

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**AKKAYA-ESKİPAZAR (KARABÜK) TRAVERTENİNE YÖNELİK  
JEOKİMYASAL VE İZOTOPIK BULGULAR**

**Gökhan YILDIRIM**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2018**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Gökhan YILDIRIM tarafından hazırlanan “Akkaya-Eskipazar (Karabük) Travertenine Yönelik Jeokimyasal ve İzotopik Bulgular” adlı tez çalışması 09/05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Halim MUTLU

Ankara Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



### Jüri Üyeleri :

**Başkan** : Prof. Dr. Nilgün GÜLEÇ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



**Üye** : Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Ankara Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



**Üye** : Prof. Dr. Halim MUTLU

Ankara Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

**Prof. Dr. Atıla YETİŞEMİYEN**

**Enstitü Müdürü**

## ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynaklara atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

09/05/2018



Gökhan YILDIRIM

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### AKKAYA-ESKİPAZAR (KARABÜK) TRAVERTENİNE YÖNELİK JEOKİMYASAL VE İZOTOPIK BULGULAR

Gökhan YILDIRIM

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Halim MUTLU

Bu çalışmada, Eskipazar-Karabük bölgesindeki Akkaya jeotermal sahasına ait sırt tipi ve damar travertenlerin mineralojik, petrografik, jeokimyasal (NTE+Y) ve izotopik ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ve  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) özellikleri ayrıca sırt tipi travertene ait sıcak su havuzlarından alınan gaz örneklerinin izotopik ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  ve  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ) bileşimleri incelenmiştir. XRD analizleri traverten örneklerinin kalsitten oluştuğunu ortaya koymuştur. Sırt tipi ve damar travertenlerin nadir toprak element+itriyum (NTE+Y) bileşimlerinin PAAS'a göre sırasıyla  $10^4$ - $10^5$  ve  $10^3$ - $10^4$  kat tüketilmiş oldukları görülmüştür. Sırt tipi ve damar travertenlerin uranyum serisi yöntemiyle elde edilen yaşları sırasıyla 0.85 ile 29.9 bin yıl ve 1.7 ile 92.8 bin yıl arasında değişmektedir.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri ise sırt tipi traverten için 0.707358 ile 0.707406, damar travertenler için 0.707336 ile 0.707410 arasındadır. Duraylı izotop çalışmalarına göre, sırt tipi ve damar travertenler için  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) değerleri sırasıyla +4.66 ile +8.68 ve +4.8 ile +7.97 arasında,  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB) değerleri ise sırasıyla -15.86 ile -7.67 ve -13.79 ile -10.89 arasında değişmektedir. Akkaya jeotermal sahasına ait gaz örneklerinin  $^3\text{He}/^4\text{He}$  değerleri 0.42 ile 0.99  $R_A$ ,  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  değerleri 0.1864 ile 0.1876 ve  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  değerleri ise 290.2 ile 292.3 arasındadır. Elde edilen bulgular travertenleri çökeltten suların meteorik kökenli ve akışkandaki karbondioksitin ise termojenik tipte olduğunu ortaya koymuştur. NTE+Y bileşimlerine göre, akışkanın artan  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  oranı ile birlikte su-kayaç etkileşiminin kalitesinin düştüğü görülmüş, ayrıca NTE+Y,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  verilerinde travertenleri oluşturan akışkanın temelde bulunan Arkot Dağ kireçtaşlarının izini taşıdığı ortaya konmuştur.

