



**SALAR, SÜLÜN VE KARAARSLAN
(AFYONKARAHİSAR) KÖYLERİ VE ÇEVRESİNİN
JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KOZAK

Danışman

Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2021

Bu tez çalışması 16.FEN.BİL.32 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SALAR, SÜLÜN VE KARAARSLAN (AFYONKARAHİSAR)
KÖYLERİ VE ÇEVRESİNİN JEOTERMAL ENERJİ
POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet KOZAK

Danışman

Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2021

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SALAR, SÜLÜN VE KARAARSLAN (AFYONKARAHİSAR) KÖYLERİ VE ÇEVRESİNİN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet KOZAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YILDIZ

Bu tez çalışmasında, jeolojik, mineralojik-petrografik, jeokimyasal ve jeofizik veriler yardımıyla Salar, Sülün ve Karaarslan (Afyonkarahisar) köyleri ve çevresinin jeotermal enerji potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. İnceleme alanı Afyon – Akşehir grabeninin kuzeybatısında bulunmaktadır. Jeolojik çalışmalar sırasında bölgenin jeotermal kavramsal modelini oluşturan jeolojik veriler ortaya konmuştur. Değişik kayaç türleri ve volkanik kayaçlardaki farklı alterasyon zonlarından alınan örnekler üzerinde polarizan mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), x-ışını kırınımı (XRD) ve jeokimyasal analizler yapılmıştır.

İnceleme alanındaki alterasyon zonları Afyon – Akşehir grabeninin güney sınırını oluşturan Halımoru fayı ile Salar fayının kesişim bölgelerinde yer alan volkanoklastiklerin alterasyonu sonucu oluşmuştur. Bölgede gözlenen alterasyonlar (1): Simektitik+illitik zon ve (2): Simektit+illit+kaolinitik zon olarak iki gruba ayrılmıştır. Alterasyon zonlarının sahadaki yayılımları ve litolojik özellikleri, içerdikleri alterasyon mineralleri ve jeokimyasal analiz sonuçları bölgedeki alterasyonun hidrotermal süreçlerin etkisiyle oluştuğunu desteklemektedir. Çalışma alanında jeotermal sistemin derin yapısı ile yanal ve düşey yöndeki dağılımını belirlemek için Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultulu profiller boyunca manyetotellürik (MT) ölçümler yapılmıştır. Ham MT verilerine ön proses ve ters çözüm işlemleri yapılarak profil hatları için 2boyutlu (2B) öz direnç modelleri elde edilmiştir. 2B Öz direnç modellerinde jeolojik

alışmalarla uyumlu bir şekilde Işıklar fay zonunun segmentleri olan Halımoru, Salar ve Sülün fayları ile bunları verevine kesen ikincil fayları gözlemlenmiştir. Kil mineral (50 - 200°C), oksijen izotop (44 - 121°C) ve silis (71 - 75°C) jeotermometreleri ile elde edilen değerlerin birbiriyle uyumlu bir biçimde değişim sunması hidrotermal alterasyona neden olan fosil jeotermal sistemlerle güncel jeotermal sistemlerin ortamsal koşullarının oldukça benzer olduğu ve inceleme alanının jeotermal potansiyeli olduğu düşüncesini kuvvetlendirmektedir.

2021, xiv + 118 sayfa

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, Jeoloji, Kil Mineralojisi, Jeokimya, Jeofizik, Salar, Afyonkarahisar.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF GEOTHERMAL ENERGY POTENTIAL OF SALAR, SÜLÜN AND KARAARSLAN (AFYONKARAHİSAR) VILLAGES AND ENVIRONMENTAL

Mehmet KOZAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geology Engineering

Supervisor: Prof. Ahmet YILDIZ

In this thesis, it is aimed to investigate the geothermal energy potential of Salar, Sülün and Karaarslan (Afyonkarahisar) villages and their surroundings with the help of geological, mineralogical-petrographic, geochemical and geophysical data. The study area is located in the northwest of the Afyon – Akşehir graben. During the geological studies, the geological data forming the geothermal conceptual model of the region were revealed. Polarizing microscope, scanning electron microscope (SEM), x-ray diffraction (XRD) and geochemical analyzes were performed on samples taken from different rock types and different alteration zones in volcanic rocks.

The alteration zones in the study area were formed as a result of the alteration of the volcanoclastics located at the intersection of the Halimoru fault and the Salar fault, which forms the southern border of the Afyon – Akşehir graben. The alterations observed in the region are divided into two groups as (1): Smectite+illitic zone and (2): Smectite+illite+kaolinitic zone. The extent of the alteration zones in the field and their lithological features, the alteration minerals they contain and the results of geochemical analysis support that the alteration in the region is formed by the effect of hydrothermal processes. In order to determine the deep structure and lateral and vertical distribution of the geothermal system in the study area, magnetotelluric (MT) measurements were made along the North-South and East-West oriented profiles. With performing preprocess and inversion processes on the raw MT data, 2 shaped (2D) resistivity were obtained for the profile lines. In the 2D Resistivity models, in accordance with

geological studies, the segments of the Işıklar fault zone, namely the Halimoru, Salar and Sülün faults, and the secondary faults that cut them into the obverse were observed. The fact that the values obtained with clay mineral (50 - 200°C), oxygen isotope (44 - 121°C) and silica (71 - 75°C) geothermometers change in harmony with each other and that the fossil geothermal systems causing hydrothermal alteration and the current geothermal systems This strengthens the idea that the conditions of the study are quite similar and the study area has a geothermal potential.

2021, xiv + 118 pages

Keywords: Geothermal energy, Geology, Clay Mineralogy, Geochemistry, Geophysics, Salar, 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'a, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Metin BAĞCI ve Dr. Öğr. Üyesi Can BAŞARAN'a, MT verilerinin analizi ve ters çözümünde katkılarını esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. Dr. Özcan ÖZYILDIRIM'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmamı 16.FEN.BİL.32 numaralı proje ile maddi olarak desteklediği ve çalışmalarımın yürütülmesinde kolaylık sağladığı için Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve arazi çalışmalarında verdiği destekten dolayı Salar Belediyesi'ne teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı başta eşim, kızlarım ve oğlum olmak üzere tüm aileme teşekkür ederim.

Mehmet KOZAK
Afyonkarahisar 2021

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	4
2.1 Jeotermal Enerjinin Tanımı	4
2.2 Jeotermal Sistemlerin Köken ve Oluşumu.....	5
2.3 Jeotermal Sistemlerin Hidrojeolojik Özellikleri	8
2.3.1 Isı Kaynağı	8
2.3.2 Hazne Kaya	8
2.3.3 Örtü Kaya.....	9
2.3.4 Beslenme	10
2.4 Jeotermal Sistemlerin Yüzey Belirtileri.....	11
2.5 Jeotermal Sistemlerin Araştırılması.....	12
2.6 Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli	13
2.7 Afyonkarahisar'ın Jeotermal Potansiyeli.....	16
3. ANALİTİK YÖNTEMLER.....	21
3.1 Saha Jeolojisi Çalışmaları	21
3.2 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler	21
3.2.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri	21
3.2.2 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri	22
3.2.3 X-Işınları Kırınımı (XRD) İncelemeleri	24
3.3 Jeokimyasal İncelemeler.....	25
3.4 Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Çalışmalar	26
3.5 Manyetotellürik (MT) Ölçüm Çalışmaları.....	27
4. BULGULAR.....	33
4.1 İnceleme Alanının Jeolojisi	33

4.1.1 Stratigrafi	33
4.1.1.1 Değirmendere Formasyonu	34
4.1.1.2 Deresinek Formasyonu	35
4.1.1.3 Afyon Volkaniklastikleri	36
4.1.1.4 Gebeceler Formasyonu	37
4.1.1.5 Alüvyon.....	39
4.1.2 Tektonizma.....	39
4.1.3 Alterasyon Zonlarının Jeolojisi	41
4.1.3.1 Halımoru Köyü Güneyi.....	41
4.1.3.2 Sarık Köyü Yol Yarması.....	43
4.2 Alterasyon Zonlarının Mineralojik Özellikleri	46
4.2.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri	46
4.2.2 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri	51
4.2.3 X-Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri	56
4.2.4 Mineral Jeotermometresi Sonuçları	84
4.3 Alterasyon Zonlarının Jeokimyasal Özellikleri	85
4.4 İnceleme Alanındaki Jeotermal Sistemin Özellikleri	93
4.4.1 Jeotermal Sistemin Elemanları.....	93
4.4.2 Sıcak ve Soğuk Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri	94
4.5 Manyetotellürik (MT) Ölçüm Çalışmaları.....	95
4.5.1 Ayırıştırma Analizi ve Döndürme Açısının Kestirimi	95
4.5.2 Manyetotellürik Verilerinin 2B Ters Çözümü	96
4.5.3 Doğrultular	96
4.5.4 2B Özdirenç Modellerinin Yorumu	97
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	102
6. KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	112
EKLER	117

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
H/S	Hipojen-süperjen
Y	İtiryum
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum oksit
CO ₃	Karbonat
km	Kilometre
km ²	Kilometrekare
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
AD	Havada kurutulmuş
AFJET	Afyon Jeotermal Turizm San. ve Tic. A.Ş.
AFZ	Akşehir fay zone
AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
B	Batı
D	Doğu
Do	Dolomit

Kısaltmalar (Devamı)

EG	Etilen glikol
G	Güney
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
He	Hematit
HFZ	Hamidiye fay zone
HREE	Ağır nadir toprak elementleri
I-M	İllit-mika
JUAM	Jeotermal ve Maden Kaynakları Uyg. ve Arş. Merkezi
K	Kuzey
Ka	Kalsit
Kao	Kaolinit
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
Ksp	Alkali feldspat
LILE	Büyük iyon yarıçaplı litofil elementler
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
TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
Vc	Volkanik cam
XRD	X-Işınları kırınımı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çalışma alanının yer buldur haritası	3
Şekil 2.1 Jeotermal enerjinin oluşum modeli	6
Şekil 2.2 Türkiye'nin neotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar	15
Şekil 2.3 Afyonkarahisar ili mevcut ve alternatif jeotermal alanları	17
Şekil 3.1 Manyetotellürik (MT) ölçüm yapılan noktaların dağılımı.	29
Şekil 3.2 Güneşten gelen yüklü parçacıklar ile yer manyetik alanının etkileşimi	30
Şekil 3.3 “+” şeklinde ölçü alma düzeni.	31
Şekil 3.4 “L” şeklinde ölçü alma düzeni.	31
Şekil 3.5 TE modu ve TM modu gösterimi.	32
Şekil 4.1 İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti.	34
Şekil 4.2 İnceleme alanının tektonik haritası	40
Şekil 4.3 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonundaki eğim atımlı normal fayların görünümü.	42
Şekil 4.4 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonundaki elipsoidal şekilli ayrıışmış mercekler.....	42
Şekil 4.5 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonunun ölçeksiz enine kesiti ve numune noktaları.	43
Şekil 4.6 Sarık köyü yol yarması alterasyon zonunun ölçeksiz enine kesiti.	43
Şekil 4.7 Sarık köyü yol yarması yeşil renkli alterasyon zonu.	44
Şekil 4.8 Sarık köyü yol yarması sarımsı kırmızımsı renkli alterasyon zonu.	45
Şekil 4.9 Sarık köyü yol yarması gri renkli taze/az altere zon içerisindeki küresel alterasyon.	46
Şekil 4.10 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonuna ait örneklerin ince kesit polarizan mikroskop görüntüleri.....	48
Şekil 4.11 Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin ince kesit polarizan mikroskop görüntüleri.....	49
Şekil 4.12 Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin ince kesit polarizan mikroskop görüntüleri.....	50
Şekil 4.13 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonuna ait örneklerin SEM görüntüleri ..	52
Şekil 4.14 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonuna ait örneklerin EDX verileri	53
Şekil 4.15 Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin SEM görüntüleri .	54
Şekil 4.16 Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin EDX verileri	55
Şekil 4.17 Sa-4 (a), Sa-6 (b), Sa-8 (c) ve Sa-9 (d) nolu örneklere ait tüm kayaç XRD grafikleri.....	57

Şekil 4.18 Sa-11 (a), Sa-12 (b), Sa-13 (c) ve Sa-14 (d) nolu örneklerle ait tüm kayaç XRD grafikleri.	58
Şekil 4.19 Sa-15 (a), Sa-16 (b), Sa-17 (c) ve Sa-18 (d) nolu örneklerle ait tüm kayaç XRD grafikleri.	59
Şekil 4.20 Sa-21 (a), Sa-22 (b), Sa-28 (c) ve Sa-29 (d) nolu örneklerle ait tüm kayaç XRD grafikleri.	60
Şekil 4.21 Sa-30 (a), Sa-32 (b), Sa-33 (c) ve Sa-34 (d) nolu örneklerle ait tüm kayaç XRD grafikleri.	61
Şekil 4.22 Sa-35 (a), Sa-36 (b), Sa-37 (c) ve Sa-38 (d) nolu örneklerle ait tüm kayaç XRD grafikleri.	62
Şekil 4.23 Sa-39 (a), Sa-40 (b), Sa-41 (c) ve Sa-42 (d) nolu örneklerle ait tüm kayaç XRD grafikleri.	63
Şekil 4.24 Sa-6 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	64
Şekil 4.25 Sa-9 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	65
Şekil 4.26 Sa-11 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	66
Şekil 4.27 Sa-12 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	67
Şekil 4.28 Sa-13 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	68
Şekil 4.29 Sa-14 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	69
Şekil 4.30 Sa-15 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	70
Şekil 4.31 Sa-16 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	71
Şekil 4.32 Sa-21 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	72
Şekil 4.33 Sa-30 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	73
Şekil 4.34 Sa-32 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	74
Şekil 4.35 Sa-33 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	75
Şekil 4.36 Sa-34 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	76
Şekil 4.37 Sa-35 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	77
Şekil 4.38 Sa-36 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	78
Şekil 4.39 Sa-37 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	79
Şekil 4.40 Sa-38 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	80
Şekil 4.41 Sa-39 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	81
Şekil 4.42 Sa-41 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	82
Şekil 4.43 Sa-42 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri.....	83
Şekil 4.44 Mineral alterasyon sıcaklık diyagramı	84
Şekil 4.45 Alterasyon zonuna ait volkanik kayaçların Winchester ve Floyd (1977)'a ait Zr/TiO ₂ - Nb/Y diyagramına göre adlandırılması	85

Şekil 4.46 Afyon volkaniklerinin alterasyon süresince ana (gr) ve iz (ppm) elementlerinin kütle değişimleri	89
Şekil 4.47 Alterasyon zonundaki örneklerin Taylor ve Mc Lennan (1985)'a ait kondrit normalize diyagramı.	91
Şekil 4.48 İnceleme alanına ait örneklerin oksijen ve hidrojen izotop bileşimlerini gösteren grafik	92
Şekil 4.49 Su örneklerinin piper diyagramı konumu.	95
Şekil 4.50 Kuzey-Güney doğrultulu profil-4, 2B MT öz direnç modeli.....	98
Şekil 4.51 Kuzey-Güney doğrultulu profil-5, 2B MT öz direnç modeli.....	99
Şekil 4.52 Kuzey-Güney doğrultulu profil-6, 2B MT öz direnç modeli.....	100
Şekil 4.53 Doğu-Batı doğrultulu profil-7, 2B MT öz direnç modeli.	101



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Türkiye’de jotermal enerjinin mevcut kullanımı ve kapasitesi.....	16
Çizelge 3.1 Manyetotellürik (MT) ölçüm yapılan noktaların koordinatları (ED50).....	28
Çizelge 4.1 İnceleme alanına ait örneklerin kalitatif XRD sonuçları.....	56
Çizelge 4.2 İnceleme alanına ait örneklerin majör (%), iz ve nadir toprak element analiz sonuçları.....	86
Çizelge 4.3 Simektit, illit ve kaolinit minerallerinin $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ ve ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) değerleri.....	93
Çizelge 4.4 2B ters çözümde kullanılan başlangıç modeli.....	96



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1 Leica DM2500P model polarizan mikroskop.	22
Resim 3.2 SEM incelemeleri için örneklerin karbon filmle kaplanması	23
Resim 3.3 LEO VP-1431 model taramalı elektron mikroskobu.	23
Resim 3.4 Shimadzu XRD-6000 model X-ışını kırınımı cihazı.	25
Resim 3.5 Soğuk su kaynağı sondaj noktası.	27



1. GİRİŞ

Artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmakta ve bu enerji ihtiyacı ülkemizin kaynaklarıyla karşılanamamakta dolayısıyla enerji üretimi ile tüketimi arasındaki farkta hızla artmaktadır. Bu enerji üretimi ile tüketimi arasındaki farkın hızla artması, mevcut enerji kaynaklarımızdan daha verimli bir biçimde yararlanmamızın önemini artırmaktadır. Enerji talebinde meydana gelen bu hızlı artışın karşılanmasında, konvansiyonel enerji kaynaklarına alternatif olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması büyük bir öneme sahiptir. (Kozak ve Kozak 2012).

Günümüzde dünyadaki enerji talebinin büyük bir bölümü doğal gaz, kömür ve petrol gibi konvansiyonel enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Dünyada enerjiye olan ihtiyaç doğrultusunda enerjiye talep gün geçtikçe artmaktadır. Bu artış ise konvansiyonel yakıda olan talebe yansımaktadır. Ancak konvansiyonel yakıtların rezervleri dünya üzerinde sınırlı olup artan enerji ihtiyacına bağlı olarak da giderek azalmaktadır. Bu durumun ise ileride üretim/tüketim dengesinin sağlanmasını olumsuz yönde etkileyecektir. Bütün bunların beraberinde konvansiyonel yakıtların kullanılması, sera gazı salınımının önemli oranda artmasına ve buna bağlı olarak küresel ısınma gibi bütün dünyayı etkileyebilecek önemli sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Hadjiposcholis vd. 2009). Bu açıdan bakıldığında güneş, rüzgar, jeotermal, hidrolik ve biyokütle gibi alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu olmaları bunun yanı sıra sürdürülebilir bir işletim sağladıkları için günümüz ve gelecek açısından önemli bir enerji kaynağıdır.

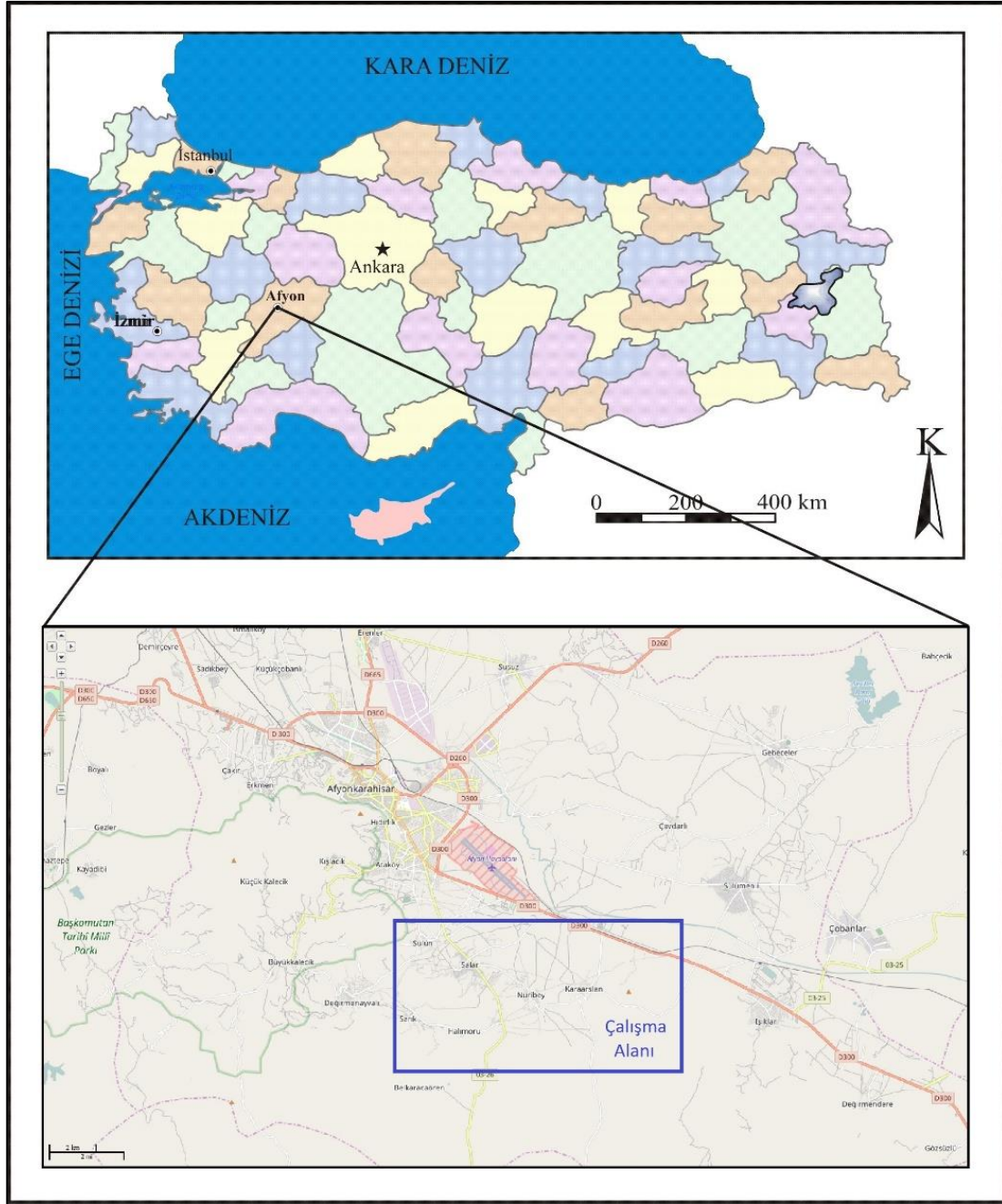
Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerdeki kayalar içerisinde birikmiş olan ısıya akışkanlar yardımıyla taşınarak rezervuarlarda depolanması sonucu oluşmuş sıcak su, buhar ve kuru buhar ile kızgın kuru kayalardan yapay yollarla elde edilen ısı enerjisi olarak tanımlanabilir (Kozak 2016).

Jeotermal enerji kaynakları, dünyada olduğu gibi ülkemizde de kullanılmakta ve önemi giderek artmaktadır. Dünyada ve ülkemizde kullanımı yaygın olarak devam eden fosil yakıtların rezerv açısından tükenebilir enerji kaynakları olmasının getirdiği kaygılar ile

birlikte üretim/tüketim dengesinde meydana gelebilecek olumsuzluklardan dolayı fiyatlarında artış olabileceği nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerjiye ilgi artmakta ve kullanım alanları gün geçtikçe genişlemektedir. Örneğin jeotermal enerji günümüzde; elektrik enerjisi üretiminde, konut ısıtmacılığında, termal turizmde, sera ısıtmacılığında, düşük sıcaklıklarda kültür balığı üretimi gibi çeşitli alanlarda kullanılmakta ve kullanım alanlarına her gün yenileri eklenmektedir. Bu açıdan bakıldığında Ülkemizdeki jeotermal enerji alanlarının araştırılması, geliştirilmesi ve değerlendirilmesi büyük bir öneme sahiptir. Bilindiği üzere jeotermal enerji ucuz, yenilenebilir, temiz ve çevre dostu, yerli bir yeraltı kaynağıdır. Ülkemiz jeolojik konum olarak aktif bir tektonik kuşak üzerinde bulunması nedeniyle jeotermal açıdan dünya ülkeleri arasında önemli bir yere sahiptir (Kozak 2020).

Ülkemizin jeotermal potansiyeli oldukça yüksek olup, potansiyel oluşturan alanların % 78'i Batı Anadolu'da, % 9'u İç Anadolu'da, % 7'si Marmara Bölgesinde, % 5'i Doğu Anadolu'da ve % 1'i ise diğer bölgelerde bulunmaktadır (İnt. Kyn. 1). Ülkemizde yer alan jeotermal kaynakların büyük bir çoğunluğu Batı Anadolu'da yer almakta olup Afyonkarahisar ili de bu bölgedeki en önemli sahalardan biridir. İl genelinde Ömer-Gecek, Gazlıgöl, Sandıklı, Heybeli, Susuz-İscehisar, Salar ve İhsaniye olmak üzere yedi ayrı jeotermal alan bulunmaktadır. Bu alanlarda üretilen jeotermal sular bir alanda (Ömer-Gecek) elektrik üretimi olmak üzere genel olarak konut ısıtmacılığı, seracılık ve termal turizm amaçlı olarak kullanılmaktadır. Salar ve İhsaniye de yer alan termal suların ise şu an aktif bir kullanımı bulunmamaktadır (Başaran vd. 2019). Bu jeotermal alanlardan birisi olan Salar ve çevresinin jeotermal enerji potansiyeli daha önceden detaylı ve bilimsel olarak çalışılmamıştır.

Bu tez çalışması ile Afyonkarahisar ilinin Salar, Sülün ve Karaaslan Köyleri ve çevresini kapsayan çalışma alanının jeotermal enerji potansiyelinin jeolojik, mineralojik-petrografik, jeokimyasal ve jeofizik yöntemlerle araştırılması amaçlanmıştır. 84 km²'lik bir alanı kapsayan çalışma alanı Afyonkarahisar şehir merkezinin 10 km güneyinde, Afyonkarahisar-Şuhut karayaolu üzerinde bulunmaktadır (Şekil 1.1). Salar, Sülün, Nuribey Kasabaları çalışma alanında yer alırken, Karaaslan, Sarık, Halımoru köyleri de çalışma alanına en yakın yerleşim yerleridir.



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer buldur haritası.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Jeotermal Enerjinin Tanımı

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısıнын oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir (Yıldız 2014).

Gezeenin merkezindeki sıcaklık 7000-8000 °C civarında iken dış uzaydaki sıcaklık ise -150 °C'dir. Bu ısı farkından dolayı dünyadan dış uzaya doğru ısı transferi meydana gelmekte ve dünya soğumaya çalışmaktadır. Yeryüzünde ısı akısının ortalama değeri 30-50 Mw/m² arasındadır. Isı akısının yüksek değerlere sahip olduğu bölgelerde jeotermal sahalar meydana gelmektedir. Jeotermal enerji kaynakları, ısı kaynağının yeryüzüne yaklaşması ile meydana geldiği için bulunduğu yerler, yeryüzünün bölgesel ve yerel jeolojisine bağlıdır. Jeotermal sistemin ana unsurları, ısı kaynağı, geçirgen ortam ve akışkandır. Jeotermal sistemin temel ögesi ısı kaynağıdır. Yerkürede ısı kaynağı oluşturabilecek olaylar beş grupta toplanabilir:

- 1- Ergimiş magmanın yerkabuğu içerisinde yükselmesi ile ısı kaynağı oluşması,
- 2- Tektonik hareketlere bağlı olarak yerkabuğun incilmesi ile magmaya olan uzaklığın azalması sonucu ısı kaynağı oluşması,
- 3- Yüzey sularının çok derinlerde (2-6 km) sirkülasyonu sonucu normal ısı gradyanı ile ısınarak ısıнын taşınması sonucu ısı kaynağı oluşması,
- 4- Termal iletkenlikleri çok düşük olan şeyl ve kil gibi birimlerin daha derinliklerdeki kayaçları örterek ısıyı izole etmesi sonucu ısı kaynağı oluşması,
- 5- Radyoaktif elementlerden ısınım yoluyla çıkan ısı enerjisi ile ısı kaynağı oluşmasıdır.

Jeotermal ısıнын yeryüzüne transferinde; konveksiyon ile kondüksiyon süreçleri çalışmakta ve jeotermal akışkan ısıнын taşınmasını sağlamaktadır. Jeotermal akışkanlar, jeotermal sistemin beslenme alanlarından yerkabuğunun içine penetre olmuş, yerkabuğu içerisinde bulunan sıcak kayalar ile temas sonucunda ısınmış akiferlerde birikmiş ve

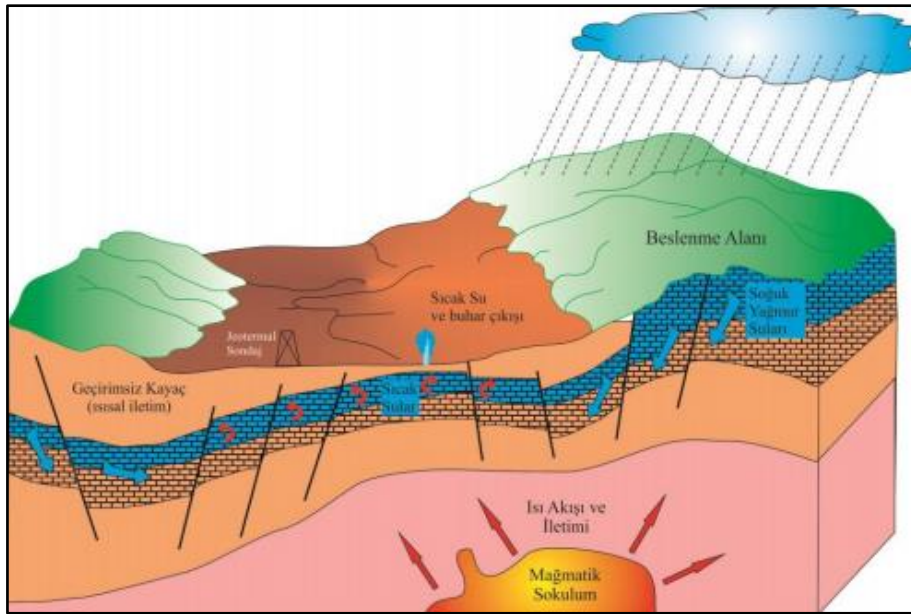
zaman zaman yüksek basınçlarda ve 300 °C sıcaklıklarda olan yağmur suyundan meydana gelmektedirler. Yerkabuğunun ilk 10 km'sinde bulunan ısı enerjisi, insanoğlunun bugünkü tüketim hızı ile 6 milyon yıllık enerji ihtiyacını karşılamaya yeterlidir. Dolayısıyla enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin payının artırılması ile yeni teknolojilerin geliştirilmesinin önemi çok büyüktür. Yenilenebilir, ucuz, alternatif, yerli, temiz ve çevre dostu olarak tanımlanan jeotermal enerji, kendine alternatif olarak gösterilecek kaynaklara göre daha yüksek bir verime ve kurulu güce sahip konumdadır (Ulutürk 2009).

2.2 Jeotermal Sistemlerin Köken ve Oluşumu

Uzun yıllar boyunca jeotermal akışkanların kökeni tartışma konusu olmuştur. Jeotermal kaynaklara ait önceki çalışmalara göre suyun, magmatik veya jüvenil bir kaynaktan türediği sanılmaktaydı. Fakat yüksek rakımlı ve karasal alanlardan örneklenen yağmur ve kar sularının hafif izotoplarca zengin olduğu (düşük δ değerleri) ve bu δD ve $\delta^{18}O$ sulardaki değerlerinin meteorik su çizgisi üzerinde yer aldığının ortaya konulmasıyla bu görüş radikal bir değişim uğramıştır. Tropik denizlerden uzaklaştıkça ağır izotoplarda (^{18}O , D) görülen fakirleşme, bu izotopların yağmur ve kar suyu gibi yoğun fazlar içine girmeleri ve kalıntı buhar fazında da hafif izotopların zenginleşmesi (Raleigh süreci) ile açıklanmaktadır. Jeotermal sulardaki $\delta^{18}O$ değerlerinin yerel meteorik sulardakilerden daha yüksek (pozitif) olduğunu ancak δD bolluklarının ise aynı kaldığını ortaya koymuştur. Craig (1963) oksijen ve hidrojen izotopik bileşimlerini ölçerek jeotermal sular ile buharların meteorik kökenli olduğunu ortaya koymuştur. Farklı bölgelerde bulunan jeotermal sahalarındaki meteorik sular farklı izotop bileşimleri sergilemektedirler. Yıllık ortalama yağışın izotop kompozisyonu büyük oranda bölgenin yerel hava sıcaklığına bağlıdır. Ancak meteorik döngü içinde yer alan suların kendine özgü izotop kompozisyonu bulunmaktadır. Bu kompozisyon yağış sularının tamamıyla meteorik bir kökene sahip olduklarını işaret etmektedir.

Jeotermal sistemler, ısı zenginleşmesi ve yayılımına elveren kaya türleri ve yapısal ortamların varlığını gerektirirler. Jeotermal sistemlerin, ille de ısı kaynağının bulunduğu yerde oluşmadığı bilinir. Bu sebeple, ısı kaynağı ile bu sistemin konuşlandığı dolaysız

bir ilişki ve yakınlık olması zorunlu değildir. Önemli olan kütleli ısı taşınımının görüldüğü, bölgesel ısı akısının yüksek olduğu, ya da ısı çevrimine elverişli jeoloji yapılarının, katmanlanma veya zonların bulunduğu yerlerin olmasıdır. Jeotermal sistemlerinin jeolojisi epey karmaşıktır. Jeotermal sistemlerinin jeolojisinde, kayaçların porozitesi ve geçirgenliği, kayaçların petrografik özellikleri, bölgenin tektonik konumu önemli bir yere sahiptir. Jeotermal sistemin oluşumu için çeşitli elemanların varlığının olması gereklidir. Jeotermal sistemin oluşumu için ısı kaynağı, su, rezervuar kayacı ve geçirgenlik gibi elemanların bulunması ile derinde ısınan su yüzeye doğru hareket eder ve yüzeyde jeotermal sular kendisini göstermektedir. Bir bölgede jeotermal enerji potansiyelinin varlığından bahsedebilmek için; bir hazne kayaca, bir örtü kayaca ve soğumakta olan bir magmatik kütleye ihtiyaç vardır. Yeraltındaki çatlak ve kırıklardan yeraltına doğru süzülerek ilerleyen suların toplandığı ve akifer görevi gören bölüm hazne kayadır. Örtü kayaç, altındaki hazne kayacın gözenekleri içerisinde bulunan ısınmış suyun, sıcaklık vasıtasıyla ortaya çıkan gazların basıncı etkisiyle tekrar yeryüzüne doğru yükselmesine mani olarak suyun hazne kayacda kalmasını sağlar. Soğumakta olan magmatik kütle ise hazne kayacdaki suyun ısınmasına katkıda bulunmak için ısı kaynağı görevi görür (Bilgiç 2015). Şekil 2.1’de jeotermal enerjinin oluşum modeli verilmiştir.



Şekil 2.1 Jeotermal enerjinin oluşum modeli (Yıldız 2014).

Hazne kayaçta bulunan jeotermal su, yüksek basınçta olmasından ötürü yüksek sıcaklıklarda sıvı fazda bulunur. Bu sular yeryüzü ortamına çıktığında veya yeraltındaki kırık ve çatlaklardan yararlanarak yeryüzüne yakın derinliklere, basıncın ve çevre ısının çok daha az olduğu noktalara vardığında jeotermal suların bileşimindeki gazlar gaz fazına dönüşür ve jeotermal suların yeryüzüne püskürmesine neden olurlar. Bu tip oluşumlara gayzer adı verilir (Bilgiç 2015).

Saemundsson vd. (2009) jeotermal sistemleri, jeolojik konumları ile doğal özelliklerini baz alarak sınıflandırmıştır:

Volkanik Sistemler: Bu sistemler volkanik aktiviteler ile ilişkili olan sistemlerdir. Isı kaynağı bu sistemlerde magma sokulumlarıdır. Volkanik sistemler kalderalar gibi volkanik komplekslerin içinde ya da çok yakınında, plaka sınırlarında ve sıcak dom alanlarında yer alırlar.

Konveksiyon Sistemleri: Bu sistemlerde ısı kaynağı tektonik olarak aktif bölgelerde bulunan sıcak derin kabuktur. Buralarda ısı akışı değeri ortalama değerden büyüktür. Ortalama ısı akışı üzerinde olan, aktif tektonik bölgelerdeki derinlikler de sıcaktır. Bu bölgelerde, (>1 km) derinliğe kadar jeotermal suların dikey çatlaklar boyunca sirkülasyonu söz konusudur.

Sedimanter Sistemleri: Sedimanter sistemler, dünyanın ana majör havzaların çoğunda yer alır. Bu sistemler varlığını normal değerlerin üzerinde bulunan ortalama jeotermal gradyanlara (> 30 C/km) ve derinde (>1 km) bulunan sedimanter katmanlara borçludurlar. Bu sistemlerde doğal olarak kırıklar ve faylar bazı durumlarda önemli rol oynasa da konvektif den daha çok konduktiftir. Tortul kayaçlarda bazı konvektif sistemler gömülü bulunabilir.

Geo-Basınçlı Sistemler: Bu sistem jeo-basınçlı petrolü meydana getirmektedir. Bu sistemde ki stratigrafik yapıda bulunan sular litostatik basınç üzerinde bir basınca sahiptir. Bu sistemler çoğunlukla derindirler bu sebeple jeotermal sular olarak kategorize edilirler (Aras Pala 2016).

2.3 Jeotermal Sistemlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Sıcak su sistemlerinin oluştuğu alanlarda kayaların içinde birbiriyle bağlantılı kanallardan oluşmuş bir pompalama sistemi vardır. Yağış suları yerin altına süzülür. Eğer sıcaklığı daha yüksek bir bölgeye gelirse ısınır, genişler, yükselir ve sisteme henüz girmekte olan soğuk ve ağır suyun basıncıyla yukarı doğru itilir. Bu sıcak sular yeryüzüne ya sıcak su kaynağı ya da gayzer olarak çıkar. Yüze ulaşan kaynak suların sıcaklığının yüksek oluşu; geldikleri derinliğin fazlalığı, yükselme eğimlerinin dikeye yakın bir açı oluşu, suyun yükselme hızı ve akifer kanalcıklarının genişliği ile doğru orantılıdır. Isı artınca suyun viskozitesi azalmaktadır. Dolayısıyla geçirgenlik katsayısı veya akım hızı artmaktadır.

2.3.1 Isı Kaynağı

Bugüne kadar yapılan gözlemler sıcak suların oluşumu ve ölçülere göre, yeraltındaki sıcaklık, kayaların cinsine, ısı iletkenliklerine, jeolojik yapılarına vb. özelliklerine göre değişmekte ve ortalama her 30 metre de 1°C arttığı kabul edilmektedir. Ancak bu farklılık gösterebilir. Volkanik ve tektonik yönden aktif olmayan temele ait birimlerin yer aldığı (Paleozoik) bölgelerde ise 60–80 metreler de 1°C, buna karşılık genç volkanik ve tektonik etkinliğin bulunduğu yörelerde 10–15 metreler de 1°C artmaktadır. Büyük bir ısı kaynağının bulunması, yeterince sıcak olmaları ve birkaç bin metreden fazla derinlikte bulunmamaları gerekir. Yalnızca genç magma sokulumları büyük miktarda ısı verebilir. Bu gibi alanlar genç (Senozoik) volkanik etkinlikteki bölgelerdir. Kuvaterner yükselmesi ile sokulan magma ve Tersiyer sonu ile Kuvaterner bölgeleri jeotermal alanlar için uygundur.

2.3.2 Hazne Kaya

Normal soğuk yeraltı sularında olduğu gibi sıcak su sistemlerinde de en önemli birimi akiferler oluşturmaktadır. Hazne kayaçlar litolojilerine göre; yüksek veya düşük gözenekli ve geçirimli bir özellik gösterirler. Ayrıca fay, kırık, çatlaklar da gözenekliliği ve geçirimliliği artırır. Derinlik kayaçlarında ve aşırı derecede metamorfizmaya

uğramış kristalin kayalarda birincil gözeneklilik varsa da genellikle azdır. Bunlarda yer altı suyunun oluşması için çatlaklanma, faylanma veya bozuşma yoluyla gelişmiş açıklıkların bulunması gereklidir. Çatlaklar; tektonik hareketler, örtü kayanın aşınmasından dolayı basınç azalması, kaya kütlelerinin soğuması sırasında büzülmesi ve bölgesel tektonik gerilmelerin neden olduğu basma ve çekme hareketleriyle gelişebilmektedir. Kristalin kayalardaki çatlaklanma miktarı derinlikle azalabilir.

Volkanik kayalar yüzeyde kristallendiğinden, gözeneklilikleri piroklastik çökelme ile ilişkilidir. Genç bazalt akıntılarının iletkenliği yaşlı olanlara oranla daha büyük olma eğilimindedir. Plütonik kayalar ve metamorfik kayalar birbirine kenetlenmiş kristallerden oluştukları için tipik olarak çok düşük gözenekliliğe sahip oldukları düşünülmüştür. Jeolojik süreçlerden ikisi olan bozunma ve çatlaklanma, toplam kaya gözenekliliğini artırır. Çatlaklanma kristalin kayaların gözenekliliğini %2 ile %5 arasında artırır. Isıtıcının mevcut olduğu sahalarda akifer içinde su konveksiyonel akımları ile ısınır. Jeolojik yapının uygun olduğu hallerde sıcak su ve hatta buhar bulma imkânları doğmaktadır.

İyi bir hazne kaya şu özelliklere sahip olmalıdır;

1. Yer altı sularının ısı kaynağına ulaşarak ısınabilmesi, ısınan akışkanın termal konveksiyonel akımlarla, etkin termal enerjinin taşınması için iyi bir kanal sistemine sahip olması,
2. Sıcak akışkan ile doymuş hazne kayada termal konveksiyon akımlarının doğması; böylece, hazne kaya içinde taban ve tavan arasındaki sıcaklık farkının çok az bulunması,
3. Sıcak akışkanın kaya içinde akabilmesi için gözeneklerin bağlantılı ve dışa açık bulunması, hidrolik iletkenlik katsayısının yüksek olması,
4. Hazne kayadaki sıcaklık suyun kaynama noktasına yakın veya üzerinde olmalıdır.

2.3.3 Örtü Kaya

Hazne kaya üzerinde bulunan geçirimsiz veya düşük geçirimli olan kaya topluluğudur. Etkili olduğu ölçüde ısı kaybını önler ve böylece hazne kayada ısının korunmasını

sağlar. Örtü kaya sadece yüzeye doğru akiferin ısı kaybetmesini önlemekle kalmaz, aynı zamanda derinlere doğru da buna benzer bir rol oynar.

Örtü kayalar termal etkinliğin sonucu olarak da oluşabilirler. Bazı alanlarda sistem açık ve sık derinlerdeki kayalar yoğun kırıklı bir durumdayken bu kırıklarda dolaşan termal etkinlik kırıkların tıkanmasına ve örtü kaya oluşmasını sağlar. Bunun başlıca nedenleri ise mineral çöktürmeleri ve hidrotermal alterasyonlardır.

Hazne kayanın sıcaklığını doğal olarak kaybetmemesi için düşük geçirgenlikte örtü kaya ile korunması gerekmektedir. Kondüksiyon yolu ile ısı iletimi önlenemez ancak bu yolla kaybolan ısı konveksiyon ile kazanılan ısıyanın yanında önemsizdir. Gerçek bir örtü kaya volkanik arazilerde hemen hemen mümkün değildir. Çünkü volkanizma, tektonizma hareketleri ile beraber bulunur ve fay çatlaklarının oluşmasına neden olur.

2.3.4 Beslenme

Bilindiği üzere jeotermal sistemler içerdiği akışkanın kökenine bağlı olarak adlandırılırlar. Magmatik, fosil ve meteorik kökenli olmak üzere 3 jeotermal sistem vardır. Dünyadaki fosil ve magmatik yakıtların % 6 civarında olduğu sanılmaktadır. Ülkemizdeki jeotermal sistemler meteorik kökenli akışkana sahip devirli sistem olarak ifade edilen, yağış sularının derinlere süzülerek ısınıp tekrar yüzeye erişmesiyle oluşan bir sistemdir. Bu sistemde; ısı kaynağı, hazne kaya, örtü kaya ve beslenme faktörleri sistemi tamamlar.

Sıcak suların büyük bir bölümünün meteorik kökenli oluşu bir yerüstü beslenme alanının mevcut olmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla buradan sızan sular jeolojik formasyonlar içinde toplanarak basınçlı sistemleri oluşturmaktadır. Beslenme alanı, akiferi besleyen yüzey sularının yeraltına sızdığı arazi yüzeyi ve mostralardır. Bu alanın genişliği morfoloji, jeolojik hidrojeolojik özellikler, mostraların yayılımı ve konumları ile değişmektedir. Özellikle kırıklı faylı zonlar bu alanın genişliğini büyük ölçüde etkilemektedir. Hazneye ulaşım geçirimli formasyonlar yoluyla fay ve kırıklar yardımıyla olmaktadır. İzotop ölçümleriyle beslenme yolları, hazneye ulaşma süreleri

ve hidrotermal model belirlenebilmektedir. Beslenme alanlarının sınırlarının belirlenebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Meteorik sular birimlerin litolojik özelliklerinin yanı sıra, bölgenin yoğun tektonizma geçirmiş olması sonucu kırık ve çatlakları da izleyerek derinlere ulaşmaktadırlar. Biga yarımadasının bugün ki morfolojik görünümünü kazandıran olaylar, bu alanlarda yoğun bir su depolanmasını da sağlamıştır. Buna göre yüzeyleyen kaya birimlerinin dağılımı tektonik olayların yoğunluğu, fayların derinliği beslenmeyi olumlu yönde etkileyen faktörler olarak görülmektedir (Talay 2010).

2.4 Jeotermal Sistemlerin Yüzey Belirtileri

Jeotermal alanlardaki yüzey belirtilerinin başlıcaları dokunak kaynakları, fümeroller yada buhar kaçakları, çamur volkanları, hidrotermal alterasyonlar, travertenler ile limonit, silis, borat, cıva vb. genç çökelimlerdir.

Topoğrafik yüksekliğine bağlı olmaksızın, buhar şapkası olan bir akifer ile bağlantılı çatlak yada faylardan, buhar kaçakları yani fümeroller meydana gelir. Topoğrafik yükseklikleri basınç yüzeyinin aşağısında kalan yerlerde, yüksek sıcaklıklı akiferlerle bağlantılı olan çatlak yada faylardan, sıcak yada çok sıcak kaynaklar meydana gelir. Bunların başlıca türleri aşağıda açıklanmıştır.

Dokunak Kaynakları: Geçirimsiz bir taban formasyonu dokunağındaki kaynak ile yüzeyde mostra veren sıcak akiferlerdir. Bu tip sıcak su kaynakları çoğunlukla çevredeki soğuk kaynak ya da yüzey sularından daha tuzludurlar. Bu nedenle sıcak sular yükselme sırasında kayaçları daha kolay etkilemekte ve eritebilmektedirler. Klor konsantrasyonu fazla olan sıcak suların geldikleri akiferlerden buhar çıkışı beklenmemelidir.

