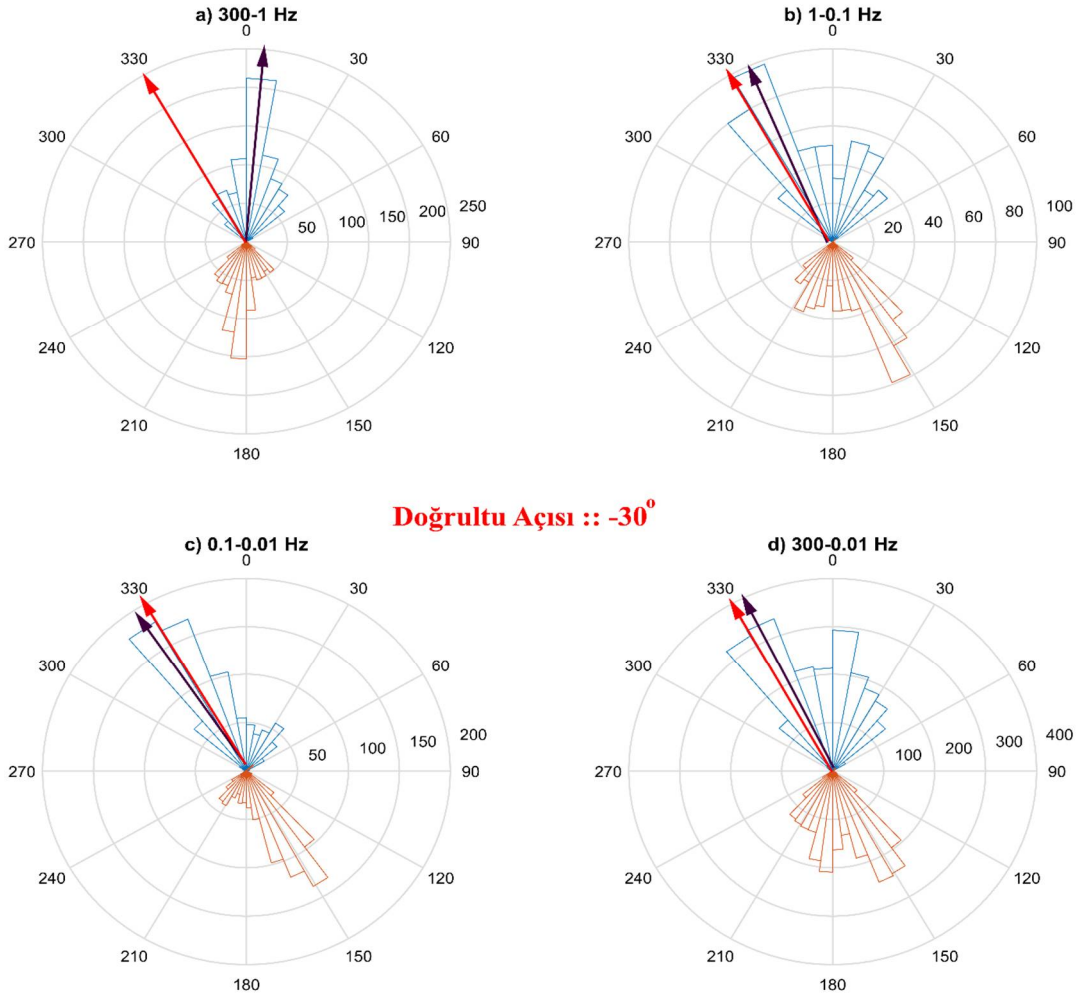
MT ölçüleri Metronix marka ADU07e model alıcı, MFS06e ile MFS07e bobinler ve Pb-PbCl₂ potlar kullanarak alınmıştır. Her doğrultuda ölçü aralığı yaklaşık 500-1500 metre aralığında olası tektonik fay ve birim geçişlerini gözlemleyebilecek şekilde seçilmiştir. Her bir istasyonda zaman serisi olarak toplanan verilerin ölçü süresi yaklaşık 6-24 saat arasında değişmektedir. Tüm istasyonlarda ölçülen MT verileri Bölüm 3.3.1 'de anlatılan veri işlem aşamalarından geçirilmiştir.

4.3.1.1 Ayırıştırma Analizi ve Döndürme Açısının Kestirimi

Verilerin 2-B yorumlanabilmesi için, her doğrultu için bir yer-elektrik doğrultusu bulunmuştur. Bu çalışmada, yer elektrik doğrultusu bulunması için veriler sırasıyla (G&B) ayırıştırma analizi (Groom ve Bailey 1989), “strike” kodu (McNeice ve Jones 2001) ve FNIDEC kodu (Özyıldırım 2010) ile yer elektrik doğrultusunun doğruluğu sınanmıştır. Analizler sonunda 2B ters çözüm için döndürme açısı doğrultular boyunca -30° her üç ayırıştırma analizi ile değerlendirilerek seçilmiştir (Şekil 4.15).

4.3.1.2 TE- ve TM-Modu Empedans Bileşenlerinin Belirlenmesi

Her doğrultu için elde edilen empedans tensörleri, önceki bölümde verilen açı yönünde döndürülmüştür. Ölçü alırken manyetik kuzey yönü x-olarak işaretlenmektedir. Burada, Bolvadin bölgesinde -30° döndürülen doğrultularda empedans tensörlerinin Z_{xy} bileşeni TE-modu ve Z_{yx} bileşeni ise TM-modu olarak seçilmiştir. Buna göre görünür öz direnç ve empedans faz değerleri her iki mod için elde edilmiştir. Temel veri işlem aşamalarından sonra elde edilen verilerin 2B ters çözümü yapılarak öz direnç modelleri elde edilmiştir.



Şekil 4.15 Bolvadin sahası, MT istasyonlardaki tüm frekans değerleri için hesaplanan döndürme açıları kullanılarak elde edilen gül diyagramları.

(Bu şekilde her bir diyagram üzerinde döndürme aç değ erlerinin kullanıldığı frekans aralığı gösterilmiştir. En aşağıda ise seç ilen döndürme açısı görülmektedir. Kırmızı ok şek li FNIDEC sonucu ve siyah ok şek li ise Strike sonucunu göstermektedir)

4.3.2 Manyetotellürik Verilerinin 2B Ters Çözümü

TE ve TM modu belirlenen verilerin ayrı ayrı 2-B ters çözümü yapılmıştır. 2-B Ters çözüm için AKÜ Jeotermal ve Maden Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (JUAM) Müdürlüğü'ne ait lisanslı 'WinGLink' Programı kullanılmıştır. Ters çözümlerde, model ağının x-yönündeki blok sayısı istasyon sayısına göre değişmektedir. Genel olarak x- yönünde ortalama 110 ve z-yönünde 140 blok

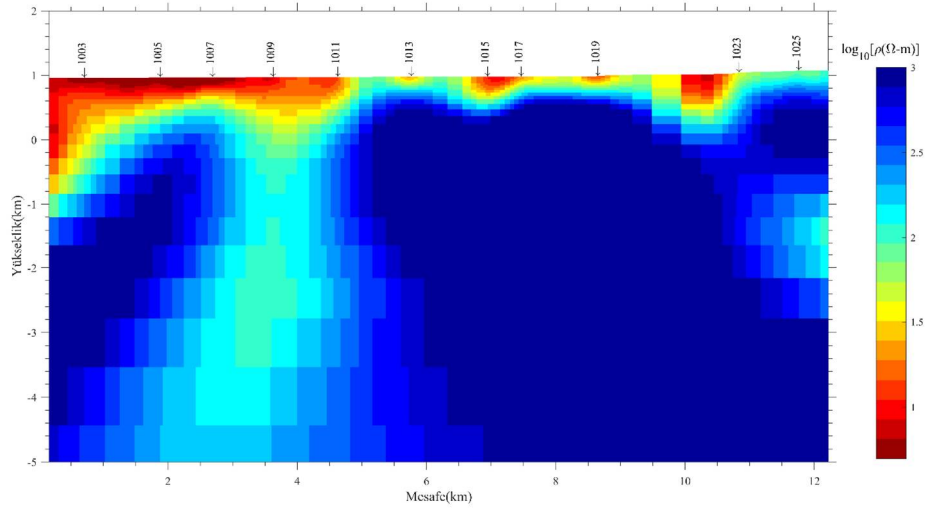
kullanılmıştır. Tüm ters çözümlerde z-yönünde blok kalınlıkları logaritmik olarak derine doğru %10 artan şekilde seçilmiştir. X-yönündeki blok kalınlıkları ise istasyonlar arası mesafe ve topografya değişimine göre ayarlanmıştır. Genel olarak her iki istasyon arası en az dört bloğa bölünmüştür. Ters çözümde, başlangıç modeli olarak ölçülen görünür öz direnç değerlerinin ortalaması alınarak homojen öz direnç modeli seçilmiştir.

Çalışma alanında istasyonlar arası mesafe yaklaşık 0,5-1,5 km olarak seçilmiştir. Aşağıda her bir doğrultu için elde edilen 2B öz direnç modelleri Bolvadin bölgesinde Kuzeybatı- Güneydoğu doğrultularında 5 doğrultu olacak şekilde verilmiştir. Ölçülen ve kuramsal veriler, raporun sadeliğini bozmamak için raporda sunulmamıştır. Ölçülen ve kuramsal verinin çakışmasının bir ölçütü olan % karekök (Root Mean Squares-RMS) hata değerleri ilgili bölümlerde vurgulanmıştır. Doğrultularda ölçülen I. aşama ve II. Aşama kullanılan bütün verilerin birlikte ters çözüm sonucu ve yorumları izleyen alt bölümlerde verilmiştir.

4.3.3 Doğrultular

4.3.3.1 Doğrultu 1

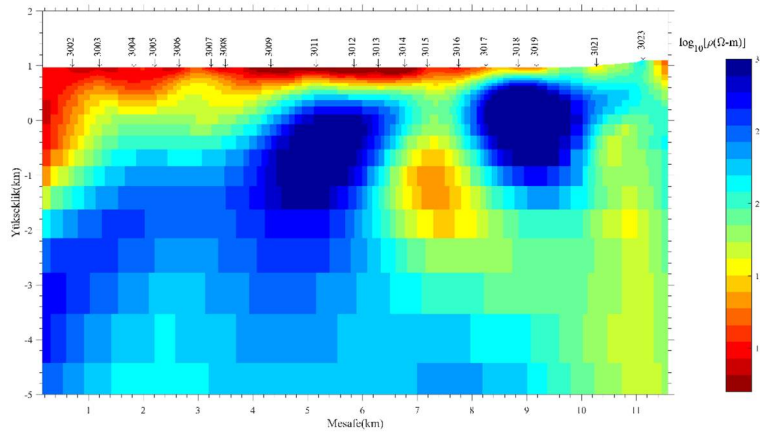
Doğrultu 1 boyunca 11 istasyonda MT ölçüsü alınmıştır. Doğrultu boyunca alınan 1013 numaralı istasyon harici diğer bütün istasyonlarda TE- ve TM- modu 10000 Hz – 1000 sn arası verilerin kalitesi iyidir. 1013 numaralı istasyon verisinde 100 sn ‘den yüksek periyottaki veriler bozuk olduğu için TE ve TM modu veriler, ters çözümde kullanılmamıştır. TE- ve TM- modu verilerinin ters çözümü sonucu bulunan 2B öz direnç modeli Şekil 4.16’de görülmektedir. Bu model %3,3 karekök (Root Mean Squares-RMS) hata ile bulunmuştur. Elde edilen öz direnç modelinin yorumu “MT Modellerinin Yorumu” bölümünde verilmiştir. Ters çözüm sonuçlarının güvenilirliği için bir ölçüt olarak verilen RMS değeri dikkate alındığında veri gruplarının çakışması kabul edilebilir düzeydedir.



Şekil 4.16 Doğrultu 1 boyunca ölçülen TE- ve TM-modu verilerin 2B ters çözümü sonucu.