**Mayıs 2018, 87 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Karabük, Akkaya traverten, duraylı ve radyojenik izotoplar, element jeokimyası,  $\text{CO}_2$  salınımı

## ABSTRACT

Master Thesis

### GEOCHEMICAL AND ISOTOPIC FINDINGS ON AKKAYA-ESKIPAZAR (KARABUK) TRAVERTINE DEPOSITS

Gökhan YILDIRIM

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Halim MUTLU

In this study, the mineralogical, petrographic, geochemical (REE+Y) and isotopic ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) characteristics of the fissure-ridge and vein travertines in the Akkaya geothermal field in the Eskipazar-Karabük region and also the isotopic ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  and  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ) characteristics of the gas samples taken from the hot water pools on the fissure-ridge travertine have been investigated. According to XRD analyses, travertine samples consist of calcite minerals. It has been observed that the rare earth element + yttrium (REE+Y) composition of the fissure-ridge and vein travertines are about  $10^4$  to  $10^5$ -fold and  $10^3$  to  $10^4$ -fold lower than PAAS. U-Th ages of the fissure-ridge and vein travertines range from 0.85 to 29.9 ka and 1.7 to 92.8 ka, respectively. The  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values are between 0.707358 and 0.707406 for fissure-ridge travertine, and between 0.707336 and 0.707410 for vein travertines. According to stable isotope studies;  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) values of the fissure-ridge and vein travertines range from +4.66 to +8.68 and from +4.8 to +7.97, respectively,  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB) values of the fissure-ridge and vein travertines range from -15.86 to -7.67 and from -13.79 to -10.89, respectively. The  $^3\text{He}/^4\text{He}$  values of the gas samples collected from Akkaya geothermal field fall in the range between 0.42 and 0.99  $R_A$ ,  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  values vary from 0.186 to 0.1876,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  values are between 290.2 and 292.3. These findings indicate that, the fluid forming the travertines is meteoric of origin and carbon dioxide has a thermogenic origin. According to REE+Y compositions, the quality of the water-rock interaction decreased with the increased  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  ratio of the fluid. Together with REE+Y compositions,  $\delta^{13}\text{C}$  and the  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  values, it is concluded that the travertine-forming fluid was found to interact with the underlying Arkot Dağ limestones.

May 2018, 87 pages

**Key Words:** Karabük, Akkaya travertine, stable and radiogenic isotopes, element geochemistry,  $\text{CO}_2$  degassing

## ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda desteğini, katkılarını eksik etmeyen ve fikir alışverişinde bulunduğum başta danışman hocam Sayın Prof. Dr. Halim MUTLU'ya (Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı), arazi çalışmalarında ve gerekli analizlerin yapılmasında yardımcı olan Hacettepe Üniversitesi'nden Prof. Dr. Kadir DİRİK, Prof. Dr. Galip YÜCE ve Dr. Tonguç UYSAL'a (The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Avustralya), XRD analizlerinin yapılmasında yardımcı olan Hacettepe Üniversitesi'nden Prof. Dr. Abidin TEMEL, Dr. Ezgi ÜNAL-İMER ve Jeoloji Mühendisi İsmail AYDOĞDU'ya ve gerekli konularda önemli katkılarını eksik etmeyen Doç. Dr. Biltan KÜRKÇÜOĞLU'na en derin duygularıyla teşekkür ederim.

Jüri üyeleri Prof. Dr. Nilgün GÜLEÇ ve Prof. Dr. Mehmet ÇELİK'e katkı ve desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca maddi ve manevi anlamda desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan başta aileme ve arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Bu tez çalışması TÜBİTAK 114Y544 kod numaralı "Türkiye'deki ana aktif fay sistemlerinin geç Kuvaterner'deki paleo-depremselliğinin radyometrik yaş tayini ve izotop çalışmaları ile araştırılması" konulu proje tarafından desteklenmiştir.

Gökhan YILDIRIM

Ankara, Mayıs 2018

## İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	3
1.2 Çalışma Alanının Tanıtımı.....	3
1.3 Materyal ve Yöntem.....	5
1.3.1 Arazi çalışmaları.....	5
1.3.2 Ofis çalışmaları.....	10
1.3.3 Laboratuvar çalışmaları.....	10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	12
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ.....	22
3.1 Arkot Dağ Karmaşığı.....	22
3.2 Galatya Volkanikleri.....	25
3.3 Eskipazar Formasyonu.....	26
3.4 Karkın Formasyonu.....	26
3.5 İmanlar Formasyonu.....	29
3.6 Alüvyon Çökelleri.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	35
4.1 Petrografi.....	35
4.2 Oksijen ve Karbon İzotopları.....	39
4.3 Stronsiyum İzotopları.....	44
4.4 Asal Gaz İzotopları.....	49
4.5 Nadir Toprak Element Kompozisyonları.....	54
4.6 Uranyum Serisi Yaşlandırma.....	57
5. TARTIŞMA.....	60
6. SONUÇLAR.....	66
KAYNAKLAR.....	69
EK 1 XRD Analiz Sonuçları.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	87