Fümeroller ya da Buhar Kaçakları: Bir akiferin üzerinde yer alan yeterince kalın bir örtü, konveksiyon akımlarının yüzeye erişmesini engelliyor, ancak yüzeye kadar erişen bir fay, bir sondaj gibi akifer ile bağlantı sağlıyor ve akiferin suyunun sıcaklığı da 100

°C'nin üzerinde ise, fayın suya girdiği yerde buharlaşma meydana gelir. Çünkü burada basınç, bir atmosferik basınç ile denge durumuna geçer. Buhar yüzeysel tabakaların düzeyine kadar yükselerek orada yoğunlaşabilir. Bu sebeple bu tip suların tuz konsantrasyonları düşük, gaz ve uçucu eleman oranları yüksek olur. Özellikle amonyum ve bor anormal derecede yoğundur. Dolayısıyla bu iki elemanca zengin kaynakların bulunduğu havzalarda buhar fazında jeotermal akışkan bulma olasılığı çok yüksektir (Buna örnek olarak Kaliforniya'daki The Geysers ile İtalya'daki Larderello sahaları verilebilir).

Gayzer Olayının Mekanizması: Gayzerler, kaçak tipindeki kaynaklardır. Ancak Fransız jeoloğu Jean Goguel'e göre gayzerlerin bazıları, yeryüzüne erişen buhar akımları değildirler. Bu tür gayzerler, derinlerde kritik koşullara erişilmemiş olmasına rağmen, bir konveksiyon akımından doğabilen sıcak su akımlarıdır. Şayet suyun sıcaklığı 100 °C'den fazla ise atmosfere erişmeden az önce kısmen buharlaşır. Örnek verilecek olursa 135 °C'lik sıcaklığa sahip bir su, 20 m derinlikten itibaren kaynamaya başlar. Yeryüzüne ulaştığında ise ağırlığının %7'si 100 °C'lik buhar, % 93'ü ise 100 °C'lik sıcak su şeklinde iki ayrı fiziksel faza bölünmüş halde bulunur. Fakat hacim bakımından bu iki fazı birbirine oranlanacak olursa, sıvı fazın hacmi gaz fazı hacminin 130'da biridir.

Buradaki gaz fazı, sıvı fazın bir bölümünü "emülsiyone" ederek epey hafifletir. Buda belli bir derinlikte basıncın düşmesine sebep olur; basıncın düşmesi ise kaynamayı kolaylaştıracaktır. Bu sayede kaynama olayı gittikçe daha derinlere doğru ilerleyecektir. Gayzer türü kaynaklar bu sebeple büyük gürültü çıkarmaktadır. Zamanla gayzer kaynağının ağzı 100 °C'lik artık (rezidüel) su ile dolacağından fışkırtma kesilir, kaynağın hemen altındaki su sütunu dereceli (kademeli) bir şekilde ısınarak, aynı olayı başlatabilecek bir sıcaklık düzeyine yükselir (Canik vd. 2000).

2.5 Jeotermal Sistemlerin Araştırılması

Jeotermal sistemlerin araştırılması jeoloji, jeofizik, jeokimya, hidrojeoloji gibi yerbilimleri uzmanlarının birlikte görev aldığı multidisipliner bir çalışma

gerektirmektedir. Jeotermal sistemlerin araştırılmasında sondaj öncesi jeotermal sistemin geometrisi ve karakteristik özellikleriyle ilgili bilgilerin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

Jeotermal sistemlerin araştırılması; jeoloji, hidrojeoloji, jeokimya ve jeofizik çalışmalarını kapsamaktadır. Araştırma yapılacak jeotermal sahanın öncelikle litoloji, petrografi, volkanoloji, hidrotermal alterasyon, yapısal jeoloji, hidrojeoloji ve çevre jeolojisi gibi konuları kapsayacak şekilde jeolojik haritalama çalışmasının yapılması gerekir. Jeokimyasal çalışmalarda bölgedeki sıcak ve soğuk su kaynaklarının örneklenerek, kimyasal analizlerinin yapılması ve analiz sonuçlarının yorumlanması gerekmektedir. Hidrojeolojik çalışmalarda kayaçların gözeneklilik ve geçirgenlik özellikleri, havzanın beslenme durumu, yer altı suyunun mevsimsel değişim oranları, akım yolları vb hidrojeolojik özellikleri araştırılmaktadır. Doğru akım öz direnç (DAÖ), manyetotellürik (MT), geçici elektromanyetik (TEM), gravite, manyetik yöntemler arama aşamalarında en çok tercih edilen jeofizik yöntemlerdir.

Elde edilen jeotermal yüzey belirtileri ile jeotermal kaynağın dağılımını kontrol eden jeolojik parametreler bu aşamadaki en önemli faaliyetlerden olan jeotermal sistemin kavramsal modelinin oluşturulması çalışmalarında önem taşımaktadır. Detaylı jeolojik, jeokimyasal, hidrojeolojik ve jeofizik sonuçların birlikte yorumlanması sonucunda bölgenin jeotermal potansiyeli üzerine ön değerlendirmeler yapılmaktadır. Bölge jeotermal kaynak bakımından ümitliyse, sondaj ve rezervuar değerlendirme çalışmaları planlanarak sondaj çalışması için hedef jeolojik yapılar ve sondaj lokasyonları belirlenmelidir (Yıldız 2020).

2.6 Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli

Türkiye, Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunmasıyla bağlantılı olarak, orojenik magmatik ve volkanik aktivitelerin çok olması nedeni ile jeotermal açıdan büyük bir potansiyele sahiptir. Ülkemizde aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak başta Ege Bölgesi olmak üzere, Kuzeybatı, Orta Anadolu, Doğu ve Güneydoğu

Anadolu bölgelerinde 600'ün üzerinde jeotermal kaynak bulunmaktadır (Arslan vd. 2001).

Türkiye'de ilk jeotermal araştırmalar, 1960'lar da Maden Teknik Arama (MTA) tarafından başlatılmıştır. Türkiye'de 40 °C'nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 184 adet jeotermal saha ortaya çıkarılmıştır. Türkiye'deki jeotermal alanların % 94'ü düşük ve orta sıcaklıklı sahalardır. Ülkemizde Batı Anadolu'daki jeotermal sistemler genelde yüksek sıcaklığa sahip olup, açılma tektoniğine bağlı olarak grabenlerde yer alırlar. Doğu-Batı ve Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultulu genç grabenlerde yer alan jeotermal sistemlerin en önemlileri Menderes ve Gediz grabeni içinde gelişmiştir. Bu grabenleri oluşturan diri faylar hem jeotermal yönden, hem de depremsellik yönünden aktiftirler (Yurttaş 2008).

Türkiye'deki jeotermal sistemler esas olarak genç ve bölgesel yapısal hatları izlemekte ve genç tektonik ve/veya metamorfizmadan etkilenmiş bölgelerde daha sık olarak görülmektedir. Bununla birlikte bu sistemler bölgeler arasında köklü olarak değişmekte ise de belli bir bölgedeki sistemler arasında da önemli benzerlikler bulunmaktadır. Bahsedilen bu jeotermal bölgeleri ve oralardaki jeotermal sahaları aşağıdaki gibi gruplandırmak mümkündür.

Ege Kıyı Kuşağı: Seferihisar, Çeşme, Balçova, Aliğa, Dikili-Bademli, Edremit, Tuzla ve Kestanbol,

Menderes Metamorfik Masifi ve Batı Anadolu Grabenleri: Büyük Menderes Grabenindeki Germencik, Aydın Yılmazköy - İmamköy, Salavatlı - Sultanhisar, Pamukören, Kızıldere, Yenice, Gölemezli ve Gediz Grabenindeki Salihli-Kurşunlu, Caferbeyli ve Sart, Turgutlu - Urganlı ve Alaşehir-Kavaklıdere jeotermal sistemleri. Dikili - Bergama Grabenindeki Dikili - Kaynarca ve Bergama jeotermal sistemleri ve Simav Grabenindeki Simav jeotermal sahasının hepsi aynı jeolojik çerçeve içindedirler.

Orta Anadolu Jeotermal Sahaları: Afyon, Kapadokya, Kırşehir, Kozaklı, Kızılcahamam,

Doğu Anadolu Jeotermal Sistemleri: Nemrut Kalderası, Erciş - Zilan ve Diyadin,

Kuzey Anadolu Fayı Boyunca Bulunan Jeotermal Sahalar: Erzincan, Çerkeş, Bolu, Adapazarı-Akyazı, Bursa Çekirge-Kükürtlü, Gönen'dir (Korkmaz Başel 2010). Türkiye'nin neotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanları Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 Türkiye'nin neotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar (İnt. Kyn. 2).

Türkiye Alp-Himalaya üzerinde yer aldığından orojenik kuşak ve uygun jeolojik koşullar nedeniyle, Türkiye yüksek jeotermal potansiyele sahiptir (Mertoglu vd. 2019). Dünyada jeotermal enerji kurulu gücü 2018 yılı sonu verilerine göre 14.9 GWe düzeyindedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülke; ABD, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda şeklindedir. Elektrik dışı kullanım ise 70.000 MWt'i aşmış olup, Dünya'da doğrudan kullanım uygulamalarındaki ilk 5 ülke ise ABD, Çin, İsveç, Belarus ve Norveç'tir (İnt. Kyn. 1).

Ülkemiz jotermal sera ısıtmasında ve 2015'den 2019'a kadar geçen süreçte yıllık jeotermal elektrik büyümesinde Dünya birincisidir. Dünya kaplıca kullanımı sıramalasında ve Dünya ısıtma amaçlı kullanum sıralamasında ise ülkemiz Dünya'da üçüncü sıradadır. Ülkemiz aynı zamanda Dünyada jeotermal genel değerlendirme sıralamasında Dünya üçüncüsüdür (İnt. Kyn. 3).

Dünyada olduğu gibi ülkemizde jeotermal enerji kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde elektrik üretimine uygun jeotermal saha sayısı 2018 yılı verilerine göre 25 adettir. Ülkemizde jeotermal enerji kullanımı 2019 yılı verilerine göre ülkemizde jeotermal enerji 4.052 dönüm sera ve 125.000 konut ısıtmacılığında kullanılmaktadır. Ayrıca 2019 yılı verilerine göre elektrik üretimindeki kurulu güç 1.304 MWe, görünür ısı kapasitesi ise 35.500 MWt'dır (İnt. Kyn. 1). Çizelge 2.1'de Türkiye'de jeotermal enerjinin mevcut kullanımı ve kapasitesi verilmiştir.

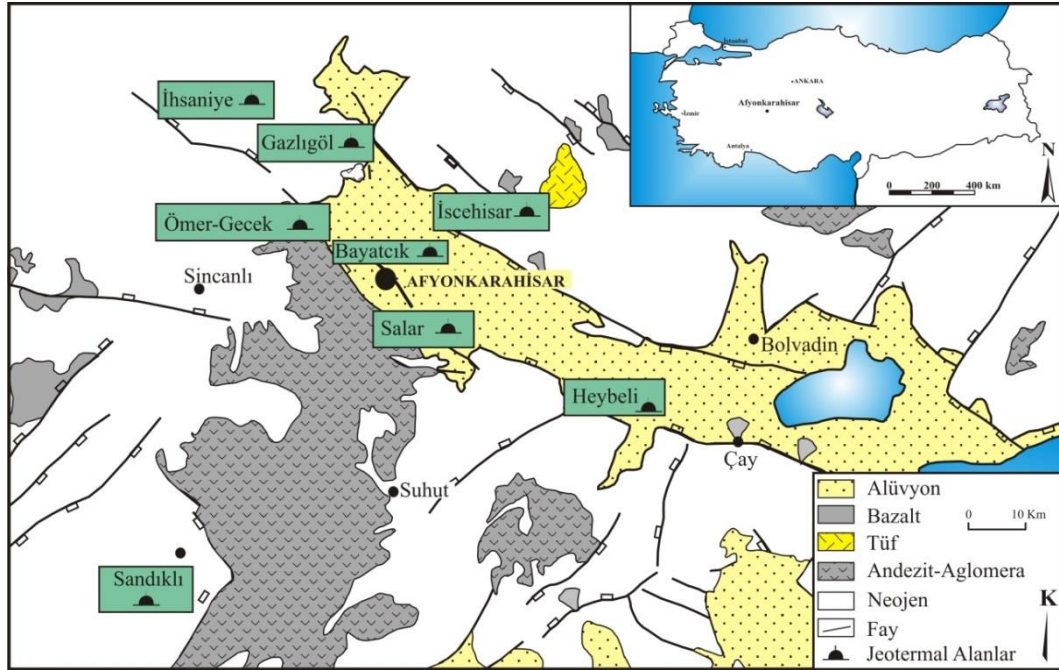
Çizelge 2.1 Türkiye'de jeotermal enerjinin mevcut kullanımı ve kapasitesi (İnt. Kyn. 4).

Değerlendirme	Kapasite
Jeotermal Merkezi Isıtma (Şehir, Konut)	126.000 Konut Eşdeğeri (1.120 MWt)
Sera Isıtması	4.500 Dönüm (855 MWt)
Kaplıca Tesisleri, Termal Oteller ve Devremülk Tesislerinin Isıtması	48.600 Konut Eşdeğeri (435 MWt)
Oteller, Kaplıcalar, Devremülklerde Kullanılan Termal Suyun Isı Enerjisi	520 Kaplıca (1.400 MWt) (Yılda 23 Milyon Kişi)
Meyve Sebze Kurutma	9,5 MWt
Soğutma	0,35 MWt
Jeotermal Isı Pompası (Toprak Kaynaklı)	8,5 MWt
Toplam Isı Kullanımı	3.828,5 MWt (373.000 Konut Eşdeğeri)
Toplam Elektrik Üretimi (Kurulu Güç)	1.663 MWe (Aydın, Denizli, Manisa, Çanakkale, Afyon)
Karbondioksit Üretimi	400 Bin Ton/yıl

2.7 Afyonkarahisar'ın Jeotermal Potansiyeli

Afyonkarahisar ilinde yer alan jeotermal sahaların oluşumunda, bölgenin jeolojik yapısı ile tektonik hareketlere bağlı olarak meydana gelen fay hatlarının etkisi çok büyüktür. Bölgede K-G ve KB-GD doğrultusunda uzanan fay hatları üzerinde ya da yakınında çıkan sıcak sular ilin en önemli jeotermal kaynaklarını oluşturmaktadır. İlde fay hatları boyunca çıkan bu sıcak sular, “orta sıcaklıklı” jeotermal alanlar grubuna girmektedir. Bu alanlar aynı zamanda ilin Termal Turizm Merkezlerini, dolayısı ile turizm

faaliyetlerinin de en önemli alanlarından (Kervankıran 2012). Şekil 2.3’de Afyonkarahisar ili mevcut ve alternatif jeotermal alanları verilmiştir.



Şekil 2.3 Afyonkarahisar ili mevcut ve alternatif jeotermal alanları (Gürsoy vd. 2003'ten değiştirilerek alınmıştır).

Ömer - Geçek Jeotermal Sahası: Ömer-Gecek jeotermal sahası Afyonkarahisar'ın kuzeybatısında yer almaktadır. Sahanın temelinde mikasist, kuvarslı şist ve fillitin egemen olduğu Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfittleri bulunmaktadır. Şistlerin üzerinde geçişli olarak kristalize kireçtaşları (mermer) yer almaktadır. Paleozoyik temel üzerine açısal uyumsuzlukla yaklaşık 300 m. kalınlığa sahip Neojen çökelleri gelmekte ve tabandan yukarıya doğru çakıltaşı, kumtaşı, killi kireçtaşı ve marn seviyeleri ile devam etmektedir. Aynı volkanizmanın ürünü olan tuf, aglomera ve çörtler üst kesimlerde gözlenmektedir. Kum, çakıl, silt ve kil boyutundaki tutturulmamış malzemelerden oluşan alüvyon ve jeotermal suların içindeki çözünmüş maddelerin çökmesiyle oluşan travertenler en genç oluşuklardır (Demir ve Memiş 2015). Jeotermal sahadaki sondajların derinlikleri 60-905 m., debileri 5-100 lt/s, sıcaklığı 50-98 °C arasında değişmektedir. Ömer-Geçek jeotermal sahasındaki sular konutların ısıtılmasında, kaplıcalarda, turizm tesislerinde ve seracılık alanında ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır (Kervankıran 2012; Başaran vd. 2019).

Sandıklı - Hüdai Jeotermal Sahası: Afyonkarahisar ilinin Sandıklı ilçe sınırı içerisinde yer alan jeotermal saha Afyonkarahisar'ın güneybatısında yer almaktadır. Tabanda Koçgazi fillit üyesi çok düşük metamorfizmalı bej, kahvemsî bej renkli ince taneli kumtaşı, siyah ve kahve-mor renkli silttaşı ve bunlarla yer yer ara katkılı metabazik siltlerden oluşur. Alt Kambriyen yaşlı Hüdai formasyonu çoğunlukla kuvarsitlerden meydana gelmekte ve yer yer şistlerle ardalanmalı bulunmaktadır. Miltaşı, şeyl ve kuvars kumtaşı ardalanmasından oluşan Seydişehir formasyonu jeotermal sistemin örtü kayacıdır. İstifin alt düzeylerinde ince, alacalı renkli ve yumrulu kireçtaşı bantları gözlenmektedir. Karatepe formasyonu Üst Triyas-Alt Jura yaşlı olup çakıltası, kumtaşı ve silttaşlarından oluşmaktadır. Alt Jura yaşlı Derealanı formasyonu marnlı kumtaşı ile başlayıp, üste doğru kumlu, siltli ve killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ardalanması şeklinde devam etmektedir. Akdağ formasyonu ise Üst Jura-Alt Kratese yaşlı olup masife yakın breşik kireçtaşları ile başlar, yukarı doğru arasında çört bantları bulunan kireçtaşları ve daha üstte çört oranı artarak dolomitik özellikte kireçtaşları ile devam etmektedir. Sandıklı Formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Akin tuf üyesi ve Sandıklı üyesi ile Pliyosen yaşlı Hamamçayı üyesinden oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyon en genç çökellerdir. Sandıklı jeotermal sahasının ısı kaynağını bölgedeki volkanikler oluştururken, Paleozoik yaşlı metamorfikler içindeki çatlak ve kırıklı şistler ve kuvarsitler rezervuar kayacı oluşturur (Demir ve Memiş 2015). Bölgede açılan sondajların derinlikleri 50-226 m., debileri 25-105 lt/s, sıcaklıkları ise 40-70 °C arasında değişmektedir. Bu sahadan çıkarılan jeotermal sular turizm, kaplıca, konutların ısıtmasında ve jeotermal seralarda kullanılmaktadır (Kervankıran 2012).

Bolvadin - Heybeli Jeotermal Sahası: Afyonkarahisar ilinin Bolvadin ilçe sınırı içerisinde yer alan jeotermal saha Afyonkarahisar'ın güneydoğusunda yer almaktadır. Paleozoyik yaşlı şistler jeotermal sahanın temelini oluşturmaktadırlar. Temelli oluşturan metamorfikler kalkışist, killi şist, kuvarsit, mikaşist, kuvarslı şist, fillit ve kuvarsit şistlerden oluşmaktadır. Şistlerin üzerine de geçişli olarak mermer ve kalkışistler yer almakta ve bunların üzerine ise açısal uyumsuzlukla Neojen çökelleri gelmektedir. Maksimum kalınlığı 300 metre olan Neojen çökelleri; gözenekli gölsel kireçtaşı, tufit, marn, killi kireçtaşı, kumtaşı, çakıltası ve silt temsil etmektedir. Traverten ve alüvyon ise en genç birimleridir. Genç volkanik etkinliğe bağlı kayalar Neojen çökelleri

arasındaki tüfitler ile Neojen sonu ve/veya sonrası yaşlı bazaltlardır. Alanda gözlenen genel kırık hatları KD-GB ve KB-GD yönlü eğim atımlı normal faylarla temsil edilir ve bu kırık çizgileri Neojen sonu ve/veya sonrası yaşlıdır. Söz konusu jeotermal sahada rezervuar kayaç, rekristalize kireçtaşlarından oluşan Karahasan kireçtaşlarıdır. Çok kırıklı ve çatlaklı olan birimin ikincil gözenek ve geçirgenliği yüksektir. Genellikle, yüzeyden itibaren 120-150 m derinliklerde 38 rezervuara girilmektedir. Neojen birimlerinin killi-siltli geçirimsiz litolojileri örtü kaya niteliğindedir. (Demir ve Memiş 2015; Başaran 2017). Bölgede açılan sondajların derinlikleri 252-410 m, debileri 30-40 lt/s, sıcakları ise, 28,9-54,7 °C arasında değişmektedir (Başaran 2017). Heybeli jeotermal sahasından çıkan sıcak sular, kaplıca ve jeotermal seracılıkta kullanılmaktadır (Başaran 2017; Kervankıran 2012).

Gazlıgöl Jeotermal Sahası: Jeotermal saha Afyonkarahisar'ın kuzeyinde yer almaktadır. Temelde şist ve kuvarsitten oluşan Paleozoyik yaşlı metamorfikler bulunur. Metamorfiklerin üzerine uyumsuz olarak Neojen yaşlı kil, kumtaşı, çakıltaşı aralanmalı çökeller gelir. En genç oluşuklar ise Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonlardır. Gazlıgöl jeotermal sahasının ısı kaynağını bölgedeki volkanizma oluştururken, Paleozoyik yaşlı metamorfikler içindeki çatlak ve kırıklı şistler ve kuvarsitler rezervuar kayacı oluşturur. Bu birimler üzerine gelen Neojenin kilaşı, marnlı seviyeleri örtü kayayı oluşturur (Demir ve Memiş 2015). Gazlıgöl bölgesindeki termal ve maden sularının Na ve HCO₃ bakımından zengin olduğunu ve jeotermometre hesaplamaları sonucunda jeotermal suların rezervuar sıcaklıklarının yaklaşık 100°C olduğunu belirtmiştir (Yıldız vd. 2017). Bölgede açılan sondajların derinlikleri 120 - 300 m, debileri 1,7 - 28 lt/s, sıcaklıkları ise, 51 - 74 °C arasında değişmektedir. Jeotermal sahasından çıkarılan sıcak sular, turizm tesisleri ile kaplıcalarda kullanılmaktadır (Kervankıran 2012; Yıldız ve Başaran 2021).

Afyonkarahisar ilindeki jeotermal sahalardan elde edilen jeotermal sular elektrik üretimi, bölge-sera ısıtması ve termal turizm gibi geniş bir alanda kullanılmaktadır. Gazlıgöl kaplıcalarının Frigler tarafından, Sandıklı kaplıcalarının Romalılar tarafından ve Ömer-Gecek kaplıcalarının 10 bin yıldan fazla bir süredir kullanıldığı ve Heybeli jeotermal sahasının tarihinin M.Ö. 295 yılına kadar uzandığı bilinmektedir. Bayatcık

sahası 2010 yılından, İhsaniye sahası ise 2017 yılından itibaren kullanılmaktadır. Bölgede termal suların sıcaklıkları 30-125°C arasında değişmektedir. Termal suların elektriksel iletkenlikleri (EC) yaklaşık 350-7820 µs/cm arasındadır. Termal suların pH değerleri 6,4 ile 8,1 arasında değişen alkali karakterdedir. Jeotermal kuyularının derinlikleri 100 ile 1200 m arasında değişmektedir (Başaran vd. 2020).

Afyon-Akşehir Graben Sisteminin kenar faylarına bağlı olarak gelişen Afyonkarahisar ilindeki en önemli jeotermal sahalardan birisi olan Ömer-Gecek jeotermal sahasından elde edilen jeotermal sular 2,8 MW elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Jeotermal enerji, Afyonkarahisar Merkez ilçesinde 30.000 ve Sandıklı ilçesinde ise 11.000 olmak üzere toplam 41.000 konut eşdeğeri (246,5 MWt) olmak üzere konut ısıtmacılığında, Afyonkarahisar Merkez, Sandıklı ve Heybeli’de 1.310 dönüm sera ısıtmacılığında kullanılmaktadır (Dinçer ve Ezan 2020). Ayrıca jeotermal sular termal turizmde (~22.320 yatak) kullanılmaktadır (Başaran vd. 2020).

3. ANALİTİK YÖNTEMLER

3.1 Saha Jeolojisi Çalışmaları

Litoloji, petrografi, volkanoloji, hidrotermal alterasyon, yapısal jeoloji, hidrojeoloji ve çevre jeolojisi gibi konuları kapsayacak şekilde çalışma alanının jeolojik haritalama çalışması yapılmıştır.

Çalışma alanında iki adet lokasyonda alterasyon zonu gözlenmiş ve bu alterasyon zonlarında faylanmaya bağlı olarak gelişen ayrışmanın etkisini gözlemleyebilmek için örnekleme yapılmıştır.

3.2 Mineralojik ve Petrografik İncelemeler

Mineralojik ve petrografik incelemeler; polarizan mikroskop, taramalı elektron mikroskop (SEM) ve X-ışınları kırınımı (XRD) analizleri olmak üzere 3 bölümde yürütülmüş olup, analizlere ait deneysel prosedür aşağıda verilmiştir.

3.2.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

Polarizan mikroskop ile mineralojik ve petrografik özelliklerin incelenmesinde kullanılacak numunelerin hazırlanması için TS EN 12407 (2019) standardında belirtilen yöntemler kullanılmıştır. Araziden alınan kayaç örnekleri ince kesit yapılmak üzere Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü'ne (MTA) gönderilmiştir.

İnce kesit çalışmalarında lamele yapıştırılan kayaç örnekleri fırınlanarak lamele iyice sabitlenmesi sağlanmış ve korund tozu yardımı ile $(0,030 \pm 0,005)$ mm kalınlığa inceltirilmiştir. Hazırlanan ince kesitler Resim 3.1'de görülen AKÜ Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ndeki görüntü analiz sistemli Leica DM2500P model polarizan mikroskopla incelenmiştir.

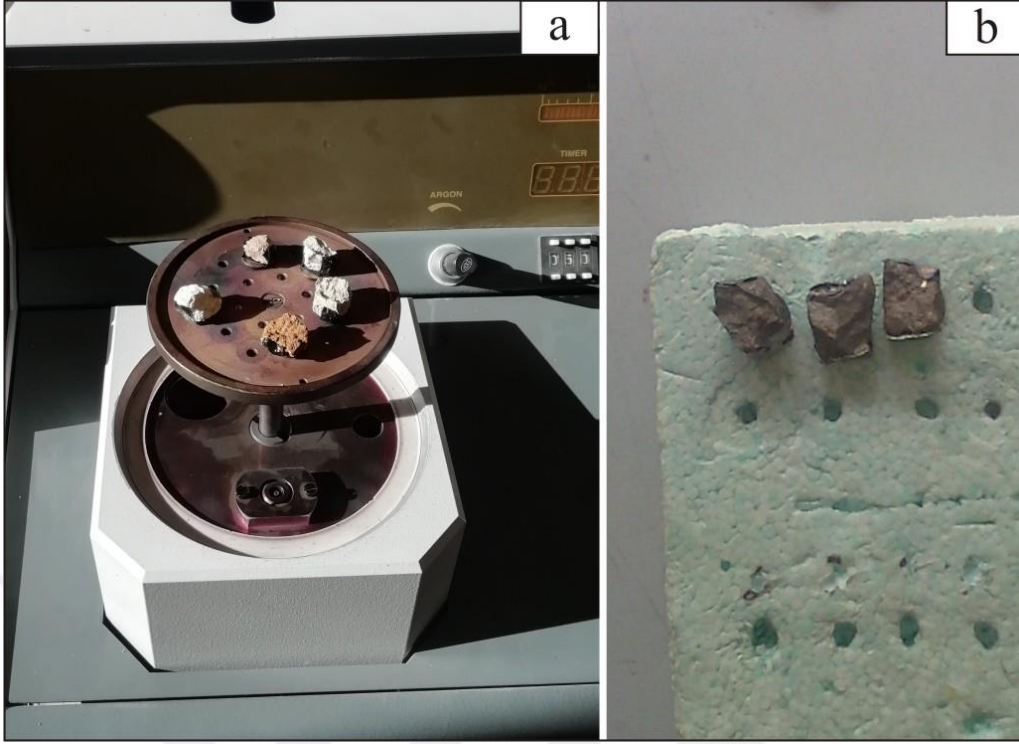


Resim 3.1 Leica DM2500P model polarizan mikroskop.

3.2.2 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri

Çalışma alanındaki alterasyon zonlarından alınan örneklerdeki minerallerin yüzey morfolojisi ile mikrokimyasal bileşimi taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleriyle araştırılmıştır. XRD analizleriyle paralel yürütülen taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleri için farklı mineralojik bileşime sahip ayrılmış örneklerden yaklaşık 1 cm çapında parçalar kırılmıştır. Böylece kayaç yapısını ve dokusunu temsil eden taze yüzeyler elde edilmiştir.

Örnek hazırlama işlemi sırasında insan hatasını önlemek için kayaçtan kırılan parçaların fazladan işleme tabi tutulmasına gerek yoktur. Örnekler ince altın ya da karbon filmle kaplandığında taramalı elektron mikroskoptan gelen aşırı elektrik yükü kontrol edilmiş olur. Böylece örneklerden daha kaliteli görüntü elde edilir (Keller vd. 1986). SEM incelemeleri için 250-300 Å'da ince karbon filmle kaplaması yapılan örneklerin (Resim 3.2), Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ) Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezindeki (TUAM) LEO VP-1431 model taramalı elektron mikroskobunda tanımlamaları yapılmıştır (Resim 3.3).



Resim 3.2 SEM incelemeleri için örneklerin karbon filmle kaplanması. (a): Kaplama öncesi, (b): Kaplama sonrası



Resim 3.3 LEO VP-1431 model taramalı elektron mikroskobu.

3.2.3 X-Işınları Kırınımı (XRD) İncelemeleri

XRD incelemeleri için farklı özellikteki ayrılmış örnekler ile ana kayaç olduğu düşünülen volkanik kayaç örnekleri analize hazırlanmıştır. XRD analizleri tüm kayaç ve kil boyutu incelemeleri olarak 2 bölümde yürütülmüştür. Tüm kayaç incelemeleri yapılacak örnekler XRD incelemeleri için -250 µm tane boyutuna öğütülmüştür.

Tüm kayaç XRD incelemeleri sonucunda kil minerali belirlenen örneklerde kil boyutu incelemeleri yapılmıştır. Kil boyutu incelemeleri için kırılmış örneklerden yönlendirilmiş numuneler hazırlanmıştır. Bunun için -250 µm tane boyutuna getirilmiş yaklaşık 20-30 gr örnek, 1000 cc'lik cam veya polietilen ölçekli bir kaba konularak tartılır. Sonra 55 cc saf su eklenir ve mekanik karıştırıcı ile yaklaşık 10 dakika (1500 dk-1) karıştırılır ve 20 °C'de 1 saat sedimentasyon için tozsuz bir ortamda bekletilir. Üstteki berrak seviye boşaltılır. Daha sonra süspansiyonun yüzeyinden itibaren 5 cm derinlikten 5-10 ml kadar solüsyon pipetle çekilerek analiz için saklanır. Bu şekilde sadece <2µm boyutlu taneler elde edilmiş ve kil mineralleri bakımından maksimum zenginlik sağlanmış olunur (Brown 1972, Brindley ve Brown 1980, Saka 1997).

Hazırlanan yönlendirilmiş numunelere bir dizi standart tali işlemler uygulanarak kil minerallerinin özellikle düşük 2θ° açılı bölgedeki bazal kırınımalarında yapay değişimler meydana getirilmeye çalışılmıştır. Bu yapay değişimlerin sistematik incelenmesi ile kırınım profilleri benzer kil minerallerinin birbirinden ayırt edilmesi ve kesin tanımlaması yapılmıştır. Yönlendirilmiş örneklerle aşağıdaki standart işlemler uygulandıktan sonra XRD çekimi yapılmıştır.

a) Etilen glikol ile muamele: Etilen glikol (sıvı veya parça) içeren ağzı açık bir kabın yerleştirildiği etüvde (60 °C ısıya ayarlanmış) en az 1 saat bekletilmesi ile gerçekleştirilir. Ancak bu işlem sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli husus; etüvden alınan numunenin kısa ve her zaman aynı zaman aralığında XRD analizinin yapılmasıdır.

b) 550 °C’de ısıyla muamele: Isıl işlemler etilen glikol işlemine tabi tutulmuş aynı numunenin sıcaklığı hassas (± 5 °C) fırında en az 1 saat bekletilmesi ile gerçekleştirilir. Burada da ısıl işlemten sonra 15–20 dakika kadar numune soğuduktan hemen sonra XRD analizinin yapılması önemli bir husustur. İnceleme alanına ait örneklerin XRD analizleri AKÜ Teknoloji Uygulama Araştırma Merkezi (TUAM)’nde Shimadzu XRD-6000 model X-ışını kırınımı cihazı (Ni filtreli, CuK α radyasyonlu) kullanılarak yapılmıştır (Resim 3.4). Analizlerde 40 kV (voltaj) ve 30 mA (akım) difraksiyon değerleri seçilmiştir. Numuneler 2°/dk’da taranarak 2°-70° (2 θ) goniometre kırınım açısı aralığın da 2000 cps (intensity) pik yoğunluğunda analiz edilmiştir.



Resim 3.4 Shimadzu XRD-6000 model X-ışını kırınımı cihazı.

3.3 Jeokimyasal İncelemeler

Jeokimyasal analizler için örnekler AKÜ Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarında halkalı değirmen yardımıyla öğütülerek -100 μ m tane boyutuna gelmesi sağlanmıştır.

Öğütülen kayaç örnekleri ana, iz ve nadir toprak element analizleri ACME (Kanada) Laboratuvarında bulunan ICP-MS Cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Örneklerin majör oksit ve iz element değişim diyagramlarının hazırlanmasında MacLean ve Kranidiotis (1987) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır. Kayıp ve kazanç değerlerinin belirlenmesinde örneklerle ait kimyasal analiz sonuçlarından ateş kaybı değerleri çıkartılmış ve analiz sonuçları 100 gr'a tamamlanmıştır. Daha sonra her elementin düzeltilmiş miktarları gram cinsinden hesaplanmıştır. Elde edilen değerler yardımıyla örneklerde kütle değişim hesapları yapılmış ve grafik haline getirilmiştir. SiO₂ hesaplamasında kullanılan örnek formül şöyledir;

$$SiO_2 = \frac{SiO_2 (Altere Kayaç)}{Zr (Altere Kayaç)} \times Zr (Taze kayaç) \quad (3.1)$$

Bu formül ile elde edilen değerlerden en az altere olmuş kayaçtaki değerlerin çıkarılması ile her bir elementte meydana gelen kazanç ve kayıp miktarları gram (gr) cinsinden bulunmuştur.

Kil minerali içeren örneklerin oksijen ($\delta^{18}O$) and hidrojen (δD) izotop analizleri Cornell Üniversitesi Duraylı İzotop Laboratuvarında yapılmıştır. Örnekler analiz öncesi zenginleştirilerek, kil minerallerince zengin örnekler hazırlanmıştır. Zenginleştirme işlemleri sonrası örneklerin XRD analizleri yapılarak, zenginleştirme işlemi kontrol edilmiştir.

3.4 Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Çalışmalar

İnceleme alanında örnekleme için Yassıyan mevki Alıçlı Dere de bulunan 1.053 metre rakımlı X:0290014 Y:4283666 ile 1.044 metre rakımlı X:0290152 Y:4283722 lokasyonlardaki 2 adet soğuk su kaynağı sondaj noktasında (Resim 3.5), elektriksel iletkenlik, pH ve Eh ölçümleri yapılmıştır. Su sıcaklıkları ile pH, Eh ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri Hach-Lange portatif HQ40D multi ölçüm cihazı ile iletkenlik ve pH elektrotları kullanılarak yapılmıştır. Ölçümlerden önce, cihaz EC ve pH standart çözeltileriyle kalibre edilmiştir.



Resim 3.5 Soğuk su kaynağı sondaj noktası.

Majör anyon analizleri için örnekler 2 adet 250 ml’lik polipropilen şişeye alınmış ve bu örnekler analiz başlangıcına kadar +4°C altındaki sıcaklıklarda korunmuştur. Katyon ve iz element analizleri için örnekler 100 ml’lik polipropilen şişelere filtre edilerek (~0,40 µm) alınmış, daha sonra numunelere ultra saf HNO₃ eklenerek pH değerinin 2 ve altına inmesi sağlanmıştır.

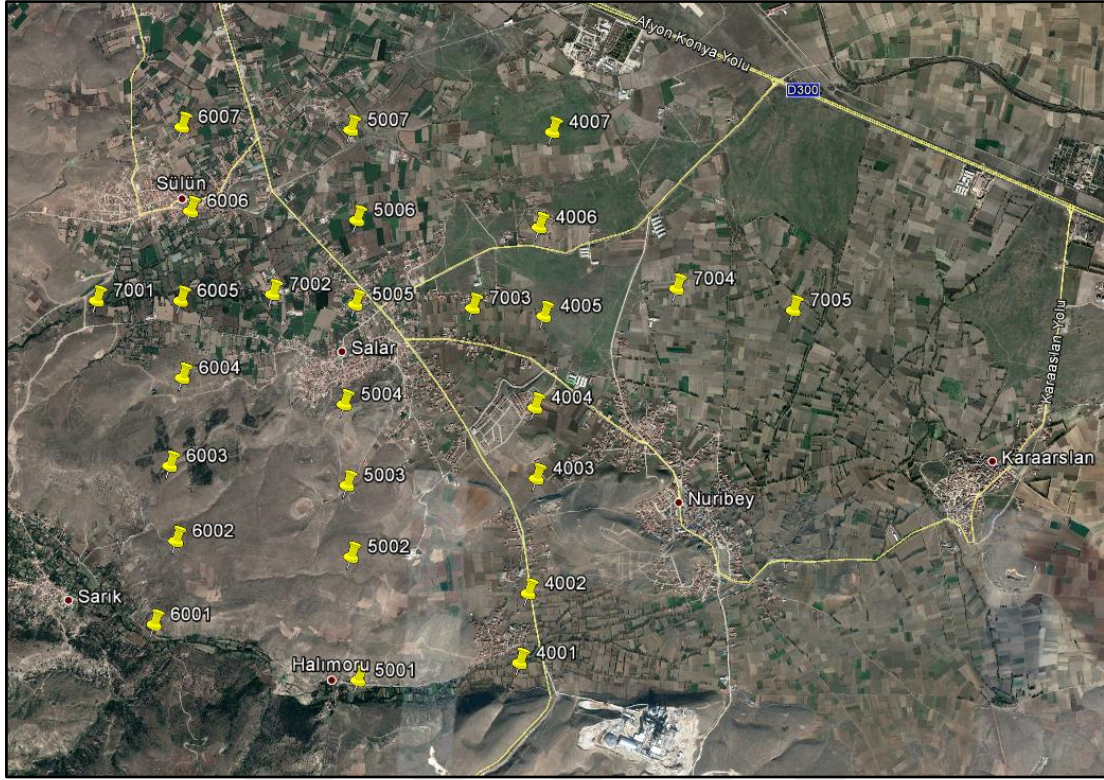
Hazırlanan su numuneleri, anyon ve katyon analizleri için Hacettepe Üniversitesi “Su Kimyası ve Çevresel Tritiyum” laboratuvarına gönderilmiştir. Sonuçlar PhreeqC (Parkhurst ve Appelo 1999) bilgisayar programı yardımıyla değerlendirilmiştir.

3.5 Manyetotellürik (MT) Ölçüm Çalışmaları

Bu çalışma kapsamında jeotermal aramalarda yaygın olarak kullanılan jeofizik-elektromanyetik yöntem olan Manyetotellürik (MT) yöntem kullanılmış olup, tez çalışması kapsamında MT ölçümü yapılan noktaların koordinatları Çizelge 3.1’de dağılımları ise Şekil 3.1’de verilmiştir.

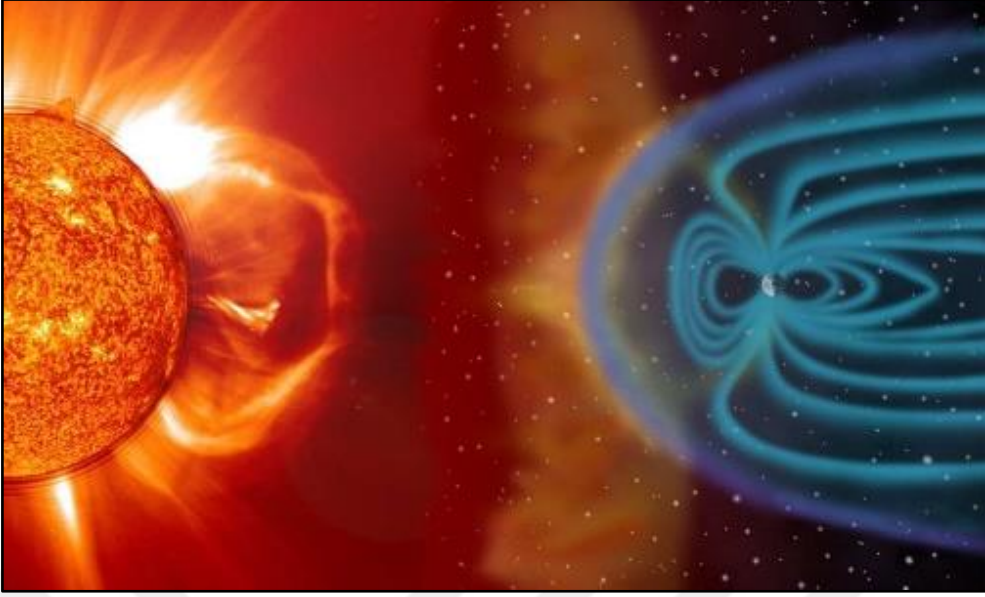
Çizelge 3.1 Manyetotellürik (MT) ölçüm yapılan noktaların koordinatları (ED50).

Profil		Nokta			
Nosu	Doğrultusu	Nosu	Enlemi (X)	Boylamı (Y)	Rakımı (m)
4	Güney - Kuzey	4001	0291600	4282194	1052
		4002	0291660	4282790	1043
		4003	0291709	4283773	1026
		4004	0291682	4284377	1016
		4005	0291742	4285160	998
		4006	0291685	4285917	997
		4007	0291781	4286732	997
5	Güney - Kuzey	5001	0290217	4282015	1078
		5002	0290134	4283070	1102
		5003	0290086	4283679	1043
		5004	0290046	4284369	1104
		5005	0290123	4285224	1013
		5006	0290120	4285943	1004
		5007	0290052	4286712	1002
6	Güney - Kuzey	6001	0288459	4282455	1107
		6002	0288630	4283171	1187
		6003	0288563	4283811	1158
		6004	0288655	4284565	1052
		6005	0288625	4285222	1029
		6006	0288693	4285990	1023
		6007	0288602	4286707	1015
7	Batı – Doğu	7001	0287904	4285208	1048
		6005	0288625	4285222	1029
		7002	0289412	4285295	1016
		5005	0290123	4285224	1013
		7003	0291130	4285215	1003
		4005	0291742	4285160	998
		7004	0292875	4285419	996
		7005	0293879	4285256	1002



Şekil 3.1 Manyetotellürik (MT) ölçüm yapılan noktaların dağılımı.

MT yöntemi, doğal kaynaklı bir jeofizik elektromanyetik yöntemdir. Yöntemi açıklayan ilk çalışmalar Tikhonov (1950) ve Cagniard (1953) tarafından yapılmıştır. Yer manyetik alanındaki değişimlerin kaynağı atmosferde, iyonosferde ve manyetosferde olan olaylardır. Yerin manyetik alanının zamanla değişimi sürekli olarak gözlemlendiğinde çok uzun periyotlardan kısa periyotlara kadar oldukça geniş bir spektrumda olaylar ile karşılaşılır. Kaynağı manyetosfer ve iyonosfer içindeki yüklü parçacıkların titreşimleri olan bu manyetik değişimler ve bunlara bağlı olarak yerküre katmanları içinde indüklenen elektrik akımları yerin doğal elektromanyetik alanını oluşturur. Bu doğal elektromanyetik alan, MT yönteminin kaynağıdır. Yer manyetik alanın değişimi frekansın bir fonksiyonu olarak incelenirse, en zayıf değişim 1 Hz civarında görülür. Bunun nedeni iyonosfer ve manyetosfer de oluşan 1 Hz'in üzerindeki değişimler yere ulaşmadan iyonosfer içinde soğurulmasıdır. 1 Hz'in altındaki EM dalga ise güneşten gelen yükler ile manyetosfer sınırındaki girişimlerden oluşur ve astenosfer içinde yayılırlar (Şekil 3.2).



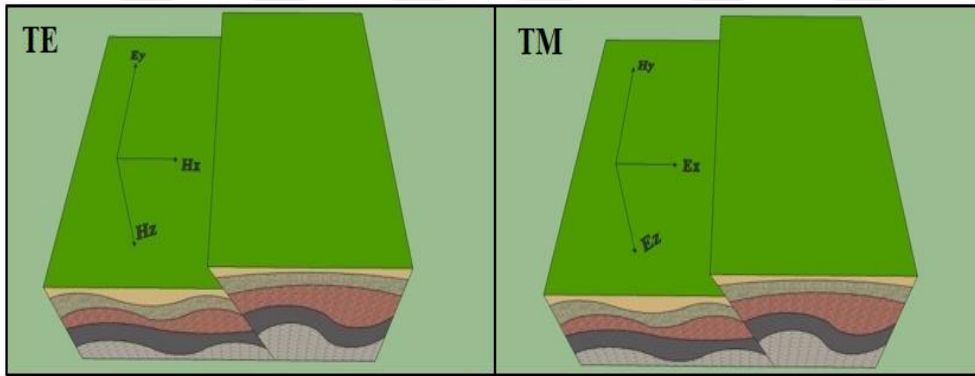
Şekil 3.2 Güneşten gelen yüklü parçacıklar ile yer manyetik alanının etkileşimi (İnt. Kyn. 5).

MT yöntemi, kullanılan frekans aralığına bağlı olarak, birkaç yüz metreden, kilometrelerce derinliğe kadar yer için öz direnç yapısını incelememizi sağlamaktadır (Candansayar 2002).

Arazide MT düzeneğinin kurulacağı yerin gürültülerden dolayı özenle seçilmesi gerekmektedir. Çünkü yakındaki bir elektromanyetik verici, yerin doğal elektromanyetik alanını olumsuz yönde etkileyebilir. Bu durum MT verilerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Gürültünün fazla olduğu bu tür durumlarda, dipol aralıklarının küçük seçilmesi toplanan verinin daha iyi olmasına yardım etmektedir. Bunun yanı sıra bazı dönemlerde, güneşten gelen elektromanyetik sinyalin az olmasından dolayı, ölçü düzeneği yeri seçimi çok iyi olsa bile, veri toplayamama gibi durumlarla da karşılaşabiliriz. Bu durumda ise dipol aralıklarının büyük seçilmesi veya MT aletinden elektrik ve manyetik alan genliğinin artırılması yararlı olmaktadır. MT yönteminde ölçü alımı zamana karşı alındığı için, daha derin bilgi edinebilmek için daha fazla zamana ihtiyaç vardır. Örneğin kabuk çalışmalarında arazide ortalama 48 saat ölçü alınmalıdır. Fakat jeotermal sahalarda ölçü alım süresi ekonomi açısından daha kısaltılabilir. 6 - 24 saat jeotermal araştırmalar için idealdir. MT yöntemde genelde iki türlü arazi düzeneği kullanılmaktadır. Bunlar “+” veya “L” şeklindedir. “+” şeklinde arazi düzeneği Şekil 3.3’de ve “L” şeklinde arazi düzeneği Şekil 3.4’de verilmektedir.