4.3.3.2 Doğrultu 3

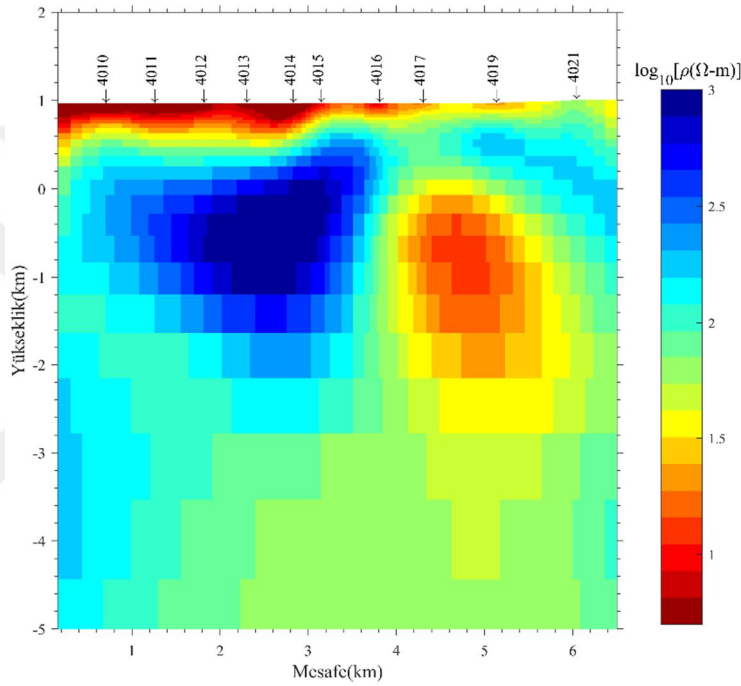
Doğrultu 3 boyunca 19 istasyonda MT ölçüçüsü alınmıştır. Doğrultu boyunca alınan istasyonlardan 3007 ve 3017 hariç diğer bütün istasyonlarda TE- ve TM- modu 10000 Hz – 1000 sn arası verilerin kalitesi iyidir. 3007 ve 3017 numaralı istasyon verisinde 100 sn ‘den yüksek periyottaki TE ve TM modu veriler bozuk olduğu için ters çözümde kullanılmamıştır. Ters çözümü sonucu bulunan 2B öz direnç modeli Şekil 4.17 ’de görülmektedir. Bu model %3,7 RMS hata ile bulunmuştur. RMS değeri dikkate alındığında veri gruplarının çakışması kabul edilebilir düzeydedir.



Şekil 4.17 Doğrultu 3 boyunca ölçülen TE- ve TM-modu verilerin 2B ters çözümü sonucu.

4.3.3.3 Doğrultu 4

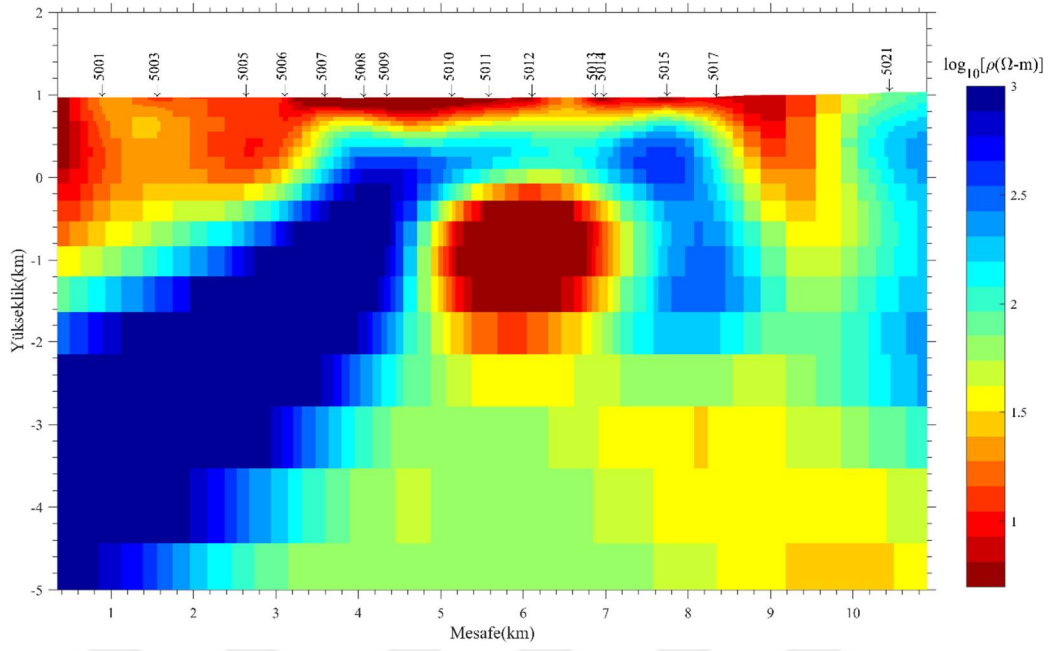
Doğrultu 4 boyunca 10 istasyonda MT ölçüşü alınmıştır. Doğrultu boyunca alınan bütün istasyonlarda TE- ve TM- modu 10000 Hz – 1000 sn arası verilerin kalitesi iyidir. Ters çözümü sonucu bulunan 2B öz direnç modeli Şekil 4.18 'de görülmektedir. Bu model %1,9 RMS hata ile bulunmuştur. RMS değeri dikkate alındığında veri gruplarının çakışması kabul edilebilir düzeydedir.



Şekil 4.18 Doğrultu 4 boyunca ölçülen TE- ve TM-modu verilerin 2B ters çözümü sonucu.

4.3.3.4 Doğrultu 5

Doğrultu 5 boyunca 14 istasyonda MT ölçüşü alınmıştır. Doğrultu boyunca alınan 5001 numaralı istasyon harici diğer bütün istasyonlarda TE- ve TM- modu 10000 Hz – 1000 sn arası verilerin kalitesi iyidir. 5001 numaralı istasyon verisinde 1 sn 'den yüksek periyottaki veriler bozuk olduğu için TE ve TM modu veriler, ters çözümde kullanılmamıştır. Ters çözümü sonucu bulunan 2B öz direnç modeli Şekil 4.19 'de görülmektedir. Bu model %4,3 RMS hata ile bulunmuştur. RMS değeri dikkate alındığında veri gruplarının çakışması kabul edilebilir düzeydedir.



Şekil 4.19 Doğrultu 5 boyunca ölçülen TE- ve TM-modu verilerin 2B ters çözümü sonucu.

4.3.4 Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) Ölçüleri, Uygulanan Veri İşlem Aşamaları ve 1B Ters Çözümü

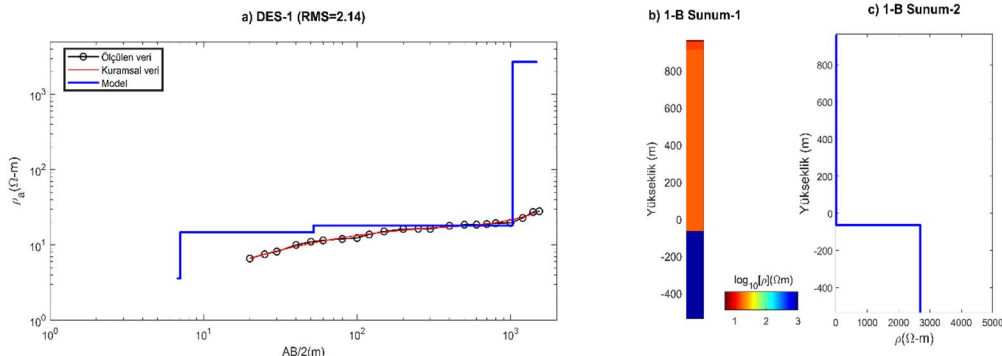
Çalışma alanında MT verilerinin öncel yorumu ile belirlenen, jeotermal potansiyel olabilecek noktalarda Doğru Akım Özdirenç (DAÖ) Yönteminde veriler, Düşey Elektrik Sondajı (DES) ölçü alım tekniği, “Schulumberger” elektrot dizilimiyle toplanmıştır. DES noktalarının yerleri verildiği Şekil 1.1c’de gösterilen DES noktaları (DES-1, DES-2, DES-4, DES-5, DES-6, DES-7, DES-8, DES-10, DES-11, DES-12) bu çalışmada üçüncü aşama olarak sınıflandırılmıştır. Verilerde AB elektrot açıklığı 2800 metre ile 3200 metre arasında değişmektedir.

DES verileri JUAM Müdürlüğüne ait, tek kanallı RVA-1 marka (Resim 4.5) tek kanallı özdirenç cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Ölçülen verilerin her biri aletten tekrar okumalardan istatistiksel hesaplanan hata değerine göre sınıflandırılıp, hata değeri yüksek olan veriler arazide tekrar edilmiştir.

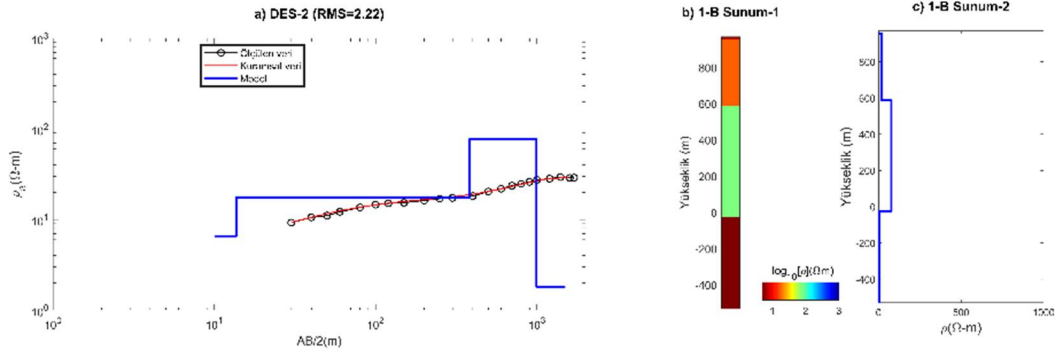


Resim 4.5 RVA-1 tek kanallı özdirenç cihazı.

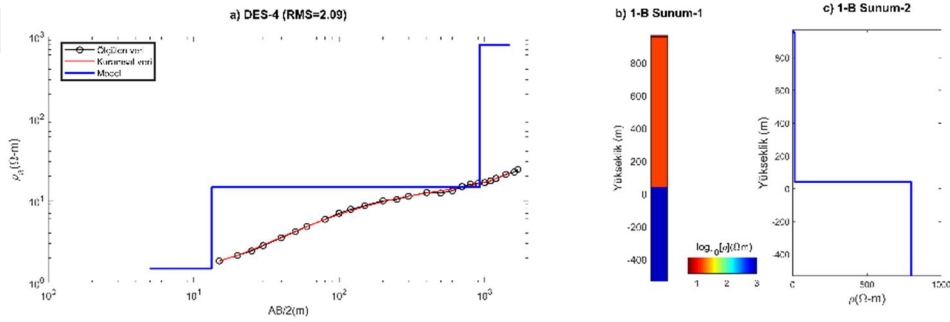
Belirlenen doğrultularda ölçülen DES verileri 1-B ters çözüm yapılmıştır. İnceleme kapsamında, 1-B Ters çözüm için Özyıldırım et al. (2020) tarafından geliştirilmiş 1B ve 2B ters çözüm yapılabilen algoritma kullanılarak, 1B Özdirenç modelleri elde edilmiştir. Ters çözüm sonucu elde edilen modeller ile ölçülen kuramsal ve ölçülen veri çakışmaları her DES verisi için aşağıda sırası ile Şekil 4.20-Şekil 4.29’de sunulmuştur. Şekillerin her birinin (a) sekmesinde, ilk olarak ölçülen kuramsal çakışması ve 1B özdirenç modeli aynı grafik üzerine çizilmiş ve RMS hata değerleri verilmiştir. (b) sekmesinde modelin log şeklinde sunumu (c) sekmesinde modelin eğri olarak sunumu yüksekliğin fonksiyonu olarak sunulmuştur.