## SİMGELER DİZİNİ

°C	Santigrad
δ	Delta
%	Yüzde
‰	Binde
ppm	Milyonda Bir Parça
ppb	Milyarda Bir Parça
cc	Santimetre Küp
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CaCO <sub>3</sub>	Kalsiyum Karbonat
CaHCO <sub>3</sub>	Kalsiyum Bikarbonat
UO <sub>2</sub> <sup>-2</sup>	Uranyum Oksit
H <sub>2</sub> O	Su
<sup>2</sup> H	Hidrojen-2 İzotopu
<sup>14</sup> C	Karbon-14 İzotopu
<sup>13</sup> C	Karbon-13 İzotopu
<sup>12</sup> C	Karbon-12 İzotopu
<sup>18</sup> O	Oksijen-18 İzotopu
<sup>16</sup> O	Oksijen-16 İzotopu
<sup>230</sup> Th	Toryum-230 İzotopu
<sup>232</sup> Th	Toryum-232 İzotopu
<sup>234</sup> U	Uranyum-234 İzotopu
<sup>238</sup> U	Uranyum-238 İzotopu
<sup>84</sup> Sr	Stronsiyum-84 İzotopu
<sup>86</sup> Sr	Stronsiyum-86 İzotopu
<sup>87</sup> Sr	Stronsiyum-87 İzotopu
<sup>88</sup> Sr	Stronsiyum-88 İzotopu
<sup>87</sup> Rb	Rubidyum-87 İzotopu
<sup>3</sup> He	Helyum-3 İzotopu
<sup>4</sup> He	Helyum-4 İzotopu
<sup>36</sup> Ar	Argon-36 İzotopu
<sup>38</sup> Ar	Argon-38 İzotopu
<sup>40</sup> Ar	Argon-40 İzotopu
<sup>40</sup> K	Potasyum-40 İzotopu
R	Örneğin <sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He Değeri
R <sub>A</sub>	Atmosferin <sup>3</sup> He/ <sup>4</sup> He Değeri
R <sup>2</sup>	Korelasyon Değeri
δ <sup>13</sup> C <sub>ÇIK</sub>	Çözünmüş İnorganik Karbonun Delta Karbon-13 Değeri



## **Kısaltmalar**

m	Metre
mm	Milimetre
cm	Santimetre
cm <sup>3</sup>	Santimetre Küp
km	Kilometre
sn	Saniye
µS	Mikrosimens
lt	Litre
pH	H <sup>+</sup> İyonu Derişimi
T	Sıcaklık (°C)
çöz.	Çözünmüş
EC	Elektriksel İletkenlik
D	Doğu
B	Batı
K	Kuzey
G	Güney
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
M.Ö.	Milattan Önce
Y	İtriyum
U	Uranyum
Th	Toryum
Sr	Stronsiyum
Mg	Magnezyum
Ca	Kalsiyum
He	Helyum
Ne	Neon
Ar	Argon
Kr	Kripton
Xe	Ksenon
Rn	Radon
K	Potasyum
Rb	Rubidyum
La	Lantan
Ce	Seryum
Pr	Praseodim
Nd	Neodim
Sm	Samaryum

Eu	Europyum
Gd	Gadolinyum
Tb	Terbiyum
Dy	Disprosyum
Ho	Holmiyum
Er	Erbiyum
Tm	Tulyum
Yb	İterbiyum
Lu	Lütesyum