MT verileri genel olarak bir doğrultu boyunca ölçülür ve ölçülen veriler 2B ters çözüm algoritmaları kullanılarak yorumlanır. MT verilerinin 2B ters çözümünde, empedans tensörünün 3-boyutluluğu göz önünde bulundurmak gerekir. Bu yüzden, sabit olduğu kabul edilen yer-elektrik doğrultu belirlenmelidir. Yer elektrik doğrultusu bulunması için ayrıştırma yöntemleri kullanılır.

Ayrıştırma yöntemlerinden en çok tercih edilenler: Groom ve Bailey (1989) tarafından yapılmış (G&B) ayrıştırma analizi ve McNeice ve Jones (2001) tarafından geliştirilmiş ‘strike’ kodudur. Frekans bağımlı etkilerden kurtulma amaçlı yapılan her iki yöntemin birleştirilmiş hali ise Özyıldırım (2010) tarafından geliştirilmiş, FNIDEC algoritmasıdır. 2-B durum için elektrik alanın iletkenlik doğrultusuna (jeolojik doğrultuya) paralel (TE) ve manyetik alanın jeolojik doğrultuya paralel (TM) olduğu iki modda çözüm yapılabilir (Şekil 3.5). TE modu için manyetik alanın y bileşeni ile elektrik alanın x ve z bileşeni, TM modu için ise manyetik alanın x ve z bileşeni, elektrik alanın ise y bileşeni sıfır kabul edilir.



Şekil 3.5 TE modu ve TM modu gösterimi.

Daha sonra seçilen bu empedans tensörü ile görünür öz direnç ve faz değerleri hesaplanarak 2B ters çözümde kullanılır (Özyıldırım 2010; Yıldız ve Başaran 2021).

4. BULGULAR

4.1 İnceleme Alanının Jeolojisi

4.1.1 Stratigrafi

1/25000 ölçekli Afyon-K25-d1 ve Afyon-K25-d2 paftalarında yer alan çalışma alanı, Afyonkarahisar ili merkez ilçesine bağlı olup, yaklaşık 84 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanının içerisinde Afyonkarahisar merkez ilçesine bağlı; Salar, Sülün ve Nuribey Belediyeleri ile Karaarslan, Halımoru ve Sarık köyleri bulunmaktadır. Çalışma alanı merkezi konumunda olan Salar Belediyesine ulaşım Afyon-Şuhut karayolu ile sağlanmaktadır. Salar Belediyesi Afyonkarahisar'a 10 km uzaklıktadır.

İnceleme alanının temelinde Alt Karbonifer-Üst Devoniyen yaşlı Değirmendere formasyonu yer almaktadır. Bu formasyonun üzerine Permien yaşlı Deresinek formasyonu gelmektedir. Temel kayalar Senozoik dönemine ait volkanik ve sedimanter birimler tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir. Orta-Üst Miyosen yaşlı Afyon volkaniklastikleri metamorfik temel üzerinde yer almaktadır. Orta-Üst Miyosen yaşlı Gebeceler formasyonu Afyon volkaniklastikleriyle yanal ve düşey geçişli olarak bulunmakta ve Özbek Konglomerası ile Köprülü Üyesinden oluşmaktadır. Senozoik yaşlı birimler, Kuvaterner yaşlı alüvyon çökeller tarafından uyumsuz olarak örtülürler. Şekil 4.1'de inceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti, EK-1'de inceleme alanının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası ve EK-2'de ise inceleme alanının jeolojik kesitleri verilmiştir.

ÜST ZAMAN	ZAMAN	DEVİR	DEVRE	FORMASYON	ÜYE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
FANEREZOYİK							Alüvyon
							Alterasyon zonu
							Uyumsuzluk
							Gebeceler formasyonunun gösel tortullaşmasını karakterize eder. Volkaniklastiklerin egemen olduğu ve kireçtaşı ara düzeylerini içeren istifin tabanında soluk yeşil renkli göl kıyısı çökelleri bulunmaktadır.
							Gebeceler formasyonunun havza kenarı tortullaşmasını yansıtır. Birim kanal dolgusu çakıltısı ve çamurtaşı ara düzeyleri kapsayan kumtaşı egemen istifiyle simgelenir.
							Ağırıklı olarak Kocatepe trakitik volkanizmasıyla ilişkilidir. Karasal ve gösel ortamlarda depolanmış kalın ve yanal sürekli piroklastik akma (çoğunlukla blok ve kül akışı) ve epiklastik akma (lahar) düzeylerinden oluşur.
							Uyumsuzluk
							Şeyl ile kuvarsit ara katkılı, neritik karbonatlardan oluşan bu formasyon, kuvarsit, dolomit, beyaz renkli kristalize kireçtallerinden oluşmaktadır.
							Uyumsuzluk
							Formasyon başlıca klorit, serisit, kuvarşist, fillit ve yeşil renkli, silt şeklinde volkaniklerden oluşmakta, kuvarsit ile kristalize ve dolomit ara katkılarını içermektedir.

Şekil 4.1 İnceleme alanının genelleştirilmiş dikme kesiti.

4.1.1.1 Değirmendere Formasyonu

Yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş kırıntılı ve karbonatlardan oluşan formasyonu Metin vd. (1988) Çay grubu, Özgül vd. (1991) ise Değirmendere formasyonu olarak adlandırmışlardır. İnceleme alanın güneydoğusunda yaklaşık 0,5 km²'lik alanda mostra vermektedir.

Formasyon başlıca klorit, serisit, kuvarşist, fillit ve yeşil renkli, sil şeklinde diyabaz türü volkaniklerinden oluşmakta, kuvarsit ile kristalize kireçtaşı ve dolomit ara katkılarını içermektedir. Şist ve fillit gri, yeşil, mor renklerde olup yer yer kloritleşme ve serisitleşme gelişmiştir. Şistozite ve çizgisellik gelişmiştir. Mor renkli kuvarsitler, 5 – 10 cm boyutlarında iyi yuvarlanmış kuvars çakılları içermektedir.

Değirmendere formasyonu allohton konumlu Çay Birimi'nin en yaşlı kaya birimini oluşturur. Bu yüzden alt dokanağı aynı zamanda Çay Birimi'nin de tektonik sınırırır. Sultandağı Birimi'ne ait kayaçların üzerine tektonik dokanakla yerleşmiştir. Alt dokunağının her yerde tektonik oluşu nedeniyle gerçek kalınlığı bilinmemektedir. Yüzeyleme kalınlıkları sık sık değişmektedir. Kızıldağ köyü kuzeyindeki geniş yüzeylemelerinde 500 m'yi aşan kalınlık göstermektedir. Değirmendere formasyonu fosil içeriği zayıftır. Değirmendere köyünün güneyinde formasyonun kireçtaşı merceklerinde Geç Devoniyen yaşlı Alveolites sp., Favosites sp. ve Disphyllum sp. cinsinden mercanlar görülmektedir. Birimin yaşı Alt Karbonifer - Üst Devoniyen olarak verilmiş olup, Permiyen yaşlı Deresine formasyonu tarafından üstlenmektedir (Öcal vd. 2011).

4.1.1.2 Deresine Formasyonu

Şeyl ile kuvarsit ara katkılı, neritik karbonatlardan oluşan bu formasyon ilk kez Demirkol (1977) tarafından adlandırılmıştır. Uğuz vd. (1996) fosil bulgularına göre Deresine Formasyonunu Eberdere ve Kocatepe formasyonları olarak iki tektonik dilime ayırmışlardır. Formasyon adını Çay – Akşehir ilçeleri arasında, yaygın olarak gözlenen Deresine köyünden alınmıştır. İnceleme alanında Karaaslan Köyü ve çevresinde yaklaşık 6 km²'lik alanda yayılım sunmaktadır.

Formasyon, kuvarsit, dolomit, beyaz renkli kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kireçtaşları genellikle algli, foraminiferli biyomikrit türündendir. Ancak tüm formasyonu etkileyen metamorfizma dolayısıyla kireçtaşları yeniden kristalleşmiş ve ilksel dokusunu önemli ölçüde yitirmiştir. Bazı düzeylerinde metaşeyl ve fillit ara katkılı olan bu kireçtaşları üste doğru killi kireçtaşı ve fillitlere geçiş yapmaktadır. Killi

kireçtaşı birimi, üst düzeylerinde çakmaktaşı yumru ve ara katkılı, açık gri, bej renkli, ince katmanlı kireçtaşı birimini kapsar.

Deresinek Formasyonu çoğu yerde tektonik dokanakla sınırlıdır. Elbis Deresi'nde, Değirmendere formasyonunun kayrak ara katkılı kireçtaşlarının üzerine uyumlu oturur. Formasyonun kalınlığı tam olarak bilinmemektedir. Aslanyarığı Tepesi'nde yüzeyleyen kuvarsit, kireçtaşı ve Girvanella'lı kireçtaşı katmanlarını kapsayan alt düzeyleri 50 – 60 metre kalınlık gösterir. Daha üst düzeylerinin yüzeylediği Deresinek vadisinde toplam 500 metre, Eber Deresi vadisinde ise 750 metre kalınlık sunmaktadır (Öcal vd. 2011).

Deresinek formasyonunun fosil içeriği oldukça düşük olması nedeniyle, formasyonun yaşı hakkında değişik görüşler ileri sürülmüştür. Demirkol (1977) Deresinek Formasyonunun Akşehir ilçesinin Güneydoğusunda Erken Permien, Göçük Dere'de ise Orta-Genç Permien ayırtman fosillerini bulduğunu belirtir. Öztürk (1989), Yaylabeleden formasyonu olarak adlandırmış fosil kapsamı ile de Jura-Kretase yaşta olduğunu belirtmiştir. Formasyonun daha üst düzeyleri ise yer yer yoğun alg kapsamaktadır. Bu fosiller Genç Permieni temsil etmektedir. Deresinek formasyonunun Erken Permien – Genç Permien aralığında çökeldiği anlaşılmaktadır (Öcal vd. 2011).

4.1.1.3 Afyon Volkaniklastikleri

Porfirik lavlar üreten çok fazlı volkanizmanın türevleri olarak çökelen Afyon volkaniklastikleri, Orta Miyosen boyunca sürdüren Afyon alkali volkanizmasının en kalın ve yaygın ürünlerini kapsar. Birim, ağırlıklı olarak Kocatepe trakitik volkanizmasıyla ilişkilidir; karasal ve gölssel ortamlarda depolanmış kalın ve yanal sürekli piroklastik akma (çoğunlukla blok ve kül akışı) ve epiklastik akma (lahar) düzeylerinden oluşur. Kül döküntüsü fasiyesindeki tuf düzeylerinin çoğu Gebeceler gölssel istifinde çökelmiştir. Sülün ve Salar kasabaları ile Halımoru ve Sarık köyleri arasında yaklaşık 17 km²'lik alanda yayılım sunmaktadır.

Genellikle bloklu kül akışı ünitelerinin yeniden işlemiş türevi olduklarından onlarla birlikte bulunan epiklastik kütle akması fasiyesi (lahar), taşıyıcı ajan niteliğindeki sıvılaşmış kül matriks ile değişik konsantrasyonlardaki lav klastlarının birlikte akmasıyla çökelmiştir. Örgütlenmemiş bloktaşı – çakıldaşı litofasiyesindeki moloz akması üniteleri ile simgelenirler. Alt ve üst sınırları belirsiz olan düzeyler metrik kalınlıklardadır. Kül döküntüsü tuf düzeyleri, daha çok Gebeceler gölsel istifi içinde gözlenir. Göl altında asıntıdan çökelmiş olan kül tüfler, değişen oranlarda killeşmiş ve zeolitleşmiştir. Afyon volkaniklastiklerinin uzantıları olarak genç Orta Miyosen gölüne giren piroklastik akma ve kül döküntüsü üniteleri ile yeniden işlemiş türevleri, Gebeceler formasyonunun asıntıdan durulmuş gölsel çökelleri ve kireçtaşlarıyla ardışık yataklanmıştır (Öcal vd. 2011).

Metin vd. (1987) tarafından “Seydiler tüfü” ile birlikte ele alınan “aglomera” üyesi, Afyon volkaniklastiklerinin büyük bölümünü oluşturan kaba volkaniklastlı piroklastik ve epiklastik fasiyesleri kapsamaktadır. Boray vd. (1985) tarafından tanımlanan “İnli Volkanitleri”, Afyon volkaniklastiklerinin Şuhut doğusundaki uzantılarıdır. Akal (2001) Balçıkhisar çevresinde tanımladığı “Balçıkhisar volkanoklastikleri” ve “Başören piroklastikleri”, Afyon volkaniklastikleri ile korele etmek mümkündür (Öcal vd. 2011).

4.1.1.4 Gebeceler Formasyonu

Bölgedeki Orta Miyosen karasal tortullaşmasını yansıtan Gebeceler formasyonu, ilk kez Erişen (1972) tarafından adlandırmıştır. Birimin adı, Tatlı (1973) ile Metin vd. (1987)’de değiştirilmeksizin kullanılmıştır. Tortul istif, yöntemsiz olarak ayrılan alüvyon yelpazesi çökelleri (Özburun konglomerası) ve üstte yer alan volkanosedimanter gölsel kireçtaşı (Köprülü Üyesi) çökellerinden oluşmaktadır. Gebeceler istifi, Afyon volkanizmasının tortullaşmayla yaşıt türevlerini alttan üste değişen oranlarda kapsar. Afyon kuzeybatısındaki Köprülü çevresinde Bayhan ve Zimitoğlu (1996) tarafından tanımlanan “Köprülü Formasyonu”, birim ile stratigrafik olarak karşılaştırılabilir (Öcal vd. 2011). Sülün Kasabası ile Halımoru ve Sarık köyleri arasında yaklaşık 21 km²’lik alanda yayılım sunmaktadır.

a) Özburun Konglomerası: Erişen (1972), “Sarıkayalar konglomera üyesi” ve Tatlı (1973), “Yarımca konglomera üyesi” adlarıyla incelenmiştir. Alttan üste tane boyu incelemesi göstererek, yanal ve düşey yönde volkanosedimanter gölsel çökellere derecelenen örgülü akarsu egemen alüvyon yelpazesi istifi, Gebeceler formasyonunun havza kenarı tortullaşmasını yansıtır. Birim, kanal dolgusu çakıltası ve çamurtaşı ara düzeyleri kapsayan kumtaşı egemen istifıyla simgelenir. Tortul istifin alt bölümünde yoğunlaşan çakıltası, soluk sarımsı gri renkli, üste doğru tane boyu incelmeye gösteren ve kalınlığı birkaç metreyi geçmeyen yanal süreksiz masif düzeylerden oluşur. İri çakıl içerikli ufak çakıltısıyla başlayan düzeyler, yanal ve düşey yönde seyrek çakıllı kumtaşına derecelenme gösterir. Masif ve kötü boylanmış olan çamurtaşı düzeyleri, kumtaşı egemen istifinde az oranda bulunur.

Orta Miyosen tortullaşmasının başlangıcını yansıtan birim, Paleozoik metamorfizmaları ile Seydiler İgnimbiritleri’ni uyumsuzlukla örter. İncehisar çevresinde, Karakaya volkanizmasının erken dönemini yansıtan çok katlı lav yaygıları, peperitik dokanaklar oluşturarak alüviyal çökeller üzerine akmıştır. Gebeceler formasyonunun gölsel çökelleri, yanal-düşey geçiş ilişkisiyle alüviyal istifin üzerine gelir. Bulgu düzeyinin kronostratigrafik pozisyonuna göre, Gebeceler alüviyal tortullaşması bağıl olarak 13.5 My’den daha yaşlı kabul edilmiştir (Öcal vd. 2011).

b) Köprülü Üyesi: Gebeceler formasyonunun gölsel tortullaşmasını karakterize eden birim Halımoru ve Sarık köyleriyle Salar ve Nuribey kasabaları arasında kalan alanda yaklaşık yatay tabakalar halinde yayılım sunmaktadır.

Birim, Afyon volkaniklastiklerinin gölsel ortamda çökmesi sonucu meydana gelmiştir. Volkaniklastiklerin egemen olduğu ve kireçtaşı ara düzeylerini içeren istifin tabanında soluk yeşil renkli göl kıyısı çökelleri bulunmaktadır. Volkanoklastikler 2,5 - 10 m arasında kalınlığa sahip kaynaklanmamış bloklu kül akışı seviyelerinden oluşmaktadır. Bu seviyeler trakitik bileşimli kül/lapilli ve tuf matriks içinde düzensiz olarak bulunan aynı bileşimdeki lav parçalarından oluşmaktadır. Epiklastik akma (lahar) düzeylerinin kaba bileşenleri, genellikle trakit, aynı bileşimli piroklastik ve az oranda havza içi sedimanter kayalardan meydana gelmektedir. İstif içinde değişik oranlarda bulunan

volkanik kumtaşı düzeyleri çoğunlukla masif, nadiren çapraz katmanlı ve metrik kalınlıklardadır. Üst seviyede istif, kalınlığı 15 metreden fazla olan üst kireçtaşı düzeyi ile son bulmaktadır. Kalınlıkları 1 - 10 metre arasında değişen kireçtaşı ara düzeyleri onlarca kilometre yanal devamlıdır. Öcal vd. (2011), gölsel tortullaşmanın sonunu belgeleyen üst kireçtaşı düzeyinin, Geç Miyosen uyumsuzluğunun yarattığı aşındırma nedeniyle birkaç metrelik kalınlıklara kadar indirgendiğini, istif içinde seyrek olarak yer alan ve kalınlıkları birkaç metreyi aşmayan kireçtaşı ara düzeyleri yanal olarak sürekli olduğunu ve istifteki kireçtaşı düzeylerinin volkanizmadaki durgunluk evrelerini yansıttığını söylemiştir. Blok ve kül akışı seviyelerinin üzerinde yer alan kireçtaşı düzeylerinin kalınlıkları yanal yönde değişiklik göstermektedir. Kireçtaşları, orta-kalın-çok kalın paralel tabakalı katmanlı, beyazımsı gri renkli, yersel erime boşluklu, bölümsel ya da tümsel silisleşmiş, silis bantlı ve yumrulu, genellikle mikritik dokulu, yersel gastropod içerikli ve litoklastlıdır (Öcal vd. 2011).

4.1.1.5 Alüvyon

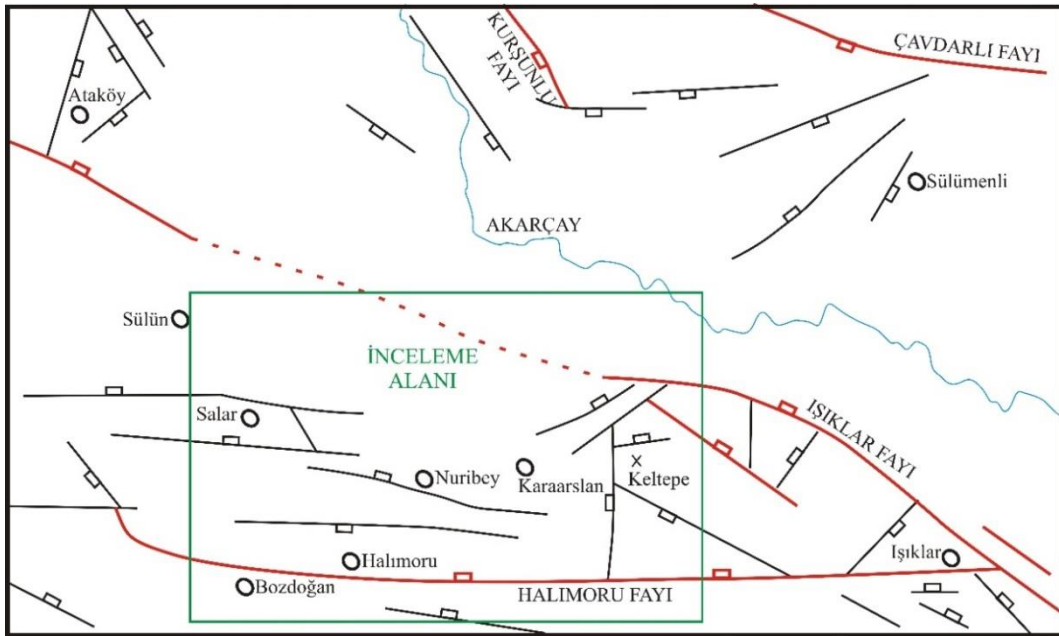
Sülün - Salar - Nuribey çöküntü ovaları, inceleme alanındaki başlıca alüvyon düzlükleridir. Akarsu alüvyonları, aksiyal drenaj sistemlerinin kanal, bar ve taşkın düzlükleri ile besleyici yan kollarından dolgulanmakta olan çökellerden oluşur.

4.1.2 Tektonizma

Afyon-Akşehir grabeni (AAG), kuzeydoğuda yer alan Orta Anadolu ile güneybatıda yer alan Isparta açısını birbirinden ayıran, yaklaşık 4-20 km genişliğinde, 130 km uzunluğunda, KB-GD uzanımlı, aktif olarak büyüyen bir kıtasal rift alanıdır. AAG'ni kuzeyden ve güneyden sınırlayan faylar tipik olarak Pliyo-Kuvaterner öncesi yaşlı temel kayalar ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı modern havza dolgusu arasındaki yapısal dokanağı temsil etmektedirler. 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritasında, AAG'nin kenar fayları, diri fay sınıfında değerlendirilmiştir (Özkaymak vd. 2017).

AAG, Batı Anadolu'daki aktif çöküntü alanlarından birisidir. Havzayı sınırlayan fay düzlemleri üzerinde yapılan paleostres analizleri ve faylar üzerinde ölçülen güncel

açılma çatlakları, AAG'nin Pliyo-Kuvaterner'den beri, D-B ve KD-GB'dan KB-GD yönüne kadar değişiklik gösteren çok yönlü genişlemeli tektonizma etkisinde şekillenmiştir. Genişleme tipi, AAG'nin KB-GD uzanımlı ana graben fayı ile bu faya yüksek açılı uzanan çapraz fayların bağlantıları ile ilişkilidir (Özkaymak ve Sözbilir 2020). Akşehir Grabeni'nin kenar faylarını Akşehir Fay Zonu (AFZ), Hamidiye Fay Zonu (HFZ), Yarımcı Fay Zonu, Fethibey Fay Zonu ve Demirçevre Fay Zonu olarak adlandırılmış olup, Akşehir Fay Zonu (AFZ) bölgedeki en önemli tektonik yapıdır (Koçyiğit ve Deveci 2007). İnceleme alanının tektonik haritası Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 İnceleme alanının tektonik haritası (Koçyiğit ve Deveci, 2007).

Akşehir fay zonu verrev atımlı normal bir faylanma kuşağı olup, AAG'nin güney kenarını sınırlayıp denetlemektedir. AFZ'nin batı kesimi toplam 2-12 km genişlikte, 54 km uzunlukta ve genel olarak BKB gidişli olup, uzunlukları 0.9-28 km arasında değişen 0.2-4 km aralıklı, birbirine paralel uzanan D-B ve BKB gidişli çok sayıda fay segmentinden oluşur ve kuzeye graben içine bakan basamak türü faylanma biçimini oluşturur (Şekil 4.2). İnceleme alanı ve yakınlarındaki Halımoru ve Işıklar fayları Koçyiğit ve Deveci (2007) tarafından tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında ise tanımlanan Salar ve Sülün fayları Halımoru fayıyla birlikte Işıklar fay sisteminin segmentleri olarak değerlendirilmiştir.

4.1.3 Alterasyon Zonlarının Jeolojisi

Jeotermal sistemle ilişkili olan hidrotermal alterasyonun kayalar üzerindeki etkilerinin ortaya konması amacıyla bölgede yaygın olarak bulunan ve ana kayalar özelliği taşıyan Afyon volkanoklastikleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Hidrotermal alterasyon Halımoru Köyü güneyi ile Sarık Köyü yol yarması olmak üzere iki bölgede gözlenmiştir. Her iki bölgedeki alterasyon zonları, Afyon – Akşehir grabenin güney sınırını oluşturan Halımoru fayı ile ilişkili birincil faylar ve bunları değişik açılarla kesen ve ilk kez bu çalışmada tanımlanan Salar fayın kesişim bölgelerinde oluşmuştur.

4.1.3.1 Halımoru Köyü Güneyi

Alterasyon zonu Halımoru Köyü'nün güneyinde ve Kocadüz tepenin kuzey yamacında yer almaktadır. Bölgede kahve, gri, açık gri, krem renkli ve değişik litolojik özelliklere sahip seviyelerden oluşan Afyon volkanoklastikleri bulunmaktadır. Birim belirgin tabakalanma özelliği göstermekte olup, tabakalar K15B/22KD konumlu olarak bölgede yayılım sunmaktadır. Birim K15B/74GB, K10B/65KD, K20D/80GD, K10D/58KB konumlu eğim atımlı normal faylarla bloklara ayrılmıştır (Şekil 4.3). Birimin tabanında süt kahve renkli içinde boyutları 1 – 2 mm ile 3 – 4 cm arasında değişen yoğun volkanik kayalar parçaları ile sanidin kristallerinin bulunduğu kalın tabakalanmalı seviye yer almaktadır.

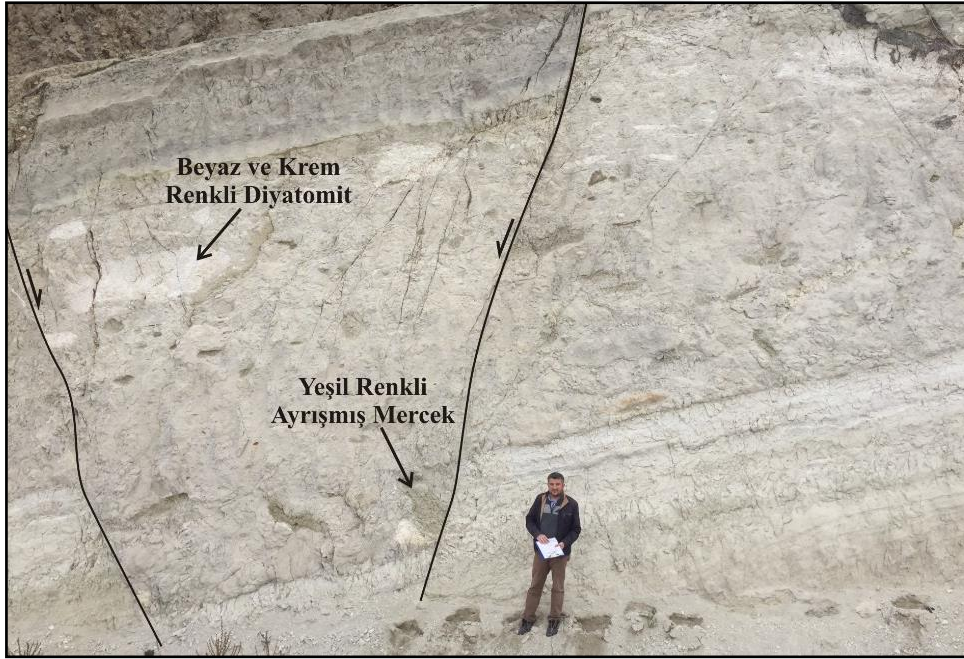
Faylara yakın bölümlerdeki volkanik kayalar parçaları ve kristallerde düşük seviyeli ayrışma izleri gözlenmiştir. Bu seviyenin üzerinde süt kahve ve yeşilimsi renkli, düşük oranda ayrışmış, yaklaşık 4 m kalınlığında seviye yer almaktadır. Bu seviyenin üzerindeki yaklaşık 1,5 m kalınlığında bej, krem renkli tabakanın orta bölümlerinde 40 cm kalınlığında beyaz, krem renkli diatomit seviyesi bulunmaktadır.

Volkanoklastik istifin en üst bölümünü gri renkli ayrışma derecesi düşük olan ve yer yer 5 - 30 cm boyutlarında volkanik kayalar parçaları içeren seviye oluşturmaktadır. Ayrıca bu seviye içinde elipsoidal şekilli, 30 - 40 cm boyutlarında beyaz, krem renkli diatomit ve yeşil renkli ayrışmış merccekler bulunmaktadır (Şekil 4.4). Mercceklerin birim içindeki

yönelimleri ve dağılımları tabakalanma düzlemiyle uyumlu olup, bu bölümlerin volkaniklastiklerin taşınması sırasında oluştuğunu göstermektedir.

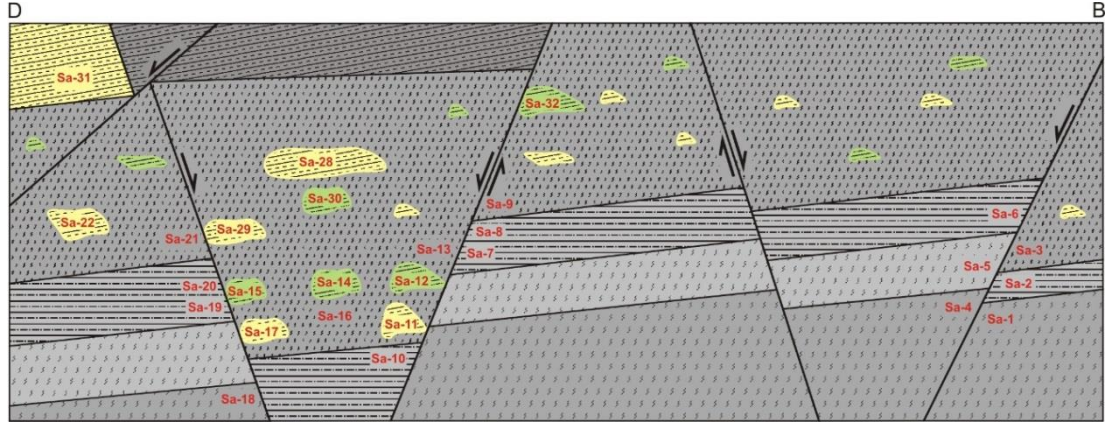


Şekil 4.3 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonundaki eğim atımlı normal fayların görünümü.



Şekil 4.4 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonundaki elipsoidal şekilli ayrılmış mercekler.

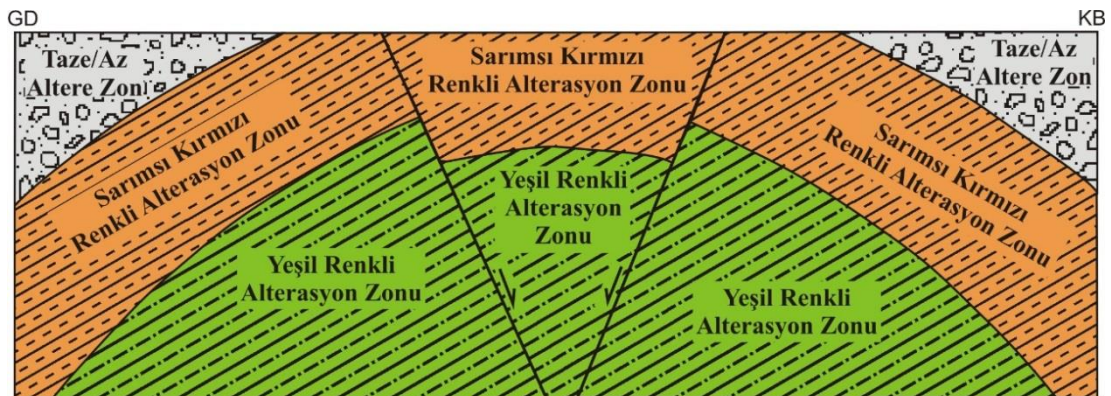
Yukarıda litolojik özellikleri verilmiş olan seviyelerde faylanmaya bağlı olarak gelişen ayrışmanın etkisini gözlemleyebilmek için yanal yönde örnekleme yapılmış ve alterasyon zonunun enine kesiti Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonunun ölçeksiz enine kesiti ve numune noktaları.

4.1.3.2 Sarık Köyü Yol Yarması

Afyon volkaniklastiklerinin geniş yayılım sunduğu bölgede birim blok ve kül akışıyla temsil edilmektedir. Aglomera türündeki volkaniklastiklerde tabakalı yapının hiç gözlenmemesi birimin karasal ortamda depolandığını göstermektedir. Birimde Salar fayıyla uyumlu K20B/50KD ve K25B/52GB konumlu iki fay belirlenmiş olup, söz konusu faylar boyunca birimde yoğun alterasyon gelişmiştir. Alterasyon zonlarının uzanımları fayların doğrultuları ile uyumludur. Yanal yönde söz konusu faylardan uzaklaştıkça alterasyonun şiddeti azalmakta ve ana kayaç dokusu daha belirgin hale gelmektedir. Örnekleme fayların bulunduğu ve alterasyonun merkezinden KD ve GB yönlerine doğru tüm zonları karakterize edecek şekilde yapılmıştır. Bölgede aşağıda litolojik özellikleri verilmiş alterasyon zonları belirlenmiştir (Şekil 4.6):



Şekil 4.6 Sarık köyü yol yarması alterasyon zonunun ölçeksiz enine kesiti.

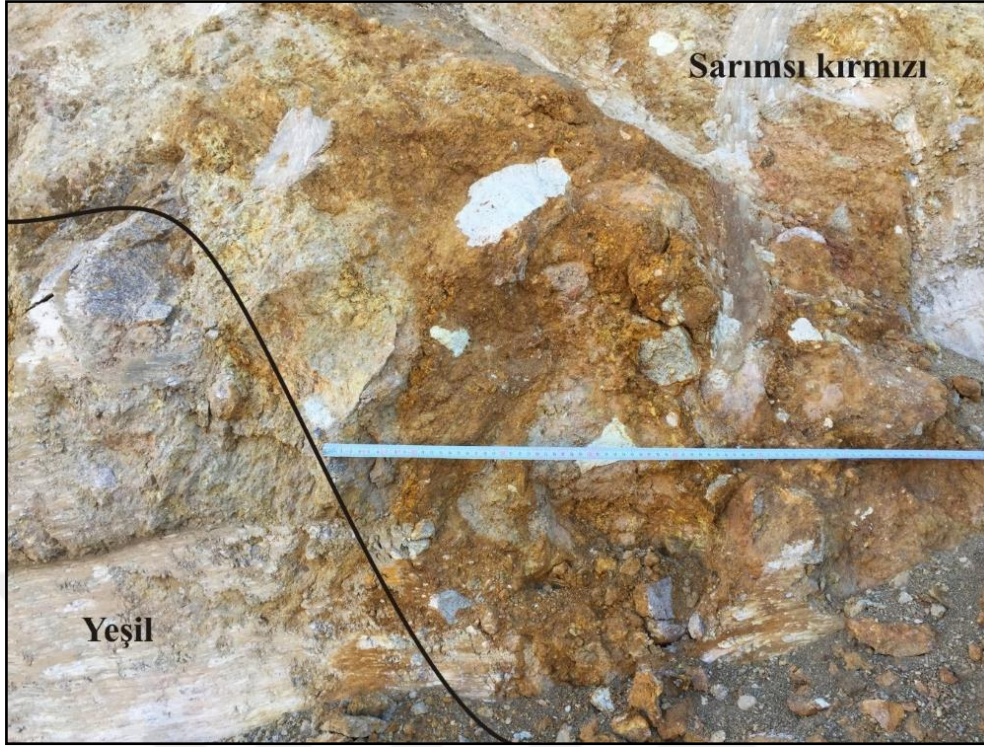
a) **Yeşil renkli alterasyon zonu:** Alterasyon birimin kül boyutundaki matriksini ve

birim içindeki volkanik kayaç parçalarını yoğun bir biçimde etkilemiştir. Yeşil renkli zon bölgedeki alterasyonun merkezinde bulunmaktadır. Kendi içerisinde de yeşil renkli ve açık yeşil renkli iki alt zona ayrılmaktadır. Yeşil renkli zon alterasyon zonunun merkezinde ve fayın dokanağında açık yeşil renkli zon ise bu bölümün dışında bulunmakta olup, ayrışma açık yeşil zona göre yeşil renkli zonda daha fazladır. Yeşil renkli zon içinde K20B/50KD konumlu fay hattı boyunca kalınlığı 5 cm ile 10 cm arasında değişen yeşilimsi siyah renkli bitümce zengin fay dolgusu oluşmuştur.



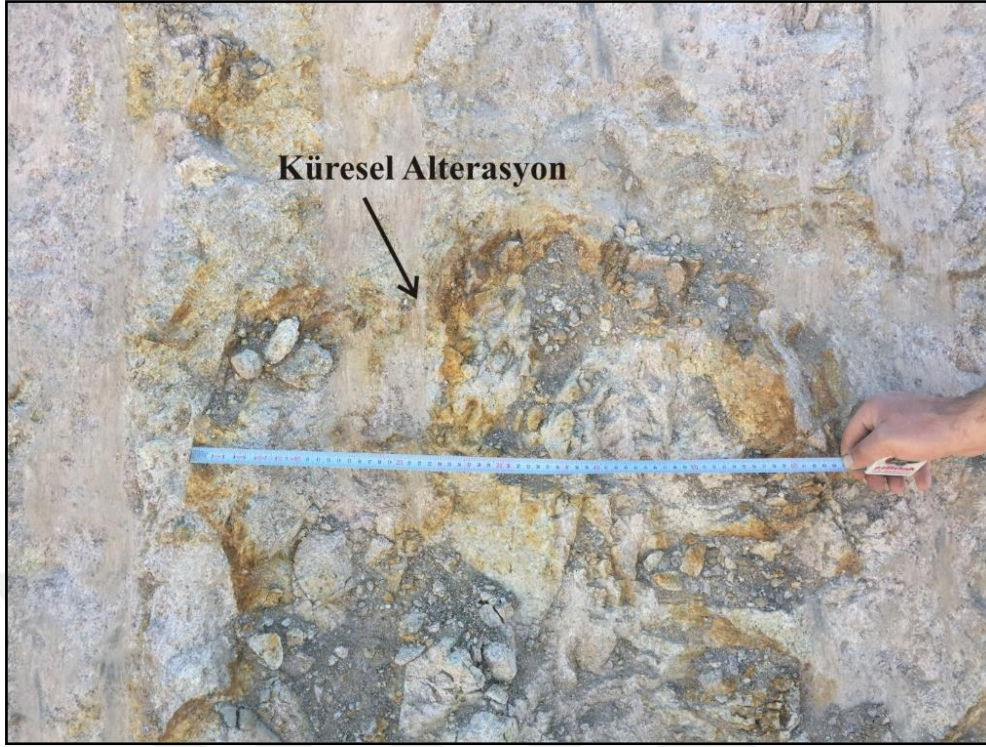
Şekil 4.7 Sarık köyü yol yarması yeşil renkli alterasyon zonu.

b) Sarımsı kırmızımsı renkli alterasyon zonu: Ayrışma birimin kül boyutundaki matriksini yoğun olarak etkilemiş, 1-2 cm ile 30-40 cm arasında değişen boyutlarda birimde yer alan volkanik kayaç parçaları ise ayrışmadan düşük oranda etkilenmiştir. Ayrışmanın etkisiyle zonun rengi sarımsı kırmızı ve kahverengimsi kırmızıya doğru değişim sunmuş olup, bu renk tonunun alterasyon olayında etkili olan eriyiklerin demir bakımından zengin olduğunu göstermektedir. Volkanik kayaç parçalarını genellikle trakit, traki-andezit bileşimli lavlar oluşmaktadır. Bu seviye yanal yönde gri renkli az ayrışmış/taze zona geçiş yapmaktadır.



Şekil 4.8 Sarık köyü yol yarması sarımsı kırmızımsı renkli alterasyon zonu.

c) Gri renkli taze / az altere zon: Gri renkli olan bu zonda ana kayaç dokusu büyük oranda korunmuş olup, ayrısmadan etkilenen bölgelerde renk açık griye doğru değişmektedir. Ayrışma genellikle kül boyutundaki kayaç matriksini etkilemiştir. Kayacı oluşturan sanidin, plajiyoklaz ve koyu renkli minerallerde de düşük ayrışma izlerine rastlanmıştır. Ayrıca bu zonda gözlenen küresel ayrışma izleri bölgedeki alterasyonun kırık kontrollü olarak meydana geldiğini işaret etmektedir (Şekil 4.9). Küresel ayrışma yapısında çatlakların yoğunlaştığı bölümler sarımsı kırmızı diğer bölümler de ise açık gri renk tonu oldukça belirgindir.



Şekil 4.9 Sarık köyü yol yarması gri renkli taze/az altere zon içerisindeki küresel alterasyon.

4.2 Alterasyon Zonlarının Mineralojik Özellikleri

4.2.1 Polarizan Mikroskop İncelemeleri

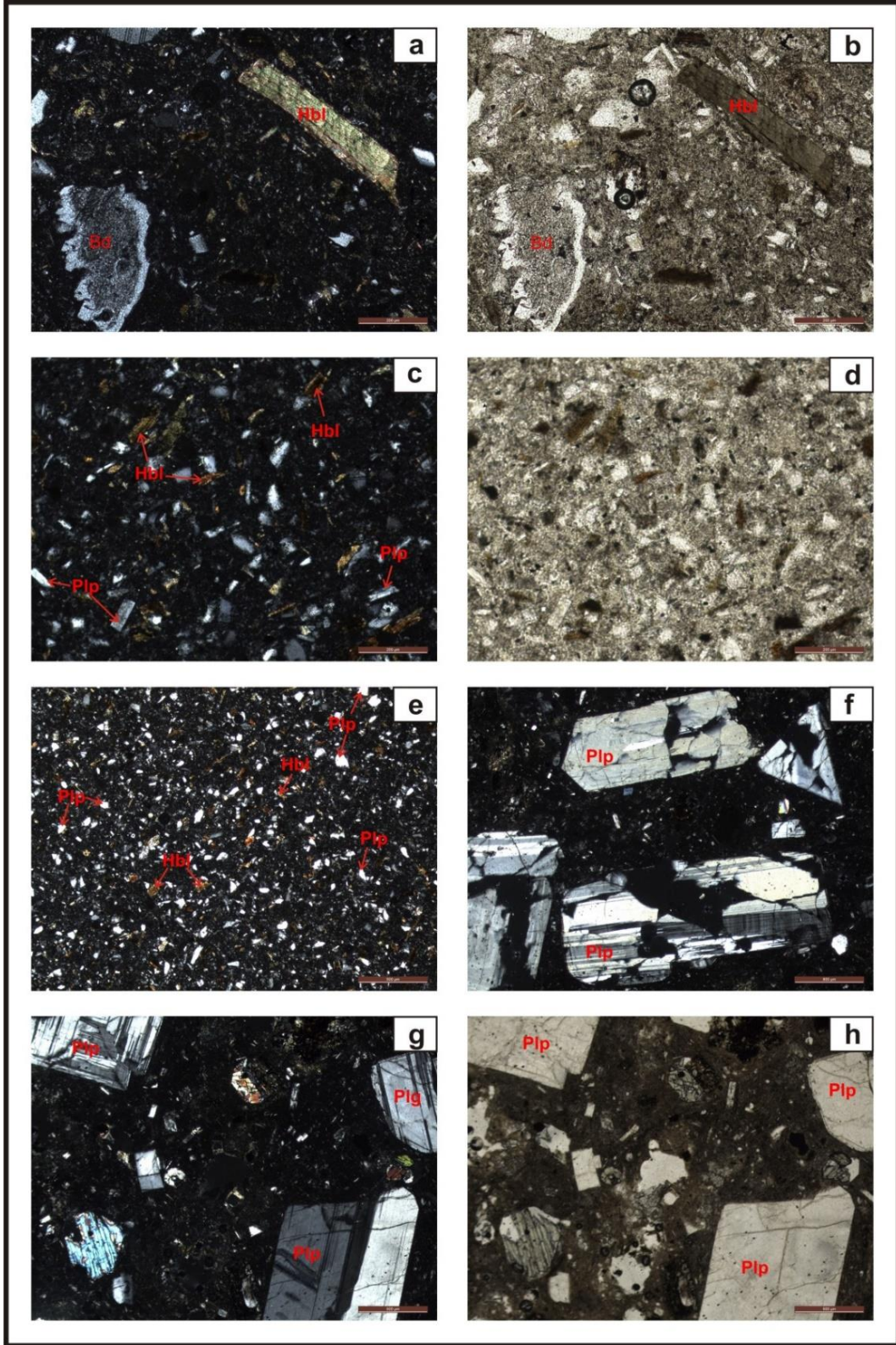
İnceleme alanındaki Halımoru köyü güneyindeki ve Sarık köyü yol yarmasındaki alterasyon zonlarına ait örneklerin mineralojik-petrografik özelliklerinin incelenmesi amacıyla örneklerin polarizan mikroskop incelemeleri yapılmıştır.