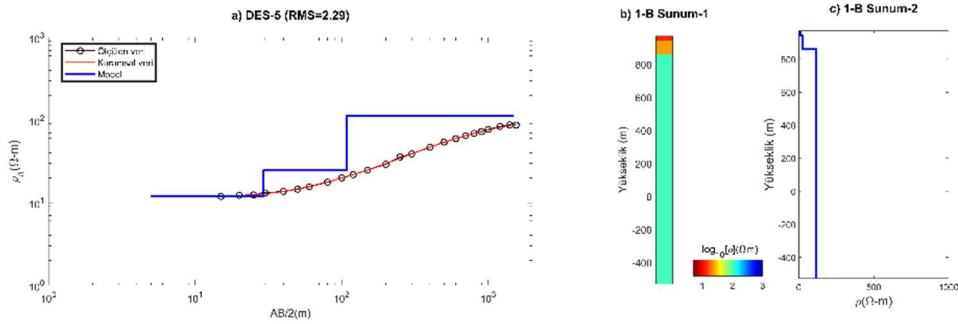
Şekil 4.20 DES-1 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu



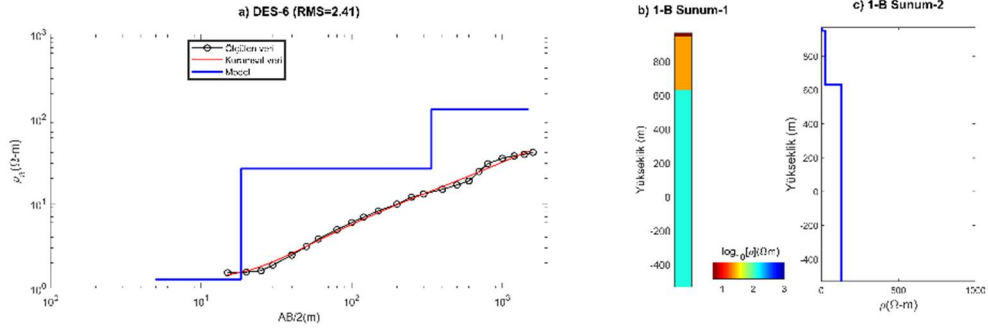
Şekil 4.21 DES-2 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu



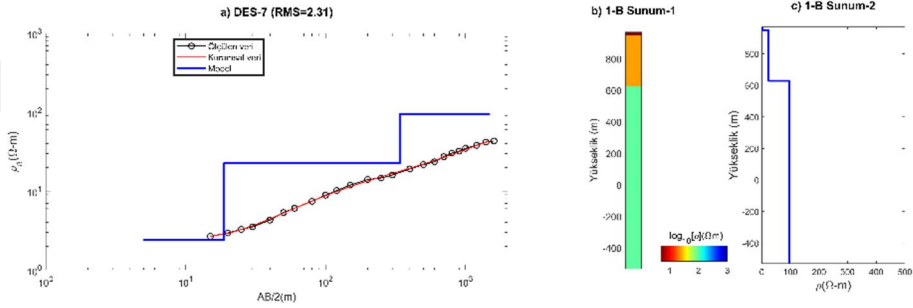
Şekil 4.22 DES-4 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu



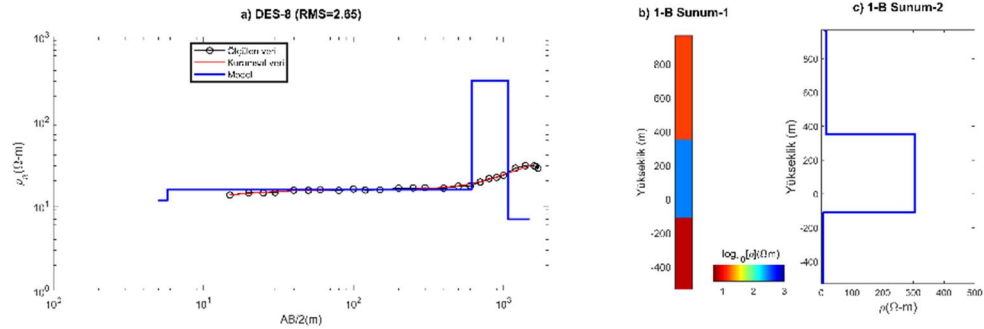
Şekil 4.23 DES-5 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu



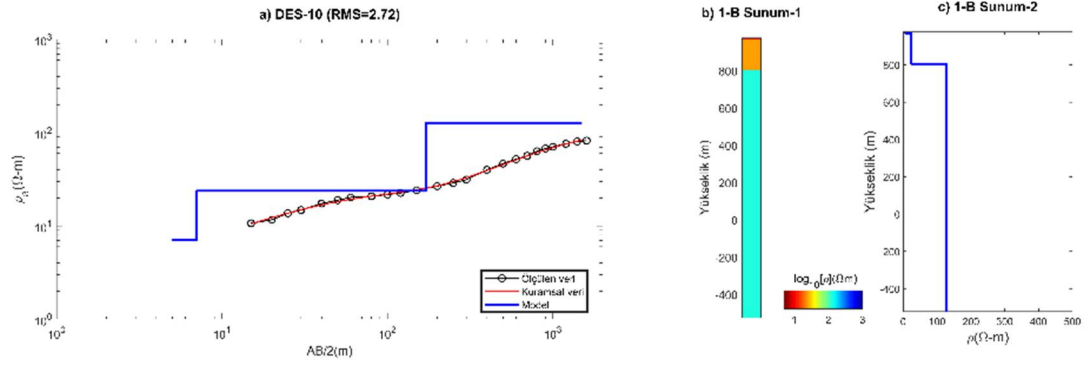
Şekil 4.24 DES-6 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çıkışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu



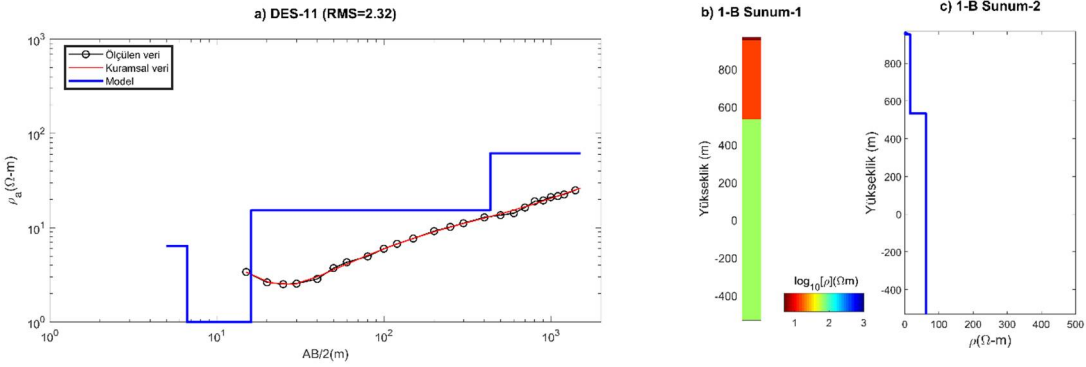
Şekil 4.25 DES-7 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çıkışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu



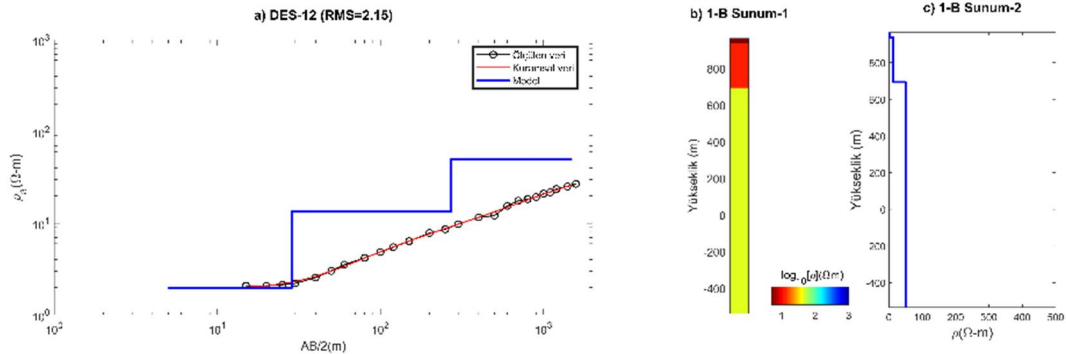
Şekil 4.26 DES-8 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çıkışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu



Şekil 4.27 DES-10 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu



Şekil 4.28 DES-11 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu



Şekil 4.29 DES-12 verisi, a) 1B ters çözüm sonucu elde edilen model ve ölçülen kuramsal verilerin çakışması, 1B modelin, b) log şeklinde, c) yüksekliğin fonksiyonu olarak sunumu

4.3.5 2B Öz direnç Modellerinin Yorumu

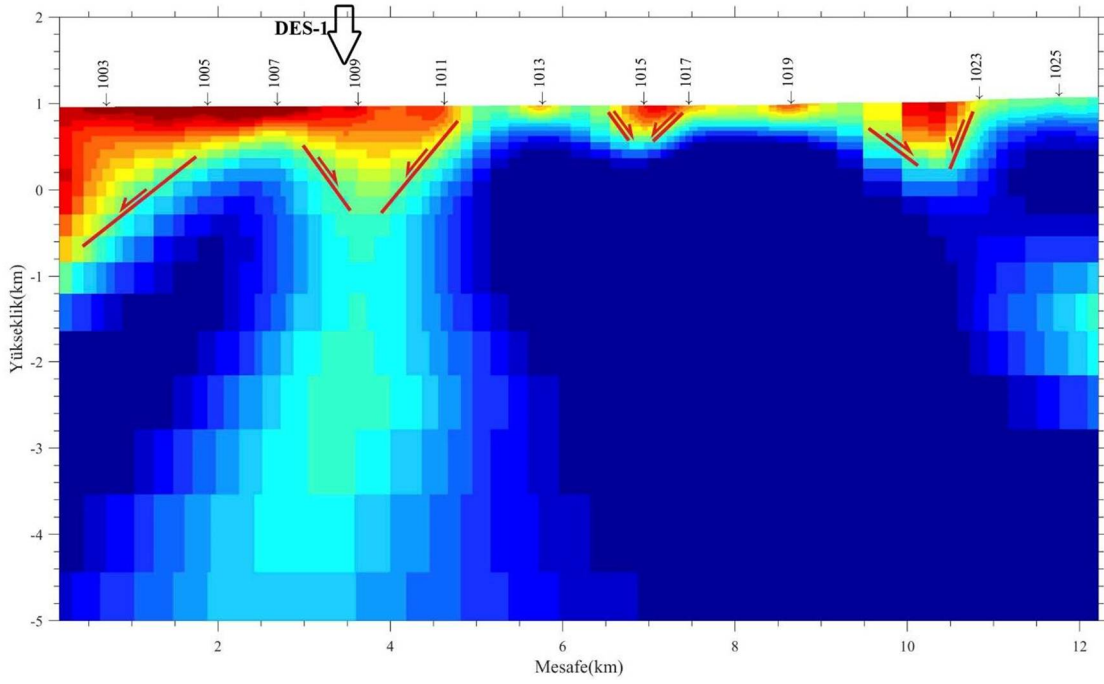
4.3.5.1 Manyetotellürik (MT) Verilerinin 2B yorumu

Önceki bölümlerde, İnceleme alanının jeolojisi ile MT ve DAÖ yönteminde, yeraltının 1B ve 2B öz direnç modellerinin elde edilmesine kadar olan işlem basamakları ve modeller sunulmuştur. Bu bölümde ise MT verilerine ait öz direnç modelleri İnceleme alanının jeolojisi ve tektoniği temel alınarak yorumlanmıştır.

Bölgedeki MT çalışmasında profil doğrultuları Çobanlar, Dişli ve Bolvadin faylarını dik kesecek şekilde KB-GD doğrultulu olarak oluşturulmuştur. MT modelleri üzerinde olası gömülü fay sınırları kırmızı çizgilerle gösterilmiştir. Bütün modellerde renk göstergesi aynı alınmıştır (1-1000 ohm.m aralığında). Yine bütün modeller z-yönünde 5 km derinliğe (deniz seviyesinden başlayarak) kadar sunulmuştur. Aşağıda 2B öz direnç modeli yorumunda, faylar modeller üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.30-4.33). Modeller üzerinde gösterilen faylar genellikle İnceleme alanı ve çevresinde araştırmacılar tarafından belirlenmiş ve adlandırılmış faylarla oldukça uyumludur. Söz konusu faylar, bölgedeki jeotermal akışkanların dolaşımı için uygun gözenekli ve geçirgenli ortam oluşturmaktadırlar. Modellerde ayrıca jeotermal sistemin önemli bileşenleri olan örtü kaya, rezervuar kaya ve geçirimsiz temelin yanal ve düşey yayılımı her doğrultu için ayrı ayrı yorumlanmıştır. Ayrıca elde edilen 2B öz direnç modelleri Şekil 4.34 ve EK-4'de 3-B değişimi incelemek için bir arada gösterilmiştir.