NTE	Nadir Toprak Elementleri
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
XRD	X-ışınları Difraktometresi
MORB	Okyanus Ortası Sırtı Bazaltı
OIB	Okyanus Adası Bazaltı
VPDB	Vienna Peedee Belemnite
VSMOW	Standart Ortalama Okyanus Suyu
PAAS	Post-Archean Australian Shale

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma alanının ve çevresinin neotektonik konumu.....	4
Şekil 1.2 Çalışma alanının Google Earth görüntüsü.....	4
Şekil 1.3 Akkaya sırt tipi traverteninden AK-YR1a, AK-YR1b, AK-1B ve AK-1T kodlu örneklerin alındığı yerler.....	6
Şekil 1.4 Akkaya sırt tipi traverteninden AK-2B, AK-2C, AK-2D ve AK-2T kodlu örneklerin alındığı yerler.....	6
Şekil 1.5 İmanlar tabakalı travertenleri üzerinde tabakalı travertenleri kesen İM-D1, İM-D2, İM-D3, İM-D4, İM-D5, İM-D6, İM-D7, İM-D8, İM-D9 ve İM-D10 kodlu damar örneklerin alındığı yerler.....	8
Şekil 1.6 Gaz örnekleme yapılan sıcak su havuzlarının sırt tipi traverten üzerindeki yerleri.....	9
Şekil 1.7 Akkaya sıcak su havuzlarında gerçekleştirilen gaz örnek alım çalışmaları ve gaz çıkışlarının gösterildiği yerler.....	9
Şekil 3.1 Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojik haritası.....	23
Şekil 3.2 Arkot Dağ karmaşığına ait kireçtaşı blokları.....	24
Şekil 3.3 Eskipazar formasyonuna ait kırmızı renkli çamurtaşları.....	27
Şekil 3.4 Karkın formasyonuna ait gölssel kireçtaşları.....	28
Şekil 3.5.a. İmanlar formasyonuna ait sırt tipi ve b. tabakalı ve damar travertenlerin genel görünümü.....	30
Şekil 3.6 Tabakalı travertenler ile konglomera birimleri arasındaki sınırın görünümü.....	31
Şekil 3.7.a. tabakalı traverten üzerindeki kükürt oluşumları, b,c. sırt tipi travertenin sırt eksenini yönelimi, d. sırt tipi traverten üzerinde gözlenen açılma çatlağı.....	31
Şekil 3.8.a,b,c. sırt tipi travertenin kuzey ucunda gözlenen sıcak su Havuzları d. traverten sırtının kuzeyinde bulunan eski su havuzu.....	32
Şekil 3.9.a. sırt tipi travertenin kuzey ucundaki şelale tipi görünüm b,c. sırt tipi traverteninin batı kanadında görülen traverten çökelleri.....	33

Şekil 3.10.a. sırt tipi travertenin tabanında görülen yatay tabakalanma b. kalsit kristal oluşum desenleri c,d. mikroteras yapıları ve organik madde (alg-siyanobakteri) kalıntılarının genel görünümü.....	33
Şekil 3.11.a. İmanlar tabakalı ve damar travertenlerinin genel görünümü, c, d. tabakalı ve damar travertenler ve breş-kırıntılı malzemelerin genel görünümü.....	34
Şekil 4.1 Traverten örneklerine ait ince kesitlerin optik polarizan mikroskobunda incelenmesi.....	35
Şekil 4.2 AK-1T kodlu örneğin ince kesit görüntüsü.....	38
Şekil 4.3 AK-2T kodlu örneğin ince kesit görüntüsü.....	38
Şekil 4.4 Sırt tipi traverten örnekleri (AK kodlu) için $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ grafiği.....	41
Şekil 4.5 Damar traverten örnekleri (İM kodlu) için $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ grafiği.....	42
Şekil 4.6 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örnekleri için $\delta^{18}\text{O}-\delta^{13}\text{C}$ grafiği.....	44
Şekil 4.7 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örnekleri için $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\delta^{18}\text{O}$ grafiği.....	47
Şekil 4.8 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örnekleri için $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\delta^{13}\text{C}$ grafiği.....	48
Şekil 4.9 Magmatik, sedimanter kayaçlar ve sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örnekleri için $\delta^{18}\text{O}-^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ grafiği.....	48
Şekil 4.10 Yerkürenin helyum izotop bileşimleri.....	50
Şekil 4.11 Akkaya sıcak su havuzlarından toplanan gazlara ait $\text{R}/\text{R}_\text{A}-\text{He}/\text{Ne}$ grafiği....	51
Şekil 4.12 Akkaya sıcak su havuzlarından elde edilen gaz örneklerinin $\text{R}/\text{R}_\text{A}-^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ grafiği.....	53
Şekil 4.13 Akkaya sıcak su havuzlarından elde edilen gaz örneklerinin $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ grafiği.....	53
Şekil 4.14 Sırt tipi travertenlerin PAAS (Taylor ve McLennan, 1985) ile karşılaştırılmış NTE+Y desenleri.....	56
Şekil 4.15 Damar travertenlerinin PAAS (Taylor ve McLennan, 1985) ile karşılaştırılmış NTE+Y desenleri.....	56