Piroklastik kayalarda camsı malzemeden oluşan matris içinde kayacın bileşimine bağlı olarak değişik fenokristaller yer almaktadır. Örneklerde fenokristal olarak plajiyoklas, hornblend ve alkali feldspat mineralleri yer almaktadır. Örneklerde ayrıca boşluk dolgusu şeklinde ikincil mineraller ve kaya parçası gözlenmiştir. Plajiyoklas kristalleri albit ikizlenmesi ile belirgin ve yarı öz şekilli, hornblend ise öz şekilli olup, yer yer ayrılmıştır. Hornblend minerallerinin bazılarının iç bölümden başlayarak bozuştığı ve ortamdaki kaybolduğu gözlenmiştir. Ayrılan malzemenin boşalttığı bölümlerde boşlukların iç çeperi boyunca ikincil demir mineralleri oluşmaya başladığı

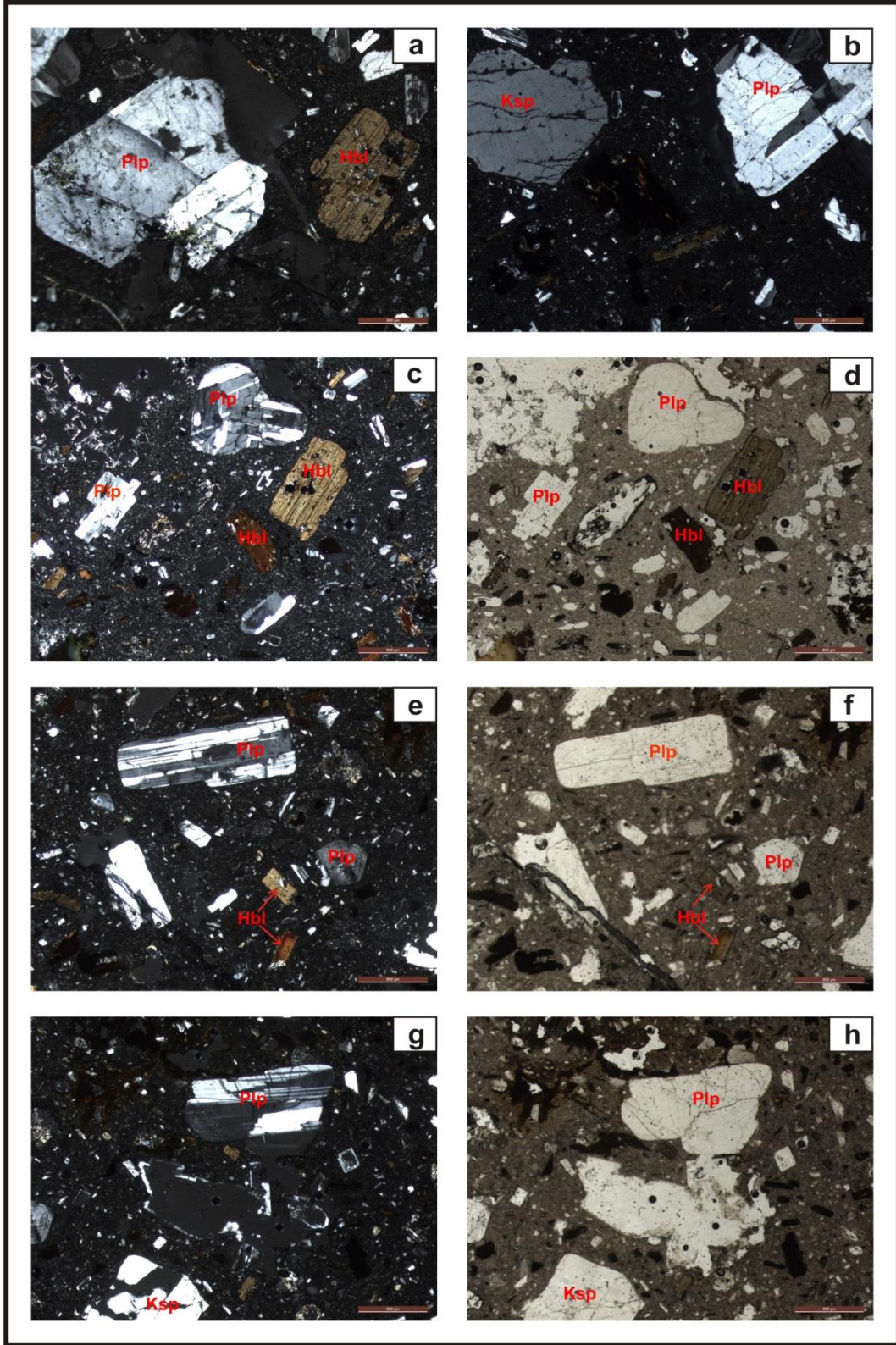
gözlenmektedir. Koyu renkli Hornblend minerallerinde gözlenen parçalanmaların bölgedeki tektonizmayı işaret ettiği söylenebilir (Şekil 4.10).

Örneklerde camsı matris içerisinde yer alan Plajiyoklas ve Hornblend mineralleri aynı doğrultuda uzanım sunmakta olup bu akma dokusunu oluşturmaktadır. Bu akma yapısının patlama veya taşınma sırasında oluştuğu söylenebilir.

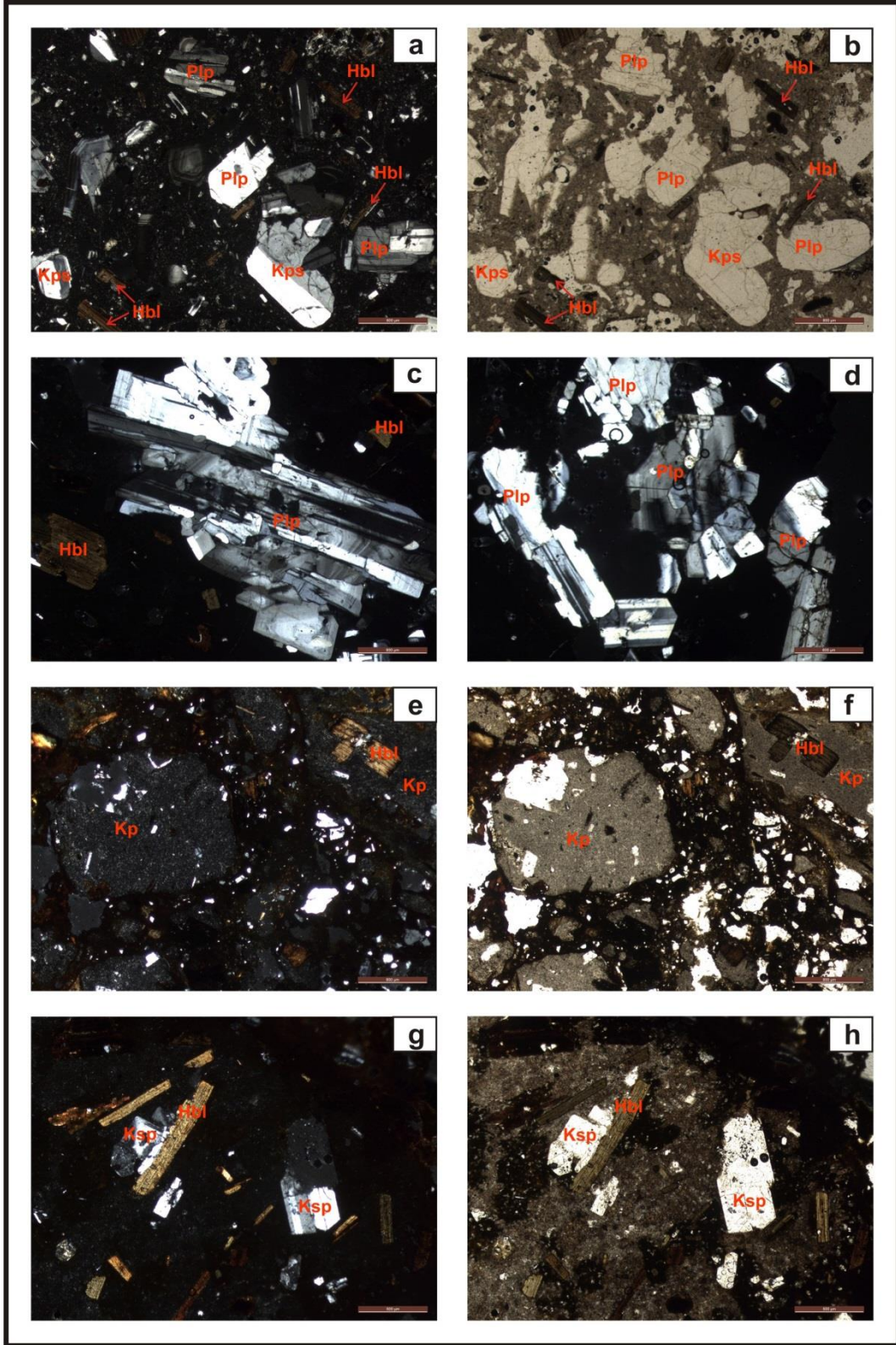
Halımoru köyü güneyi alterasyon zonuna ait örneklerin ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri Şekil 4.10, Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin ise ince kesitlerin polarizan mikroskop görüntüleri Şekil 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.10 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonuna ait örneklerin ince kesit polarizan mikroskop görüntüleri. a) Sa-13 (Ç.N.), b) Sa-13 (T.N.), c) Sa-21 (Ç.N.), d) Sa-21 (T.N.), e) Sa-21 (Ç.N.), f) Sa-24 (Ç.N.), g) Sa-24 (Ç.N.), h) Sa-24 (T.N.), Plp: Plajiyoklas, Hbl: Hornblend, Bd: Boşluk dolgusu



Şekil 4.11 Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin ince kesit polarizan mikroskop görüntüleri. a) Sa-40 (Ç.N.), b) Sa-40 (Ç.N.), c) Sa-40 (Ç.N.), d) Sa-40 (T.N.), e) Sa-43 (Ç.N.), f) Sa-43 (T.N.), g) Sa-43 (Ç.N.), h) Sa-43 (T.N.), Plp: Plajiyoklas, Hbl: Hornblend, Ksp: Alkali feldspat.



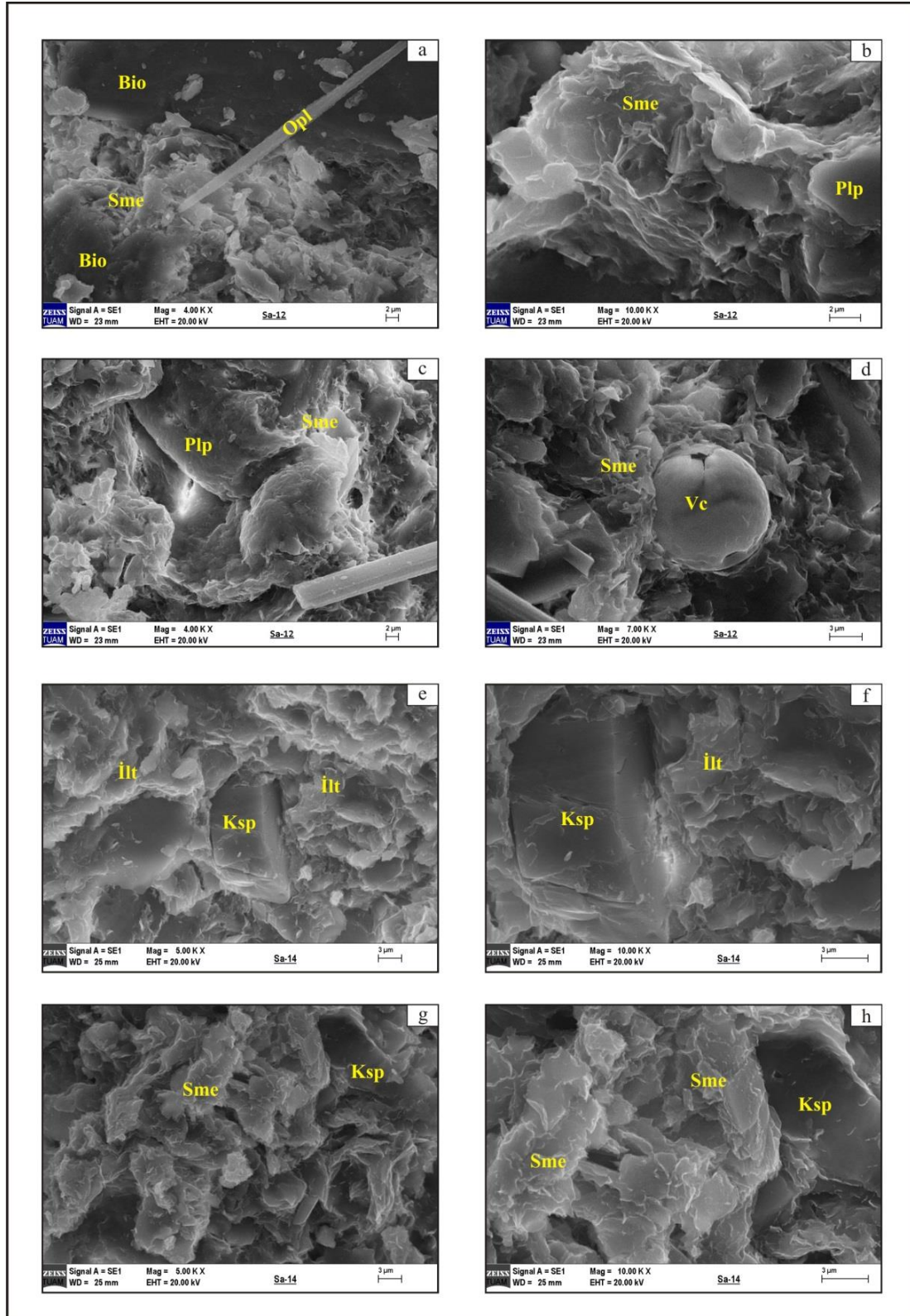
Şekil 4.12 Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin ince kesit polarizan mikroskop görüntüleri. a) Sa-39 (Ç.N.), b) Sa-39 (T.N.), c) Sa-42 (Ç.N.), d) Sa-42 (Ç.N.), e) Sa-38 (Ç.N.), f) Sa-38 (T.N.), g) Sa-41 (Ç.N.), h) Sa-41 (T.N.), Plp: Plajiyoklas, Hbl: Hornblend, Ksp: Alkali feldspat, Kp: Kayaç parçası.

4.2.2 Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) İncelemeleri

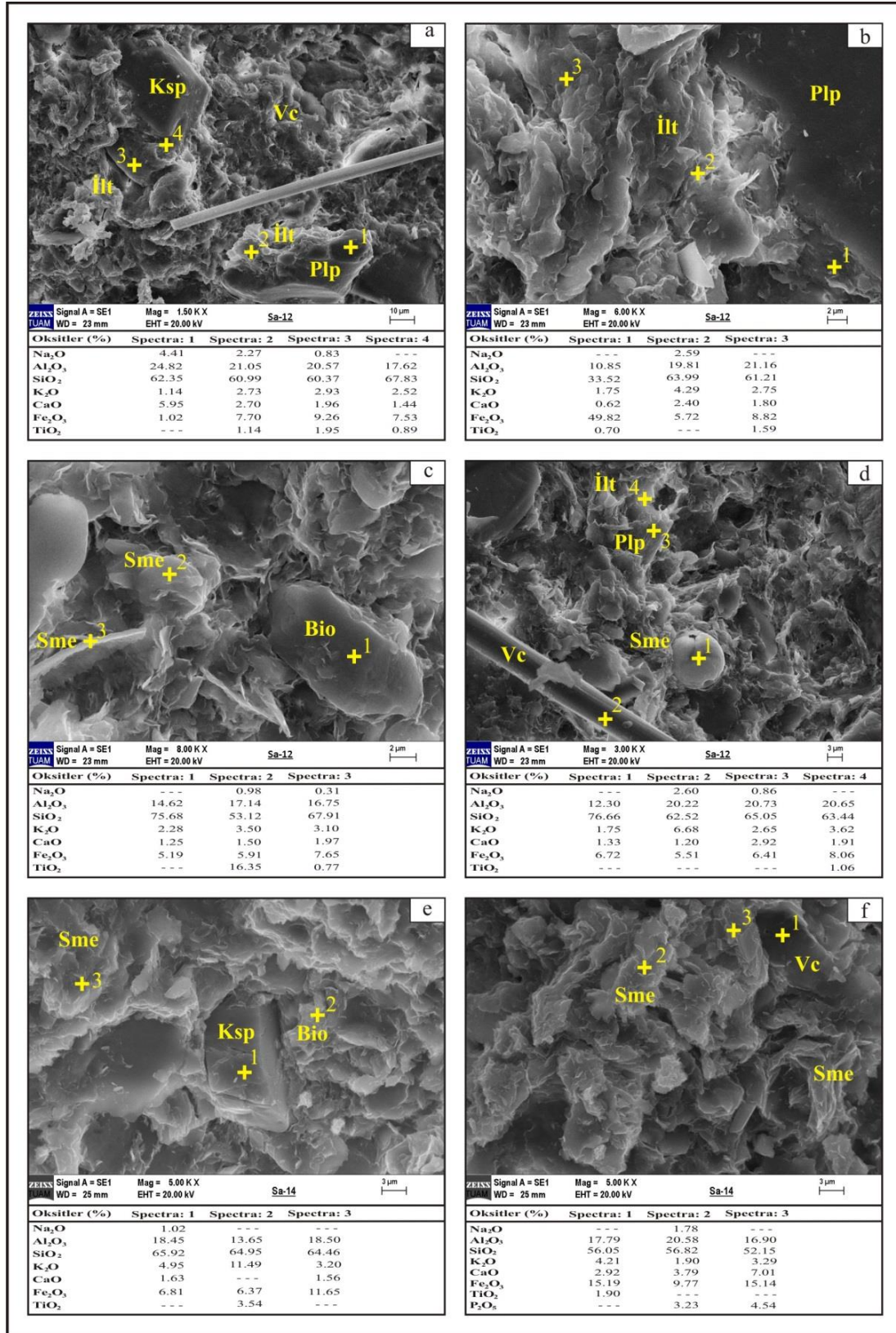
İnceleme alanındaki Halımoru köyü güneyindeki ve Sarık köyü yol yarmasındaki alterasyon zonlarına ait örneklerin morfolojik özelliklerinin incelenmesi amacıyla örneklerin taramalı elektron mikroskobu (SEM)'nda incelemeleri yapılmıştır. Halımoru köyü güneyi alterasyon zonuna ait örneklerin SEM görüntüleri Şekil 4.13 ve Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin SEM görüntüleri ise Şekil 4.15'de verilmiştir. SEM incelemelerinde Plajiyoklas, Simektit, Biyotit, İllit, Alkali feldspat, Opal ve Volkan camı gözlenmiştir.

EDX ölçümlerinde elde edilen SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO pikleri Alkali feldspat, Biyotit, Volkan camı ve Simektit minerallerini işaret etmektedir (Şekil 4.14; Şekil 4.16). Simektit minerallerinde Fe_2O_3 artışı söylenebilir. Biyotit minerallerinde ise CaO azalmakla birlikte bazılarında gözlenmemektedir. EDX ölçümlerinde elde edilen SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO , Na_2O pikleri İllit minerallerini işaret etmektedir (Şekil 4.14; Şekil 4.16).

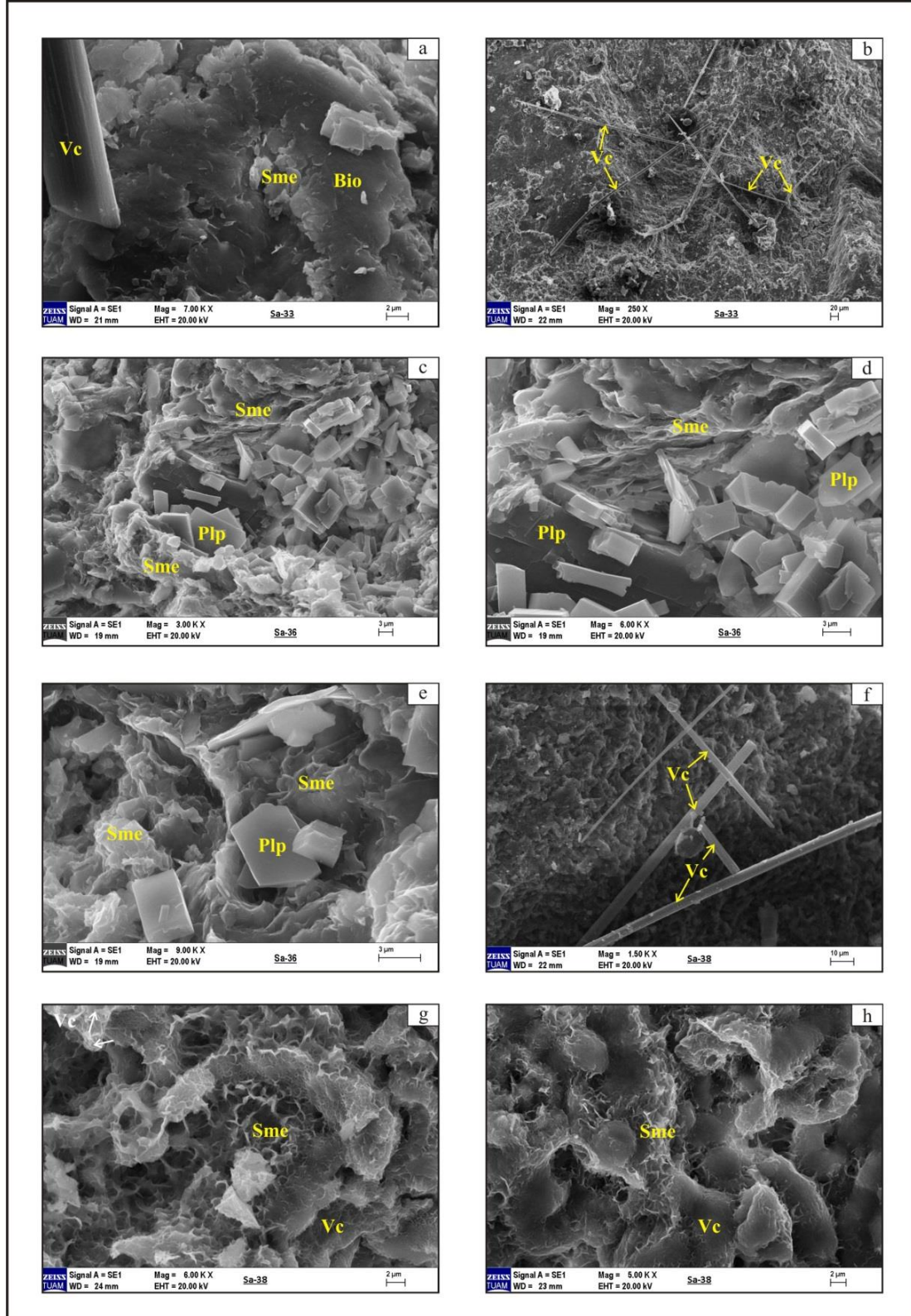
Ayrıca SEM incelemelerinde volkanik cam (Vc) ve alkali feldspat (Ksp) minerallerinde alterasyon izlerine rastlanmıştır. Bu olayın sonucu olarak örneklerde yapraksı simektit (Sme) ve psedohexagonal morfolojide kaolinit (Kao) mineralleri belirlenmiştir. Halımoru köyü güneyi alterasyon zonuna ait örneklerin EDX verileri Şekil 4.14 ve Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin EDX verileri ise Şekil 4.16'da verilmiştir.



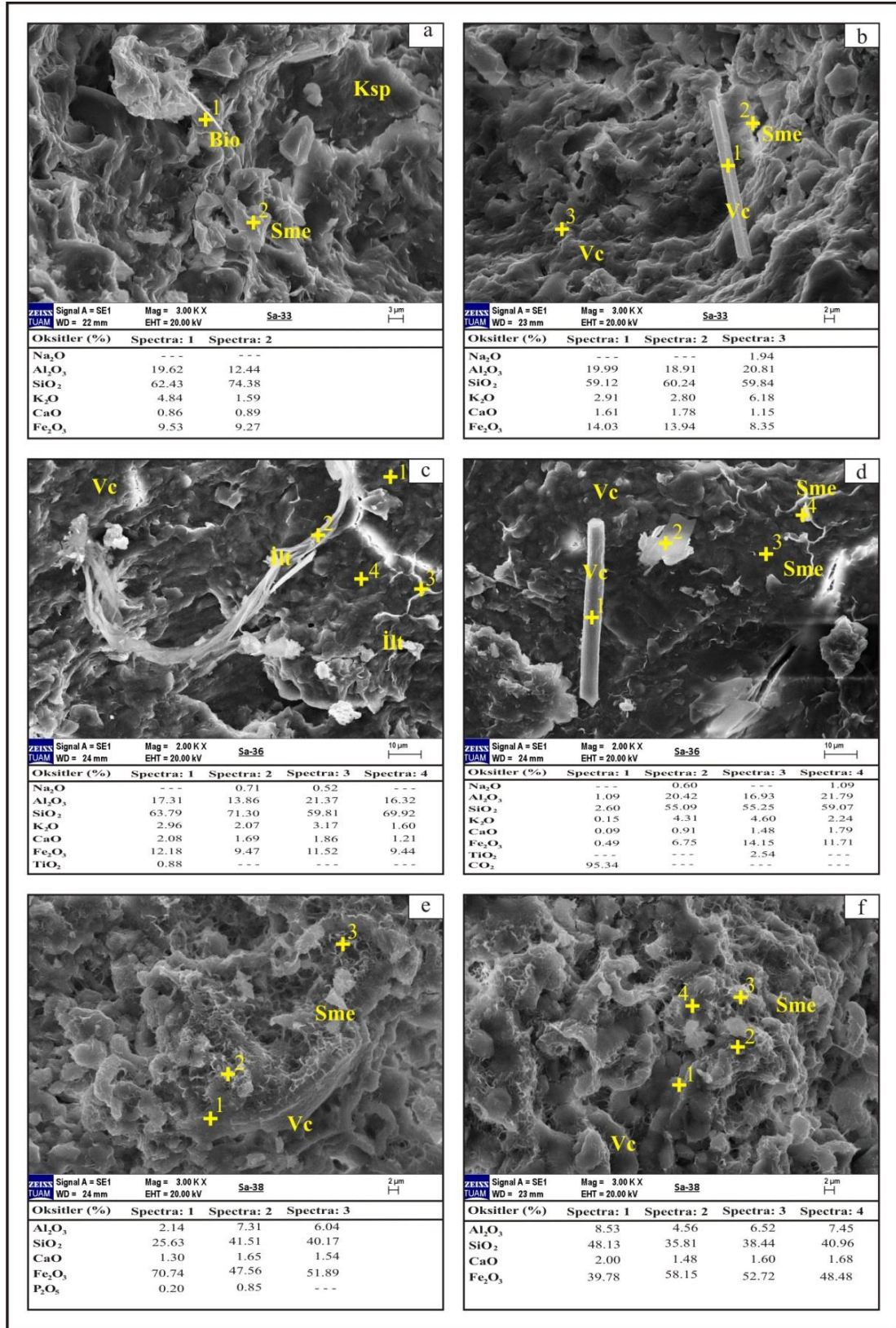
Şekil 4.13 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonuna ait örneklerin SEM görüntüleri. a) Sa-12, b) Sa-12, c) Sa-12, d) Sa-12, e) Sa-14, f) Sa-14, g) Sa-14, h) Sa-14, Plp: Plajiyoklas, Sme: Simektit, Bio: Biyotit, Opl: Opal, Vc: Volkan camı, İlt: İllit, Ksp: Alkali feldspat.



Şekil 4.14 Halımoru köyü güneyi alterasyon zonuna ait örneklerin EDX verileri. a) Sa-12, b) Sa-12, c) Sa-12, d) Sa-12, e) Sa-14, f) Sa-14, Plp: Plajiyoklas, Sme: Simektit, Bio: Biyotit, Vc: Volkan camı, İlt: İllit, Ksp: Alkali feldspat.



Şekil 4.15 Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin SEM görüntüleri. a) Sa-33, b) Sa-33, c) Sa-36, d) Sa-36, e) Sa-36, f) Sa-38, g) Sa-38, h) Sa-38, Plp: Plajiyoklas, Sme: Simektit, Bio: Biyotit, Vc: Volkan camı.



Şekil 4.16 Sarık köyü yol yarması alterasyon zonuna ait örneklerin EDX verileri. a) Sa-33, b) Sa-33, c) Sa-36, d) Sa-36, e) Sa-38, f) Sa-38, Sme: Simektit, Bio: Biyotit, Vc: Volkan camı, İlt: İllit, Ksp: Alkali feldspat.

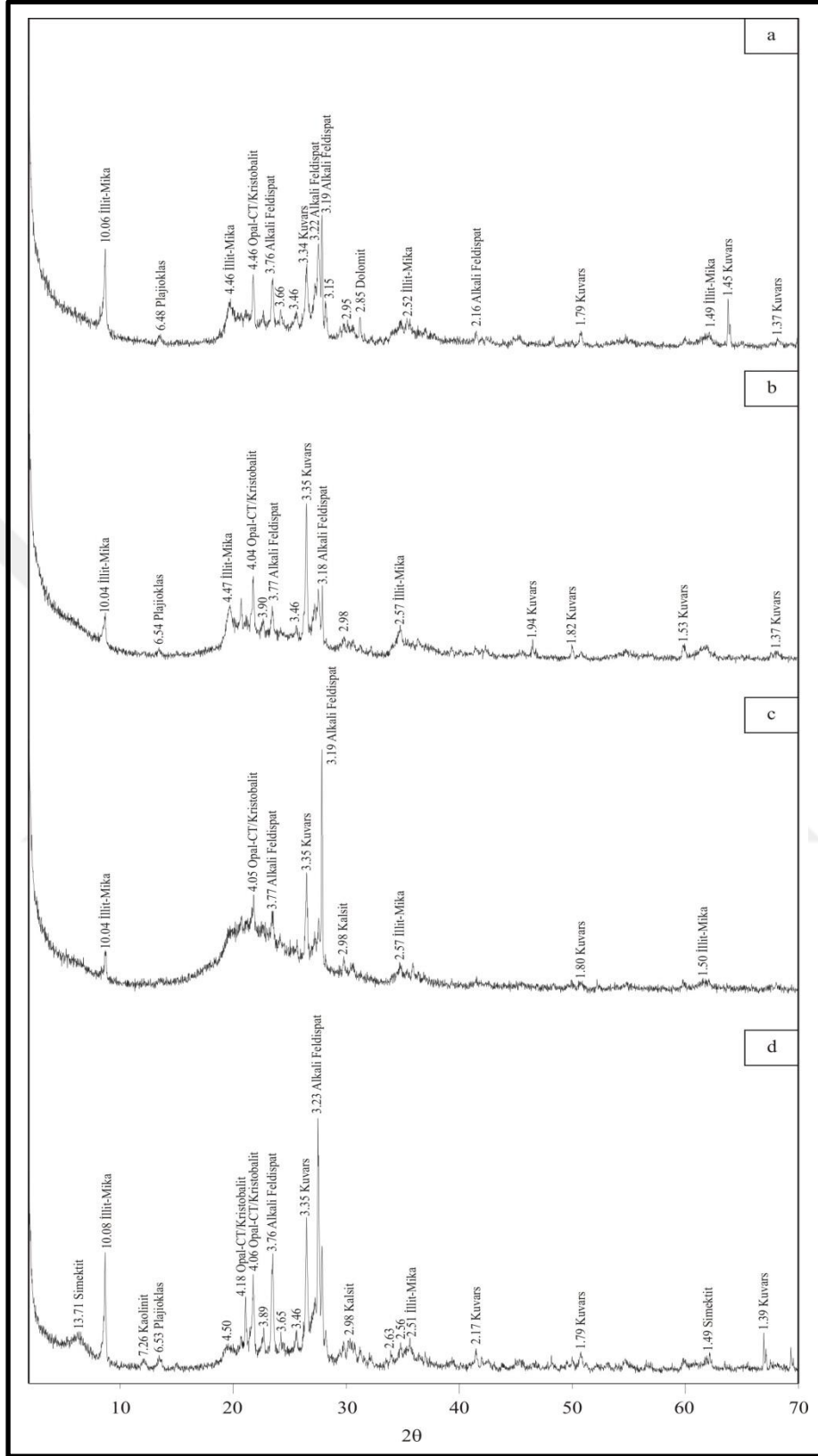
4.2.3 X-Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri

Afyon volkanoklasitiklerindeki alterasyon seviyelerine ait x-ışını kırınımı (XRD) incelemelerinde birimin başlıca illit-mika (I-M), plajiyoklas (Plp), opal-CT/kristobalit (O-K), kuvars (Q) ve alkali feldspat (Ksp) ile az oranda kalsit (Ka), dolomit (Do) ve hematit (Hm) minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Örneklerdeki en önemli alterasyon minerali illit (I-M) ve simektittir (Sme). Bazı seviyelerde bu minerallere az oranda kaolinit (Kao) eşik etmiştir (Çizelge 4.1; Şekil 4.17-4.43). Bu nedenle alterasyon zonları kil minerallerinin türü ve bolluklarına göre; (1): Simektitik+İllitik zon ve (2): Simektit++İllitik±kaolinitik zon olarak iki gruba ayrılmıştır. Mineral birliktelik açısından değerlendirildiğinde, bölgede ortaç ve ileri arjillik alterasyonun etkili olduğu söylenebilir.

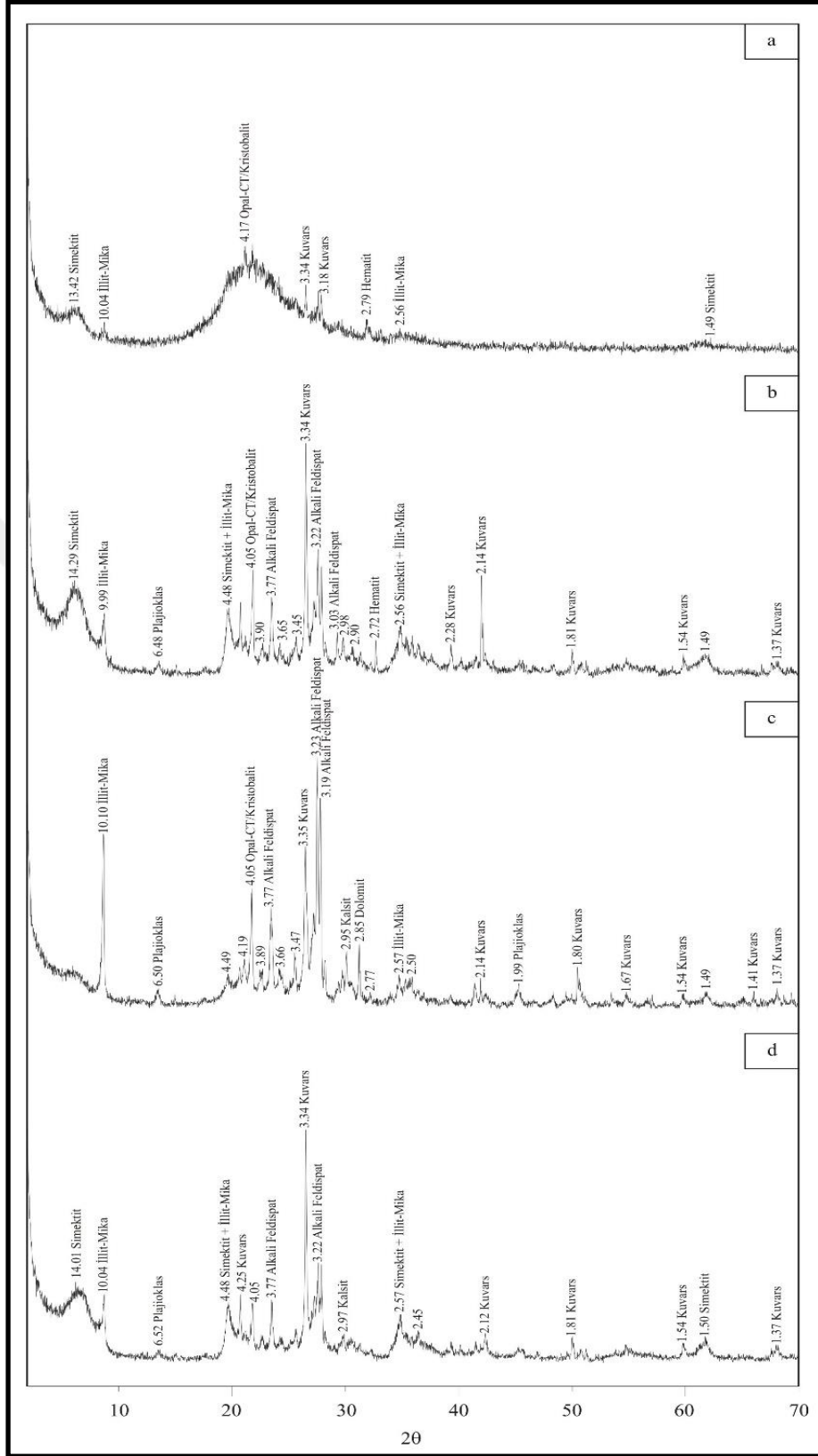
Çizelge 4.1 İnceleme alanına ait örneklerin kalitatif XRD sonuçları.

Alterasyon Zonu	Örnek Kodu	Sme	I-M	Kao	Plp	O-K	Q	Ksp	Ka	Do	Hm
Halımoru Köyü Güneyi	Sa-4		+		+	+	+	+		+	
	Sa-6		+		+	+	+	+			
	Sa-8		+			+	+	+	+		
	Sa-9	+		+	+	+	+	+	+		
	Sa-11	+	+			+	+				+
	Sa-12	+	+		+	+	+	+			+
	Sa-13		+		+		+	+	+	+	
	Sa-14	+	+		+		+	+	+		
	Sa-15	+	+		+	+	+	+			
	Sa-16		+		+	+	+	+	+		
	Sa-17	+	+		+	+	+	+			+
	Sa-18		+			+	+	+	+		
	Sa-21		+		+	+	+	+			
	Sa-22	+	+			+	+	+	+		
	Sa-28		+			+	+	+			
	Sa-29		+			+	+	+			
	Sa-30	+	+		+		+	+	+		
	Sa-32	+	+		+	+	+	+	+	+	
Sarı Köyü Yol Yarması	Sa-33	+	+				+	+	+		
	Sa-34	+	+		+		+	+	+		
	Sa-35	+	+				+	+	+		
	Sa-36	+	+	+			+	+	+		
	Sa-37	+	+				+	+	+		+
	Sa-38	+	+		+	+	+	+	+	+	
	Sa-39		+		+	+	+	+	+	+	
	Sa-40	+	+		+	+	+	+	+	+	
	Sa-41	+	+		+		+	+		+	
	Sa-42		+		+	+	+	+	+		

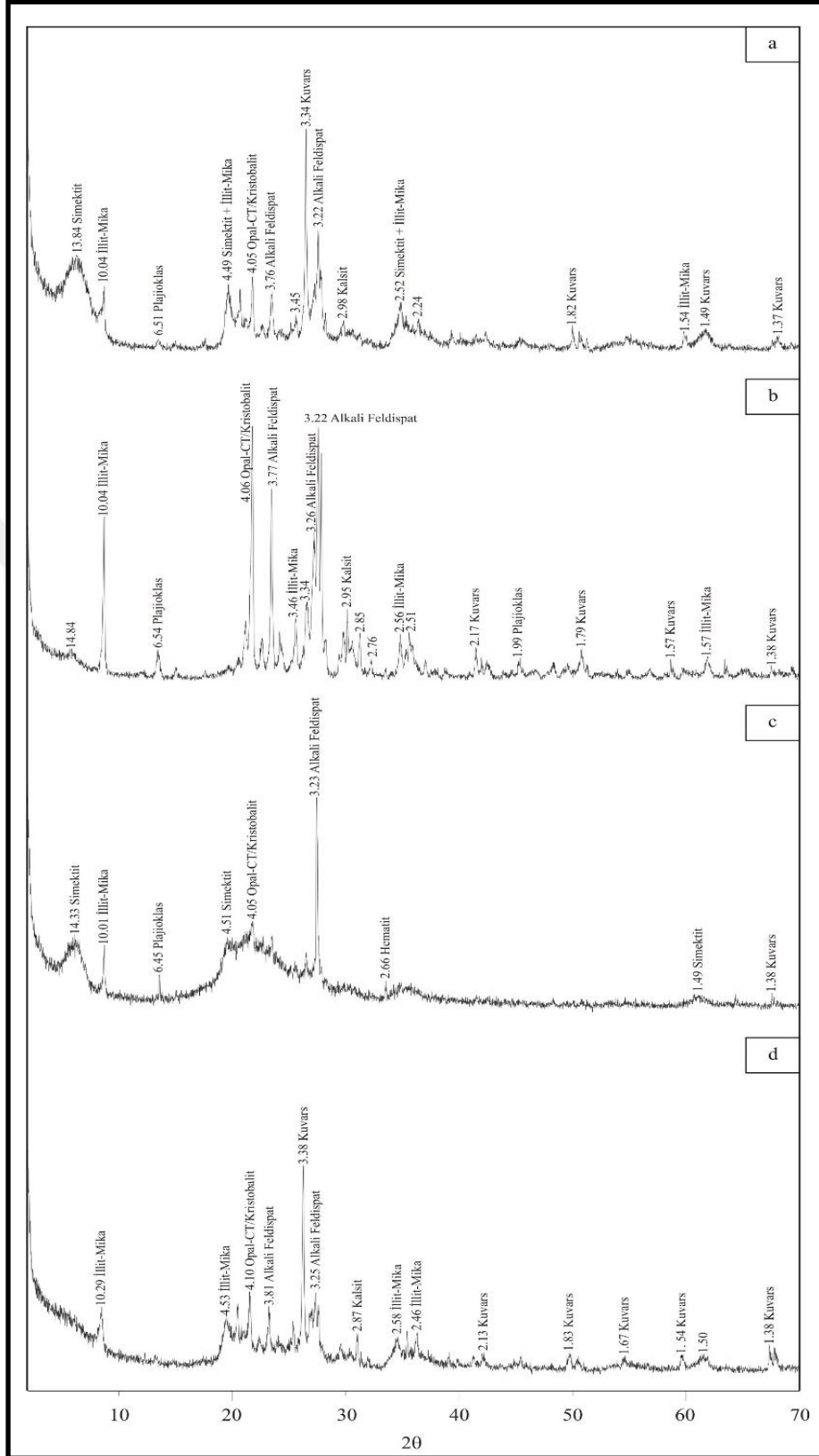
Not: (Sme): Simektit, (I-M): İllit-mika, (Kao): Kaolinit, (Plp): Plajiyoklaz, (O-K): Opal-CT/Kristobalit, (Q): Kuvars, (Ksp): Alkali feldspat, (Ka): Kalsit, (Do): Dolomit, (Hm): Hematit.



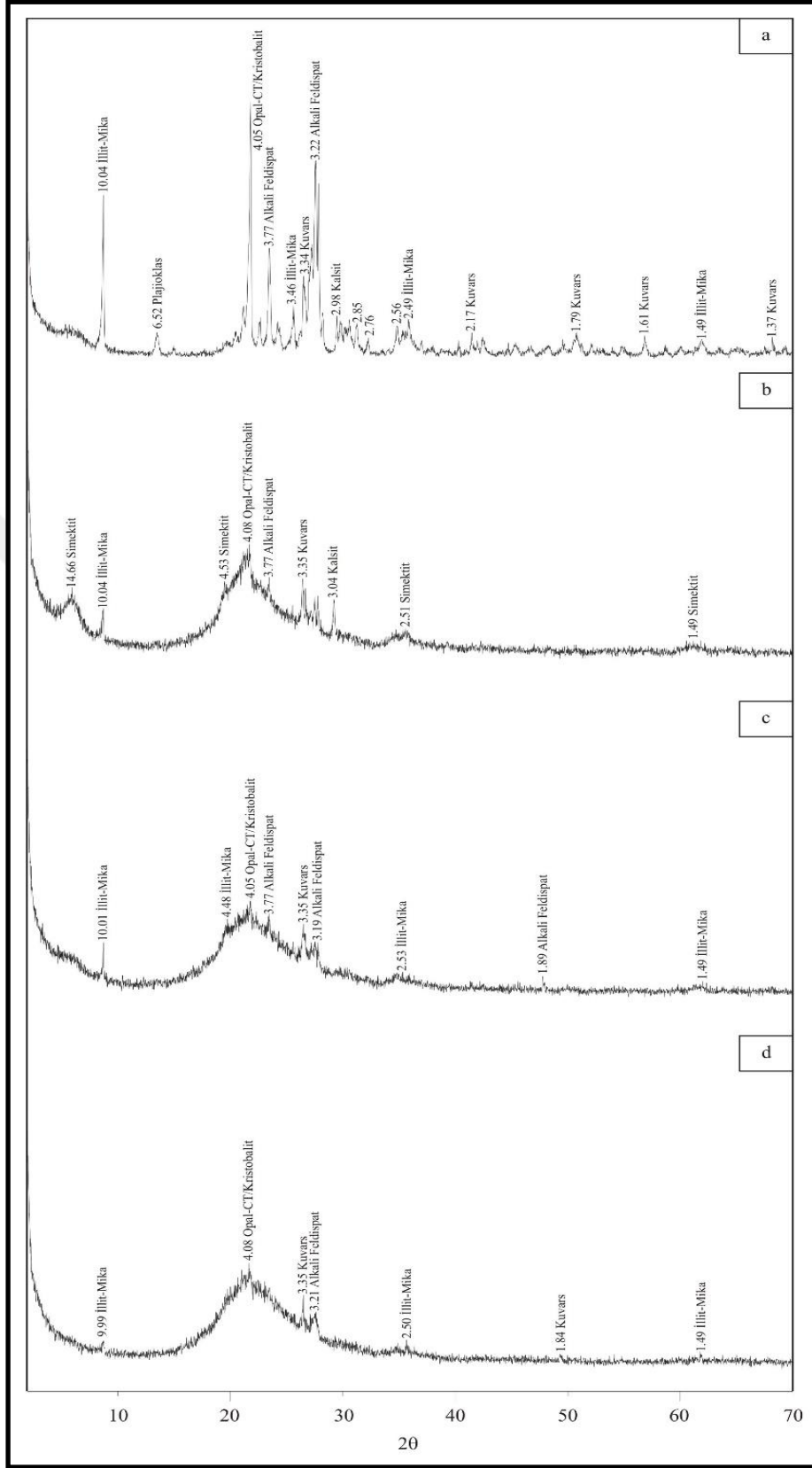
Şekil 4.17 Sa-4 (a), Sa-6 (b), Sa-8 (c) ve Sa-9 (d) nolu örneklere ait tüm kayaç XRD grafikleri.