Doğrultu 1 için elde edilen modelde (Şekil 4.33), doğrultunun kuzeybatı bölümleri (1023, 1025) Afyon Metamorfitlerine ait temel kayalardan itibaren başlatılmış, böylece bölgedeki tektonik yapının farklı bloklarının MT modelinde yer alması sağlanmıştır. Alüvyon ve Gebeceler formasyonunun geçirimsiz seviyelerini yansıtan ve jeotermal sistemin örtü kayacını oluşturan düşük öz dirençli (<20 ohm.m) seviyeler bölgenin tektonik yapısıyla ilişkili olarak profillerin KB bölümlerinde daha ince (yüzeyden itibaren ilk 200-400 m;1013-1025) bir görünüm sergilerken, GD'ya doğru örtü birimlerin kalınlığı artmaktadır (yüzeyden itibaren ilk 400-1800 m;1003-1011). Afyon metamorfitlerinin üst seviyelerinde muhtemelen Paşadağ kireçtaşlarını yansıtan seviyeler yüksek öz dirençli (>100 ohm.m) olarak dağılım sunarken, jeotermal sistemin geçirimsiz temelini temsil eden ve Doğanlar şisti olduğu düşünülen yüksek öz dirençli

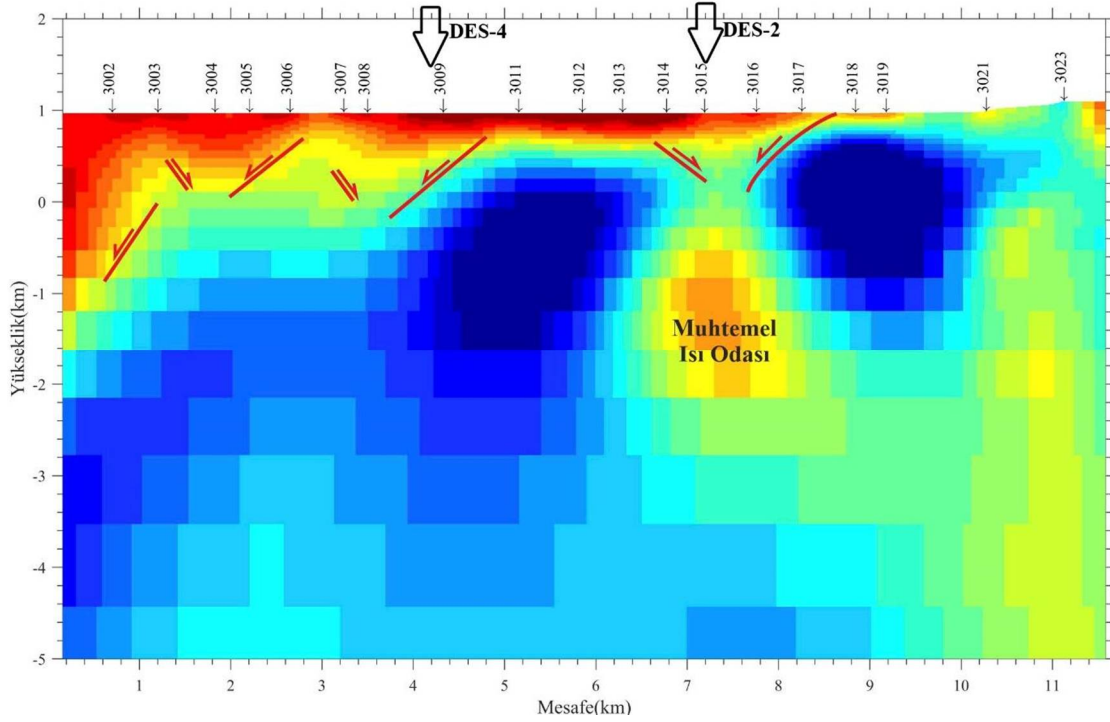
seviyeler (>100 ohm.m) de bölgenin tektonik yapısıyla uyumlu bir şekilde İnceleme alanının kuzeybatısından güneydoğusuna doğru derinleşmektedir. Doğrultu üzerinde Emre vd. (2011) ve (2018) tarafından yapılan çalışmayla uyumlu faylar belirlenmiştir. 1023 nolu nokta yakınındaki fay söz konusu çalışmalarda tanımlanan Dişli fayıdır. 1015-1017, 1007-1011, nolu ölçüm istasyonları arasında belirlenen faylar ise Çobanlar fay zone ve Dişli fayı olarak tanımlanan fayların alüvyon altındaki uzanımlarıdır (Şekil 4.30).



Şekil 4.30 Doğrultu 1, MT öz direnç modeli.

Doğrultu 3, için elde edilen modelde (Şekil 4.31), Doğrultu 1'e benzer şekilde doğrultunun kuzeybatı bölümünde (3019-3023) Afyon metamorfitleeri yer almaktadır. Jeotermal sistemin örtü kayacı olan düşük öz dirençli (<20 ohm.m) seviyeler bölge tektonizmasıyla uyumlu bir şekilde doğrultunun GD bölümlerine doğru derine doğru uzanmakta ve kalınlaşmaktadır. Jeotermal sistemin rezervuar kayacı ve geçirimsiz temelini barındıran Afyon metamorfitleerinde yüksek öz dirençli seviyeler (>100 ohm.m) rezervuar kayacı (Paşadağ Kireçtaşları) yüksek öz dirençli seviyeler (>100 ohm.m) ise geçirimsiz temeli (Doğanlar Şisti) yansıtmaktadır. Doğrultu 3 üzerinde 3018-3016 ve 3014-3015 istasyonları arasındaki fayların Çobanlar fay zoneunun segmenti, Dişli fayı veya Bolvadin fayına ait olduğu veya bu fayların tamamının etkisinin olabileceği düşünülmektedir. 3014-3015 nolu istasyonlar arasında ise bu fayı karşılayan ve yine

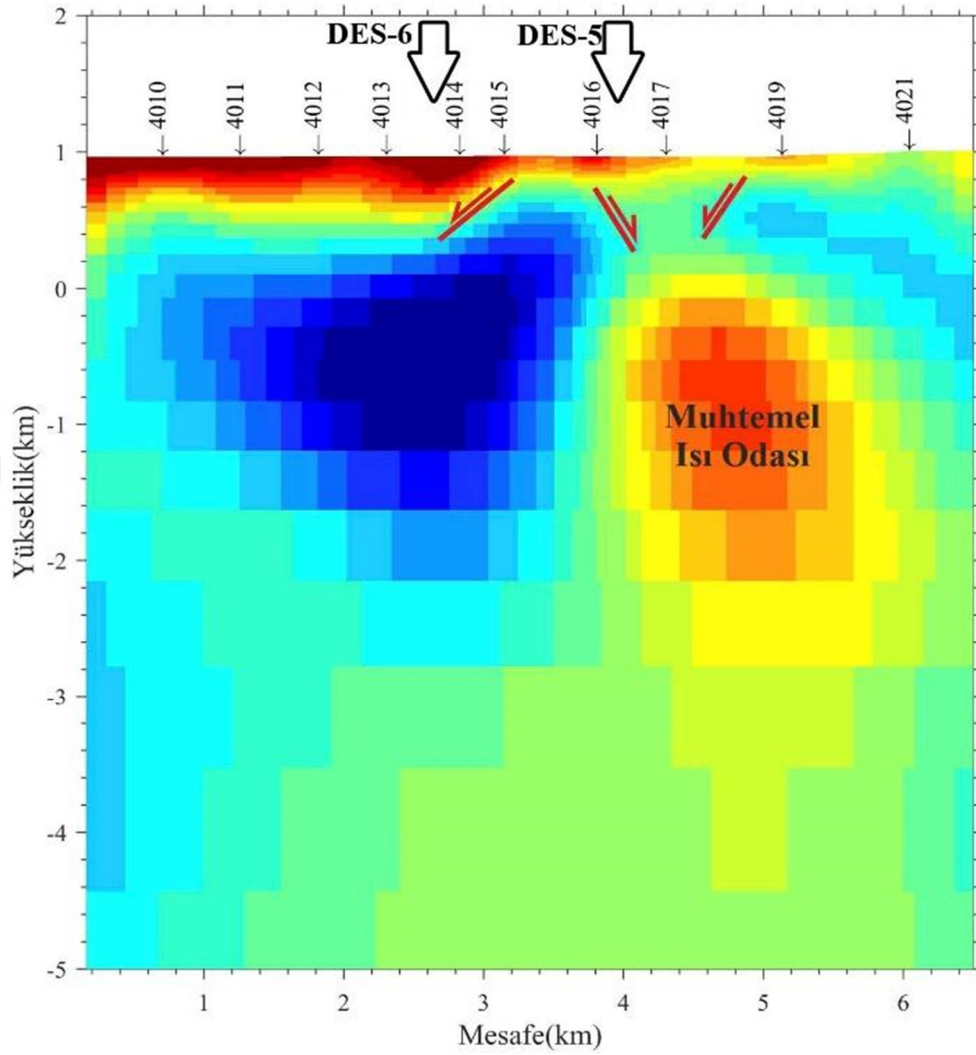
Çobanlar fay zoneuyla ilişkili olan fay gözlenmiştir. 3009 nolu istasyonun GD'sundaki fayların Bolvadin fayıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. 3014 ile 3017 nolu istasyonlar arasında ve 1.5 km derinlikten sonra başlayan düşük öz dirençli (<10 ohm.m) seviyelerin jeotermal sistemin muhtemel ısı odası olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.31 Bolvadin, Doğrultu 3, MT öz direnç modeli.

Doğrultu 4 için elde edilen model 10 ölçüm istasyonundan oluşmakta olup, 4010'dan başlayıp 4021 nolu ölçüm istasyonunda son bulmaktadır (Şekil 4.32). 4010 ile 4017 nolu istasyonlar arasında yüzeyden itibaren 200-600 m derinliklerinde yayılım sunan düşük öz dirençli (<20 ohm.m) seviyeler jeotermal sistemin örtü kayacıdır. Bu birimlerin altında jeotermal sistemin rezervuar kayacı ve geçirimsiz temelini temsil eden yüksek öz dirençli seviyeler (>100 ohm.m) yer almaktadır. Tüm bu birimler fayların etkisiyle GD'ya doğru derinleşerek uzanım sunmaktadır. 4017 nolu istasyon yakınlarında gözlenen GD'ya doğru eğimli fay Çobanlar fay zoneunun segmentidir. Bu fayı 4016 nolu istasyon civarında başka bir fay karşılamaktadır. 4014-4015 yakınlarındaki gömülü fay ise Çobanlar fay zoneu veya Dişli fayıyla ilişkili olabilir. Bu fay bölgedeki birimlerin GD'ya doğru derinleşmesine neden olmuştur. 4016-4017 nolu istasyon yakınlarında yüzeyden itibaren yaklaşık 1000 m derinlikten sonra başlayan

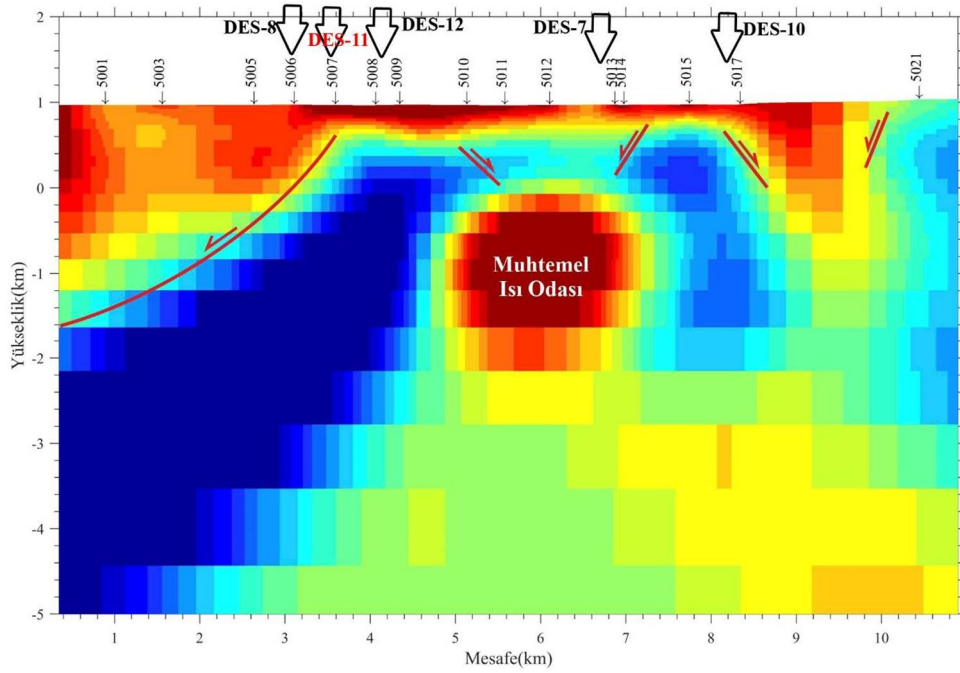
düşük öz dirençli yarı küresel geometrideki seviyenin jeotermal sistemin ısı kaynağı olan muhtemel ısı odası olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.32 Doğrultu 4, MT öz direnç modeli.