Şekil 4.16 Sırt tipi, damar traverten, Galatya volkanikleri ve Arkot Dağ bazalt örneklerinin karşılaştırmalı NTE+Y desenleri.....	57
Şekil 5.1 Anadolu'daki mantosal helyum ve karbonun Neojen-Kuvaterner volkanikleri ve ana tektonik unsurlara göre dağılımı.....	63
Şekil 5.2 Akkaya jeotermal sahasının izotopik, hidrojeokimyasal, jeolojik ve yapısal veriler doğrultusunda çizilmiş bir kavramsal modeli.....	64



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar travertenlerinden (İM kodlu) elde edilen örneklerin XRD tüm kayaç mineralojik analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4.2 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar travertenlerinden (İM kodlu) alınan örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri.....	40
Çizelge 4.3 Akkaya sırt tipi traverteni üzerinden bulunan sıcak su havuzunda kaydedilen $\delta^{18}\text{O}$ , $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri.....	41
Çizelge 4.4 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örneklerin Sr izotopik ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) değerleri.....	45
Çizelge 4.5 Galatya volkanikleri ve Arkot Dağ karmaşığı ait mafik kayaların Sr izotopik ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) değerleri.....	46
Çizelge 4.6 He, Ne ve Ar izotoplarının atmosferdeki bileşimleri.....	49
Çizelge 4.7 Gaz örnekleme yapılan sıcak su havuzlarının (AK1 ve AK2 kodlu) sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri.....	51
Çizelge 4.8 Akkaya sıcak su havuzlarından alınan örneklerin He, Ne ve Ar izotop analiz sonuçları.....	52
Çizelge 4.9 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örneklerinin NTE+Y konsantrasyonları (ppb).....	55
Çizelge 4.10 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örneklerin U-Th yaş verisi.....	59

## 1. GİRİŞ

Türkiye'nin neotektonik evrimi, Afrika plakası ve Arabistan levhasının güneydoğuda Bitlis-Zagros kenedi, güneybatıda ise Helenik yayı boyunca Avrasya plakasına çarpmasıyla başlamıştır (Şengör ve Yılmaz 1981, Şengör vd. 1985, Dewey vd. 1986). Bu çarpışma sonucunda Anadolu bloğunun batıya kaçışına neden olan kuzeyde Kuzey Anadolu Fayı ve güneyde de Doğu Anadolu Fayı oluşmuştur (Dewey vd. 1986, Oral vd. 1995). Bu iki ana fay sistemi Türkiye'nin ana sismik bölgelerini oluşturmaktadır. Bu nedenle, Türkiye sismik faaliyet açısından dünyanın en aktif bölgelerinden biri durumundadır.