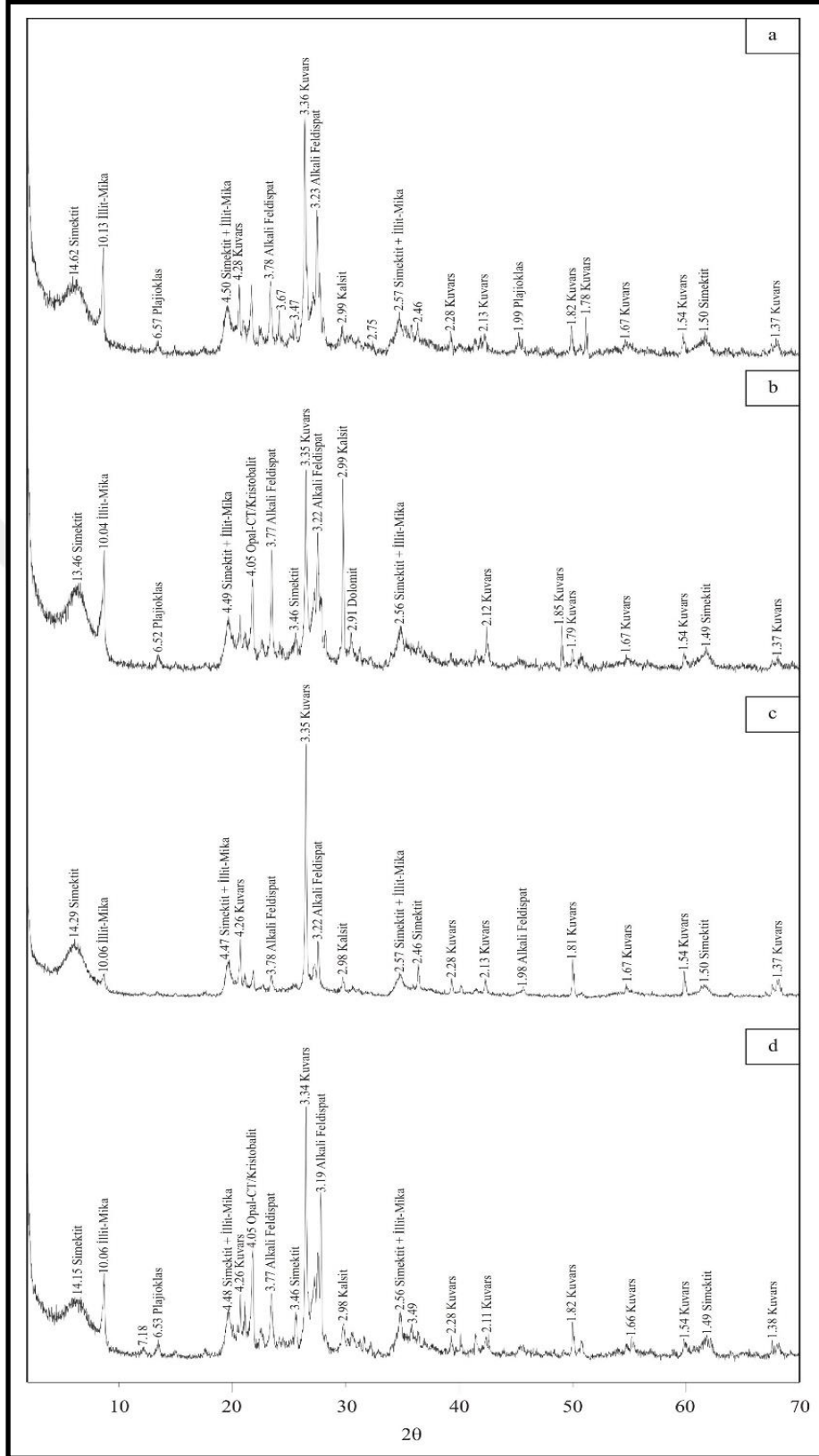
Şekil 4.18 Sa-11 (a), Sa-12 (b), Sa-13 (c) ve Sa-14 (d) nolu örneklere ait tüm kayaç XRD grafikleri.



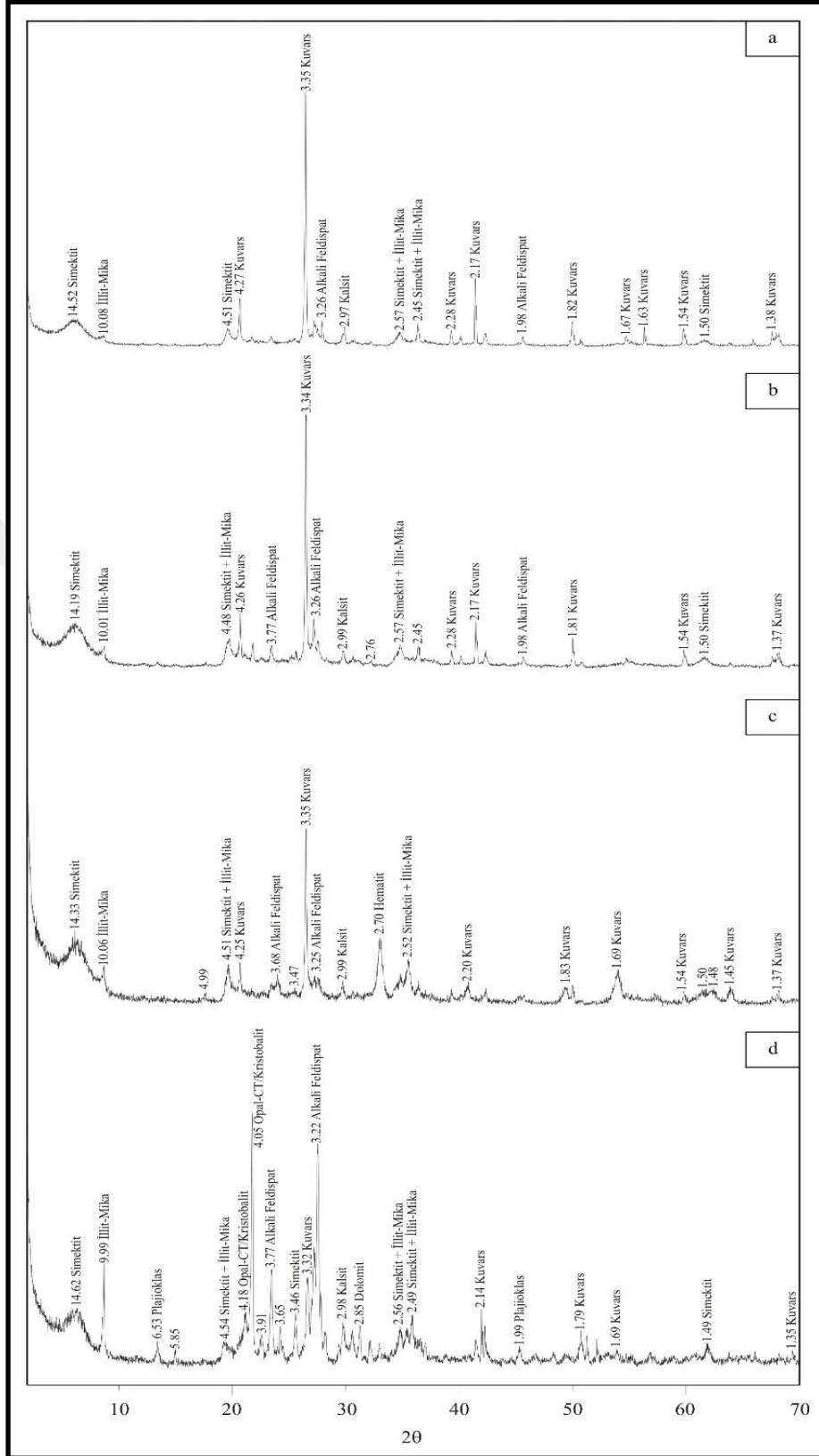
Şekil 4.19 Sa-15 (a), Sa-16 (b), Sa-17 (c) ve Sa-18 (d) nolu örneklere ait tüm kayaç XRD grafikleri.



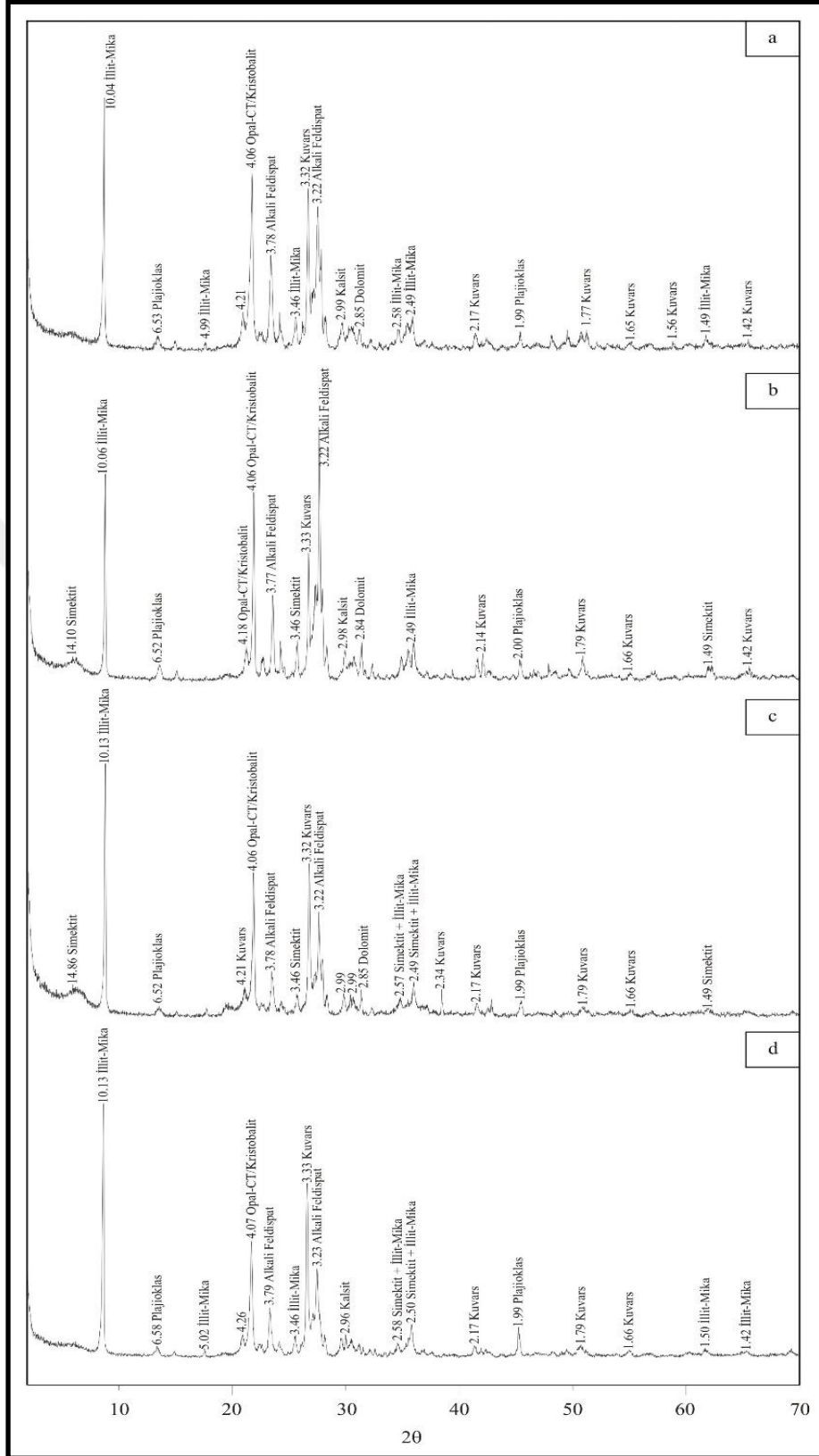
Şekil 4.20 Sa-21 (a), Sa-22 (b), Sa-28 (c) ve Sa-29 (d) nolu örneklere ait tüm kayaç XRD grafikleri.



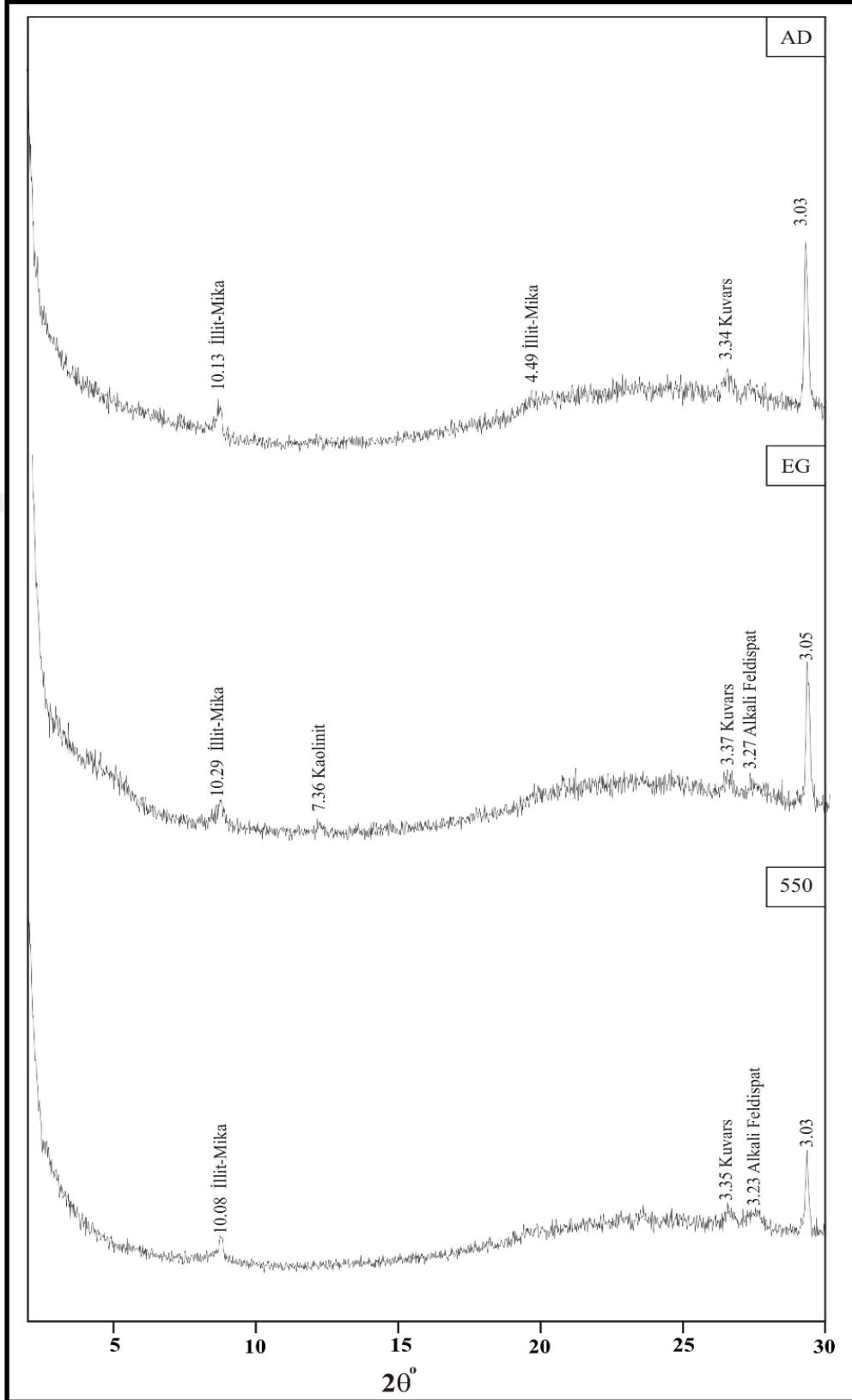
Şekil 4.21 Sa-30 (a), Sa-32 (b), Sa-33 (c) ve Sa-34 (d) nolu örneklere ait tüm kayaç XRD grafikleri.



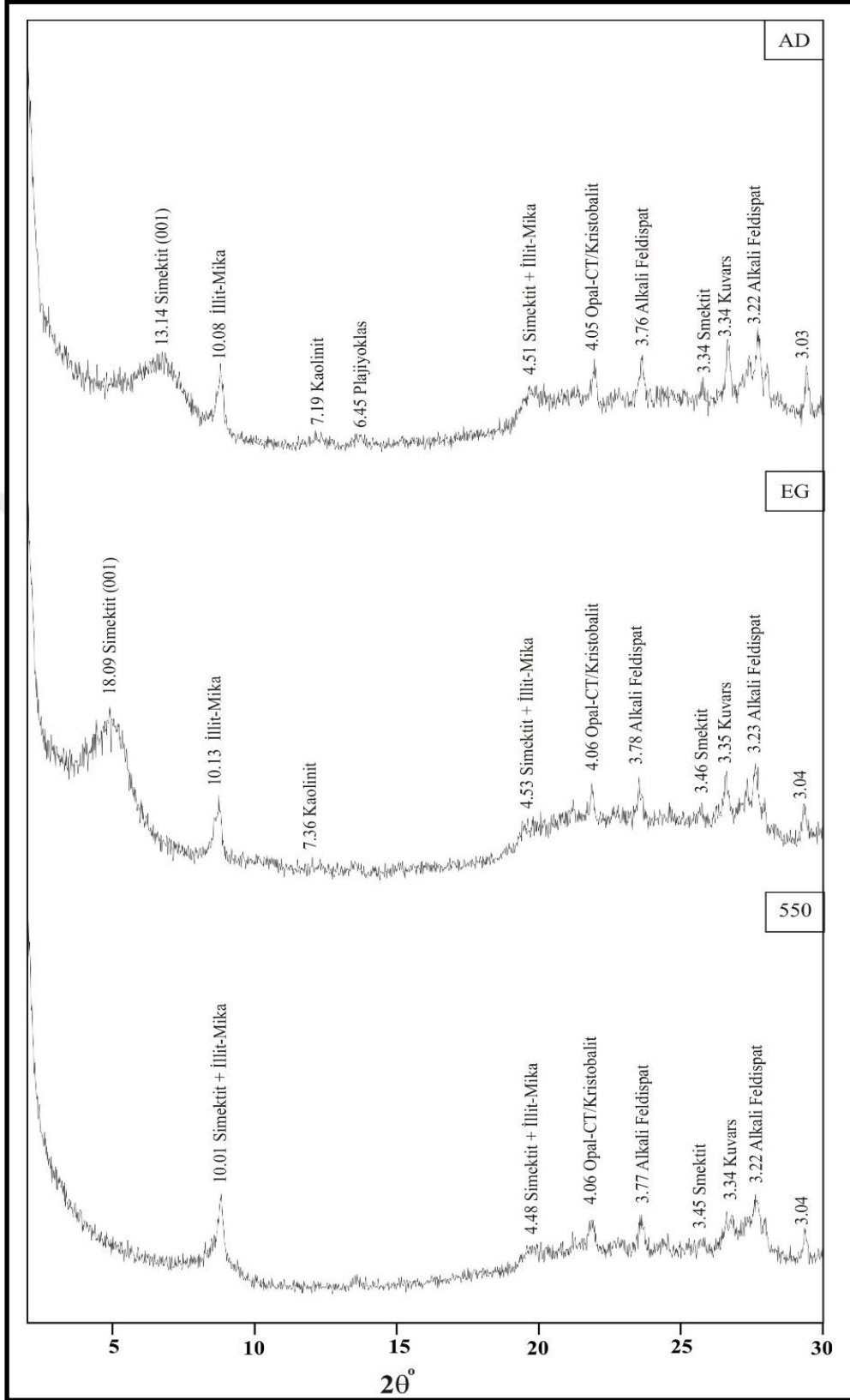
Şekil 4.22 Sa-35 (a), Sa-36 (b), Sa-37 (c) ve Sa-38 (d) nolu örneklere ait tüm kayaç XRD grafikleri.



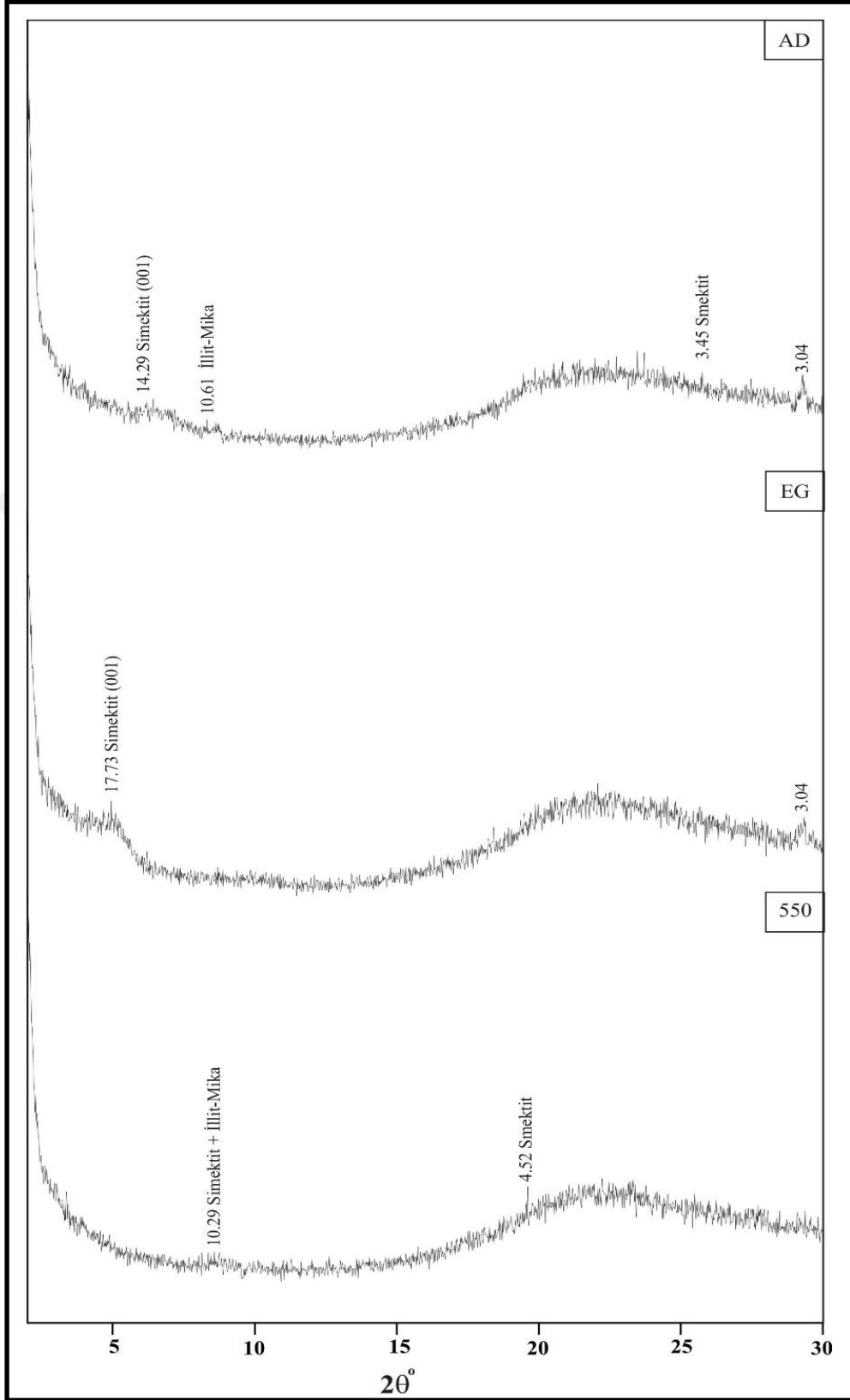
Şekil 4.23 Sa-39 (a), Sa-40 (b), Sa-41 (c) ve Sa-42 (d) nolu örneklere ait tüm kayaç XRD grafikleri.



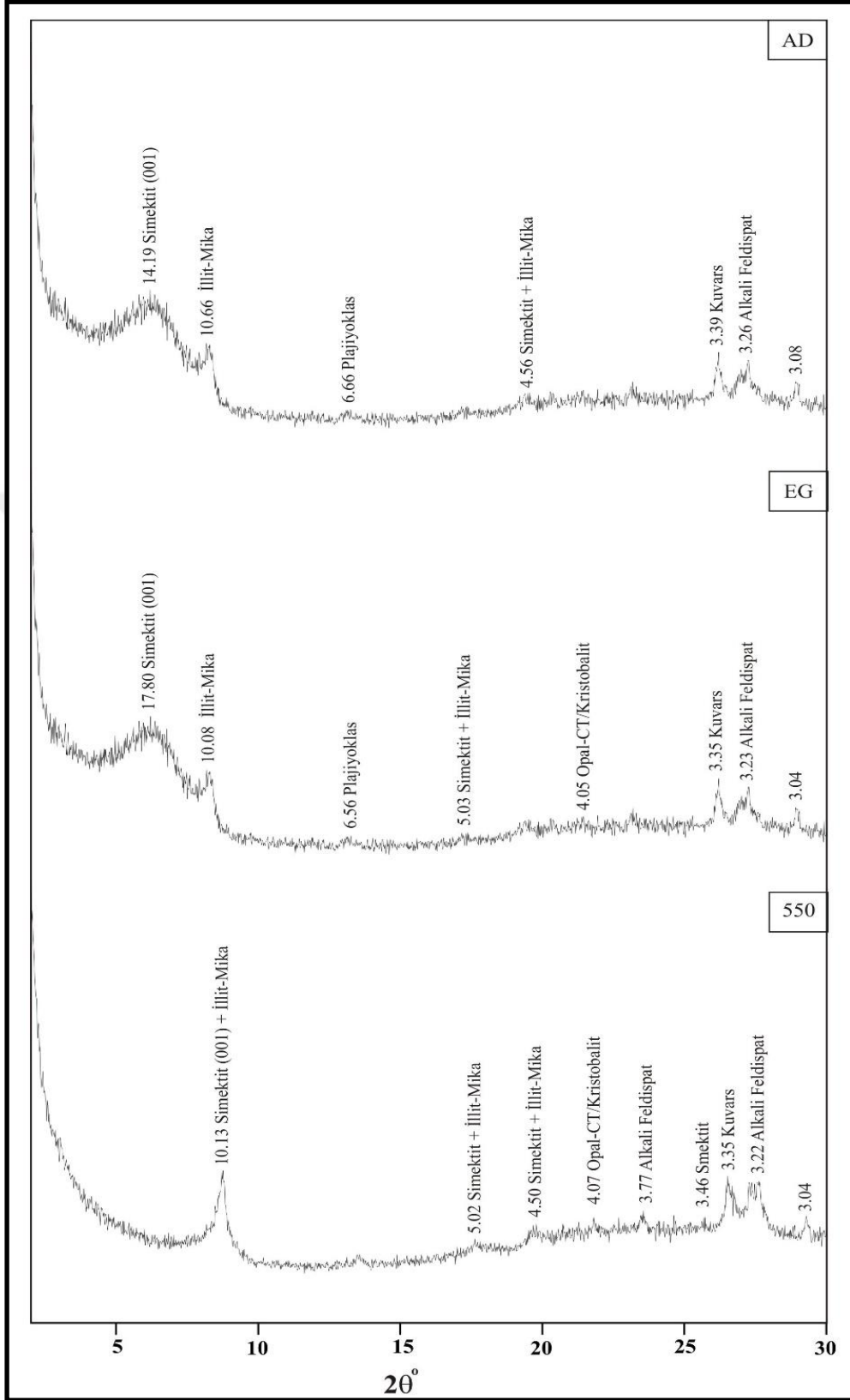
Şekil 4.24 Sa-6 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



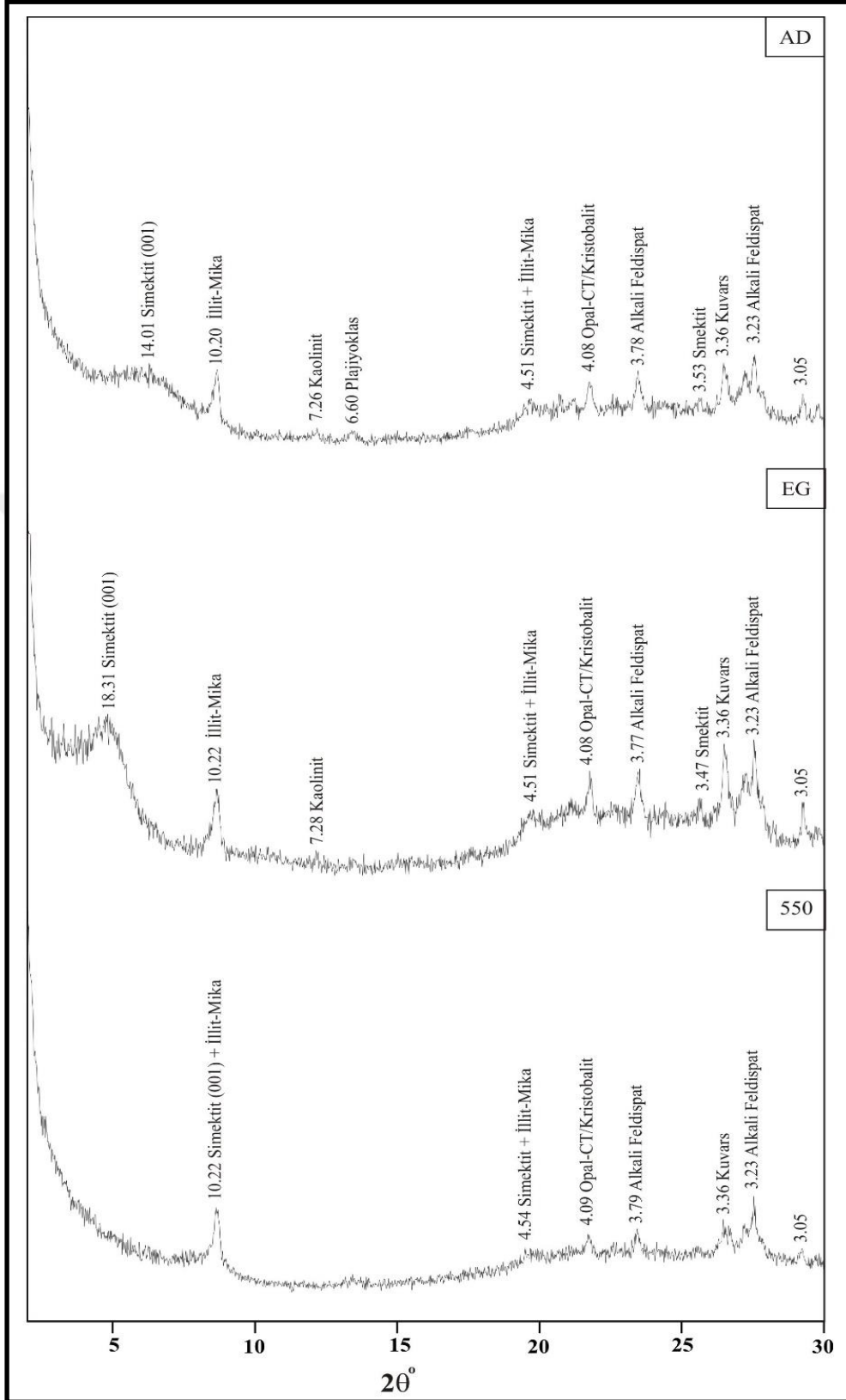
Şekil 4.25 Sa-9 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



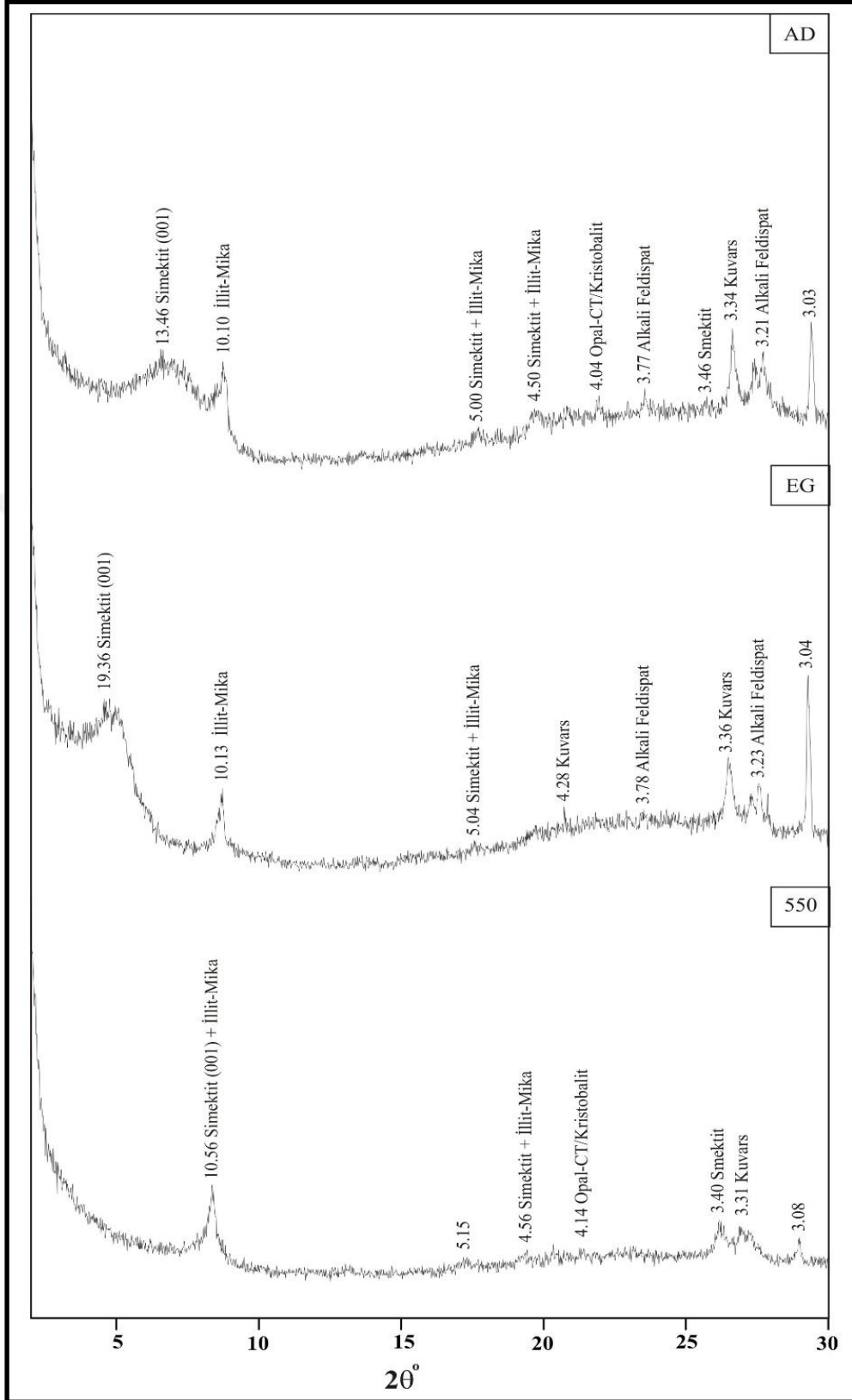
Şekil 4.26 Sa-11 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



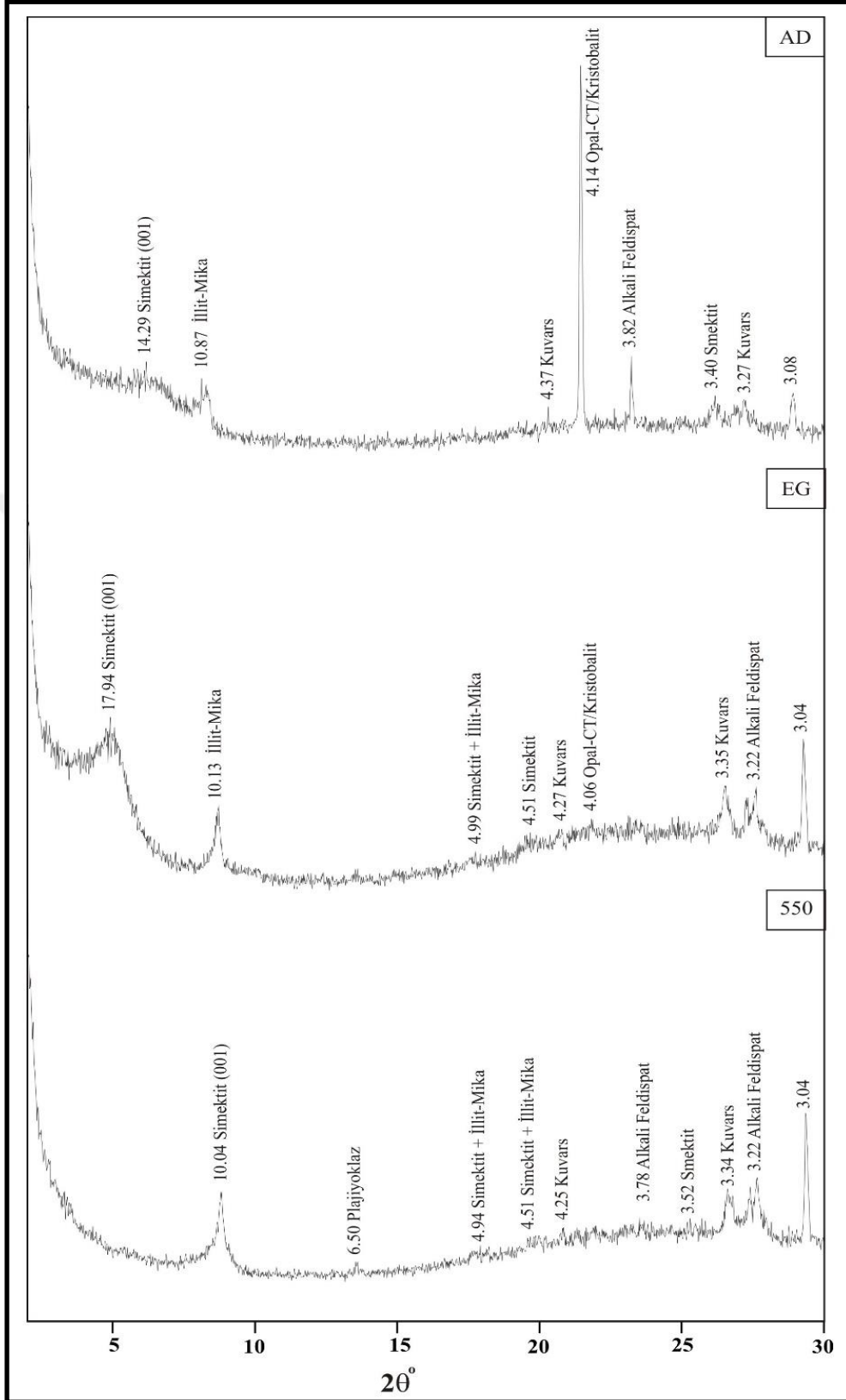
Şekil 4.27 Sa-12 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



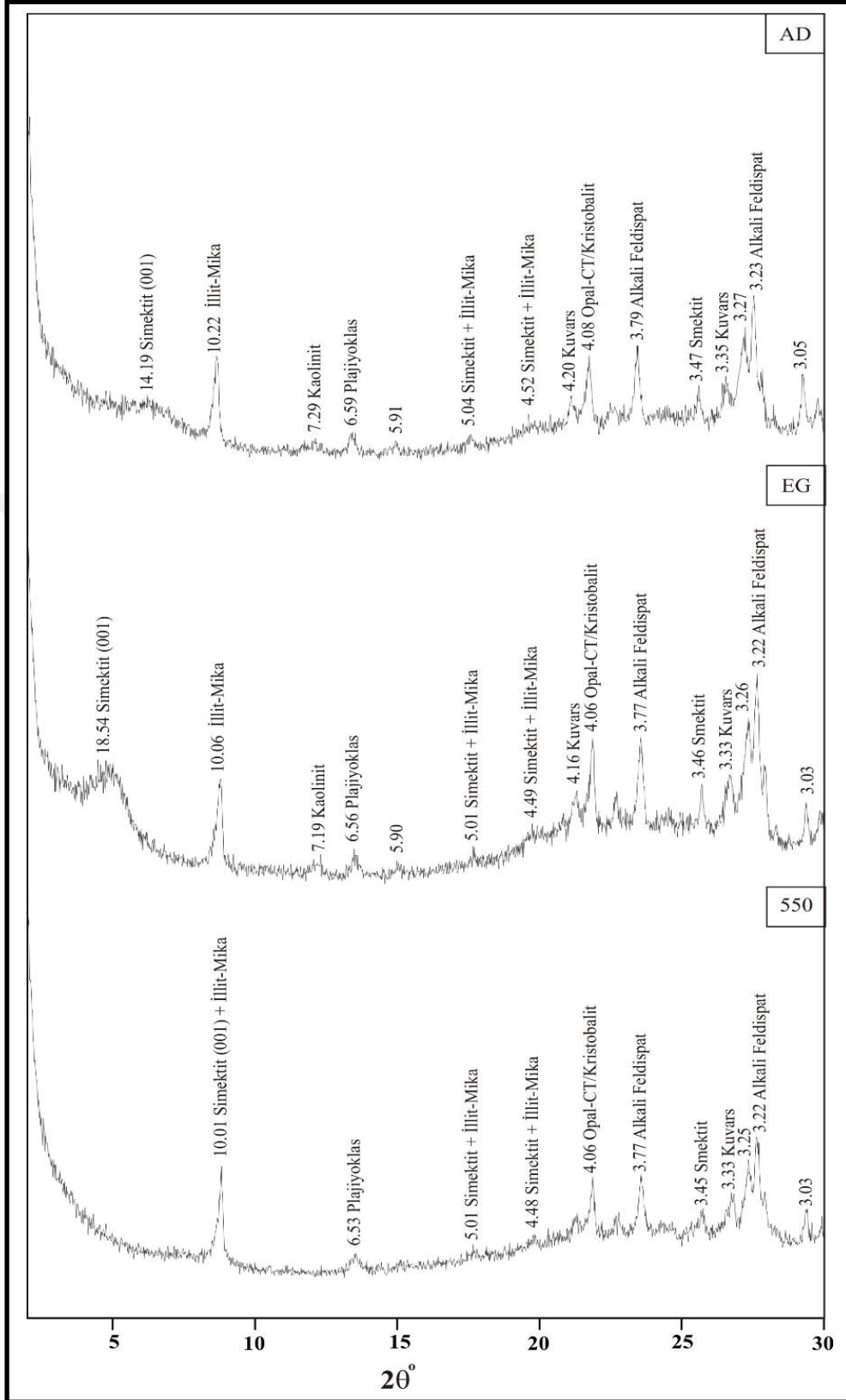
Şekil 4.28 Sa-13 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C'de fırınlanmış.



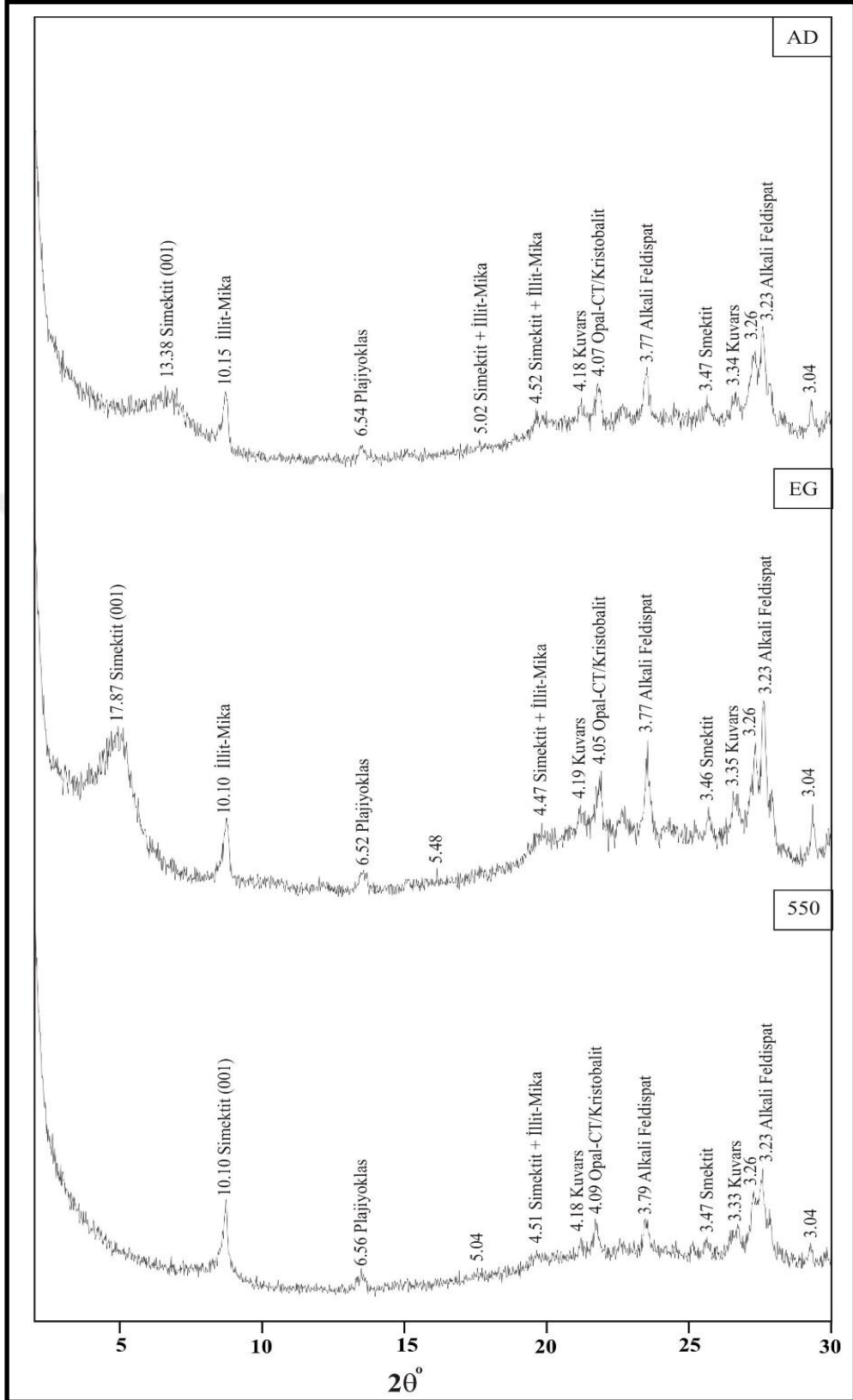
Şekil 4.29 Sa-14 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C'de fırınlanmış.