Doğrultu 5 toplam 15 MT ölçüm istasyonundan oluşmakta olup, 5001'den başlayıp, 5021 nolu istasyonda sona ermektedir (Şekil 4.33). Diğer doğrultularla uyumlu bir şekilde doğrultunun KB bölümleri Afyon metamorfitlelerinden GD bölümleri ise alüvyonlardan oluşmaktadır. Çobanlar fay zoneuyla ilişkili faylar havzayı GD'ya doğru derinleştirmektedir. Örtü kayaçlarıyla ilişkili düşük öz dirençli (<20 ohm.m) seviyeler doğrultunun KB bölümlerinde 400m kalınlığında iken GD bölümlerinde ise (özellikle 5007 nolu istasyon GD'sunda) 2km kalınlığa ulaşmaktadır. Jeotermal sistemin rezervuar kayacı ve geçirimsiz temelini temsil eden yüksek öz dirençli seviyeler (>100 ohm.m) de benzer şekilde doğrultunun GD bölümünde derinleşmektedir. 5021 ile 5017

arasındaki fay Çobanlar fay zonunun segmentidir. 5013-5014, 5010-5011 istasyonları arasındaki fayların Dişli fayıyla ve 5007 nolu istasyonun GD'sundaki fayın ise Bolvadin fayıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir. 5010-5014 nolu istasyonlar altında yaklaşık 100-2000 m derinliklerinde bulunan yaklaşık dairesel yapılı iletken anomali (<10 ohm.m), çalışma sonucu bulunmuş, jeotermal akışkanın ısınmasını sağlayan ve Çobanlar fay zonunun segmentlerince yüzeye kadar ulaşan, muhtemel ısı odası olarak yorumlanmıştır.

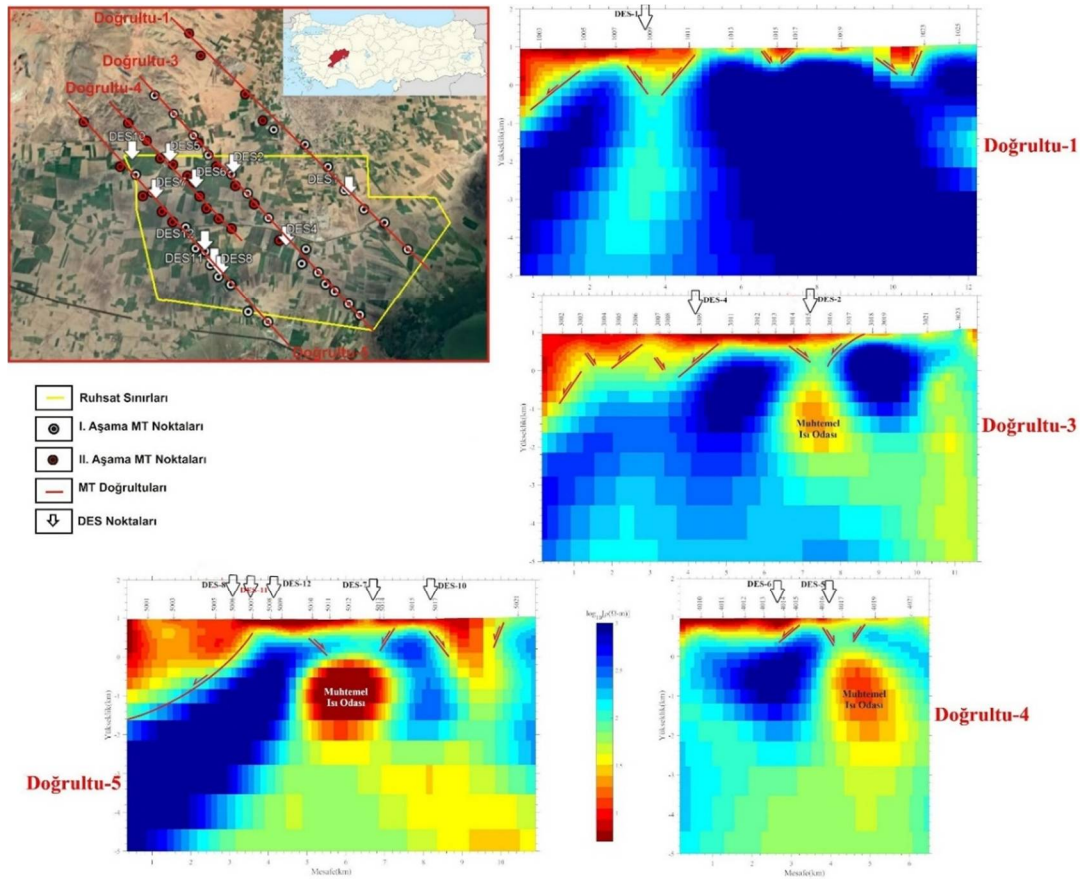


Şekil 4.33 Doğrultu 5, MT öz direnç modeli.

4.3.5.2 DES Verilerinin Yorumu

Jeotermal sistemlerin jeolojik özellikleri Bölüm 4.1.3'te değinilmiştir. Bahsi geçen rezervuar kayaç, örtü kayaç, temel kayaç ve ısı kaynağı ile öz direnç modelleri arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişki kayaçların gözeneklilik ve geçirirmliliğine göre değişmektedir. İnceleme alanının yüzeyden itibaren ilk 1000 m'lik derinliklerinin jeotermal potansiyelini belirleyebilmek için I. ve II. aşamadaki manyetotellürik (MT) ölçüm sonuçlarının yorumlanması sonucunda jeotermal anomaliyi işaret eden bölgelerde DES ölçümleri alınmıştır.

DES-1 ölçümü, 1 numaralı MT doğrultusu üzerinde doğrultunun GD’da 1009 numaralı istasyon üzerinde örtü kayacın kalınlaştığı, Çobanlar fay zone ve Dişli fayı olarak tanımlanan fayların alüvyon altındaki uzanımlarının bulunduğu bölgede, bu fayların jeotermal akışkan dolaşımını sağlayıp, sağlamadığını belirlemek amacıyla alınmıştır (Şekil 4.20). MT modeli ile uyumlu olarak, ilk 1000 metreden sonra alüvyon ve Gebeceler formasyonundan oluşan örtü birimler geçilerek (<20 ohm.m), jeotermal sistemin rezervuar kayacı ve geçirimsiz temeline (>100 ohm.m) girildiği açık bir şekilde görülmüştür.



Şekil 4.34 Bütün MT doğrultuların elde edilen modeller ve doğrultuların Google Earth üzerindeki konumları, DES noktalarının Google Earth ve 2B öz direnç modelleri üzerindeki konumları

3015 ile 3016 nolu MT istasyonları arasında yer alan DES-2 ölçüsünde 2B MT öz direnç modeliyle uyumlu olarak yüzeyden itibaren 250-300 m seviyelerinde düşük öz dirençli (<20 ohm.m) örtü birimler sona ererek jeotermal sistemin rezervuar kayacı yaklaşık 900 metrede geçildikten sonra iletken bir zon olan (<10 ohm.m) muhtemel ısı odasına giriş

yapıldığı görülmüştür (Şekil 4.21). 3 numaralı MT doğrultusuna ait öz direnç modelinin yorumunda da belirtildiği üzere DES-2 ölçüsünün alındığı bölge Çobanlar fay zone, Dişli fayı veya Bolvadin fayının kesiştiği bir nokta olma ihtimali oldukça yüksektir. Bu nedenle 1.5 km derinlikten sonra başlayan düşük öz dirençli ($<10 \text{ ohm.m}$) muhtemel ısı odasının bu bölgenin tektonik yapısından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

3009 numaralı MT istasyonu üzerinde yer alan DES-4 ölçümü havzanın GD'ya doğru derinleşmesine neden olan ve Bolvadin fayıyla ilişkili olduğu düşünülen GD'ya doğru eğimli fayın jeotermal aktivitesini belirlemek amacıyla alınmıştır (Şekil 4.22). DES-4 ölçüsünde DES-1'e benzer şekilde öz direnç değişimi gerçekleşmiştir. Doğrultu 4 üzerinde 4016 ile 4017 nolu MT istasyonu arasında DES-5 (Şekil 4.23) ve 4013 ile 4014 nolu MT istasyonu arasında ise DES-6 (Şekil 4.24) ölçüsü alınmıştır. MT modelinde gözlenen ve Çobanlar fay zone ile Dişli fayıyla ilişkili olduğu düşünülen fayların jeotermal aktivitesini kontrol etmek amacıyla alınan ölçümlerde 4 numaralı MT modeliyle uyumlu olarak DES ölçüsünde yüzeyden derine doğru bir değişim gözlenmiştir.

Doğrultu 5 üzerinde 5011 ile 5012 nolu MT istasyonları arasında DES-7, 5006 ile 5007 nolu MT istasyonları arasında DES-8, 5015 ile 5017 nolu MT istasyonları arasında DES-10, 5007 nolu MT istasyonları üzerinde DES-11 ve 5008 nolu MT istasyonları üzerinde de DES-12 ölçüsü alınmıştır (Şekil 4.25-4.29). DES-10'da Çobanlar fay zoneunu, DES-7'de Dişli fayını, DES-8, DES-11 ve DES-12 nolu ölçümler de ise Bolvadin fayının jeotermal aktivitesi belirlenmiştir. DES-7 ve DES-10 nolu noktalara ait modellerde örtü kayaç sonrası doğrudan geçirimsiz temele girileceği, dolayısıyla bu noktalarda jeotermal akışkanın dolaşımına imkân sağlayacak fayın kesilemeyeceği düşünülmektedir. Diğer taraftan DES-8, DES-11 ve DES-12 nolu ölçümler GD'ya doğru eğimli olan ve Bolvadin fayıyla ilişkili olduğu düşünülen fay üzerinde alınmış olup, 4 numaralı doğrultuya ait MT modeliyle uyumlu bir şekilde bu ölçülerde örtü kayaçlar sonrası metamorfik temele girildiği görülmüştür. DES-11 ve DES-12 numaralı ölçülerde derinlerdeki fayın etkisi gözlenmezken, DES-8 numaralı ölçümde ise 550 m derinlikten sonra örtü birimlerden metamorfik temele girilmiş ve 950 m derinlik sonrası

girilen iletken ($< 1 \text{ ohm.m}$) zonun jeotermal akışkanın dolaştığı fayla ilişkili olduğu şeklinde yorumlanmıştır.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

İnceleme alanı Afyonkarahisar ili Bolvadin ilçe merkezinin batısı ve güneybatı bölümünü kapsamaktadır. Çalışmada İnceleme alanının jeotermal potansiyelinin belirlenmesi için bölgenin jeolojik özellikleri ortaya konmuş, manyetotellürik (MT) ve Doğru Akım Öz direnç (DAÖ) yöntemleri uygulanmış ve jeolojik-jeofizik verilerin birlikte değerlendirilerek bölgelerin jeotermal sistem elemanları belirlenmeye çalışılmıştır.