Tektonik olarak oldukça aktif olan bölgelerde, kırıkların karbondioksitçe zengin akışkanları yüzeye taşınması nedeniyle traverten çökelleri yaygın olarak görülmektedir (Sibson vd. 1975, Barnes vd. 1978, Irwin ve Barnes 1980, Hancock vd. 1999, Rihs vd. 2000, Chiodini vd. 2004, D'Alessandro vd. 2007). Anadolu'daki ana fay zonları ve çevresinde özellikle geç Kuvaterner döneminde (yaklaşık son 500.000 yıl) oluşmuş traverten kütleleri ve bunların içerisinde damar (dayk ve sil benzeri) şeklinde gelişen kalsit ve aragonit çökelleri tespit edilmiştir (Hancock vd. 1999, Uysal vd. 2007, 2009). Damar travertenlerinin oluşumu, büyük ölçekli depremler sırasında ve/veya sonrasında derin rezervuarlarda birikmiş yüksek hacme ve basınca sahip karbondioksit gazının ani olarak yüzeye çıkması ile açıklanmıştır (Marler ve White 1975, Chiodini ve Frondini 2001, Miller vd. 2004).

Travertenlerde yapılan uranyum serisi yaşlandırması, hem yapısal faaliyetin hem de bölgedeki akışkan hareketinin en yoğun olduğu dönemlerin ortaya çıkarılmasını mümkün kılar. Bundan dolayı, akışkan hareketlerinin arttığı dönemlerin tespit edilmesi paleo-sismik faaliyetlerin izinin sürülmesinde önemli bir araçtır. Arazi gözlemleri ve damar travertenlerinden elde edilen izotopik ve jeokimyasal veriler de bu durumu kanıtlar niteliktedir (Uysal vd. 2007, 2009).

Travertenlerde gerçekleştirilen karbon ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) ve oksijen ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) izotop ölçümleri, akışkan kökeninin, akışkandaki karbondioksit kaynağının ve çökelim sırasındaki

sıcaklığın belirlenmesi açısından önemli bilgiler vermektedir (Turi 1986, Pentecost 2005, Uysal vd. 2007, 2011).

<sup>87</sup>Sr izotopu, <sup>87</sup>Rb izotopunun radyoaktif olarak yarılanması sonucu oluşmaktadır (Faure 1986). Karbonatlı kayaçların rubidyumu kristal kafeslerine almamaları, karbonatlı kayaçlarda ihmal edilebilir düzeyde <sup>87</sup>Sr izotopunun üretilmesine sebep olmaktadır (Tucker ve Wright 1990). Ayrıca <sup>87</sup>Sr ile <sup>86</sup>Sr izotopu arasındaki kütle farkının (% 2.8) düşük olması, akışkanlardan karbonat çökelişi sırasında izotop bölümlenmesinin gerçekleşmesini mümkün kılmamaktadır (Faure 1986, Turi 1986). Dolayısıyla, karbonat çökelişinin <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr değerinin, akışkanın <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr değeri ile aynı olduğu sonucunu ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, akışkanın <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr değerini bilmek, akışkanın geçirmiş olduğu su-kayaç etkileşimi ve derecesi hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır (Faure 1986, Tucker ve Wright 1990).

Traverten kütlelerinde nadir toprak element (NTE+Y) bileşimlerinin belirlenmesi, su-kayaç etkileşimi ve derecesi hakkında faydalı bilgiler sağlamaktadır. Genellikle jeotermal sahalardaki travertenleri çökeltten akışkandaki karbondioksit gazının fazlalığından dolayı, traverten bünyesinde düşük konsantrasyonlu nadir toprak element (NTE+Y) bileşimleri söz konusudur (Huang ve Longo 1994, Uysal vd. 2007, 2009, 2011, Mutlu vd. 2017).

Asal gaz izotop kayıtları (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He, <sup>38</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar ve <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar) akışkanın ısı ve kökenine yönelik veri üretmekle birlikte akışkan hareketinin önemli izleyicileridir (Güleç 1988, Güleç vd. 2010, Mutlu vd. 2011).

Travertenlerin aktif fay zonları üzerinde çökmesi bu oluşumların neotektonik araştırmalardaki önemini arttırmaktadır. Özellikle sırt tipi travertenlerinde sırt eksenini boyunca uzanan açılma çatlaklarının yönelimi belirlenerek bölgeyi etkileyen gerilme kuvvetlerinin yönleri tespit edilebilmektedir (Altunel ve Hancock 1996a, Altunel 1996b, Hancock vd. 1999).