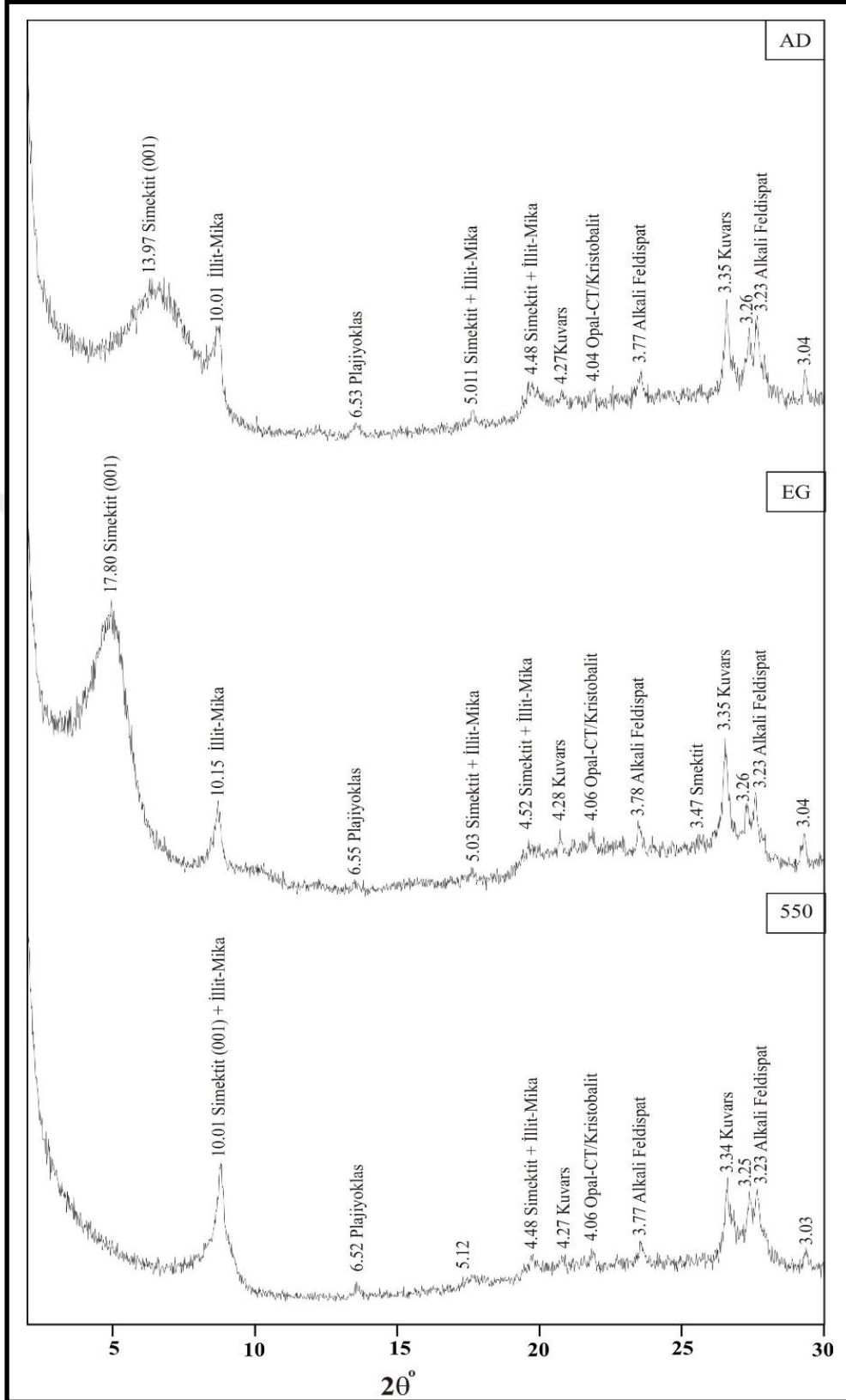
Şekil 4.30 Sa-15 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



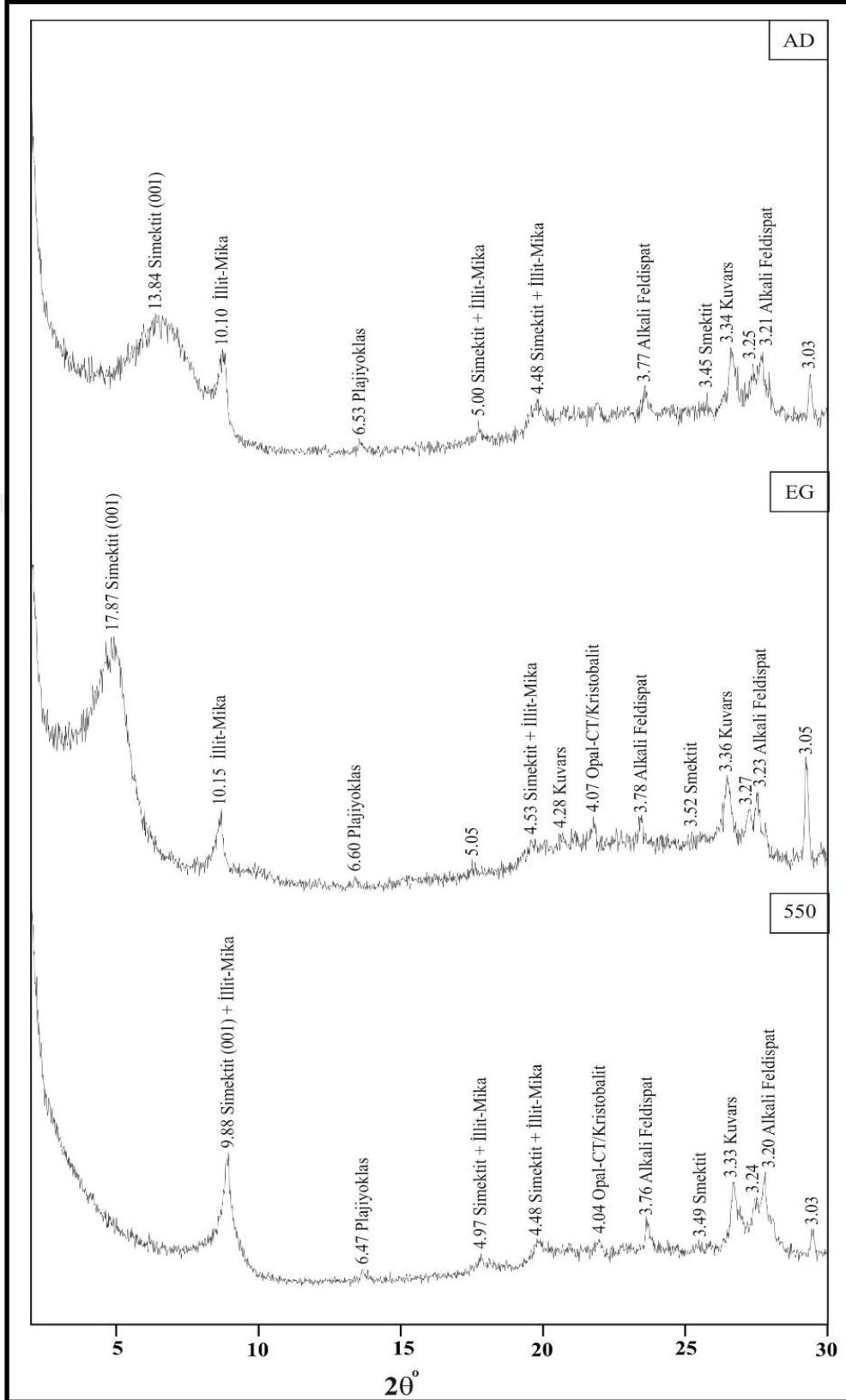
Şekil 4.31 Sa-16 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



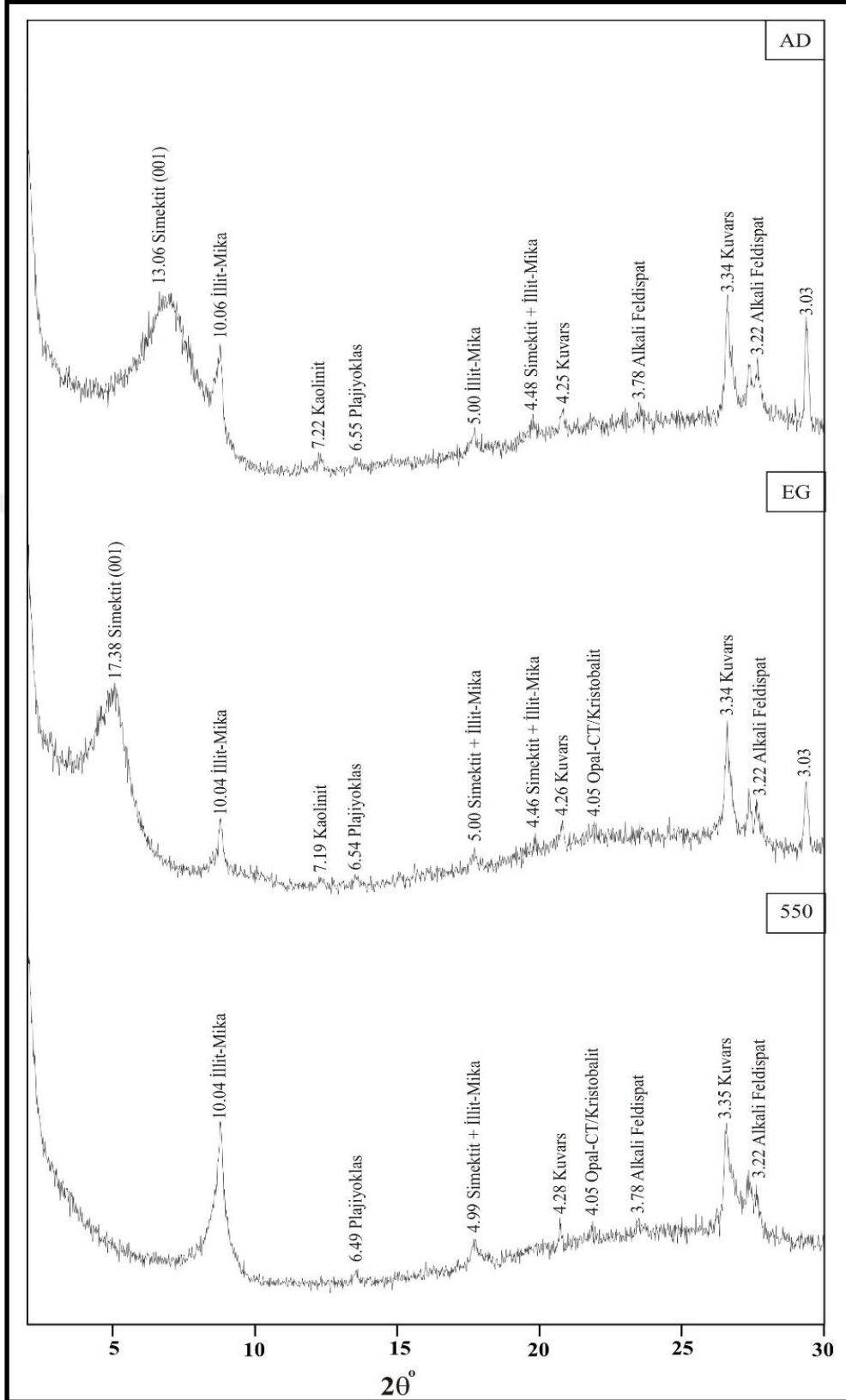
Şekil 4.32 Sa-21 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



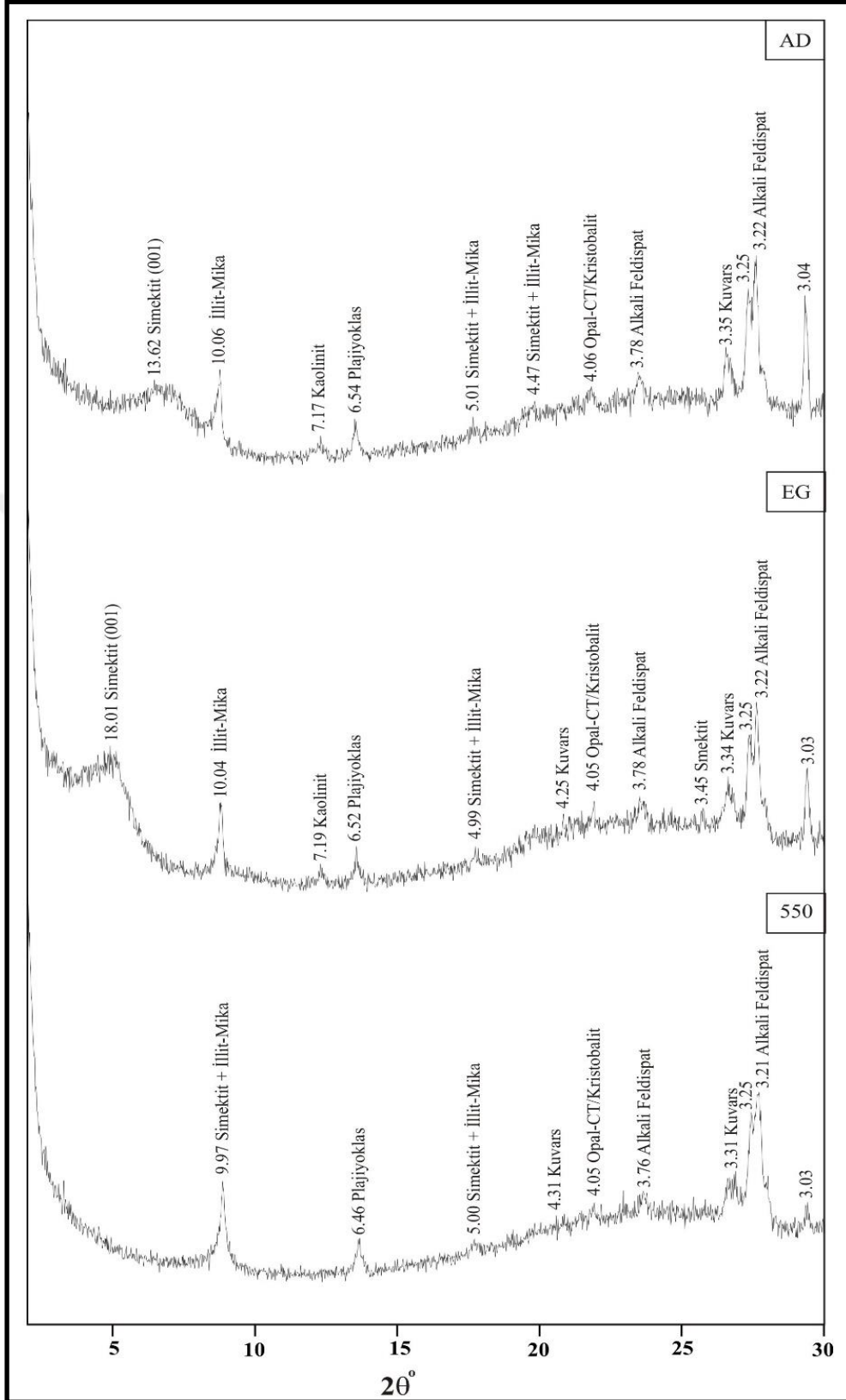
Şekil 4.33 Sa-30 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



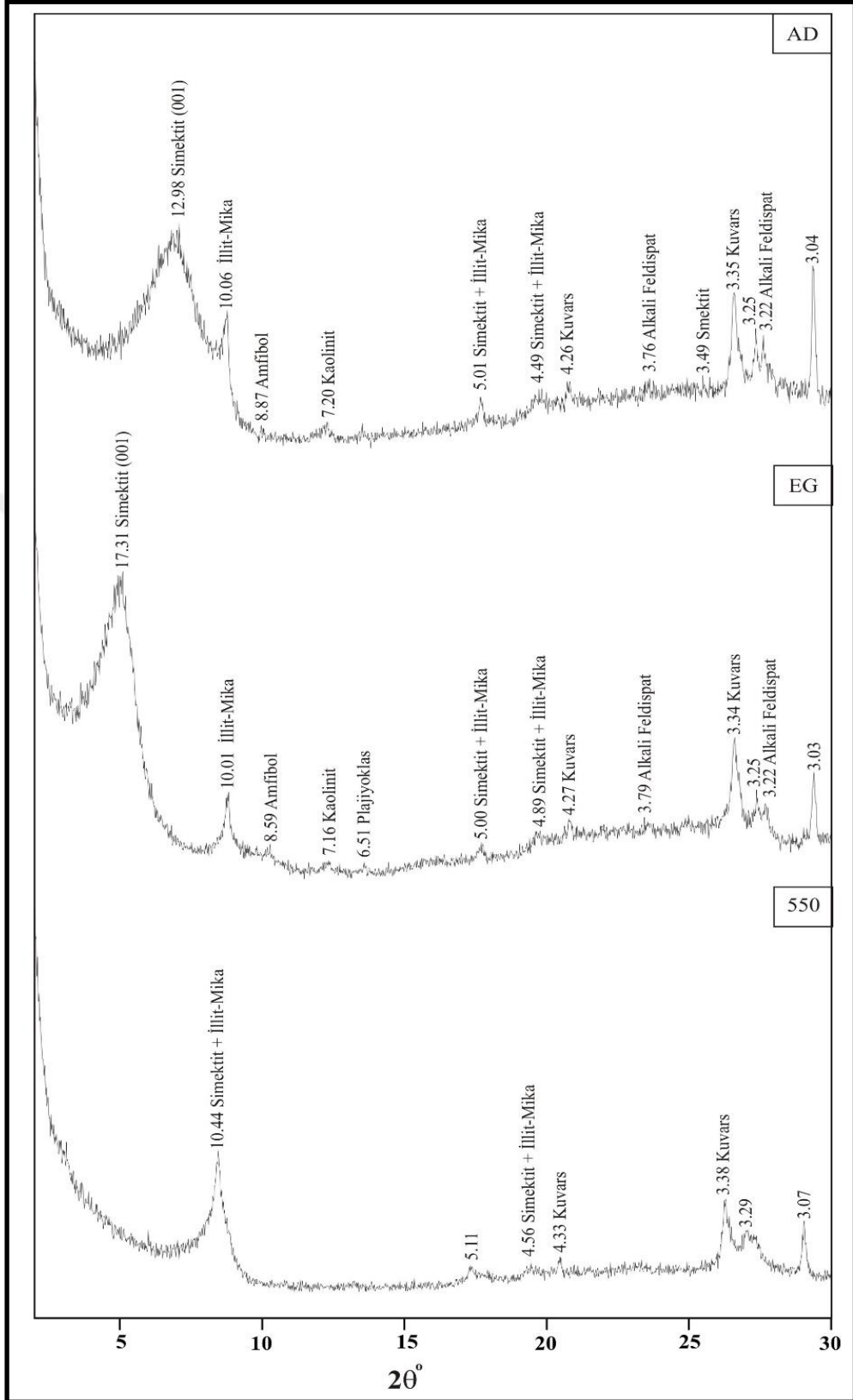
Şekil 4.34 Sa-32 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



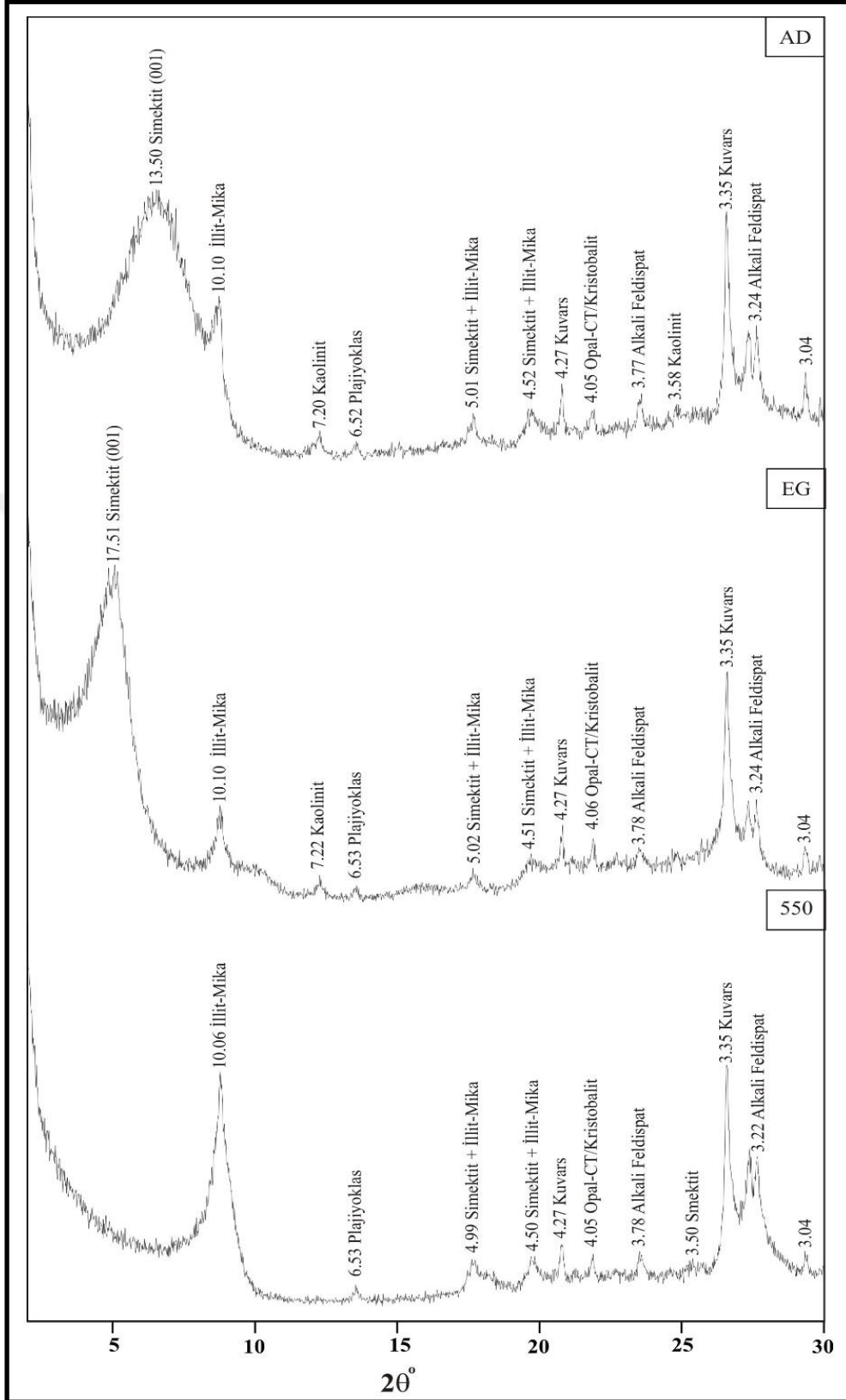
Şekil 4.35 Sa-33 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



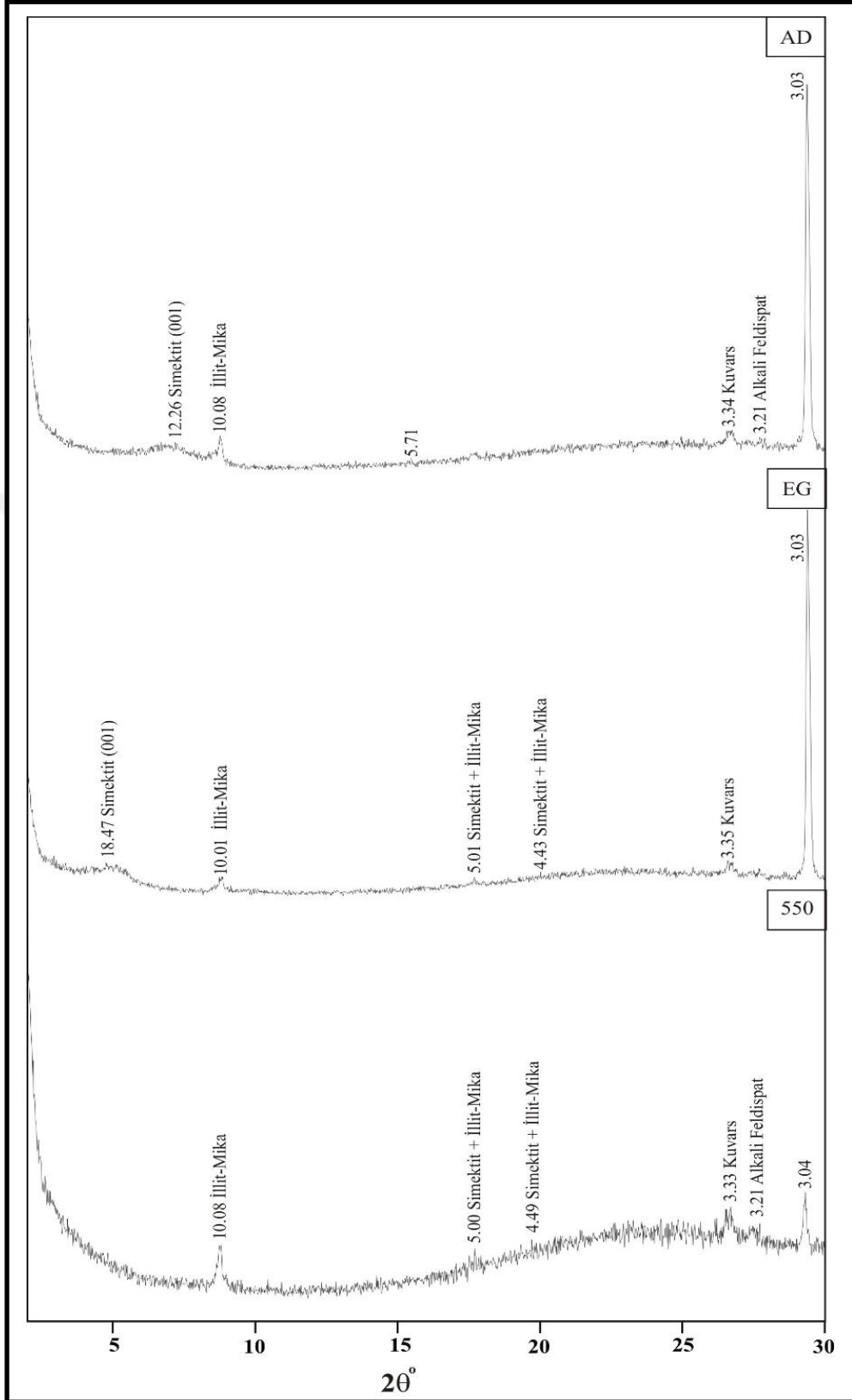
Şekil 4.36 Sa-34 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C'de fırınlanmış.



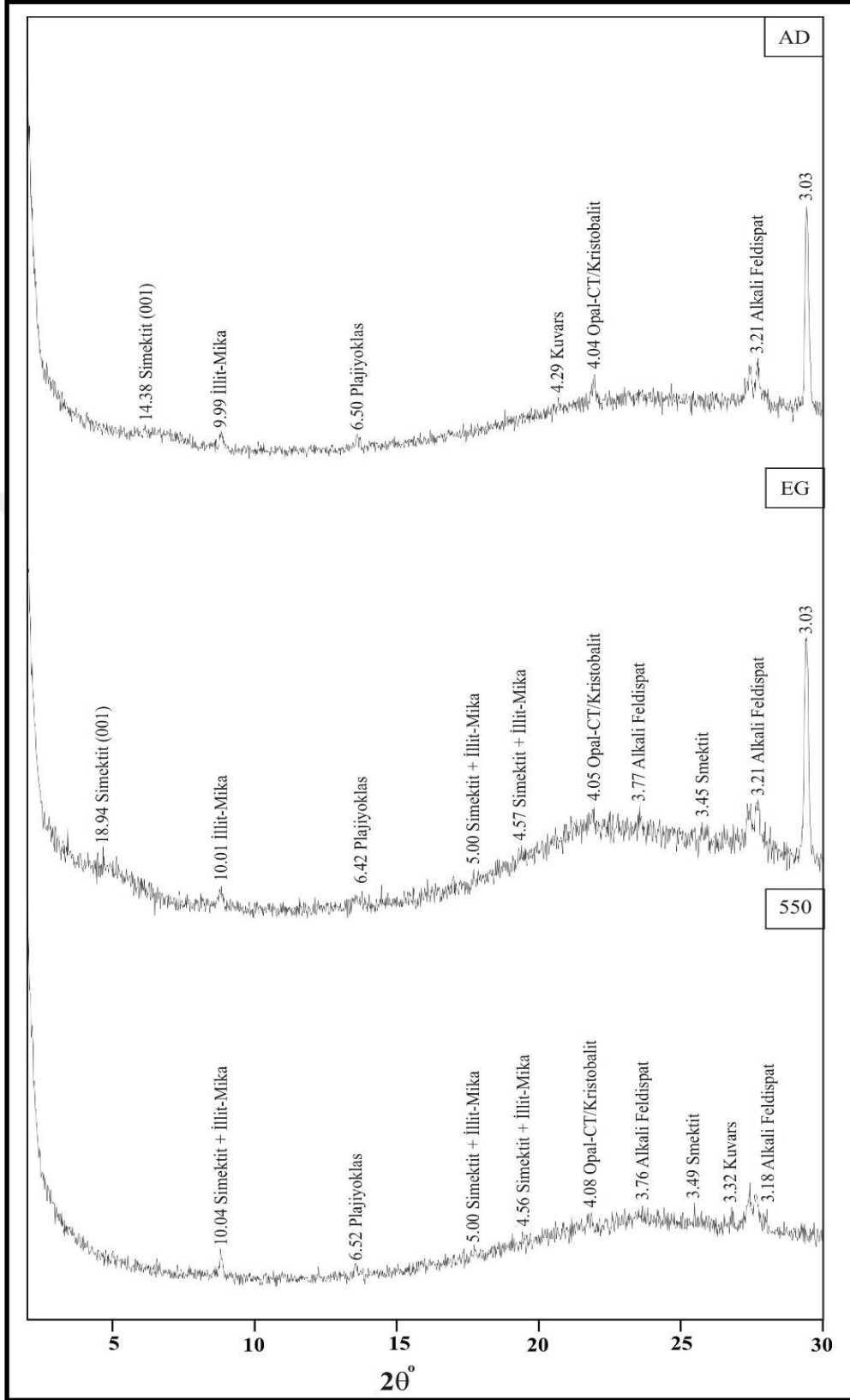
Şekil 4.37 Sa-35 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C'de fırınlanmış.



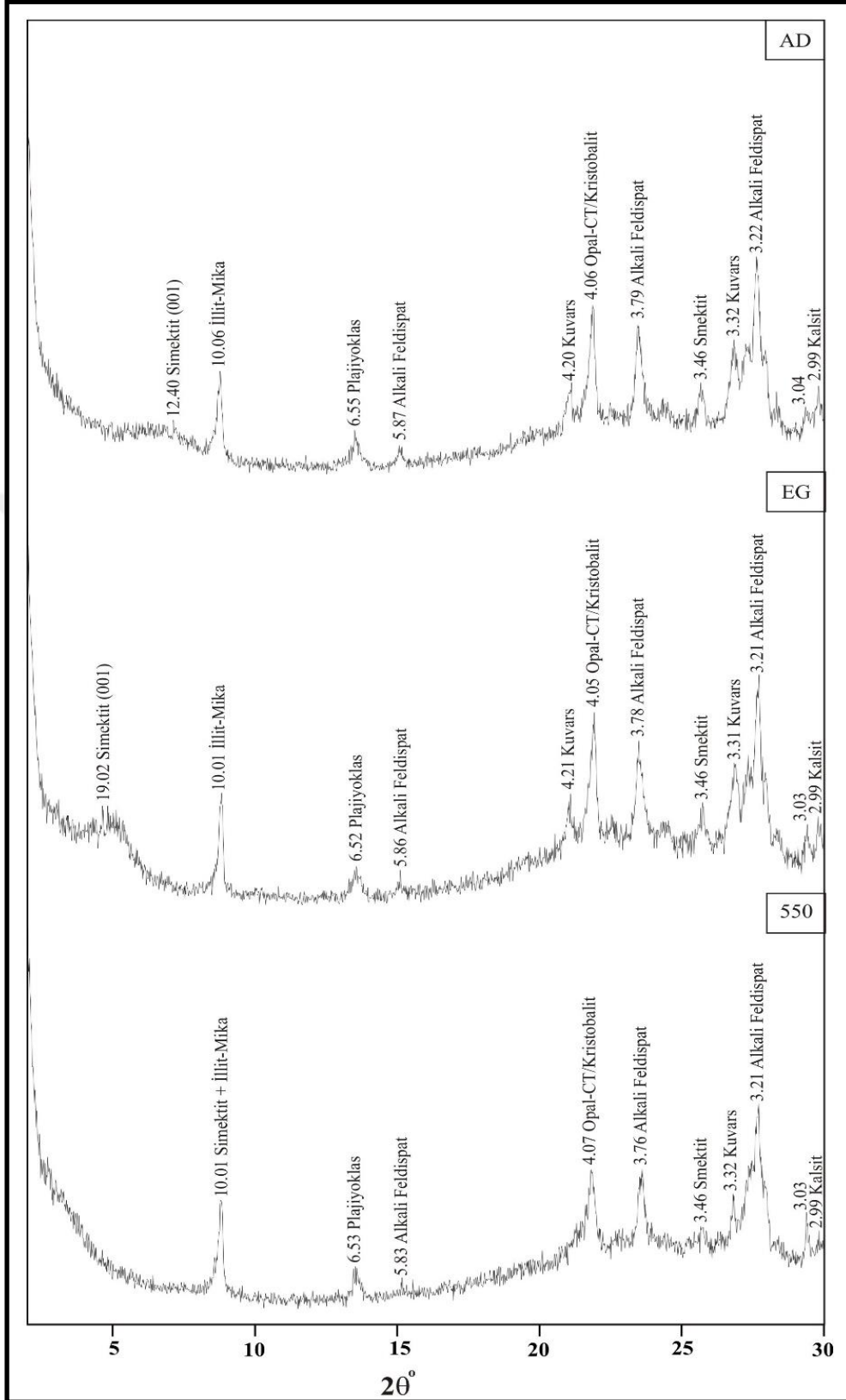
Şekil 4.38 Sa-36 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C'de fırınlanmış.



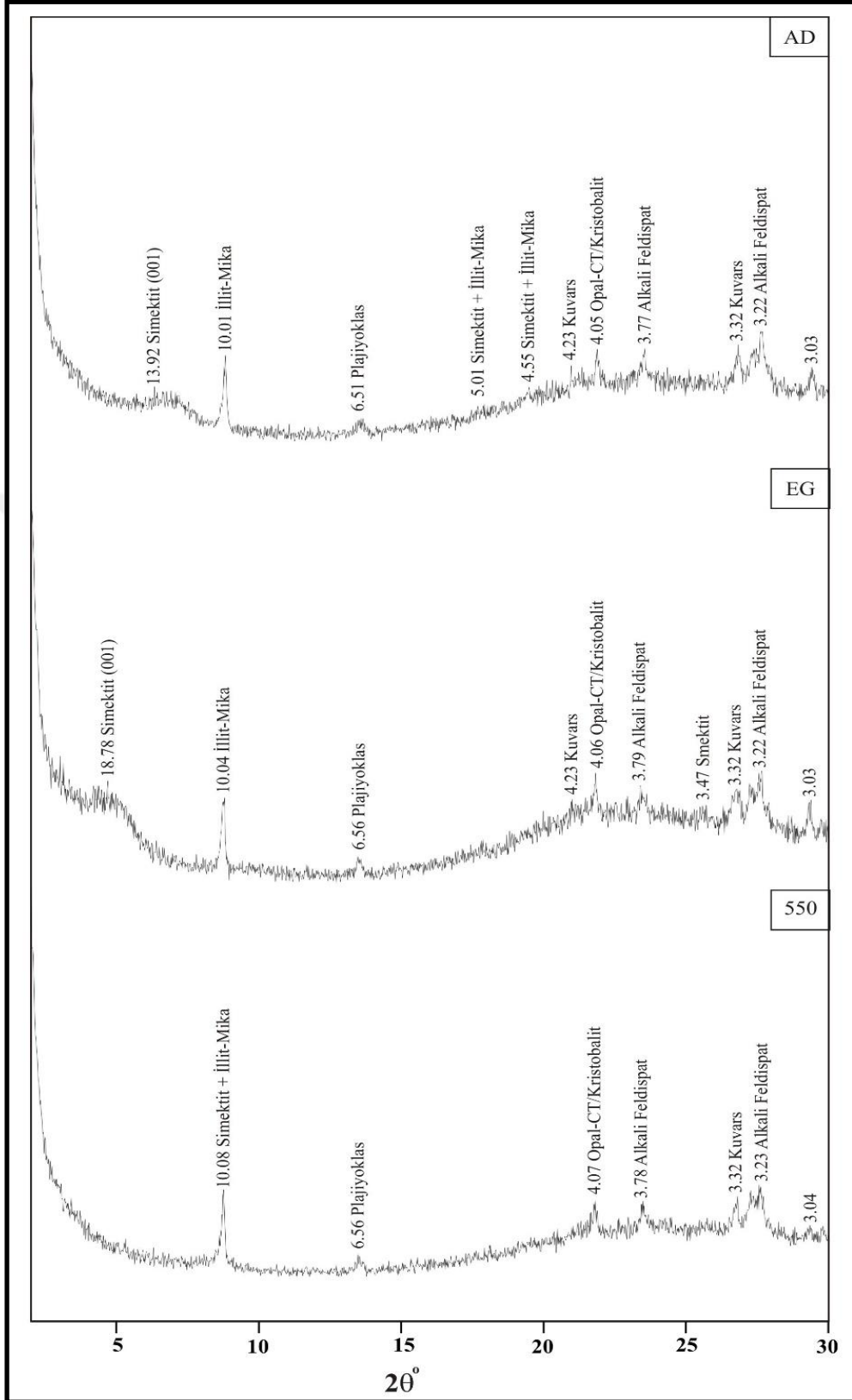
Şekil 4.39 Sa-37 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



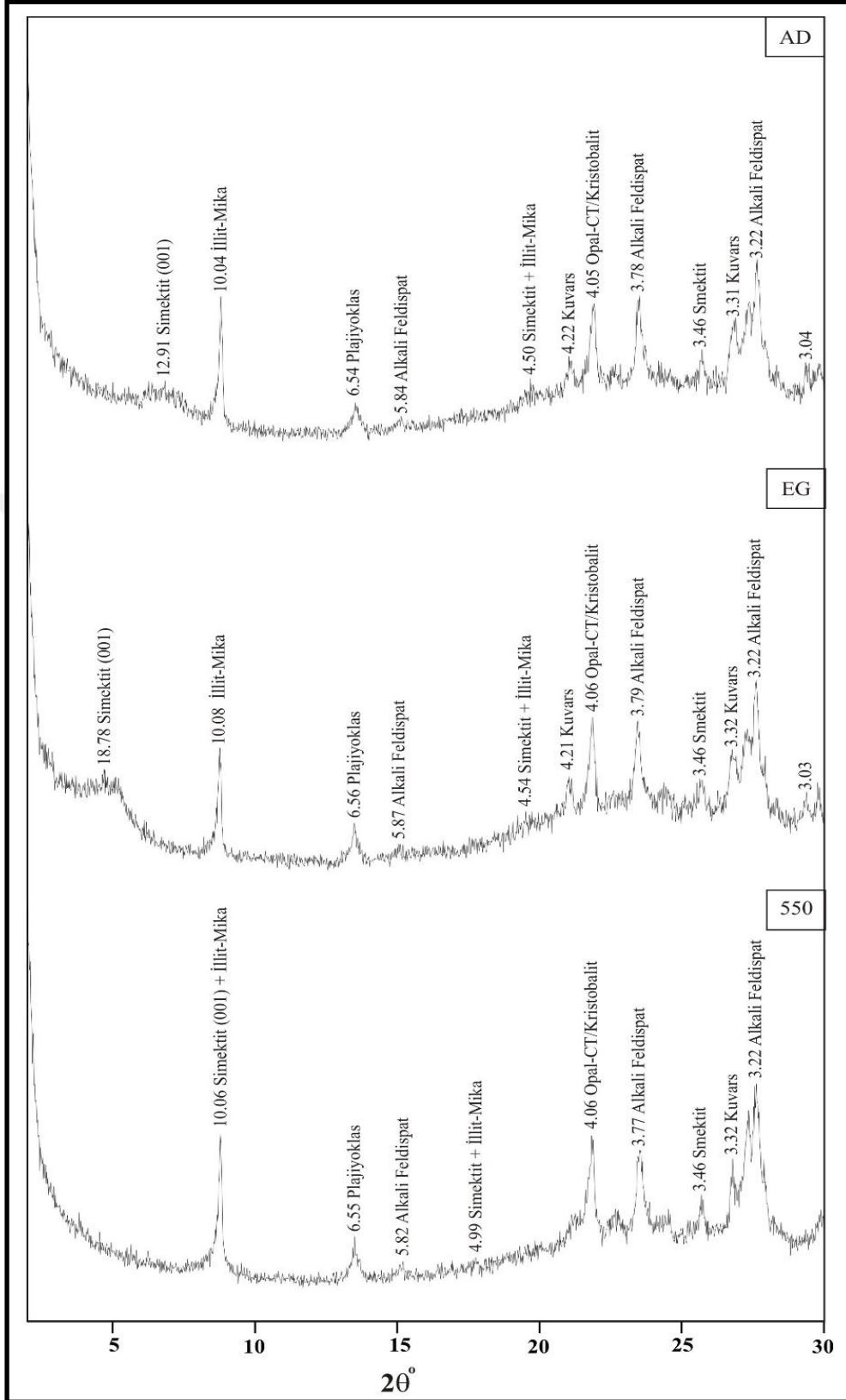
Şekil 4.40 Sa-38 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C'de fırınlanmış.



Şekil 4.41 Sa-39 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



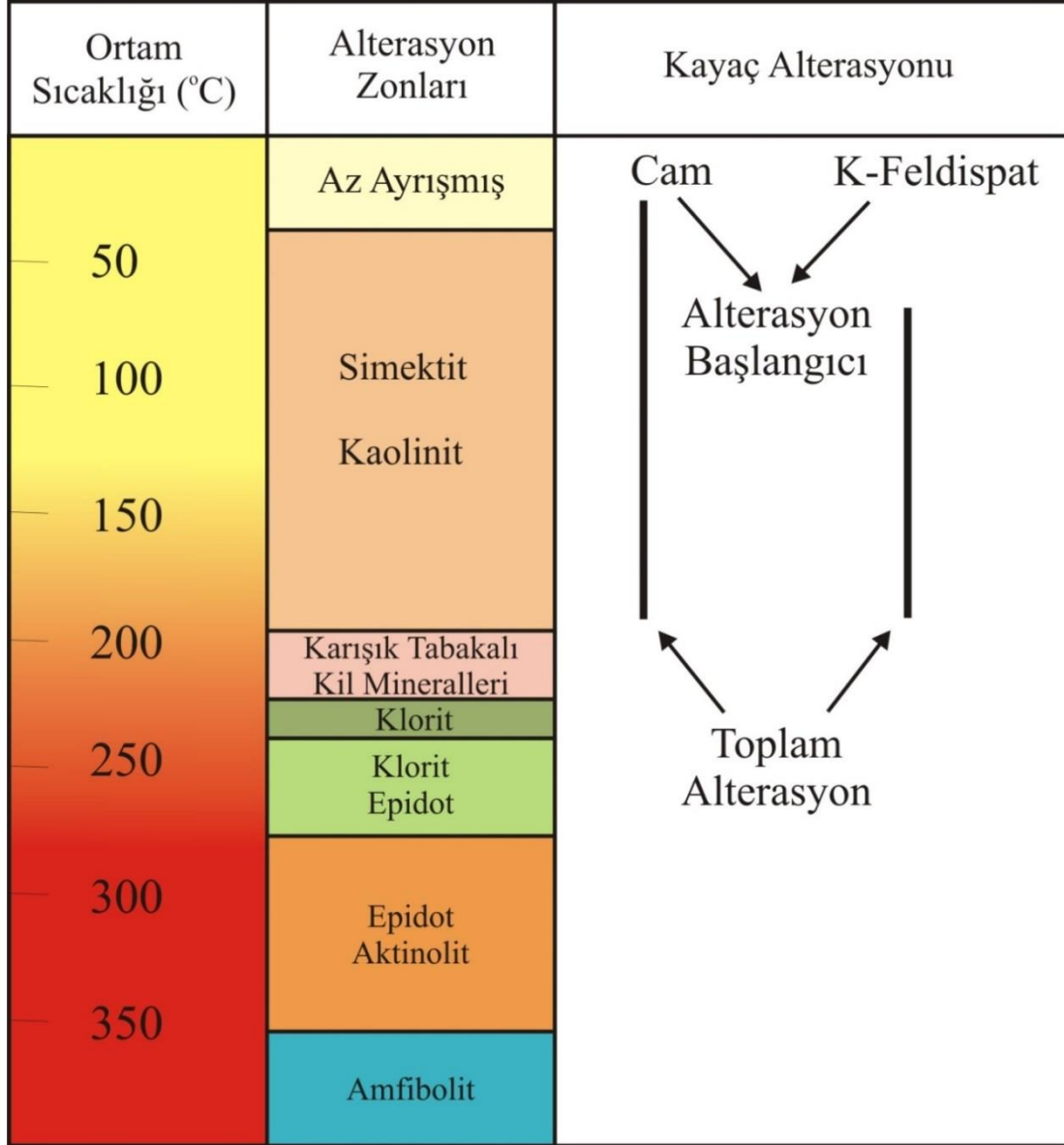
Şekil 4.42 Sa-41 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.



Şekil 4.43 Sa-42 nolu örneğe ait kil boyutu XRD grafikleri. (AD): Havada kurutulmuş, (EG): Etilen glikol ile muamele, (550): 550 °C’de fırınlanmış.

4.2.4 Mineral Jeotermometresi Sonuçları

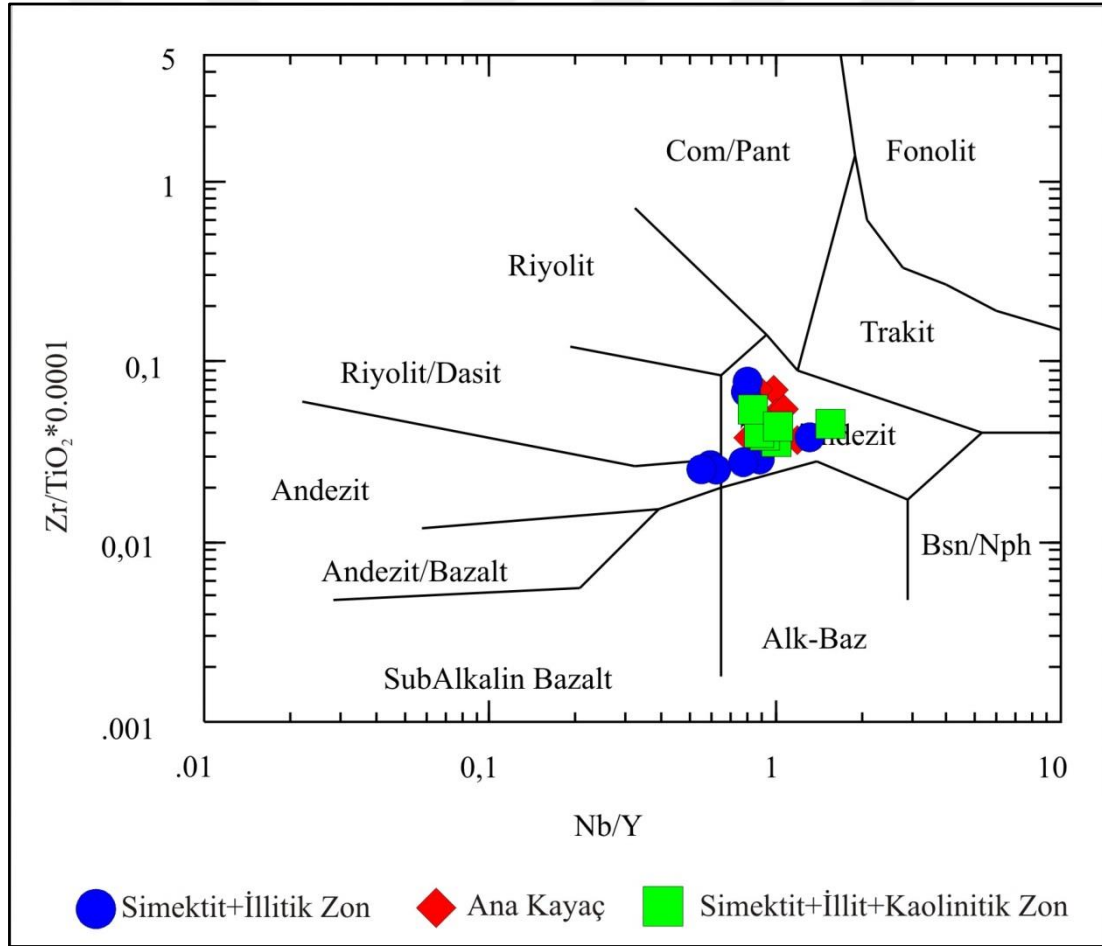
Mineralojik analiz sonuçları Franzson (2007) tarafından geliştirilen mineral alterasyon sıcaklık diyagramına aktarıldığında, alterasyon mineral jeotermometresinin 200°C'den düşük sıcaklıkları işaret ettiği görülmektedir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44 Mineral alterasyon sıcaklık diyagramı (Franzson, 1998).