Jeotermal sistemin en önemli elemanları rezervuar kayaç, örtü kayaç, ısıtıcı kayaç ve fay hatlarıdır. İnceleme alanında Paleozoyik yaşlı Paşadağ kireçtaşları ile Doğanlar şisti içinde gözlenen kalkışit ve kuvarsit türündeki kayaçlar jeotermal sistemin rezervuar kayaçları olarak düşünülmektedir. Doğanlar şistlerinin mika bakımından zengin seviyeleri geçirimsiz temel, Gebeceler formasyonunun kilce zengin seviyeleriyle alüvyon örtü kayaç niteliği taşımaktadır. Bolvadin çalışma alanı tektonik olarak Çobanlar fay zone, Dişli fayı ve Bolvadin fayının etkisi altında kalmaktadır. Bu fayların doğrultu ve eğim yönlerinin farklı oluşları Bolvadin çalışma alanında gerek rezervuarı besleyen suların aşağıya süzülmesi ve gerekse jeotermik gradyanın etkisiyle ısınan, basıncı artan ve bileşimi değişen jeotermal akışkanların yukarı çıkması için doğal yollar oluşturma potansiyelleri bulunmaktadır.

Jeotermal sistemin en önemli bileşenleri olan örtü ve rezervuar kayaçla geçirimsiz temeli temsil eden birimlerin mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmiştir. Bunun için inceleme alanından toplanan kayaç örneklerine polarizan mikroskop, x-ışını kırınımı (XRD) ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları bölgedeki jeotermal sistemin rezervuar kayacının kalsitik bileşimde ve yer yer illit-mika mineralleriyle kuvars içeren, %52.20 ile %54.63 arasında değişen CaO konsantrasyonuna sahip kristalize kireçtaşları olduğunu göstermiştir. Sistemin geçirimsiz temeli ise kalsit, illit-mika ve kuvars minerallerinden oluşan kalkışit ile kuvarşist türü kayaçlarla temsil edilmektedir. Örtü kayaçları oluşturan Seydiler ignimbiritlerinin riyolitik, Adatepe andezitinin ise tefrifonolitik bileşimde oldukları belirlenmiştir.

İnceleme alanının jeolojik ve tektonik yapısı göz önünde bulundurularak yaklaşık KB-GD (Kuzeybatı - Güneydoğu) yönündeki ölçüm profilleri boyunca toplam 75 istasyonda MT verisi toplanmıştır. 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.

MT modelleri üzerinde gösterilen faylar genellikle bölgede önceki çalışmalar tarafından belirlenmiş ve adlandırılmış olan Çobanlar, Dişli ve Bolvadin faylarıyla oldukça uyumludur. Söz konusu faylar, bölgedeki jeotermal akışkanların dolaşımı için uygun gözenekli ve geçirgenli ortam oluşturmaktadırlar.

MT modellerine göre; inceleme alanında Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultulu profillerde geçirimsiz örtü kayacı yansıtan düşük öz dirençli (<20 ohm.m) seviyeler profillerin KB bölümlerinde daha ince (yüzeyden itibaren ilk 200-400 metre) bir görünüm sergilerken, GD'ya doğru örtü kalınlığı artmaktadır (yüzeyden itibaren ilk 400-1800 metre). Metamorfik kayaçların üst seviyelerini yansıtan yüksek öz dirençli seviyeler (>100 ohm.m) ile jeotermal sistemin geçirimsiz temelini temsil eden yüksek öz dirençli seviyeler (>100 ohm.m) de örtü seviyeleriyle uyumlu olarak çalışma alanının kuzeybatısından güneydoğusuna doğru derinleşmektedir. Ayrıca yüzeyden itibaren 1.5 km derinlikten itibaren belirlenen düşük öz dirençli (<10 ohm.m) seviyelerin jeotermal sistemin muhtemel ısı odası olarak yorumlanmıştır.

İnceleme alanının yüzeyden itibaren ilk 1000 m'lik derinliklerinin jeotermal potansiyelini belirleyebilmek için gerçekleştirilen DES verilerinin 1 boyutlu (1B) öz direnç eğrileri yorumlanmıştır. Bunun sonucunda gerek 1 boyutlu (1B) eğri karakteristiği açısından jeotermal akışkan dolaşımını sağlayan fayın kesildiğini gösteren düşük öz direnç değerlerinin elde edilmesi nedeniyle jeotermal potansiyel açısından DES-2 ve DES-8 nolu ölçüm istasyonlarında jeotermal anomaliyi işaret eden öz direnç değişimleri gözlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Alıcı P, Temel A, Gourgaud A, KieVer G, Gündogdu MN, 1998, Petrology and geochemistry of potassic rocks in the Gölcük area (Isparta, SW Turkey): genesis of enriched alkaline magmas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 65, 1–24.
- Aydar E, Bayhan H, Gourgaud A, 1998, Koroglu caldera, mid-west Anatolia, Turkey: volcanological and magmatological evolution, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 83–98.
- Aydar E, Bayhan H, Gourgaud A, 2003, The lamprophyres of Afyon Stratovolcano, Western Anatolia, Turkey: Description and genesis, *C.R. Geoscience*, 335, 279-288.
- Başaran C, Gökgöz A, 2017, Heybeli Jeotermal Sahasında (Afyonkarahisar, Türkiye) Potansiyel Kabuklaşma Problemlerinin Jeokimyasal İrdelenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Basımda.
- Cagniard L, 1953, Basic theory of the magneto-telluric methods of geophysical prospecting, *Geophysics*, 18, 605-635.
- Caldwell T G, Bibby H M, Brown C, 2004, The magnetotelluric phase tensor. *Geophysical Journal International*, 158, 457-469.
- Candansayar M E, 2002, Sönümlü en-küçük kareler ve eşlenik türev algoritmalarının ardışık kullanımı ile manyetotellürik verilerin düzgünleştiricili iki-boyutlu ters çözümü, *Ankara Üniversitesi, Doktora Tezi*, 99-108.
- Candansayar M E, Tezkan B, 2008, Two-dimensional joint inversion of radiomagnetotelluric and direct current resistivity data, *Geophysical Prospecting*, 56, 737-749.
- Candansayar M E, Kaya C, 2009, Manyetotellürik ve Doğru Akım Öz direnç Verilerinin İki Boyutlu Birleşik Ters Çözümü ile Jeotermal Alanların Araştırılması, *TMMOB Jeotermal Kongresi Bildirileri Kitabı*, 259-261.

- Chambers J E, Kuras O, Meldrum P I, Ogilvy R D, Hollands J, 2006, Electrical resistivity tomography applied to geologic, hydrogeologic, and engineering investigations at a former waste-disposal site, *Geophysics*, 71, 231-239.
- Çoban H, Flower MFJ, 2007, Late Pliocene lamproites from Bucak, Isparta (southwestern Turkey): Implications for mantle 'wedge' evolution during Africa-Anatolian plate convergence, *Journal of Asian Earth Sciences*, 29, 160-176.
- Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Elmacı H, 2011, Active Fault Map of Turkey (Scale 1:250,000), General Directorate of Mineral Research and Exploration Special Publication Series, Isparta (NJ 36-9) Quadrangle, serial number: 17, Ankara, Turkey, MTA.
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Şaroğlu F, Olgun Ş, Elmacı H, vd., 2018, Active fault database of Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3229-3275.
- Erişen B, 1972, Afyon-Heybeli (Kızılkilise) araştırma sahasının jeolojisi ve jeotermal olanakları, MTA Rapor No. 5490, 74s, Ankara, Basımda.
- Groom R W, Bailey R C, 1989, Decomposition of magnetotelluric impedance tensors in the presence of local three-dimensional galvanic distortion. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94, 1913-1925.
- Kılıç A R, Kıyak A, 2013, Ankara-Ayaş Jeotermal Sahasında Jeofizik Özdirenç (Manyetotellürik Ve Doğru Akım Özdirenç) Çalışması, Conference Proceedings, 19th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey.
- Kibici Y, Yıldız A, Bağcı M, 2001, Afyon Kuzeyinin Jeolojisi Ve Mermer Potansiyelinin Araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem 2001) Bildiriler Kitabı, Afyon.
- LaTorraca G A, Madden T R, Korrington J, 1986, An analysis of the magnetotelluric impedance for three-dimensional conductivity structures, *Geophysics*, 51, 1819-1829.
- McNeice G W, Jones A G, 2001, Multisite, multifrequency tensor decomposition of magnetotelluric data, *Geophysics*, 66, 158-173.

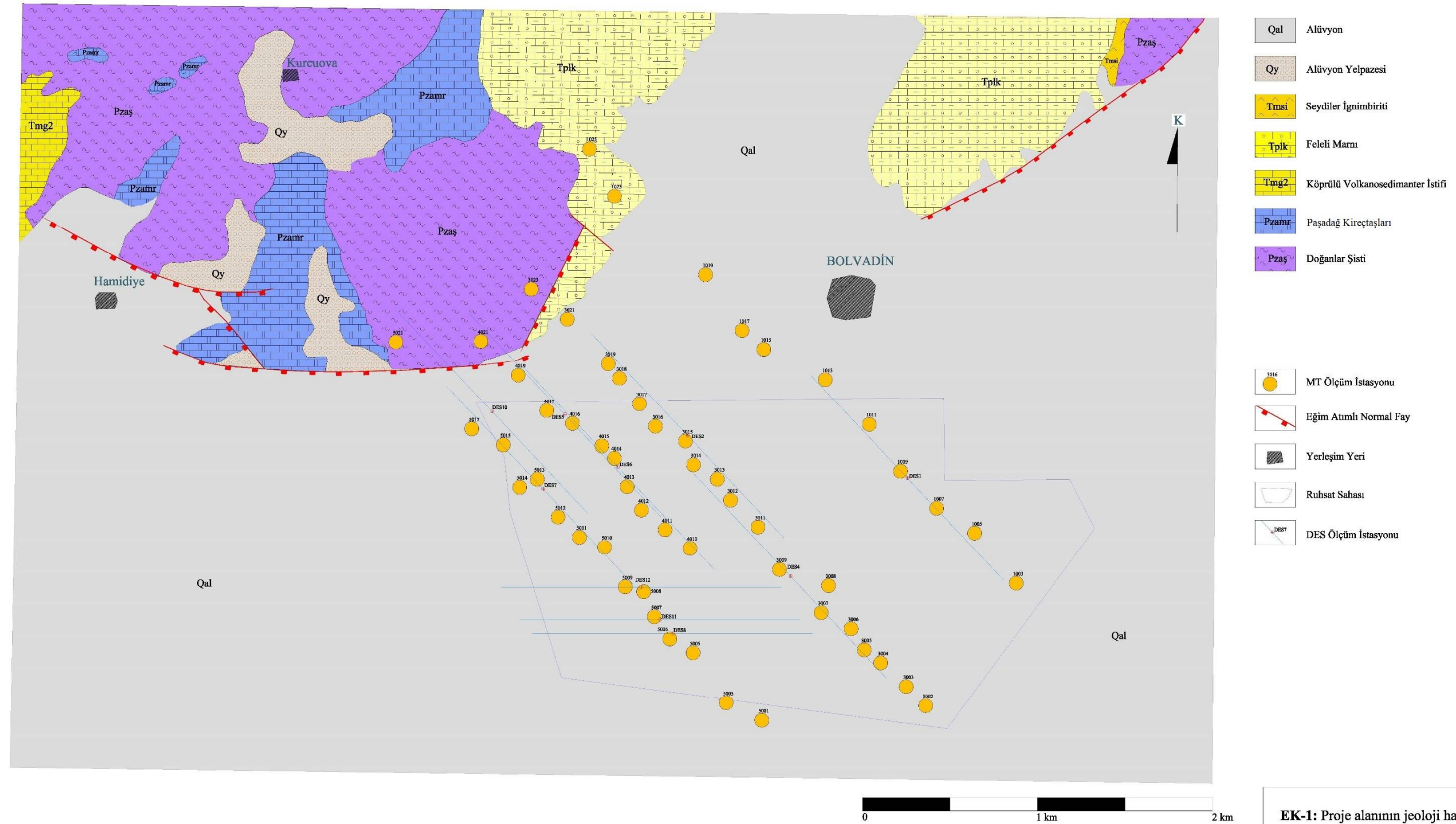
- Metin S, Genç Ş, Bulut V, 1987, Afyon ve Yakın Dolayının Jeolojisi, MTA Raporu, Ankara.
- Öcal H, Turhan N, Göktaş F, 2011, Türkiye Jeoloji Haritaları Afyon K-25 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genle Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Öktü G, Kara I, Önder I, 1997, Afyon ilinde yer alan Ömer-Gecek-Uyuz Hamamı Alaplı-Kızık Hamamı ve Gazlıgöl jeotermal sahalarının detay etüdü, MTA Rapor No: 10027, 41s, Ankara, Basımda.
- Özdemir A, 2008, Çok elektrotlu Jeofizik Rezistivite Ölçümlerinin Yeraltısuyu ve Jeotermal Arama Alanlarındaki Uygulamalarının Değerlendirilmesi.
- Özkaymak Ç, Sözbilir H, Tiryakioğlu İ, Baybura T, 2015, Sarıgöl (Gediz Grabeni, Manisa) ile Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Oluşum ve Kökensel Açından Karşılaştırılması, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası 68, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 464-465, 06-10 Nisan 2015, Ankara.
- Özkaymak Ç, Sözbilir H, Geçievi M O, Tiryakioğlu İ, 2019, Late Holocene coseismic rupture and aseismic creep on the Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia. Turkish Journal of Earth Science 28: 787-804. DOI: 10.3906/yer-1906-13
- Özurlan G, Ulugergerli E U, 2005, Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler, Birsan Yayınevi.
- Özyıldırım Ö, 2010, Manyetotellürik yöntemde frekans düzgünleştirilmiş empedans ayırıştırma analizi, Yüksek lisans Tezi.
- Özyıldırım Ö, Candansayar M E, Demirci İ, Tezkan B, 2017, Two-dimensional inversion of magnetotelluric/radiomagnetotelluric data by using unstructured mesh, Geophysics, 82, 197-210.
- Özyıldırım Ö, Demirci İ, Gündoğdu N Y, Candansayar M E, 2020, Two dimensional joint inversion of direct current resistivity and radiomagnetotelluric data based on unstructured mesh, Journal of Applied Geophysics, 172, 103885.