## 1.1 Çalışmanın Amacı

Bu tez çalışmasında, Akkaya-Eskipazar (Karabük) jeotermal sahasındaki traverten oluşumları duraylı ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ve  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) ve radyojenik ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$  ve  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) izotop ve nadir toprak element (NTE+Y) kompozisyonları açısından, ayrıca jeotermal sahaya ait gaz oluşumları radyojenik ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  ve  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ) izotop açısından araştırılmıştır. Böylece, travertenlerin oluşum dönemlerinin, sırt ve damar tipi travertenleri çökeltten akışkanların kökeninin, karbon kaynağının ve su-kayaç etkileşiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 1.2 Çalışma Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı Türkiye'nin kuzeybatısında, Karabük iline bağlı Eskipazar ilçesinin yaklaşık 7 km güneydoğusunda, Eskipazar ilçesine bağlı İmanlar köyünün 1 km kuzeyinde ve Kuzey Anadolu Fayı (KAF)'nın yaklaşık 6 km kuzeyinde bulunmaktadır (Şekil 1.1). İnceleme alanı Bolu G29-a1 pafta numaralı 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasında yer almaktadır.

Çalışma alanına ulaşım Gerede-Karabük yoluyla sağlanmaktadır. Köyleri Eskipazar'a bağlayan yollar toprak ya da stabilize edilmiş yollardır. Çalışma alanının kuzeyi ve güneyi genellikle dağlıktır. Çalışma alanı içerisinde kuzeydoğuda Harman (1035 m) ve Kale (1091 m) Tepe, kuzeybatıda Taşlık (915 m) Tepe, güneydoğuda Koca (1018 m), Sivri (1055 m) ve Doruk (1052 m) Tepeler, güneybatıda ise Ahmetçi (985 m) Tepe yer alır. Bölgenin en önemli akarsuyu Gerede çayı olmakla beraber, çalışma alanının yakınlarında Karkın ve Çayır nehirleri bulunmaktadır.

İnceleme alanında, sırt tipi traverten çökelleri ve bunlarla ilişkili sıcak su havuzları ve gaz çıkışları mevcuttur. Sıcak su havuzları sırt tipi travertenin kuzey ucunda yer alır. İmanlar tabakalı ve damar travertenleri söz konusu sırt tipi traverteninin yaklaşık 190 m batısındadır. İmanlar travertenleri bir süre işletildikten sonra oldukça damarlı olması nedeniyle terk edilmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.1 Çalışma alanının ve çevresinin neotektonik konumu (Şengör ve Yılmaz 1981, McClusky vd. 2000, Işık vd. 2003, Koçyiğit 2005 ve Uysal vd. 2011'den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 1.2 Çalışma alanının Google Earth görüntüsü

### 1.3 Materyal ve Yöntem

Çalışma kapsamında Akkaya-Eskipazar sahasındaki sırt tipi traverten ve damar travertenler incelenmiş ve bunlardan toplanan örnekler üzerinde mineralojik, petrografik, jeokronolojik, izotopik ve jeokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamındaki çalışmalar arazi, ofis ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere 3 ana başlıkta toplanmıştır.

#### 1.3.1 Arazi çalışmaları

2016 Mayıs ve 2017 Ağustos aylarında gerçekleştirilen arazi çalışmaları kapsamında, bölgenin jeolojisi, stratigrafisi ve yapısal jeolojisi incelenmiştir. Sırt tipi ve damar travertenlerin morfolojik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bununla birlikte, sırt tipi ve damar travertenlerden uranyum serisi ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ) yaşlandırması, izotopik ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ve  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) ve jeokimyasal (NTE+Y) analizler için örnekleme yapılmıştır. Ayrıca sırt tipi traverten üzerinde yer alan iki sıcak su havuzundan izotopik ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  ve  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ) analizler yapmak için cam ve bakır tüpler içerisine gaz örnekleri alınmıştır.