4.3 Alterasyon Zonlarının Jeokimyasal Özellikleri

İnceleme alanına ait örneklerin majör, iz ve nadir toprak element analiz sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Alterasyon zonlarının ana kayacının belirlenmesi, alterasyon boyunca köken kayacın alterasyon zonlarına ait örnekler arasında kimyasal açıdan nasıl bir değişiklik olduğunu ve alterasyon zonlarının kimyasal adlanmasının yapılabilmesi için inceleme alanındaki volkanoklastikler ve altere örneklerin kimyasal analiz sonuçları Winchester ve Floyd (1977) tarafından geliştirilen $Zr/TiO_2-Nb/Y$ diyagramına yerleştirilmiştir. Buna göre örneklerin büyük bir bölümünün trakiandezitik, bazı simektitik zona ait örneklerin ise andezitik bileşim sundukları görülmüştür (Şekil 4.45).



Şekil 4.45 Alterasyon zonuna ait volkanik kayaların Winchester ve Floyd (1977)’a ait $Zr/TiO_2-Nb/Y$ diyagramına göre adlandırılması.

Çizelge 4.2 İnceleme alanına ait örneklerin majör (%), iz ve nadir toprak element analiz sonuçları.

	Dedeksiyon Limitleri	Sa-4	Sa-6	Sa-9	Sa-11	Sa-12	Sa-13	Sa-14	Sa-15	Sa-16	Sa-17
SiO ₂	%	59,51	67,56	62,24	86,15	55,50	63,72	57,64	57,17	65,16	78,64
TiO ₂	%	0,62	0,49	0,56	0,06	0,74	0,64	0,80	0,77	0,65	0,18
Al ₂ O ₃	%	16,78	12,48	14,69	1,86	15,79	15,70	17,10	16,24	16,91	4,7
Fe ₂ O ₃	%	5,09	3,69	5,35	2,49	5,90	3,15	6,00	6,74	2,11	5,41
MnO	%	0,06	0,07	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
MgO	%	1,60	1,36	1,22	0,53	2,00	1,36	2,19	2,18	0,85	0,66
CaO	%	2,42	1,26	2,72	2,01	4,44	2,92	1,94	1,96	2,78	1,40
Na ₂ O	%	1,67	0,91	2,47	0,19	1,40	2,65	1,37	1,24	3,42	0,68
K ₂ O	%	2,77	2,48	4,07	0,29	3,05	3,86	3,31	3,20	4,78	0,86
P ₂ O ₅	%	0,19	0,07	0,29	0,62	0,22	0,32	0,17	0,22	0,36	0,11
Cr ₂ O ₃	%	0,007	0,014	0,004	0,003	0,011	0,008	0,014	0,013	0,005	0,003
Ateş Zaiyatı	%	8,9	9,3	5,9	5,7	10,60	5,20	9,10	9,90	2,50	7,1
Toplam	%	99,75	99,83	99,69	99,94	99,77	99,73	99,77	99,78	99,73	99,83
Ba	Ppm	1341	883	1790	225	1151	1687	920	864	1853	481
Be	Ppm	6	5	4	<1	3	5	4	6	3	<1
Co	Ppm	8,8	77,8	150,5	85,6	37,0	39,2	30,5	27,6	65,6	201,1
Cs	Ppm	39,4	28,3	26,8	4,6	32,4	27,3	38,4	36,7	18,0	8,0
Ga	Ppm	18,1	15,4	16,7	4,2	18,80	17,50	19,30	19,00	17,20	7,1
Hf	Ppm	8,0	5,1	6,6	0,8	5,60	6,50	6,00	5,80	6,20	2,0
Nb	Ppm	20,9	19,5	22,7	3,1	17,70	19,80	19,50	17,80	22,70	6,6
Rb	Ppm	154,3	143,0	157,5	15,5	180,9	164,2	208,1	187,8	158,6	34,2
Sn	Ppm	3	2	2	<1	3	2	3	3	3	<1
Sr	Ppm	939,2	387,5	1129,8	134,2	602,7	1173	558,6	498,7	1150,7	339,8
Ta	Ppm	1,5	1,5	1,4	0,2	1,60	1,30	1,40	1,60	1,90	0,4
Th	Ppm	36,0	24,9	36,2	2,9	31,70	34,10	32,00	30,20	41,70	9,9
U	Ppm	6,2	6,8	17,7	12,8	15,00	14,20	13,40	11,80	18,30	6,9
V	Ppm	80	102	197	99	129,0	99,00	166,0	154,0	129,0	309
W	Ppm	4,9	5,5	4	<0,5	5,00	4,10	4,70	4,90	5,50	1,1
Zr	Ppm	286,7	177,9	253,8	29,6	198,8	240,5	202,8	195,7	240,2	76,9
Y	Ppm	35,3	17,6	14	10,8	28,90	19,00	30,40	31,30	18,30	4,7
La	Ppm	110	49,4	74,6	16,4	76,90	80,60	80,80	79,00	86,70	22
Ce	Ppm	167,7	108	135,6	15,1	142,7	149,2	147,7	131,9	158,4	45
Pr	Ppm	22,61	10,19	13,93	2,52	16,63	15,75	17,61	17,86	16,45	4,34
Nd	Ppm	82,5	35,7	46,9	9,5	59,30	54,40	63,70	67,00	53,80	14,8
Sm	Ppm	12,79	5,85	6,28	1,6	10,02	8,22	10,97	11,39	8,10	2,19
Eu	Ppm	3	1,29	1,6	0,33	2,22	1,91	2,31	2,44	1,98	1,98
Gd	Ppm	9,63	4,37	4,48	1,6	7,81	5,84	8,94	9,05	5,62	1,45
Tb	Ppm	1,24	0,57	0,54	0,22	1,08	0,75	1,21	1,23	0,71	0,18
Dy	Ppm	6,28	3,09	2,7	1,3	5,39	3,65	6,31	6,15	3,51	0,93
Ho	Ppm	1,22	0,62	0,51	0,29	1,09	0,71	1,16	1,19	0,68	0,17
Er	Ppm	3,66	1,82	1,43	0,92	3,12	1,89	3,45	3,16	1,94	0,53
Tm	Ppm	0,52	0,28	0,23	0,15	0,44	0,28	0,48	0,50	0,28	0,06
Yb	Ppm	3,47	1,87	1,53	1,12	3,06	1,98	3,35	3,10	1,97	0,5
Lu	Ppm	0,53	0,29	0,24	0,19	0,45	0,28	0,50	0,46	0,30	0,07
Mo	Ppm	0,5	0,5	0,4	0,2	<0,10	0,40	<0,10	<0,10	0,40	0,2
Cu	Ppm	25,3	29,6	55,9	27,8	47,50	38,30	58,10	48,80	34,20	51,8
Pb	Ppm	40,4	89,7	50,6	24,0	25,40	31,10	28,80	22,50	30,50	29,8
Zn	Ppm	53	54	196	114	132,0	75,00	126,0	117,0	51,00	204
Ni	Ppm	29	40,2	118,1	78,2	59,00	44,30	64,40	55,80	48,60	140
As	Ppm	6	7	15,5	3,8	5,80	5,50	6,30	5,90	6,20	6,7
Cd	Ppm	0,2	0,2	<0,1	<0,1	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,1	<0,1
Sb	Ppm	0,2	0,2	0,3	0,4	0,30	0,20	0,30	0,20	0,40	0,3
Bi	Ppm	0,4	0,8	0,6	0,2	0,90	0,60	1,00	0,90	0,60	0,7
Ag	Ppm	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Au	Ppb	6,9	6,4	5,3	58,9	8,60	12,50	3,40	6,50	11,30	16,3
Hg	Ppm	0,02	0,12	0,02	0,04	0,07	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02

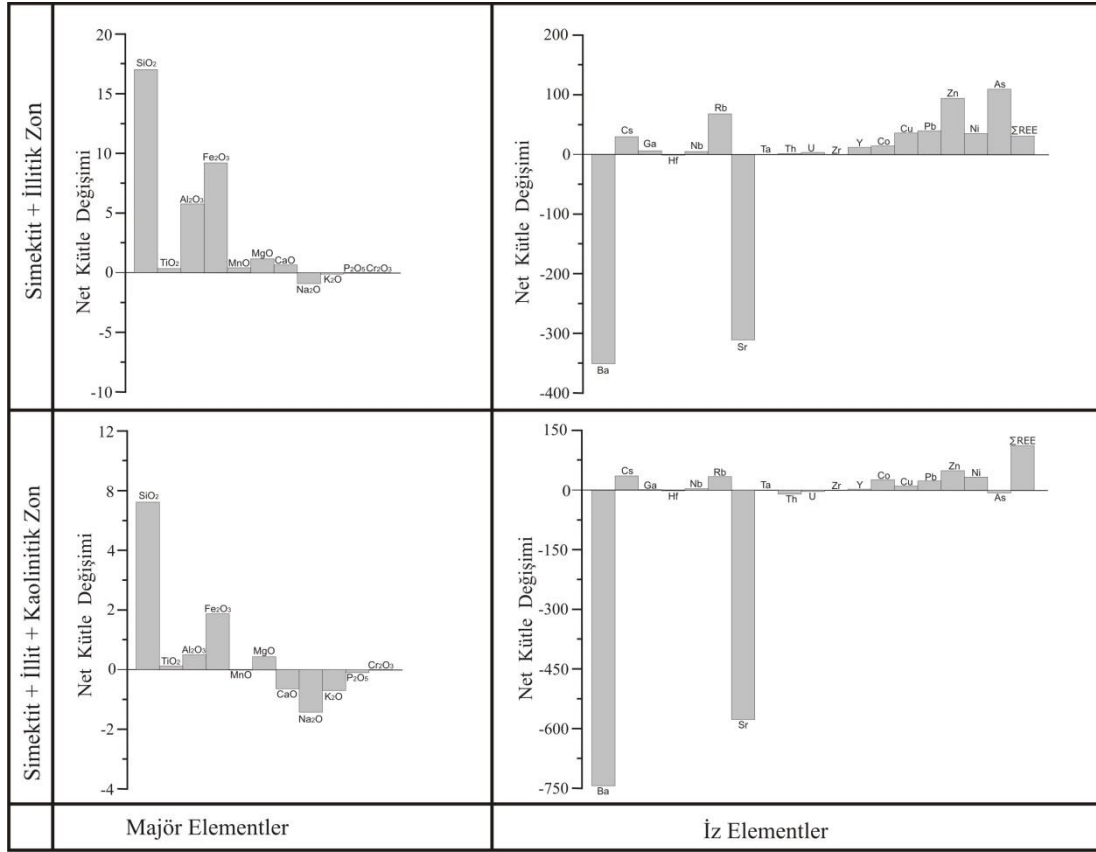
Çizelge 4.2 Devamı.

	Sa-18	Sa-21	Sa-22	Sa-23	Sa-24	Sa-30	Sa-32	Sa-33	Sa-34
SiO ₂	64,19	64,80	80,99	57,05	61,57	58,17	57,92	60,79	60,83
TiO ₂	0,56	0,68	0,14	0,76	0,79	0,78	0,78	0,71	0,70
Al ₂ O ₃	15,28	16,77	3,73	17,03	16,36	16,11	17,11	14,97	16,81
Fe ₂ O ₃	4,23	2,22	3,96	6,07	4,82	6,25	5,84	7,08	4,79
MnO	0,04	0,02	0,01	0,60	0,09	0,02	0,03	0,03	0,02
MgO	1,21	1,00	0,51	1,76	1,83	1,87	1,84	1,78	1,64
CaO	1,57	3,10	1,90	3,53	3,43	2,75	2,15	1,12	1,73
Na ₂ O	1,58	3,31	0,51	2,83	3,33	1,64	1,70	0,65	1,70
K ₂ O	3,84	4,07	0,72	3,24	4,34	3,04	3,26	3,09	4,21
P ₂ O ₅	0,10	0,36	0,08	0,36	0,47	0,58	0,22	0,12	0,37
Cr ₂ O ₃	0,007	0,006	0,003	0,010	0,008	0,012	0,011	0,015	0,012
Ateş Zaiyatı	7,9	3,20	7,3	6,1	2,4	8,4	8,8	9,4	6,8
Toplam	99,80	99,70	99,88	99,64	99,67	99,76	99,75	99,82	99,77
Ba	1070	1840	392	2417	2060	1069	1183	691	1190
Be	5	4	<1	7	2	3	4	8	8
Co	12,2	21,4	138,1	19,7	12,2	21,1	35,9	18,2	10,5
Cs	29,1	19,5	7,4	32,7	15,4	41,0	33,2	61,0	45,8
Ga	17,1	17,50	5,9	18,1	18,80	18,90	20,70	16,6	18,6
Hf	7,5	6,70	1,4	9,7	8,00	6,40	5,80	7,5	8,4
Nb	23,0	24,40	5,2	20,5	21,90	22,00	21,40	24,8	24,1
Rb	159,5	137,2	32,6	150,9	149,60	165,0	176,0	184,6	189,1
Sn	2	2	<1	3	3	2	3	3	5
Sr	705	1290,8	256,4	1574,8	1492,6	705,6	744,7	319,3	713,2
Ta	1,7	1,90	0,3	1,5	1,60	1,70	1,50	1,7	1,7
Th	27,1	40,20	7,1	36,6	40,70	32,00	37,50	26,4	29,3
U	6,2	16,40	9,3	6,7	12,10	13,30	13,40	4	6,0
V	62	209,0	211	126	105,0	128,0	131,0	96	85
W	6,8	6,30	0,7	4,6	4,10	4,40	4,80	4,6	4,5
Zr	279,6	260,3	54	363	301,0	225,0	217,6	294,8	304,0
Y	21,3	17,80	4,6	22,3	26,30	24,10	26,80	26,2	25,3
La	58,8	86,40	16,2	95,2	101,60	79,80	90,80	59,3	64,8
Ce	114,8	161,8	30,4	177,1	184,3	183,0	161,9	109,4	118,4
Pr	12,31	16,82	3,24	19,08	20,95	17,66	19,26	12,58	13,19
Nd	44,2	58,00	11,1	67	74,80	62,60	69,80	45,8	47,4
Sm	7,08	8,04	1,73	10,1	11,66	10,06	11,03	7,5	7,67
Eu	0,52	2,14	0,44	2,63	2,59	2,13	2,42	1,61	1,77
Gd	5,22	5,68	1,36	7,21	7,89	7,05	8,41	5,88	5,71
Tb	0,71	0,68	0,17	0,94	1,02	0,96	1,13	0,86	0,75
Dy	3,6	3,26	0,87	4,38	4,95	4,93	5,97	4,37	3,85
Ho	0,77	0,62	0,16	0,80	0,98	0,93	1,04	0,94	0,75
Er	2,03	1,86	0,45	2,23	2,75	2,79	2,82	2,58	2,40
Tm	0,34	0,24	0,07	0,34	0,43	0,37	0,41	0,39	0,32
Yb	2,19	1,77	0,52	2,22	2,53	2,43	2,62	2,5	2,29
Lu	0,33	0,27	0,08	0,35	0,40	0,39	0,37	0,4	0,33
Mo	0,4	0,20	0,1	1,9	2,10	0,10	0,10	0,6	0,1
Cu	23,2	24,50	41,5	51,2	38,00	56,80	49,30	19,1	26,5
Pb	49,2	40,30	21,5	52,7	38,00	31,70	29,90	30,7	54,0
Zn	37	56,00	202	65	49,00	107,0	107,0	62	56
Ni	19,4	21,70	123,3	37	22,90	38,80	42,20	38,7	23,5
As	4,1	4,00	5,1	15,1	11,00	6,50	4,80	19,5	5,9
Cd	<0,1	0,10	<0,1	0,4	<0,10	<0,10	<0,10	<0,1	<0,1
Sb	0,1	0,20	0,3	0,6	0,80	0,30	0,20	0,1	0,2
Bi	0,7	0,40	0,3	0,8	0,60	0,80	0,90	0,8	1,9
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Au	9,8	6,1	8	6,5	2,2	9,8	11,2	1,6	3,3
Hg	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04	<0,01	0,03

Çizelge 4.2 Devamı.

	Sa-35	Sa-36	Sa-37	Sa-38	Sa-39	Sa-40	Sa-41	Sa-42	Sa-43
SiO ₂	66,66	61,11	43,39	57,01	65,35	63,47	58,57	65,06	63,29
TiO ₂	0,72	0,74	0,57	0,50	0,49	0,65	0,43	0,49	0,66
Al ₂ O ₃	13,49	15,12	12,89	14,16	16,72	16,53	14,59	16,66	16,51
Fe ₂ O ₃	5,01	6,55	25,22	12,79	3,22	4,02	9,89	3,24	4,44
MnO	0,01	0,02	2,50	0,10	0,05	0,02	0,07	0,04	0,02
MgO	1,42	1,73	1,77	0,73	1,02	1,03	1,06	1,10	1,18
CaO	0,96	1,08	0,99	2,45	2,57	2,84	2,18	2,55	2,77
Na ₂ O	0,74	0,72	0,39	2,93	3,65	3,60	2,85	3,69	3,61
K ₂ O	2,93	3,29	2,60	4,07	5,14	5,30	4,14	5,11	5,21
P ₂ O ₅	0,14	0,11	0,26	0,41	0,26	0,49	0,23	0,26	0,46
Cr ₂ O ₃	0,015	0,015	0,012	0,004	0,003	0,009	0,002	<0,002	0,009
Ateş Zaiyatı	7,7	9,3	9,1	4,4	1,1	1,5	5,6	1,4	1,3
Toplam	99,83	99,83	99,80	99,71	99,74	99,70	99,76	99,75	99,69
Ba	773	704	608	1628	1785	2169	1543	1780	2135
Be	4	4	11	11	6	5	5	4	4
Co	11,9	13,0	21,4	9,4	5,9	6,8	8,7	6,1	7,3
Cs	49,4	50,7	51,4	10,5	12,7	7,8	11,6	8,0	7,4
Ga	14,2	17,20	15,3	15,8	17,90	18,20	15,9	17,80	18,20
Hf	10,0	8,20	4,4	8,2	9,80	9,20	8,6	9,40	10,00
Nb	22,4	25,80	17,7	19,2	21,60	21,20	18	21,00	20,60
Rb	153,2	185,2	166,3	119,7	151,20	154,90	127,8	143,50	152,00
Sn	3	3	3	2	5	2	3	5	2
Sr	336,7	321,9	222,5	1067,7	1060,8	1501,3	866,3	1040,5	1487,3
Ta	1,5	1,80	1,0	1,2	1,60	1,50	1,2	1,60	1,50
Th	23,6	27,70	18,3	32,7	41,00	42,80	33,4	42,20	40,50
U	4,3	4,60	5,4	9,2	10,50	11,90	8,3	10,80	10,80
V	66	77,00	237	244	67,00	92,00	106	69,00	96,00
W	3,6	4,60	5,0	10,9	4,30	4,00	4,6	2,10	3,40
Zr	394,1	313,3	203,0	342,1	344,40	340,20	313,4	346,60	362,90
Y	25,9	23,50	17,9	23,5	21,10	20,20	22	23,20	18,50
La	58,4	56,30	35,0	76,8	94,30	97,10	77,1	97,90	99,00
Ce	109,1	98,30	70,6	144,3	168,30	170,80	142,4	176,00	177,40
Pr	12,46	11,60	7,50	15,35	17,78	19,70	15,18	18,27	19,38
Nd	45,7	41,10	26,5	55,4	59,40	69,40	50,8	62,40	68,80
Sm	7,38	6,68	4,22	8,27	8,50	9,99	7,82	9,07	9,26
Eu	1,59	1,46	0,83	1,95	1,97	2,42	1,73	1,94	2,32
Gd	6,15	5,40	3,31	6,18	6,07	6,64	5,66	6,14	6,25
Tb	0,88	0,79	0,50	0,81	0,83	0,78	0,76	0,82	0,77
Dy	4,86	4,18	2,72	4,25	4,19	3,82	4,21	4,35	3,63
Ho	1,02	0,90	0,63	0,85	0,85	0,70	0,82	0,84	0,71
Er	2,98	2,47	2,16	2,77	2,41	2,03	2,33	2,42	1,93
Tm	0,42	0,38	0,35	0,41	0,34	0,30	0,37	0,37	0,26
Yb	2,84	2,70	2,45	3,00	2,38	1,94	2,48	2,35	1,85
Lu	0,42	0,39	0,40	0,46	0,35	0,29	0,38	0,34	0,27
Mo	0,1	<0,10	21,7	8,9	0,80	0,90	2,5	0,50	1,20
Cu	13,3	16,10	40,1	30,0	9,20	11,10	20,1	10,20	17,90
Pb	32,6	31,40	166,5	23,3	11,40	5,60	18,9	14,30	10,10
Zn	42	56,00	89	66	32,00	31,00	85	37,00	30,00
Ni	24,8	32,80	44,7	12,6	6,80	10,30	12,6	6,60	10,20
As	2,6	4,30	278,7	434,8	20,60	28,80	91	8,10	22,60
Cd	<0,1	<0,10	<0,1	<0,1	<0,10	<0,10	<0,1	<0,10	<0,10
Sb	<0,1	<0,10	1,7	3,6	0,20	0,70	1,2	0,40	0,80
Bi	0,5	0,80	1,0	0,5	<0,10	<0,10	2,2	<0,10	<0,10
Ag	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Au	1,4	1,2	1,7	2,0	<0,5	1,0	2,4	<0,5	1,4
Hg	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01

Alterasyon süresince elementlerin bir bölümü ortamdan uzaklaşırken, bazı elementler ise zenginleşmektedir. Element konsantrasyonlarında meydana gelen değişimlerin belirlenmesi için en az altere olmuş kayacın (ana kayaç) element içeriği referans alınarak kayalarındaki element konsantrasyonlarındaki değişimler araştırmacılar tarafından geliştirilen değişik yöntemler kullanılarak belirlenebilmektedir (Gresens 1967, MacLean ve Kranidiotis 1987). Bu çalışmada MacLean ve Kranidiotis (1987) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmış olup, farklı kil mineral parajenezine sahip örnekler gruplandırılarak, bu gruplardaki örneklerin ana kayaca göre element değişimi incelenmiştir (Şekil 4.46).



Şekil 4.46 Afyon volkaniklerinin alterasyon süresince ana (gr) ve iz (ppm) elementlerinin kütle değişimleri.

Ana kayaca göre alterasyon süresince örneklerin SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO ve MgO'de zenginleşme; diğer taraftan Na₂O ve K₂O'de kayıplar gözlenmiştir. CaO ise simektitik zonda zenginleşirken, simektit+kaolinitik zonda kayba uğramıştır. Ana kayaca göre alterasyon süresince Fe₂O₃, MnO ve MgO'de meydana gelen 3 katına varan

zenginleşmeler, bunların hidrotermal sıvıların getirimi ile ortama taşındıkları fikrini kuvvetlendirmektedir.

Simektitlerde element zenginleşmesi; erimeyen kalıntı malzemede birikmiş olan elementlerin zenginleşmesi (yapısal birleşme, yerinde zenginleşme), iyon değişimi, adsorbsiyon veya fiziksel yoğunlaşma nedeniyle gerçekleşir (Christidis 1998, Yıldız ve Kuşcu 2004). Ana kayaca oranla üç mislin üzerinde gerçekleşen element zenginleşmeleri adsorpsiyon veya soğurma, iyon değişimi veya ikincil fazlarla birlikte çökelme olaylarıyla meydana gelmektedir (Zielinski 1982). Simektitlerdeki element azalması ise açık sistem özümleme veya çözünebilir iyon ve bileşiklerin ortamdan taşınması nedeniyle gerçekleşmektedir.

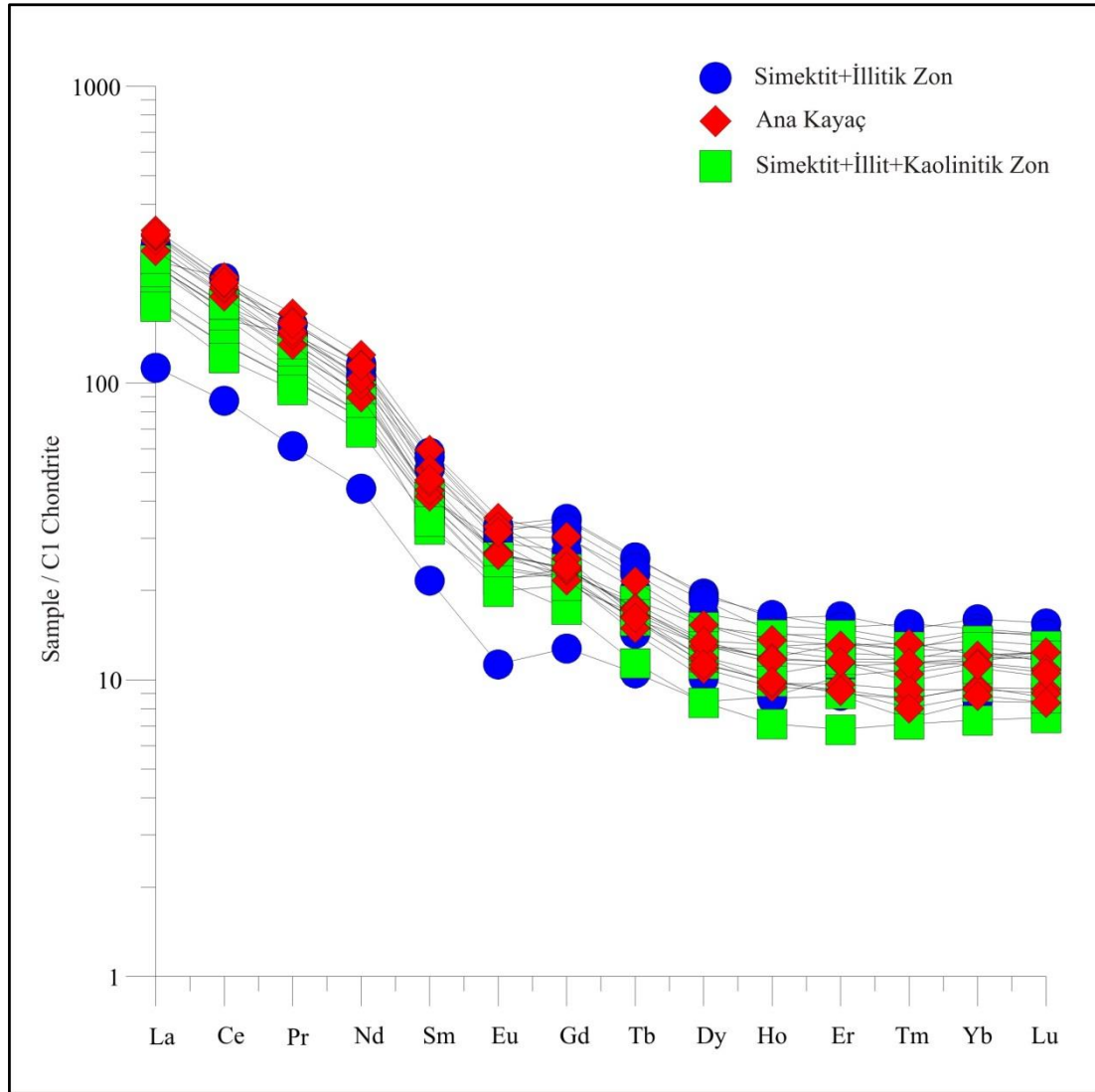
Ba, Rb, Sr gibi büyük iyon yarıçaplı litofil elementler (LILE) kıtasal kabuk veya sedimanların kısmi ergimesi sırasında değişime uğrayan mantodan itibaren oluşan magmada zenginleşmektedirler (Wilson 1989). Simektit bakımından zengin alterasyon zonlarında bu elementler feldspatlarla ilişkilidirler ve bu minerallerin alterasyonu sonucu kuvvetli bir biçimde kayba uğrarlar. Simektitik ve simektit+kaolinitik zonda literatürle uyumlu bir şekilde Ba ve Sr elementleri kayba uğramış, buna karşın Rb ise zenginleşmiştir (Şekil 4.46).

Bozuşma sürecinde Ni, Cu, Pb ve Zn gibi elementlerin içeriklerinde gözlenen artışlar yerinde zenginleşmeden (in-situ) çok sekonder sulu Fe-Mn oksitlerinin etkisiyle gerçekleşmektedir (Christidis 1998, Zielinski 1980). Ana kayaca göre bu elementlerin konsantrasyonlarındaki değişim alterasyona neden olan sıvıların kökeninin belirlenmesinde önemli bir indikatör görevi görmektedirler (Yalçın ve Gümüşer 2000). Her iki alterasyon zonunda bu elementlerin ana kayaca göre 50 kata varan artışlar göstermesi inceleme alanındaki alterasyon olayında hidrotermal akışkanların etkisini işaret etmektedir.

Örneklerin kondrit normalize nadir toprak element (REE) dağılım grafiği incelendiğinde hafif nadir toprak elementleri (LREE) alterasyon süresince ağır nadir toprak elementlerine (HREE) nazaran daha çok mobilize olmuşlardır (Şekil 4.47). Söz konusu

grafikte örneklerin NTE desenlerinin kaşık şekilli dağılım sunması hornblend minerallerinin fraksiyonelleşmesini yansıtmaktadır.

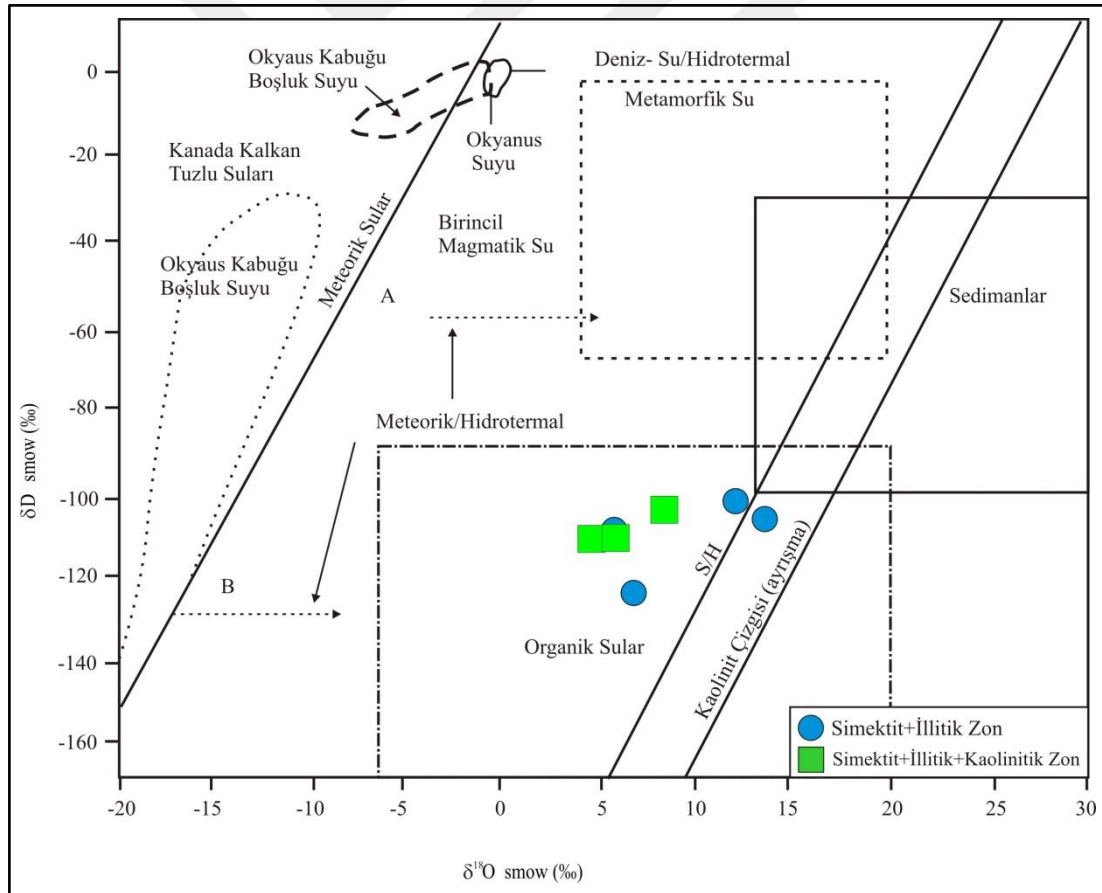
İnceleme alanına ait volkanitlerin kondrit normalize nadir toprak element diyagramı (REE) hafif nadir toprak elementlerinin (LREE) ağır nadir toprak elementlerine (HREE) göre zenginleştiğini göstermektedir. Ayrıca grafikte yer alan örneklerin kaşık şekilli dağılım sunması hornblend minerallerinin fraksiyonelleşmesini yansıtmaktadır. Ayrıca diyagramda oldukça belirgin olarak gözlenen negatif Eu anomalisi plajiyoklas fraksiyonelleşmesinin etkisini göstermektedir (Şekil 4.47).



Şekil 4.47 Alterasyon zonundaki örneklerin Taylor ve Mc Lennan (1985)'a ait kondrit normalize diyagramı.

Killerin izotopik bileşimleri alterasyonun olduğu sıcaklık ve alterasyona neden olan sıvının izotopik bileşimi ile yakından ilişkilidir. Literatürde simektit ile su arasındaki O izotop farklılaşmasının hesaplanmasında kullanılan çok sayıda denklem bulunmaktadır. Çalışmada Sheppard ve Gilg (1996) tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

İnceleme alanına ait örneklerin $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri oksijen ve hidrojen izotop bileşimlerinden oluşan grafiğe yerleştirilmiş ve örneklerin hipojen-süperjen (H/S) çizgisinin solunda kaldığı, yani hipojen kökenli olduğu düşük döteryum değerlerinin magmatik süreçler boyunca meteorik karışımdan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Örneklerin hipojen-süperjen (H/S) çizgisine yaklaşık paralel sıralanma göstermeleri, kil minerallerinin farklı sıcaklıkta ve farklı su bileşiminde oluştuklarını göstermektedir (Şekil 4.48).



Şekil 4.48 İnceleme alanına ait örneklerin oksijen ve hidrojen izotop bileşimlerini gösteren grafik. Hipojen-süperjen (S/H) sınırı Sheppard et al (1996)'ten alınmış, kaolinit sınırı Sheppard ve Gilg (1996) tarafından Savin ve Epstein (1970)'ten değiştirilmiştir.

Simektit+illit mineralinin ortam sıcaklığı 44-119 °C, simektit+illit+kaolinit minerallerinin ortam sıcaklığı da 83-121 °C arasında olduğu hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Oluşum sıcaklığı hesaplamalarında Miyosen dönemi için meteorik suyun $\delta^{18}\text{O}$ değeri -8 olarak göz önünde bulundurulmuştur (Özyurt ve Bayarı 2005).

Çizelge 4.3 Simektit, illit ve kaolinit minerallerinin $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ ve ortam sıcaklığı (°C) değerleri.

Mineraloji	Örnek	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	Ortam Sıcaklığı (°C)
Simektit+İllit	Sa-12	-102,24	11,80	54
	Sa-15	-109,16	5,53	108
	Sa-17	-115,45	4,49	119
	Sa-30	-62,70	9,48	71
	Sa-32	-106,52	13,30	44
	Sa-38	-124,21	6,54	103
Simektit+İllit+Kaolinit	Sa-33	-110,10	5,50	108
	Sa-34	-104,35	8,12	83
	Sa-35	-110,84	4,36	121
	Sa-36	-108,37	5,94	103

Not: Ortam sıcaklığı (°C) değerleri hesaplamalarında simektit minerali için Savin ve Lee (1988); kaolinit minerali için Sheppard ve Gilg (1996) tarafından önerilen eşitlikler kullanılmıştır.

4.4 İnceleme Alanındaki Jeotermal Sistemin Özellikleri

4.4.1 Jeotermal Sistemin Elemanları

İnceleme alanı Afyonkarahisar ilinin en önemli jeotermal alanları olan Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli bölgelerinin de bulunduğu Akarçay Havzası'nda yer almaktadır. Jeotermal sistemin en önemli elemanları rezervuar kayaç, örtü kayaç, ısıtıcı kayaç ve fay hatlarıdır. Permiyen yaşlı Deresine formasyonu ile Orta-Üst Miyosen yaşlı Gebeceler formasyonunun kireçtaşı düzeyleri bölgedeki jeotermal sistemin en önemli rezervuar kayaçlarıdır. Deresine formasyonu ve çok sert, mikritik özellikteki gölsel kireçtaşı içerisindeki muhtemel erime boşlukları ve tektonizmanın etkisiyle oluşabilecek kırıklı yapı jeotermal sular için gerekli olan yüksek porozite ve permeabiliteye bir ortam oluşturabilecektir. Alt Karbonifer-Üst Devoniyen yaşlı Değirmendere formasyonuna ait şistler geçirimsiz tabanı oluştururken, Gebeceler formasyonunun killi seviyeleri ile alüvyon geçirimsiz örtü kayaç özelliği göstermektedir. Yağışlarla yeryüzüne düşen sular

geçirimli birimler ve fay zonları boyunca süzülerek, ısıtıcı kayaçların veya ortamın jeotermik gradyanının etkisiyle ısınabilmektedir.

Afyonkarahisar ilinde geniş yayılım sunan ısıtıcı kayaç özelliğindeki trakiandezit ve andezit bileşimli volkanik kayaçlarla jeotermik gradyan bölgedeki jeotermal sistemin en önemli ısı kaynağıdır. Sıcaklığı yükselen ve ısıtıcı kayaçla reaksiyon sonucu bileşimi değişen jeotermal akışkanlar birbirlerini değişik doğrultularla kesen faylar boyunca yükselerek yüzeye ulaşmaktadır. Işıklar, Halımoru, Salar ve Sülün fayları tektonik açıdan aktif olup, jeotermal akışkanı taşıyabilecek özelliklere sahiptir. Özellikle Halımoru fayı ve bu fayın segmentleri olan faylar ile KD-GB, D-B yönlü ikincil fayların birbirini kestiği bölgeler jeotermal suların birikimi ve hareketliliği açısından ideal ortamlardır.

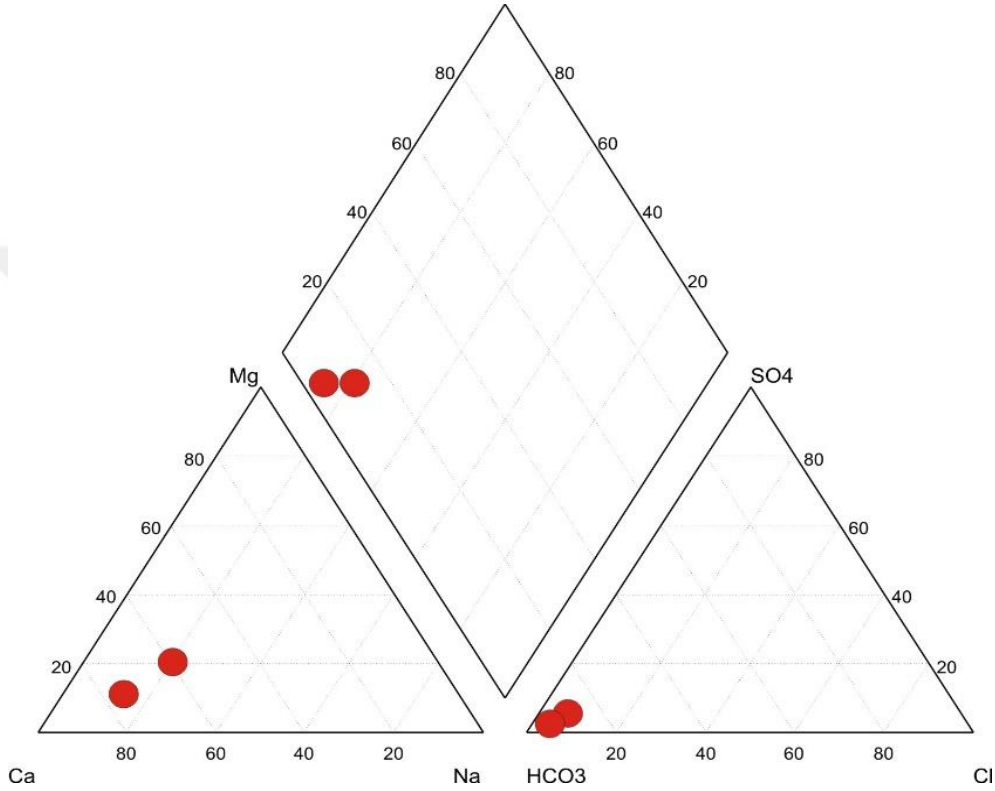
4.4.2 Sıcak ve Soğuk Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri

İnceleme alanındaki 2 adet soğuk su kaynağı sondaj noktasında su sıcaklıkları, elektiriksel iletkenlik, pH ve Eh ölçümleri yapılmıştır. Su sıcaklıkları 25,5 °C ve 30,6 °C, elektiriksel iletkenlik (EC) değerleri 327 ms/cm ve 320 ms/cm, pH değerleri 6,79 ve 6,88 ile Eh değerleri ise -15,2 ve -40,8 olarak ölçülmüştür. Su örneklerinin silis (Alfa Kristobalit) jeotermometrelerine göre hazne kaya sıcaklıkları 71°C ve 75°C olarak hesaplanmıştır (referans Fournier, 1977).

İyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlarda birisi Piper diyagramıdır (Piper 1944). Piper diyagramı ile suların yapılarındaki anyon ve katyon (%meq/l cinsinden) içerikleri değerlendirilerek su fasiyesleri belirlenir. Piper diyagramı iki ayrı üçgen ve bir eşkenar dörtgenden oluşmakta olup üçgen diyagramlarla suların hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenirken, eşkenar dörtgenle suların sınıflandırılması ve karşılaştırılması sağlanmaktadır.

Çalışma alanımızdan alınan 2 adet soğuk su örneklerinde yapılan analiz sonuçları ile hazırlanan Piper diyagramı Şekil 4.49'da verilmiştir. Hazırlanan piper diyagramı

incelendiğinde örneklerin tamamının Ca-HCO₃ bileşimli olduğu ve dörtgen diyagrama bakılarak örneklerin her ikisinin 1. grup, (toprak alkaliler, alkalilerden fazla olup, karbonatlı ve sülfatlı sulardır $Ca^{+2}+Mg^{+2} > Na^{+} + K^{+}$), 3. grup (zayıf asitler güçlü asitlerden fazladır $CO_3+HCO_3 > SO_4 + Cl$) ve 5. grupta (karbonat sertliği (ikincil alkalinite) %50'den fazla olan sulardır) yer aldıkları görülmektedir.



Şekil 4.49 Su örneklerinin piper diyagramı konumu.

4.5 Manyetotellürik (MT) Ölçüm Çalışmaları

4.5.1 Ayırıştırma Analizi ve Döndürme Açısının Kestirimi

Verilerin 2-B yorumlanabilmesi için, bütün doğrultular için bir yer -elektrik doğrultusu bulunmuştur. Bu çalışmada, yer elektrik doğrultusu bulunması için veriler Özyıldırım (2010) tarafından geliştirilmiş FNIDEC algoritması ile ayırıştırılmıştır. Yer elektrik doğrultusu bütün profiller için 20° seçilmiştir.

Her doğrultu için elde edilen empedans tensörleri, yer elektrik doğrultusu yönünde döndürülmüştür. Ölçü alırken manyetik kuzey yönü x-olarak işaretlenmektedir. Buna göre 20° döndürülen empedans tensörlerinden 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 her üç doğrultu için elde edilen verilerin 2B ters çözümü yapılarak öz direnç modelleri elde edilmiştir.

4.5.2 Manyetotellürik Verilerinin 2B Ters Çözümü

Yaklaşık paralel üç ve bunlara dik bir ölçü doğrultusu boyunca ölçülen verilerin ayrı ayrı 2B ters çözümü yapılmıştır. 2-B Ters çözüm için Afyon Kocatepe Üniversitesi JUAM Müdürlüğü'ne ait lisanslı 'Wingling' Programı kullanılmıştır. Ters çözümlerde, model ağının x-yönündeki blok sayısı istasyon sayısına göre değişmektedir. Genel olarak x-yönünde ortalama 112 ve z-yönünde 147 blok kullanılmıştır. Tüm ters çözümlerde z-yönünde blok kalınlıkları aynı 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 4.4.'deki 2B model seçilmiştir. Bu model önceki çalışmalar incelenerek bölgenin kabuk kalınlığı ile ilgili bilgilere dayalı olarak seçilmiştir (Candansayar vd. 2010).