- Pellerin L, Johnston J M, Hohmann G W, 1996, A numerical evaluation of electromagnetic methods in geothermal exploration, *Geophysics*, 61, 121-130.
- Şener Ç, Erdoğan R, Özgüler M E, 1986, Türkiye’deki Jeotermal Alanların Araştırılmasında Jeofizik Çalışmalar, *MTA dergisi*, 107, 152-168.
- Tatlı S, 1973, Afyon, Gazlıgöl-Susuz Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji olanakları, MTA, Rapor no: 2900, Ankara.
- Tikhonov A N, 1950, On determining gelectrical characteristics of the deep layers of the Earth’s crust. In *Doklady*, Vol. 73, No 2, 295-297.
- Tiryakioğlu İ, Özkaymak Ç, Baybura T, Sözbilir H, 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, GD335. Doi: 10.4401/ag-7591
- Wells D.L. ve Coppersmith K.J. (1994). New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, ve surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974–1002.
- Tiryakioğlu İ, Yiğit C O, Özkaymak Ç, Baybura T, Yılmaz M, Uğur M A, vd., 2019, Active Surface Deformations Detected By Precise Levelling Surveys In The Afyon-Akşehir Graben Western Anatolia, Turkey, *Geofizika*, 36, 33–52.
- Turan N, 2002, Geological map of Turkey in 1:500.000 scale: Ankara sheet. Publication of Mineral Research and Explaniton Direction of Turkey (MTA), Ankara.
- Ulutürk Y, 2009, Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) dolayının jeolojisi ve suların kökensel yorumu. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Üçer A, Batur D, Öztürk S, Kılıç A R, 2013, Diyarbakır civarı jeotermal Doğru Akım Özdirenç çalışması. In 19th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey (pp. cp-380). European Association of Geoscientists & Engineers.
- Wannamaker P E, Doerner W M, Hasterok D P, 2007, Integrated dense array and transect MT surveying at dixievalley geothermal area, Nevada; structural controls, hydrothermal alteration and deepfluid sources. In proceedings, 32th workshop on geothermal reservoir Engineering, Stanford University.

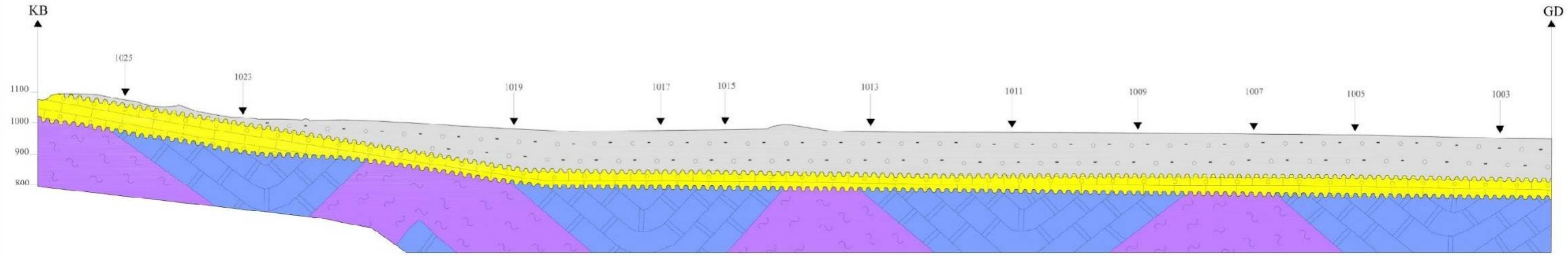
- Yıldız A, 1997, Seydiler (Afyon) Diyatomit Cevherinin Jeolojisi ve İzolasyon Tuğlası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, AKÜ Fen Bil. Enst. Seramik Müh. A.B.D., Afyonkarahisar, 128.
- Yıldız A, Candansayar M, Bağcı M, Türker E, Ulutürk Y, Uysal M, vd., 2011, Afyonkarahisar İlının Jeotermal Kaynaklarının Araştırılması, Akü BAPK Projesi, Proje No: 09.MUH.01.Yürür, T., Köse, O., Demirbağ, H., Özkaymak, Ç. ve Selçuk, L. (2003). Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism? (Afyon earthquakes of 2 March 2002, Central Anatolia, Turkey). *Geodynamica Acta* 16, 83-87.
- Yıldız A, Başaran C, Bağcı M, Gümüş A, Çonkar F E, Ulutürk Y, vd., 2018, The measurement of soil gases and shallow temperature for determination of active faults in a geothermal area: a case study from Ömer-Gecek, Afyonkarahisar (West Anatolia). *Arab J Geosci* 11, 175.
- Yuval D, Oldenburg W, 1996, DC resistivity and IP methods in acid mine drainage problems: results from the Copper Cliff mine tailings impoundments. *Journal of Applied Geophysics*, 34(3), 187-198.
- Yücel M, 1995, Aydın-İmamköy Jeotermal Alanın jeofizik düşey elektrik Sondaj (DES) ve Kontrol Kaynaklı Manyetotellürik (CSAMT) Etüdü. *Jeofizik Dergisi*, 9(1), 117-122.

EKLER

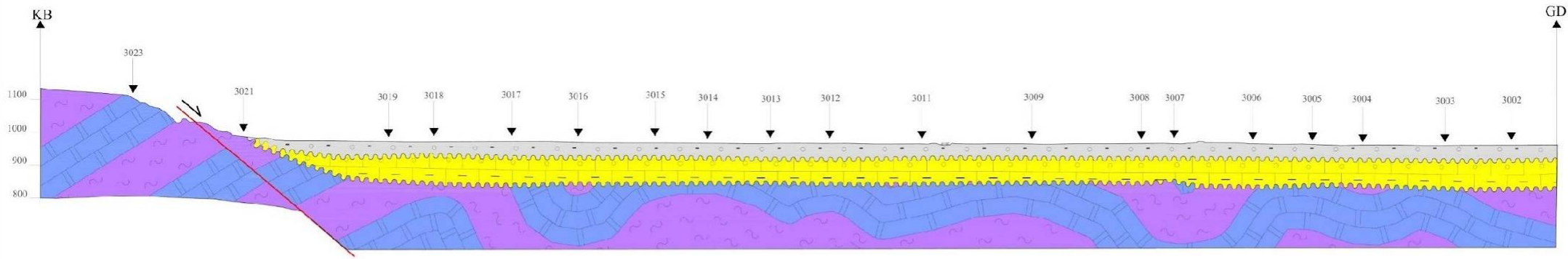
EK 1. Proje alanının jeoloji haritası



EK 2. 1 ve 3 Nolu MT profillerine ait jeolojik kesitler



I. MT Profiline ait jeolojik kesit



III. MT Profiline ait jeolojik kesit

Harita Birimlerinin Açıklaması

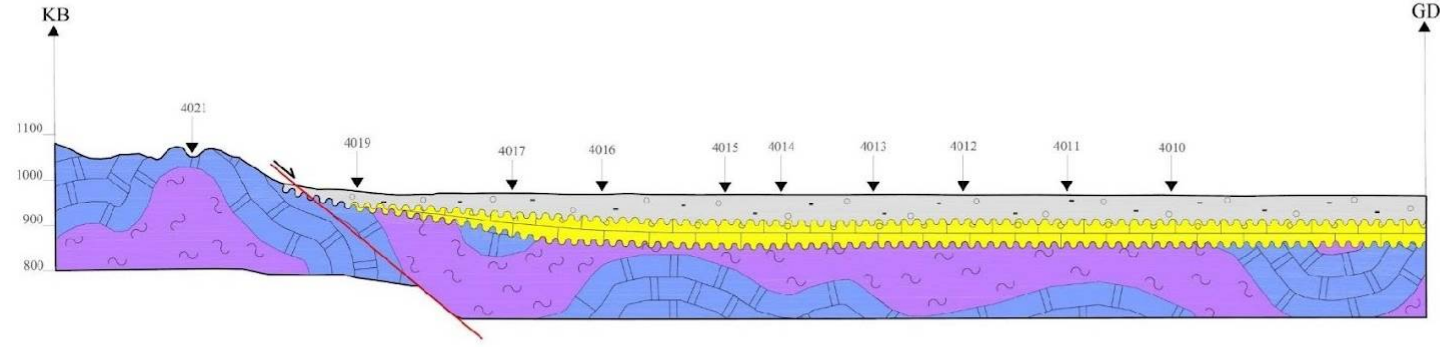
Qal	Alüvyon
Tpk	Feleli Marnı
Pzamr	Paşadağ Kireçtaşları
Pzaş	Doğanlar Şisti

İşaretler

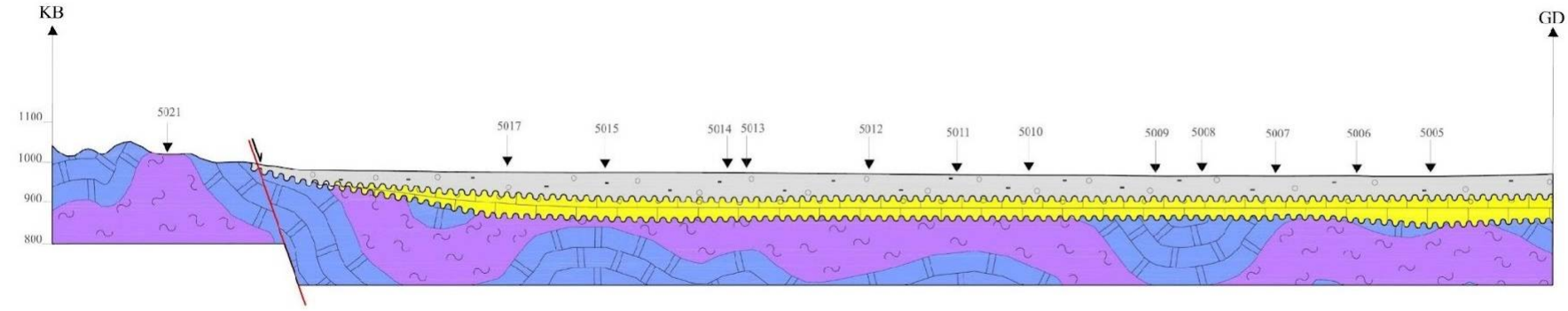
	Fay
	Uyumsuzluk (Dokanak)
	MT Ölçüm İstasyonu