Çizelge 4.4 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

4.5.3 Doğrultular

Doğrultular 4-5-6 boyunca yedişer istasyonda MT ölçüsü alınmıştır. Doğrultu 7'de 5 istasyonda very alınmıştır, fakat 7005 no'lu istasyon very kalitesi düşük olduğu için ters

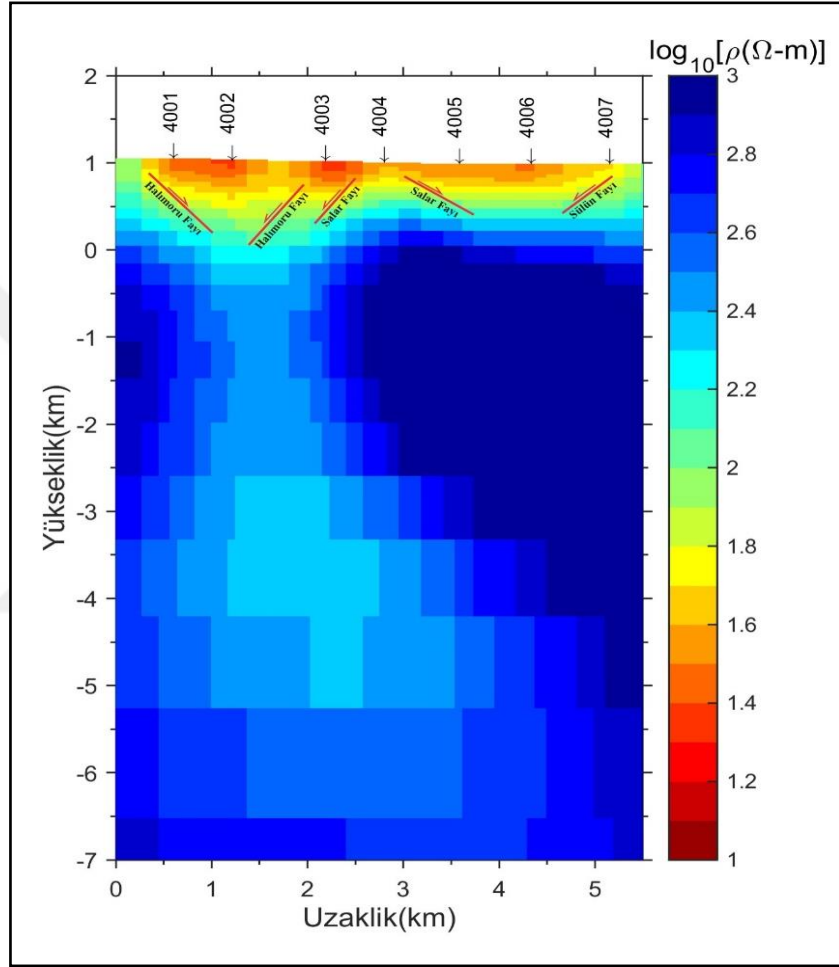
çözümüne katılmamıştır. Onun yerine diğer doğrultuların Doğrultu-7 ile çakışan noktaları ters çözüme katılmıştır. Genel olarak tüm istasyonlarda 1000Hz-1000sn aralığında veri kalitesi iyidir. Genel olarak 0.001-1000 sn arası MT verileri ters çözümde kullanılmıştır. Modeller sırası ile 4, 5, 6 ve 7 numaralı doğrultularda sırası ile % 2.9, % 4.5, % 4.7 ve % 6.5 karekök (Root Mean Squares- RMS) hata ile bulunmuştur.

4.5.4 2B Özdirenç Modellerinin Yorumu

Manyetotellürik çalışmalarda ölçümler 3 adet K-G doğrultulu 1 adet de D-B doğrultulu profil oluşturacak şekilde alınmıştır. Bu profillerde ölçülen veriler ayrı ayrı ters çözüm yapılmış ve özdirenç modelleri elde edilmiştir. 2B Özdirenç modellerinde Işıklar fay zonunun segmentleri belirlenmiştir. Her modelin yorumu sonucu olası gömülü fay sınırları, modeller üzerinde kırmızı çizgilerle gösterilmiştir. Bütün modellerde renk göstergesi aynı alınmıştır (0-1000ohm-m aralığında). Yine bütün modeller z-yönünde 7 km derinliğe (deniz seviyesinden ortalama 1km yukarıdan başlayarak) kadar sunulmuştur. Profiller 4, 5 ve 6, KKB-DGD doğrultulu Işıklar fay zonunu kesecek şekilde K-G doğrultulu olarak oluşturulmuştur. Halımoru, Salar ve Sülün fayları olarak adlandırılan bu segmentler, profil 4, 5 ve 6 'da karakteristik olarak gözlenmiştir. 7 nolu profil ise Işıklar fay zonunu verevline kesen ikincil fayları ve Afyon-Akşehir grabenini doğruya doğru gözlemek amacıyla D-B doğrultulu olarak oluşturulmuştur. Bu profil üzerinde de söz konusu ikincil faylara rastlanmış olup, 2B Özdirenç modellerinde belirlenen bu faylar jeolojik gözlemlerle son derece uyumludur.

Profil 4: Bu doğrultudaki gömülü faylar 4001-4004 ile 4004-4007 ölçüm noktaları arasında belirlenmiştir. 4001-4003 ölçüm noktaları arasında Halımoru fayının segmentleri gözlenmiş olup, bu faylar söz konusu noktalar arasında küçük bir graben yapısının oluşumunu sağlamışlardır. 4003 ile 4004 noktaları arasındaki Salar fayı da, güneye eğimli Halımoru fayıyla uyumlu sentetik fay özelliği taşımaktadır. Bu bölgedeki örtü kalınlığı yaklaşık 850 m'dir. 4004-4007 ölçüm noktaları arasında gözlenen Salar ve Sülün fayları bu bölgede örtü kalınlığı 600 m'ye kadar ulaşan graben yapısı oluşturmuşlardır. Halımoru fayının etkisinin görüldüğü 4001-4004 ölçüm noktaları arasında örtü kalınlığının diğer bölgelere göre fazla olması Halımoru fayının derine

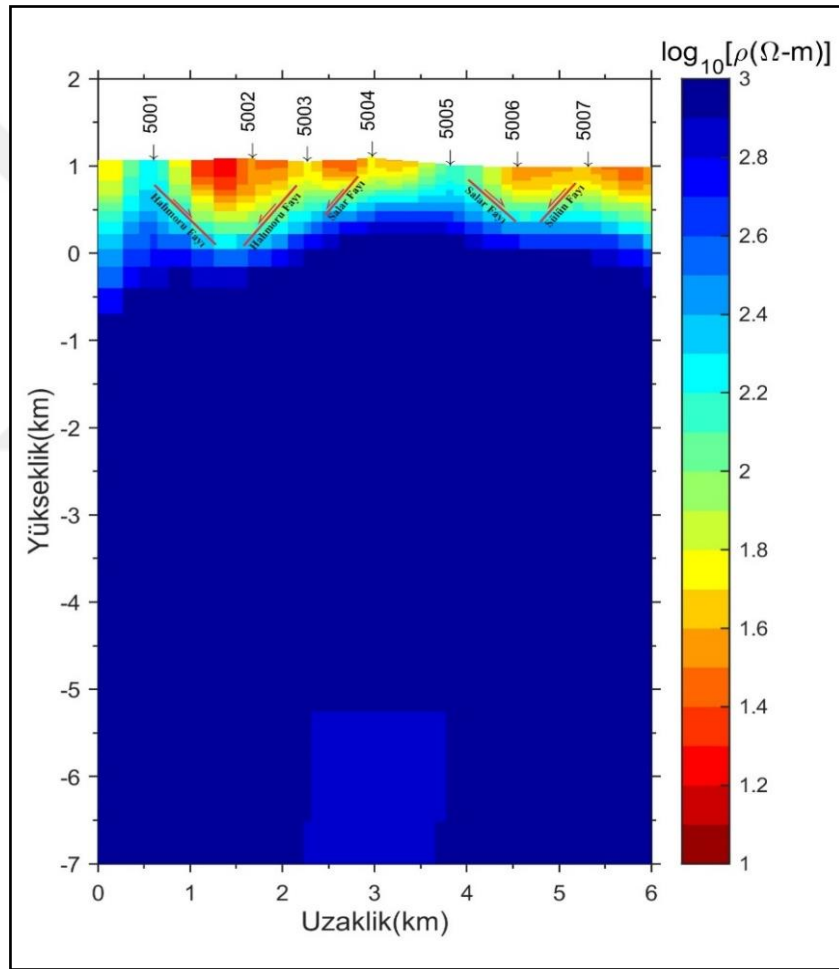
doğru uzanımının fazla olduğunu göstermektedir. Doğrultu 4'te alüvyon, Gebeceler formasyonu ve Afyon volkanoklastikleri çok düşük öz dirençli ($10 < \rho < 20$ ohm-m) birim, bunların altında ise yüksek öz dirençli ($80 < \rho < 120$ ohm-m) Deresinek formasyonu daha altta ise Değirmendere formasyonu (1000 ohm-m) yanal ve düşey yönde yayılım sunmaktadır.



Şekil 4.50 Kuzey-Güney doğrultulu profil-4, 2B MT öz direnç modeli.

Profil 5: Bu doğrultudaki gömülü faylar 5001-5004 ile 5004-5007 ölçüm noktaları arasında yer almaktadır. Fayların konumları ve eğimleri Doğrultu 4 ile son derece benzer özellikte olup, bu durum Halımoru, Salar ve Sülün faylarının batıya doğru uzanım sunduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda da 5005 nolu ölçüm noktasından güneye doğru örtü birimlerinin kalınlığı (Kalınlık: 850 m) artmakta ve havza derinleşmektedir. 5003 nolu noktada bulunan Salar Belediye Başkanlığı'na ait sondaj kuyusundaki su sıcaklığının 28°C 'ye kadar yükselmesi, bu bölgede güneye eğimli

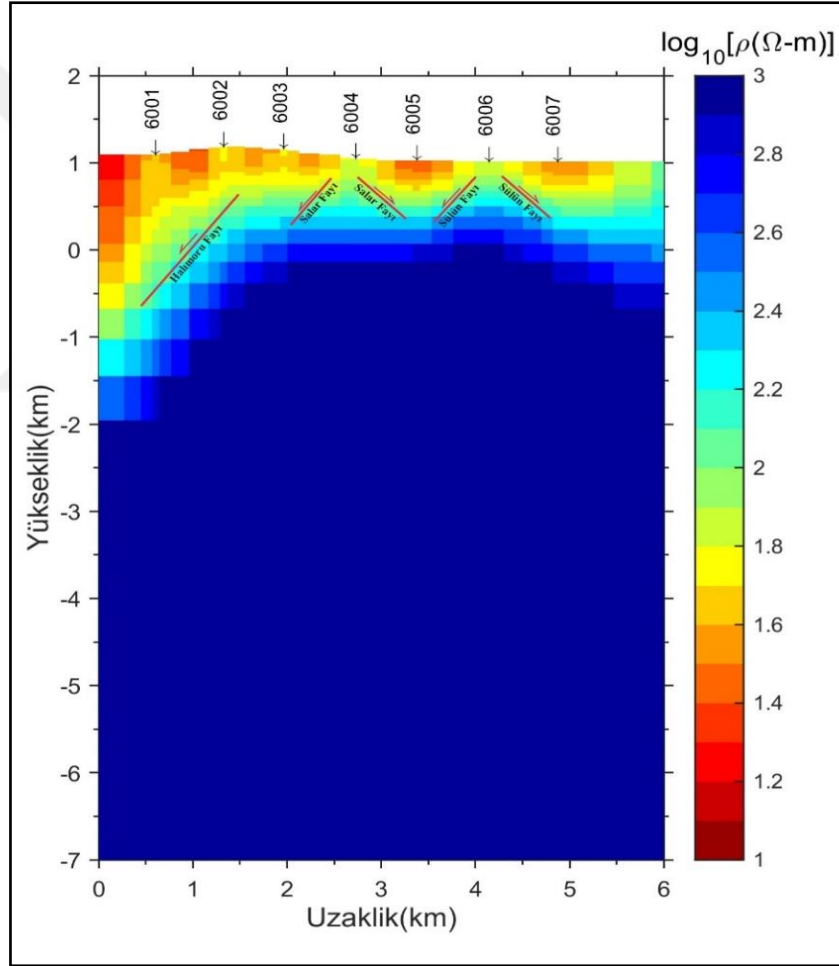
Halımoru ve Salar faylarından kaynaklandığı düşünülmektedir. 5005 ile 5007 noktaları arasında kuzeye eğimli Salar fayı ile güneye eğimli Sülün faylarının oluşturduğu graben yapısı göze çarpmaktadır. Bu bölgedeki havza derinliği Salar ile Halımoru arasındaki grabene göre daha sıgıdır (Derinlik: 500 m). Doğrultu 5'te de çok düşük özdirençli ($10 < \rho < 20$ ohm-m) seviyeler alüvyon, Gebeceler formasyonu ve Afyon volkanoklastiklerinden meydana gelmektedir. Bu birimlerin altında bölgenin temelini oluşturan yüksek özdirençli ($80 < \rho < 120$ ohm-m) Deresineek formasyonu ve Değirmendere formasyonu (1000 ohm-m) yer almaktadır.



Şekil 4.51 Kuzey-Güney doğrultulu profil-5, 2B MT özdirenç modeli.

Profil 6: Bu doğrultudaki gömülü faylar 6001-6004, 6004-6006 ve 6006-6007 ölçüm noktaları arasında gözlenmiştir. Doğrultu 4 ve 5'ten farklı olarak bu doğrultuda 6001 ile 6004 noktaları arasındaki güneye eğimli Halımoru ve Salar faylarının oluşturduğu havzanın derinliği ve örtü birimlerin kalınlığı (Maksimum: 2000 m) artmış olup, bu

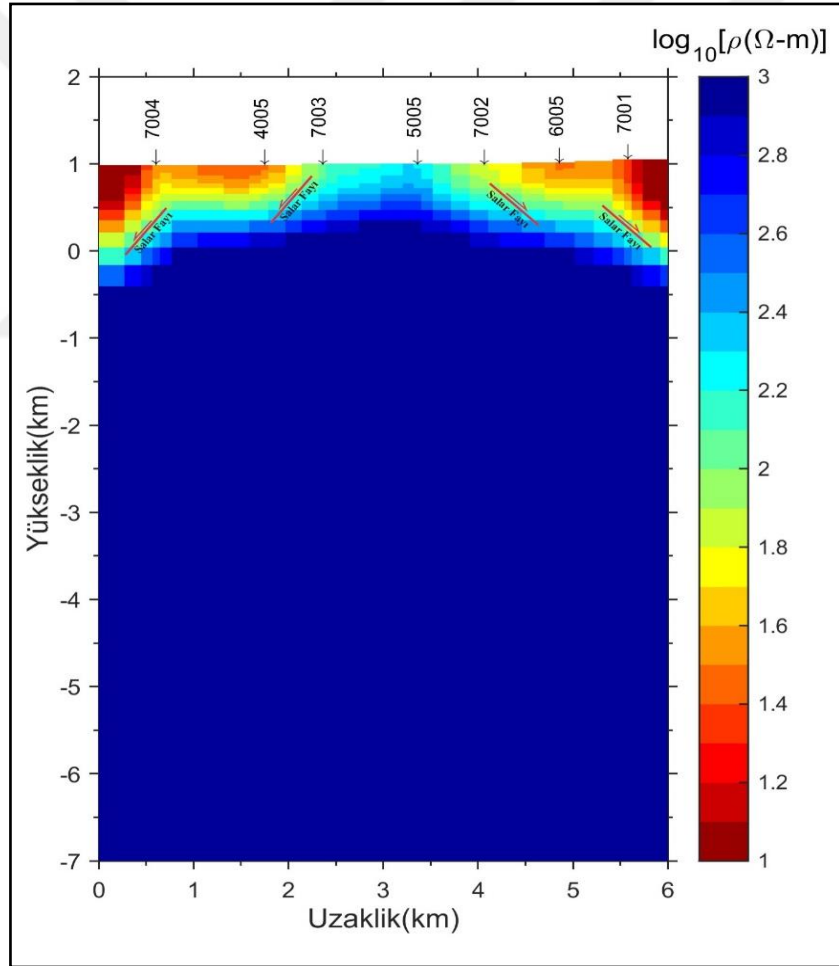
durumun bölgedeki Afyon volkanoklastiklerinin kalınlığının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca Salar ve Sülün kasabaları arasında iki gömülü graben yapısı belirlenmiştir. Bu grabenler 6004-6006 ve 6006-6007 ölçüm noktaları arasında yer almakta olup, bu bölgelerde havza derinliği 600 m'ye kadar ulaşmıştır. Doğrultu 6'da alüvyon, Gebeceler formasyonu ve Afyon volkanoklastikleri çok düşük öz dirençli seviyelerle ($10 < \rho < 20$ ohm-m) temsil edilmektedir. Diğer doğrultularla uyumlu bir şekilde Deresineek formasyonu ($80 < \rho < 120$ ohm-m) ve Değirmendere formasyonu (1000 ohm-m) yüksek öz dirençli olarak inceleme alanının temelini oluşturmaktadır.



Şekil 4.52 Kuzey-Güney doğrultulu profil-6, 2B MT öz direnç modeli.

Profil 7: D-B yönlü olan bu doğrultuda 7001-7002 ve 7003-7004 ölçüm noktaları arasında gömülü faylar belirlenmiştir. 5005 nolu ölçüm noktası örtü kalınlığının en düşük olduğu (Kalınlık: 250m) bölge olup, bu noktadan doğu ve batıya doğru havza

derinleşmektedir. 7002 noktadan başlayıp, 7001 noktasına kadar olan bölgede Salar fayıyla ilişkili batıya eğimli iki fayın varlığı göze çarpmakta olup, bunlar sentetik fay özelliği taşımaktadır. Bu bölgede örtü kalınlığı yaklaşık 1000 m'dir. Profilin doğu bölümünde, 7003 ile 7004 nolu ölçüm noktaları arasında havzanın basamaklı yapıda derinleştiği görülmekte ve bu yapının oluşmasında bu noktalardaki doğuya eğimli sentetik özellikteki Salar fayının etkisi vardır. Bu doğrultuda da çok düşük öz dirençli örtü seviyesini ($10 < \rho < 20$ ohm-m) alüvyon, Gebeceler formasyonu ve Afyon volkanoklastikleri oluşturmaktadır. Bu seviyenin altında ise yüksek öz dirençli Deresineek formasyonu ($80 < \rho < 120$ ohm-m) ve Değirmendere formasyonu (1000 ohm-m) yer almaktadır.



Şekil 4.53 Doğu-Batı doğrultulu profil-7, 2B MT öz direnç modeli.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

İnceleme alanı Afyonkarahisar ilinin en önemli jeotermal alanları olan Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli bölgelerinin de bulunduğu Akarçay Havzası'nda yer almaktadır. Jeotermal sistemin en önemli elemanları rezervuar kayaç, örtü kayaç, ısıtıcı kayaç ve fay hatlarıdır. Değirmendere formasyonuna ait şistler geçirimsiz tabanı oluşturmaktadır. Deresine formasyonu ile Gebeceler formasyonunun (Köprülü üyesi) kireçtaşı düzeyleri bölgedeki jeotermal sistemin en önemli rezervuar kayaçlarıdır. Gebeceler formasyonunun killi seviyeleri ile alüvyon geçirimsiz örtü kayaç özelliği göstermektedir. İnceleme alanında Afyon-Akşehir Graben sisteminin güney kenar fayı olan Halımoru fayı yer almaktadır. Bu fay tektonik açıdan aktif olup, jeotermal akışkanı taşıyabilecek özelliklere sahiptir. Halımoru fayı ve bunun segmentleriyle bu fayları KD-GB yönü boyunca kesen ikincil fayların (Salar fayı) kesişim noktaları jeotermal suların birikimi ve hareketliliği açısından ideal ortamlar sunduğu düşünülmektedir.

Jeotermal sistemle ilişkili olan hidrotermal alterasyonun kayaçlar üzerindeki etkilerinin ortaya konması amacıyla bölgede yaygın olarak bulunan ve ana kayaç özelliği taşıyan Afyon volkanoklastikleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Hidrotermal alterasyon Halımoru Köyü güneyi ile Sarık Köyü yol yarması olmak üzere iki bölgede gözlenmiştir. Her iki bölgedeki alterasyon zonları özellikleri Afyon – Akşehir grabenin güney sınırını oluşturan Halımoru fayı ile ilişkili birincil faylar ve bunları değişik açılarla kesen ve ilk kez bu çalışmada tanımlanan Salar fayın kesişim bölgelerinde oluşmuştur.

Halımoru Köyü'nün güneyinde kahve, gri, açık gri, krem renkli ve değişik litolojik özelliklere sahip seviyelerden oluşan Afyon volkanoklastikleri bulunmaktadır. Birim belirgin tabakalanma özelliği göstermekte olup, tabakalar K15B/22KD konumlu olarak bölgede yayılım sunmaktadır. Birim K15B/74GB, K10B/65KD, K20D/80GD, K10D/58KB konumlu eğim atımlı normal faylarla bloklara ayrılmıştır

Sarık Köyü yol yarmasında gözlenen alterasyon birimin kül boyutundaki matriksini ve birim içindeki volkanik kayaç parçalarını yoğun bir biçimde etkilemiştir. Yeşil renkli

zon bölgedeki alterasyonun merkezinde bulunmaktadır. Kendi içerisinde de yeşil renkli, sarımsı kırmızımsı renkli ve gri renkli taze / az altere zon olarak sınıflandırılmış ve yeşil renkli zon içinde K20B/50KD konumlu fay hattı boyunca kalınlığı 5 cm ile 10 cm arasında değişen yeşilimsi siyah renkli bitümce zengin fay dolgusu gözlenmiştir.

Her iki bölgede de alterasyon zonlarının fayların doğrultularıyla uyumlu yayılım sunması ve yüzeye doğru alterasyon şiddetinin azalması inceleme alanındaki alterasyon zonlarının söz konusu fay hatları boyunca yükselen hidrotermal eriyiklerin etkisiyle oluştuğunu desteklemektedir.

Afyon volkanoklastiklerindeki alterasyon seviyelerine ait XRD incelemelerinde birimin başlıca illit-mika, plajioloklas, opal-CT/kristobalit, kuvars ve alkali feldspat ile az oranda kalsit, dolomit ve hematit minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Örneklerdeki en önemli alterasyon minerali simektit ve illittir. Bazı seviyelerde bu minerale az oranda kaolinit eşik etmiştir. Bu nedenle alterasyon zonları kil minerallerinin türü ve bolluklarına göre; (1): Simektit+illitik zon ve (2): Simektit+illit+kaolinitik zon olarak iki gruba ayrılmıştır. Mineral birliktelik açısından değerlendirildiğinde, bölgede ortaç ve ileri arjillik alterasyonun etkili olduğu söylenebilir.

SEM incelemelerinde volkanik cam ve alkali feldspat minerallerinde alterasyon izlerine rastlanmıştır. Bu olayın sonucu olarak örneklerde yapraksı morfolojide simektit ve illit, psedoheksagonal morfolojide kaolinit mineralleri belirlenmiştir.

Alterasyon zonlarının ana kayacının belirlenmesi, alterasyon boyunca köken kayayla alterasyon zonlarına ait örnekler arasında kimyasal açıdan nasıl bir değişiklik olduğunu ve alterasyon zonlarının kimyasal adlamasının yapılabilmesi için inceleme alanındaki volkanoklastikler ve altere örneklerin kimyasal analiz sonuçları Winchester ve Floyd, (1977) tarafından geliştirilen $\text{SiO}_2\text{-Zr/TiO}_2$ diyagramına yerleştirilmiştir. Buna göre örneklerin büyük bir bölümünün trakiandezitik, bazı simektit+illitik zona ait örneklerin ise andezitik bileşim sundukları görülmüştür. Ana kayaca göre alterasyon süresince örneklerin SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO ve MgO 'de zenginleşme; diğer taraftan Na_2O ve K_2O 'de kayıplar gözlenmiştir. CaO ise simektit+illitik zonda zenginleşirken,

simektit+illit+kaolinitik zonda kayba uğramıştır. Ana kayaca göre alterasyon süresince Fe_2O_3 , MnO ve MgO 'de meydana 3 katına varan zenginleşmeler, bunların hidrotermal sıvıların getirimi ile ortama taşındıkları fikrini kuvvetlendirmektedir.

Afyon volkanoklasitikleri ile alüvyon dokanağında açılmış olan iki adet soğuk su kuyularında elde edilen suların Piper diyagramına göre karbonat ($\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$) sertliği %50'den fazla olan sular sınıfında yer aldıkları görülmüştür. Düşük sıcaklık ve volkanik akifer özelliklerine bağlı olarak görece düşük elektriksel iletkenlik değerlerine (327 ve 320 $\mu\text{s/cm}$) sahiplerdir.

Kil mineral (50 - 200°C), oksijen izotop (44 - 121°C) ve silis (71 - 75°C) jeotermometreleri ile elde edilen değerlerin birbiriyle uyumlu bir biçimde değişim sunması hidrotermal alterasyona neden olan fosil jeotermal sistemlerle güncel jeotermal sistemlerin ortamsal koşullarının oldukça benzer olduğu ve inceleme alanının jeotermal potansiyeli olduğu düşüncesini kuvvetlendirmektedir.

5003 nolu MT istasyonunda Salar Belediyesi'nin soğuk su sondajının sıcaklığı 25-30°C'dir. MT öz direnç modelinde, bu sıcaklık artışının 5002 ile 5003 nolu MT istasyonları arasındaki Halımoru ve Salar faylarından kaynaklandığı görülmektedir. Yapılan tüm çalışmalar sonuçlarına göre bölgeyi düşük-orta sıcaklıklı jeotermal saha olarak sınıflandırılmak mümkündür.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar seracılık ve termal turizm gibi yatırımlara yol gösterecek özelliktedir. Diğer taraftan bölgede yapılacak jeotermal yatırımlar öncesi projede elde edilen verileri destekleyecek şekilde jeotermal arama çalışmasının detaylandırılmasında fayda vardır.

6. KAYNAKLAR

- Akal C, 2001, Occurrence Emplacement and Origin of High – Potassium Volcanics in the Southern Part of the Afyon Region, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 274s, İzmir.
- Aras Pala E, 2016, Seferihisar (İzmir) ve Yakın Çevresi Jeotermal Sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Isparta.
- Arslan S, Darıcı M, Karahan Ç, 2001, Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 3-6 Ekim, İzmir, 21-28.
- Başaran C, 2017, Heybeli Jeotermal Alanının (Afyonkarahisar) Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi, T.C. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 143s, Denizli.
- Başaran C, Yıldız A, Çiğerci M Ş, 2019, İscehisar (Afyonkarahisar) Termal ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyası ve Kullanım Özellikleri, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 43, 279-292.
- Başaran C, Yıldız A, Ulutürk Y, Bağcı M, Özkaymak Ç, 2020, Geothermal Developments in Afyonkarahisar Turkey, Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, 26 April – 2 May 2020.
- Bayhan H, Zimitoğlu O, 1996, Afyon Stratovolkanının Volkanolojik ve Petrolojik Gelişiminin İncelenmesi, Yerbilimleri, 17, 87-108.
- Bilgiç M, 2015, Salavatlı (Aydın) Jeotermal Alanının Hidrojeokimyasal ve Jeotermal Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 122s, İzmir.
- Boray A, Şaroğlu F, Emre Ö, 1985, Isparta Büklümünün Kuzey Kesiminde D-B Daralma İçin Bazı Veriler, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 23, 9-20.
- Brindley G W, Brown G, 1980, Crystal Structure of Clay Minerals and Their X-Ray Identification, Mineralogical Society, 494p, London.

- Brown G, 1972, X-Ray Identification and Crystal Structures of Clay Minerals, Mineralogical Society, Clay Minerals Group, 544p, London.
- Cagniard L, 1953, Basic Theory of the Magneto-Telluric methods of Geophysical Prospecting, Geophysics, 18, 605-635.
- Candansayar M E, 2002, Sönümlü En Küçük Kareler ve Eşlenik Türev Algoritmalarının Ardışık Kullanımı ile Manyetotellürik Verilerin Düzgünleştiricili İki-Boyutlu Ters Çözümü, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 144s, Ankara.
- Candansayar M E, Kaya C Ü, Dikmen V D, 2010, Crustal structure of Northwestern Turkey, revealed by magnetotelluric surveys with the help of Seismology, Gravity and Magnetic Data. IAGA WG 1.2 on Electromagnetic Induction in the Earth 20th Workshop Abstract Giza, Egypt, September 18-24,
- Canik B, Çelik M, Arıgün Z, 2000, Jeotermal Enerji, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Döner Sermaye İşletme Yayınları, 60s, Ankara.
- Christidis G E, 1998, Comparative Study of the Mobility of Major and Trace Elements During Alteration of an Andesite and a Rhyolite to Bentonite, in the Islands of Milos and Kimolos, Aegean, Greece, Clays and Clay Minerals, 46, 379-399.
- Craig H, 1963, The Isotopic Geochemistry of Water and Carbon in Geothermal Areas, Consiglio Nazionale Delle Ricerche (CNR) Laboratorio Di Geologia Nucleare, Nuclear Geology on Geothermal Areas, 17-53.
- Demir S, Memiş Ü, 2015, Afyonkarahisar Jeotermal Sahalarının Hidrojeokimyası ve Jeotermometre Uygulamaları, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19, 66-77.
- Demirkol A, 1977, Yalvaç – Akşehir Dolayının Jeolojisi, Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Yer Bilimleri Bölümü, Doçentlik Tezi, 114s, Konya, (Yayınlanmamış).
- Dinçer İ, Ezan M A, 2020, TÜBA Jeotermal Enerji Teknolojileri Raporu, Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, TÜBA Raporları No: 41, 127s, Ankara.
- Erişen B, 1972, Afyon-Heybetli (Kızılkilise) Araştırma Sahasının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Rapor No:5490, 74s.

- Fournier R O, 1977, A Review of Chemical and Isotopic Geothermometers for Geothermal Systems, Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy, Cento Scientific Programme, 133-143.
- Franzson H, 1998, Reservoir geology of the Nesjavellir high-temperature field in SW-Iceland. Proceedings of the 19th Annual PNOC-EDC Geothermal Conference, Manila, 13-20.
- Gresens R L, 1967, Composition-Volume Relationships of Metasomatism, Chemical Geology, 2, 47-65.
- 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.
- Gürsoy H, Piper J D A, Tatar O, 2003, Neotectonic Deformation in the Western Sector of Tectonic Escape in Anatolia: Palaeomagnetic Study of the Afyon Region, Central Turkey, Tectonophysics, 374, 57-79.
- Hadjipaschalis I, Poullikkas A, Efthimiou V, 2009, Overview of Current and Future Energy Storage Technologies for Electric Power Applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 1513-1522.
- Keller W D, Reynolds R C, Inoue A, 1986, Morphology of Clay Minerals in The Smectite to Illite Conversion Series by Scanning Electron Microscopy, Clays and Clay minerals, 34, 187-197.
- Kervankıran İ, 2012, Afyonkarahisar İlinde Jeotermal Enerji Kullanımı ve Sorunları, Marmara Coğrafya Dergisi, 25, 108-126.
- Koçyiğit A, Deveci Ş, 2007, Çukurören- Çobanlar (Afyon) Arasındaki Deprem Kaynaklarının (Aktif Fayların) Belirlenmesi, TÜBİTAK, Proje No:106Y209, 71s.
- Korkmaz Başel E D, 2010, Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyelinin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 343s, İstanbul.

- Kozak M, Kozak Ş, 2012, Enerji Depolama Yöntemleri, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 4, 17-29.
- Kozak M, 2016, Konut Isıtmacılığın da Jeotermal Yenilenebilir Enerji Kaynağının Kullanılmasının Araştırılması, SDÜ Yekarum e-Dergi, 3, 33-40.
- Kozak M, 2020, Denizli İli Jeotermal Enerji Kaynakları ve Kullanım Alanlarının Araştırılması, SDÜ Yekarum e-Dergi, 5, 1-11.
- MacLean W I, Kranidiotis P, 1987, Immobile Elements as Monitors of Mass Transfer in Hydrothermal Alteration: Phelps Dodge Massive Sulfide Deposit, Matagami, Quebec, Economic Geology, 82, 951-962.
- McNeice G W, Jones A G, 2001, Multisite, Multifrequency Tensor Decomposition of Magnetotelluric Data, Geophysics, 66, 158-173.
- Mertoglu O, Simsek Ş, Basarir N, Paksoy H, 2019, Geothermal Energy Use, Country Update for Turkey, European Geothermal Congress 2019, Den Haag, The Netherlands, 11-14 June 2019.
- Metin S, Genç Ş, Bulut V, 1987, Afyon ve Dolayının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No:8103, (Yayınlanmamış).
- Metin S, Genç Ş, Bulut V, Ölmez M, Kılıç İ, Umut M, vd., 1988, Bolvadin (Afyon)-Yunak (Konya) Dolayının Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No:8522, 78s, (Yayınlanmamış).
- Öcal H, Turhan N, Göktaş F, 2011, 1:100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Afyon K-25 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, No: 158, 34s.
- Özgül N, Bölükbaşı S, Alkan H, Öztaş Y, 1991, Göller Bölgesi ve Isparta'nın Jeolojisi ve Stratigrafisi, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü Arama Grubu, Rapor No:3028, 320s, (Yayınlanmamış).
- 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, 169-189.

- Özkaymak Ç, Sözbilir H, 2020, Structural Evidence For Extensional Domain-Type Geothermal Play In Western Anatolia: A Case Study From Afyon-Akşehir Graben, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20, 693-702.
- Öztürk E M, 1989, Balçıkhisar - Karadilli (Afyon) - Dereköy (Isparta) Dolayının Jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 319s, İstanbul.
- Özyıldırım Ö, 2010, Manyetotellürik Yönteminde Frekans Düzgünleştirilmiş Empedans Ayırıştırma Analizi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59s, Sivas.
- Özyurt N, Bayarı C S, 2005, Isotope Applications in the Aladag Karstic Aquifer, Taurids, Turkey, II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 26-30 Eylül, İzmir, 133-146.
- Parkhurst D L, Appelo C A J, 1999, User's Guide to Phreeqc (Version 2) - A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations, USGS Water Resources Investigation Report:99-4259, 312p.
- Piper A M, 1944, A Graphical Procedure in The Geochemical Interpretation of Water Analysis, Geophysical Union Transactions, 25, 914-928.
- Saemundsson K, Axelsson G, Steingrímsson B, 2009, Geothermal Systems Global Perspective, Short Course on Surface Exploration for Geothermal Resources, United Nations University Geothermal Training Programme, 17-30 October, in Ahuachapan and Santa Tecla, El-Salvador.
- Saka A H, 1997, Mineralojik Analizlerde X-İşınları Toz Kırınım Yönteminin Temel Prensipleri Ve Laboratuvar Şartlarının Standardizasyonu, MTA Yayınları, 235s, Ankara.
- Savin S M, Epstein S, 1970, The Oxygen And Hydrogen Isotope Geochemistry of Clay Minerals, Geochimica et Cosmochimica Acta, 34, 25-42.
- Savin S M, Lee S, 1988, Isotopic Studies of Phyllosilicates, Reviews in Mineralogy and Geochemistry 19, 189-223.

- Sheppard S M F, Gilg H A, 1996, Stable Isotope Geochemistry of Clay Minerals, Clay Minerals, 31, 1-24.
- Sheppard S M F, Nielsen R L, Taylor H P, 1969, Oxygen and Hydrogen Isotope Ratios of Clay Minerals From Porphyry Copper Deposits, Economic Geology, 64, 755-777.
- Talay N, 2010, Altınoluk - Güre Dolayının Jeolojisi ve Jeotermal Özellikleri, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 147s, İstanbul.
- Tatlı S, 1973, Afyon Jeotermal Araştırma Sahası Gazlıgöl - Susuz Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Rapor No:5288 (Yayınlanmamış).
- Taylor S R, McLennan S M, 1985, The Continental Crust: Its Composition and Evolution, Blackwell Scientific Publications, 311p, Oxford, UK.
- Tikhonov A N, 1950, On determining gelectrical characteristics of the deep layers of the Earth's crust, Reprinted from Doklady, 73, 295-297.
- TS EN 12407, 2019, Doğal Taşlar - Deney Metotları – Petrografik İnceleme, TSE I. Baskı, Ankara.
- Uğuz M F, Erdoğan K, Gürsu S, 1996, Sultandağı Kuzey Bölümünde Yeni Yaş Bulguları, Türkiye Jeoloji Bülteni, 39, 31-37.
- Ulutürk Y, 2009, Ömer-Gecek (Afyonkarahisar) Dolayının Jeolojisi ve Suların Kökensel Yorumu, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 195s, Isparta.
- Wilson M, 1989, Igneous Petrogenesis A Global Tectonic Approach, Unwin Hyman, 466, London.
- Winchester J A, Floyd P A, 1977, Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Products Using Immobile Elements, Chemical Geology, 20, 325-343.
- Yalçın H, Gümüşer G, 2000, Mineralogical and Geochemical Characteristics of Late Cretaceous Bentonite Deposits of The Kelkit Valley Region, Northern Turkey, Clay Minerals, 35, 807-825.

- Yıldız A, 2014, Jeotermal Enerji Kaynakları, 3. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Sistemleri Kış Okulu, 21-25 Ocak, Afyonkarahisar.
- Yıldız A, 2020, Jeotermal Saha Araştırma Yöntemleri Ders Notu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar, (Yayınlanmamış).
- Yıldız A, Başaran C, 2021, Gazlıgöl ve Çevresinin Jeotermal Enerji Potansiyelinin Araştırılması, AKÜ BAP Projesi, 68s, Afyonkarahisar.
- Yıldız A, Bağcı M, Başaran C, Çonkar F E, Ayday C, 2017, Landsat 8 Uydu Verilerinin Jeotermal Saha Araştırmalarında Kullanılması: Gazlıgöl (Afyonkarahisar) Çalışması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, 277-284.
- Yıldız A, Kuşcu M, 2004, The Origin of Başören (Kütahya, W-Turkey) Bentonite Deposits, Clay Minerals, 39, 219-231.
- Yurttaş O, 2008, Ilıcabaşı Jeotermal Alanının (Aydın) Hidrojeolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 135s, İzmir.
- Zielinski R A, 1982, The Mobility of Uranium and Other Elements During Alteration of Rhyolite ash to Montmorillonite: A Case Study in The Troublesome Formation, Chemical Geology, 35, 185-204.

İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>, 03.01.2021
- 2- http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/turkiyede_jeo.aspx, 01.04.2017
- 3- <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/sayfalar-Dunya-da-Jeotermal>, 16.07.2021
- 4- <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/sayfalar-Turkiye-de-Jeotermal>, 16.07.2021
- 5- https://spaceplace.nasa.gov/review/gallery-sun/Sun_L.en.jpgamp/, 08.06.2018

- Kozak M, 2012, Hemzemin Geçitlerdeki Kaplama Çeşitleri ve Güvenliğe Etkisinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 2(1), 1-11.
- Kozak M, Kozak Ş, 2012, Enerji Depolama Yöntemleri, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 4(2), 17-29.
- Kozak M, 2013, Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 3(5), 26-35.
- Kozak M, Ünal O, 2014, Kalker Agregası ile Üretilen Beton Traversde Çelik Lifin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C Tasarım ve Teknoloji, 2(3), 265-271.
- Kozak M, Ünal O, 2014, Bazalt Agregası ile Üretilen Beton Travers de Çelik Lifin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18(3), 15-21.
- Kozak M, Kozak Ş, 2015, Su ve Isı Yalıtımının Yapılarda Emniyet ve Ekonomi Açısından Önemi, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 5(1), 38-47.
- Kozak M, Ünal O, 2015, Beton Travers Üretiminde Agrega Türünün Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Ic-Are'15 International Congress On Advanced Railway Engineering, 02-04 March, 154-161, İstanbul.
- Kozak M, 2016, Demiryolunda Dever Uygulaması ve Güvenliğe Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 4(1), 41-48.
- Kozak M, 2016, Konut Isıtmacılığın da Jeotermal Yenilenebilir Enerji Kaynağının Kullanılmasının Araştırılması, SDÜ Yekarum e-Dergi, 3(2), 33-40.
- Bağcı M, Kozak M, 2016, İscehisar (Afyonkarahisar) Mermerlerinin Jeolojisi Mineralojisi ve Jeokimyasal Özelliklerinin Araştırılması, Uluslararası Katılımlı 7. Ulusal Jeokimya Sempozyumu, 16-18 Mayıs, Antalya.
- Kozak M, 2016, İscehisar (Afyonkarahisar) Mermerlerinin Jeolojik ve Jeomekanik Özelliklerinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Lisans Tezi, 120s, Afyonkarahisar.

- Bağcı M, Kozak M, Yıldız A, Başaran C, 2017, İscehisar Boğaz Mevkii Afyonkarahisar Mermerlerinin Mineralojik Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri, 70. Uluslararası Katılımlı Türkiye Jeoloji Kurultayı, 10-14 Nisan, Ankara.
- Kozak M, Yıldız A, Başaran C, Bağcı M, Özyıldırım Ö, 2018, Salar Afyonkarahisar ve Çevresinin Jeotermal Potansiyelinin Jeolojik Hidrojeokimyasal ve Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması, IV. Uluslararası Katılımlı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Sempozyumu ve Sergisi, 21-24 Şubat, Afyonkarahisar.
- Bağcı M, Kozak M, 2018, The Investigation of the Physico Mechanical Properties of Iscehisar Afyonkarahisar Marbles, International Conference on Geology-Earth Science (Geoscience-2018), 2-4 May, Rome, Italy.
- Kozak M, Yıldız A, Bağcı M, Başaran C, 2018, The Geology And Mineralogy of Alteration in Afyon Volcanoclastics From Salar Afyonkarahisar Province, 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, 07-11 May, Antalya.
- Kozak M, Yıldız A, Bağcı M, Başaran C, 2019, Afyonkarahisar'ın Güneyindeki Volkaniklerdeki Alterasyonun Mineralojisi ve Jeokimyası, 72. Uluslararası Katılımlı Türkiye Jeoloji Kurultayı, 28 Ocak – 1 Şubat, Ankara, 943-946.
- Kozak M, Tayan M, 2020, Kilitli Parke Taşı Üretiminde Uçucu Kül ve Mermer Tozunun Kullanılabilirliğin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Lisans Tezi, 39s, Afyonkarahisar.
- Kozak M, 2020, Kalker ve Bazalt Agregaları ile Beton Travers Üretimi, Teknik Bilimleri Dergisi, Cilt 10(2), 19-25.
- Kozak M, 2020, Denizli İli Jeotermal Enerji Kaynakları ve Kullanım Alanlarının Araştırılması, SDÜ Yekarum e-Dergi, 5(1), 1-11.
- Kozak M, 2021, Demiryolu Balastının ve Özelliklerinin Araştırılması, Demiryolu Mühendisliği, 13(1), 86-96.
- Kozak M, 2021, Salar, Sülün ve Karaarslan (Afyonkarahisar) Köyleri ve Çevresinin Jeotermal Enerji Potansiyelinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 136s, Afyonkarahisar.

Diğer konular

2001-2002 Eğitim-Öğretim Yılı, Kütahya Gediz Endüstri Meslek Lisesi Okul Birinciliği.

2001-2002 Eğitim-Öğretim Yılı, Erkek Teknik Öğretim Okullarının Son Sınıf Öğrencileri Arasında Düzenlenen Beceri Yarışması, Yapı Meslek Alanı Kütahya İl Birinciliği.

2006-2007 Eğitim-Öğretim Yılı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Dokuzunculuğu, Yapı Öğretmenliği Bölüm Üçüncülüğü.

2009-2010 Eğitim-Öğretim Yılı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı Bölüm Birinciliği.

2011-2012 Eğitim-Öğretim Yılı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Afyon Meslek Yüksekokulu İnşaat Teknolojisi Bölüm Üçüncülüğü.

2013 Yılı, TCDD Yol Sürveyanlığı Görevde Yükselme Sınavı Birinciliği.

2013 Yılı, TCDD İnşaat Teknikerliği Unvan Değişikliği Sınavı Birinciliği.

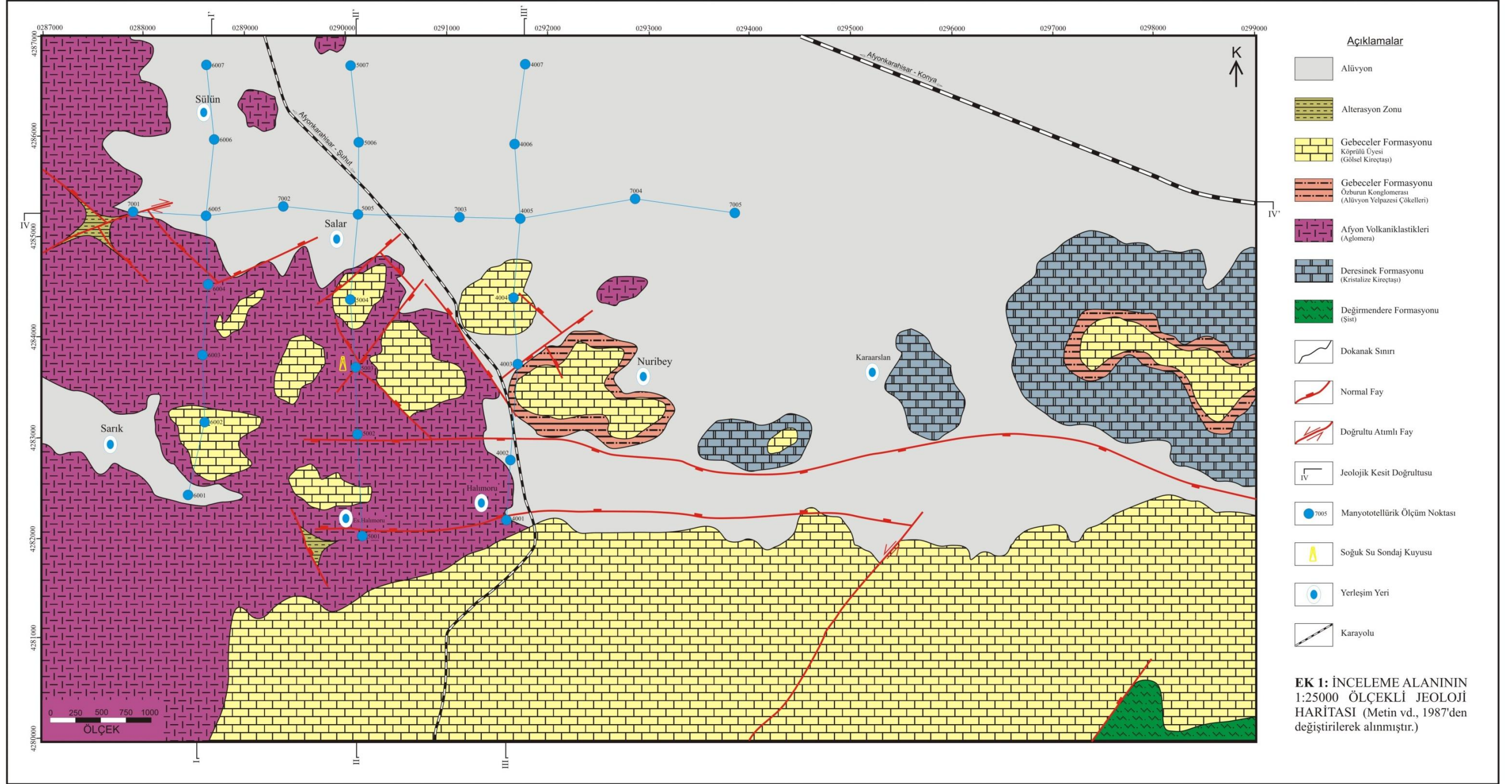
2015-2016 Eğitim-Öğretim Yılı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Birinciliği.

2018 Yılı, TCDD Jeoloji Mühendisliği Unvan Değişikliği Sınavı İkinciliği.

2019-2020 Eğitim-Öğretim Yılı, Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Beşinciliği.

EKLER

EK 1. İnceleme Alanının 1:25000 Ölçekli Jeoloji Haritası (Metin vd. 1987'den değiştirilerek alınmıştır).



EK 2. İnceleme Alanının Jeolojik Kesitleri