EK-2: 1 ve 3 nolu MT profillerine ait jeolojik kesitler

EK 3. 4 ve 5 Nolu MT profillerine ait jeolojik kesitler



4. MT Profiline ait jeolojik kesit



5. MT Profiline ait jeolojik kesit

Harita Birimlerinin Açıklaması

	Alüvyon
	Feleli Marlı
	Paşadağ Kireçtaşları
	Doğanlar Şisti

İşaretler

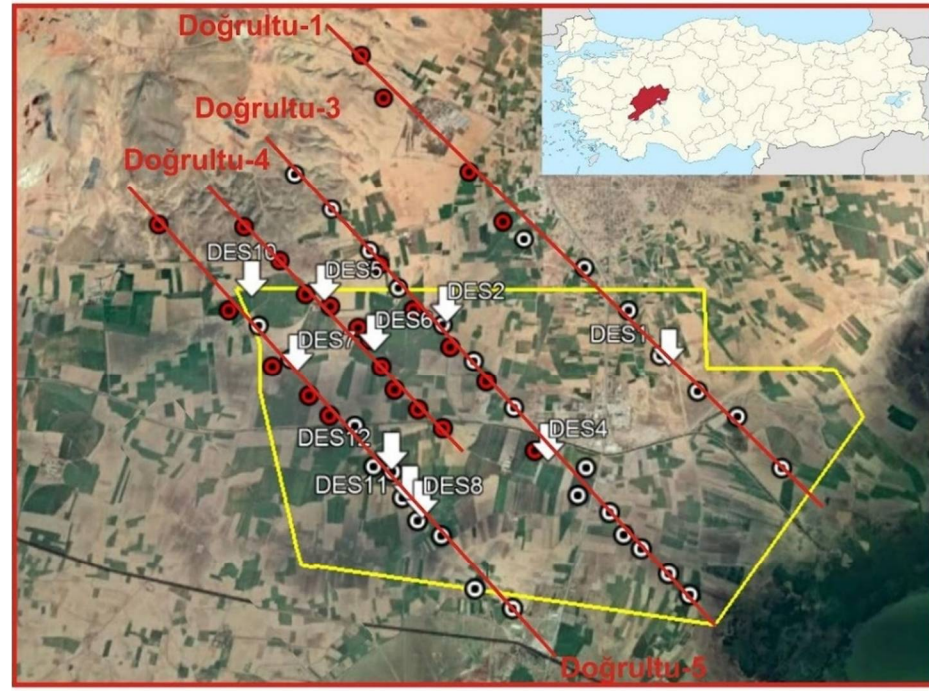
	Fay
	Uyumsuzluk (Dokanak)

EK-3: 4 ve 5 nolu MT profillerine ait jeolojik kesitler

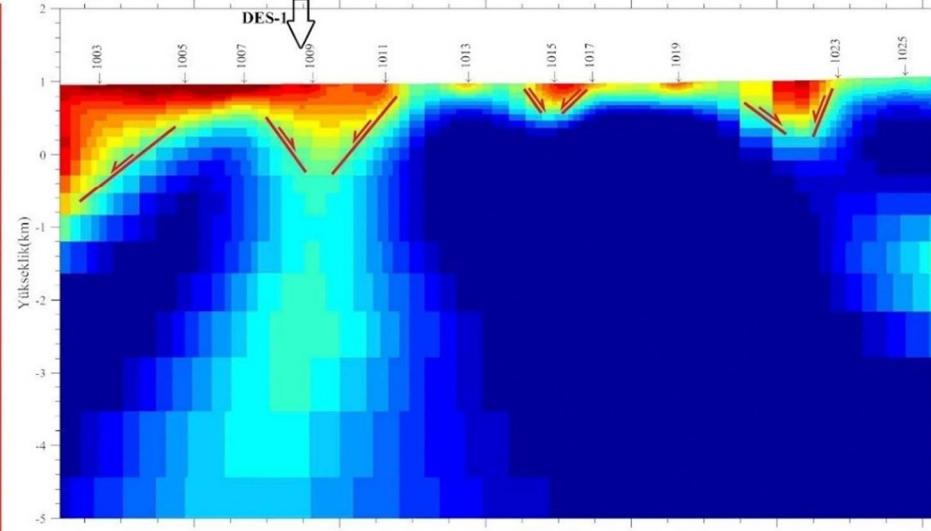
EK 4. MT ölçüm noktalarının koordinatları

Doğrultu No	Nok. No	WGS-84		Yükseklik	Tarih
		Enlem	Boylam		
1	1003	4280623	333279	960	24.07.2018
	1005	4281540	332537	968	24.07.2018
	1007	4282001	331851	969	25.07.2018
	1011	4283531	330643	974	25.07.2018
	1009	4282678	331200	970	26.07.2018
	1013	4284350	329851	978	26.07.2018
	1015	4284913	328739	978	26.07.2018
	1017	4285257	328348	980	10.11.2018
	1019	4286278	327695	985	10.11.2018
	1023	4287729	326051	1039	10.11.2018
	1025	4288583	325605	1073	10.11.2018
3	3005	4279446	330511	969	19.07.2018
	3007	4280126	329728	972	19.07.2018
	3003	4278774	331265	969	20.07.2018
	3011	4281693	328600	968	20.07.2018
	3013	4282567	327870	969	20.07.2018
	3017	4283945	326468	979	20.07.2018
	3019	4284683	325906	973	20.07.2018
	3015	4283257	327295	969	21.07.2018
	3021	4285495	325170	985	21.07.2018
	3023	4286051	324518	1096	21.07.2018
	3002	4278419	331614	968	26.07.2018
	3004	4279206	330809	970	26.07.2018
	3006	4279831	330274	968	27.07.2018
	3008	4280615	329871	968	27.07.2018
	3016	4283530	326756	972	8.11.2018
	3009	4280917	328979	968	9.11.2018
	3012	4282183	328103	969	9.11.2018
	3014	4282829	327442	971	9.11.2018
	3018	4284414	326107	969	9.11.2018
4	4017	4283837	324784	968	5.11.2018
	4019	4284493	324268	968	5.11.2018
	4021	4285110	323596	1008	5.11.2018
	4013	4282453	326227	971	6.11.2018
	4014	4282965	326000	969	6.11.2018
	4015	4283190	325775	973	6.11.2018
	4016	4283601	325248	972	6.11.2018
	4010	4281319	327357	967	7.11.2018
	4011	4281659	326910	968	7.11.2018
	4012	4282019	326481	971	7.11.2018
5	5013	4282601	324595	971	21.07.2018
	5015	4283223	323984	977	21.07.2018
	5001	4278185	328628	970	22.07.2018
	5003	4278509	327988	968	22.07.2018
	5005	4279421	327392	970	22.07.2018
	5007	4280080	326696	968	22.07.2018
	5009	4280626	326174	971	22.07.2018
	5010	4281355	325809	968	27.07.2018
	5008	4280539	326504	965	28.07.2018
	5011	4281543	325351	967	7.11.2018
	5012	4281908	324968	968	8.11.2018
	5014	4282460	324278	969	8.11.2018
	5017	4283518	323417	971	8.11.2018
	5021	4285113	322049	1035	8.11.2018
	5006	4279680	326975	971	28.07.2018

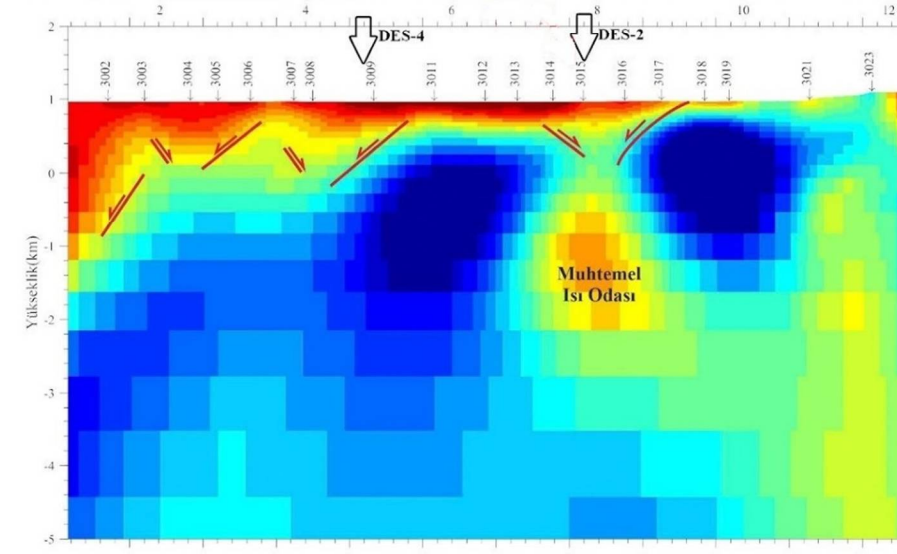
EK 5. Çalışma sahası ve 2B öz direnç modellerinin birlikte sunumu



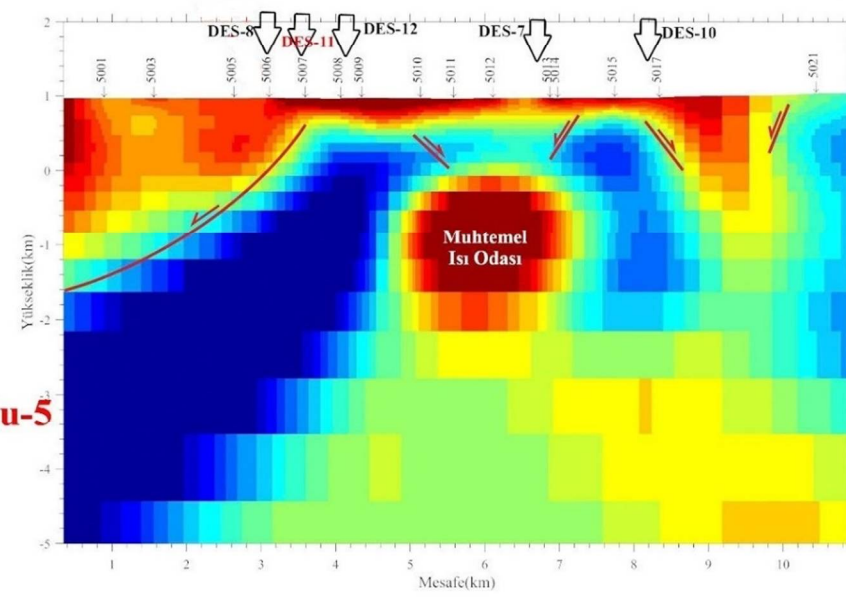
- Ruhsat Sınırları
- I. Aşama MT Noktaları
- II. Aşama MT Noktaları
- MT Doğrultuları
- ↓ DES Noktaları



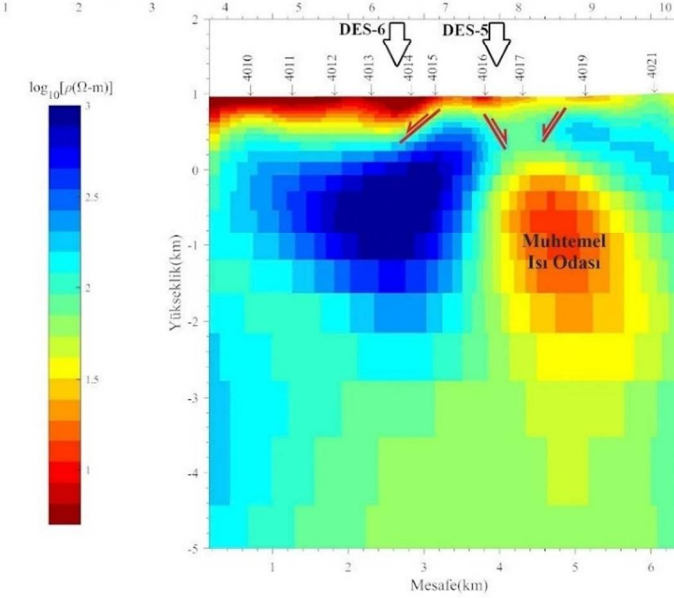
Doğrultu-1



Doğrultu-3



Doğrultu-5



Doğrultu-4