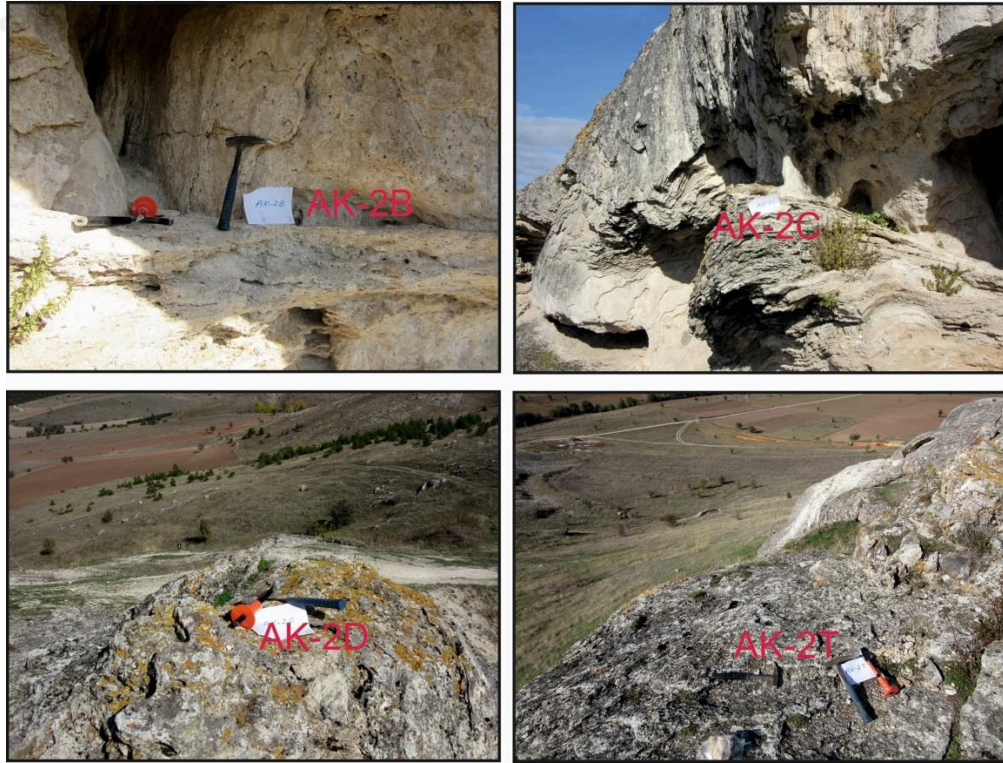
Örneklemede bozunmuş yüzeyler, ikincil kristalleşmeler ve kırıntılı malzemelerden mümkün olduğunca uzak durulmuş, oldukça taze görünümlü travertenler örneklenmiştir. Örnekler petrografik, jeokimyasal ve izotop analizlerine uygun miktarlarda toplanmıştır. Bu kapsamda, sırt tipi travertenden 8 adet (AK-YR1a, AK-YR1b, AK-1B, AK-1T, AK-2B, AK-2C, AK-2D ve AK-2T kodlu) ve İmanlar tabakalı travertenler içerisindeki damar travertenlerden (karbonat enjeksiyonları) ise 10 adet örnek (İM-D1, İM-D2, İM-D3, İM-D4, İM-D5, İM-D6, İM-D7, İM-D8, İM-D9 ve İM-D10 kodlu) alınmıştır (Şekil 1.3-1.5)

AK-YR1a ve AK-YR1b kodlu örnekler travertenin sırt ekseninden; AK-1T, AK-2D ve AK-2T kodlu örnekler travertenin kanatlarından; AK-1B, AK-2B ve AK-2C kodlu örnekler ise sırt tipi travertenin batı yamacından alınmıştır (Şekil 1.3-1.4).





Şekil 1.3 Akkaya sırt tipi traverteninden AK-YR1a, AK-YR1b, AK-1B ve AK-1T kodlu örneklerin alındığı yerler

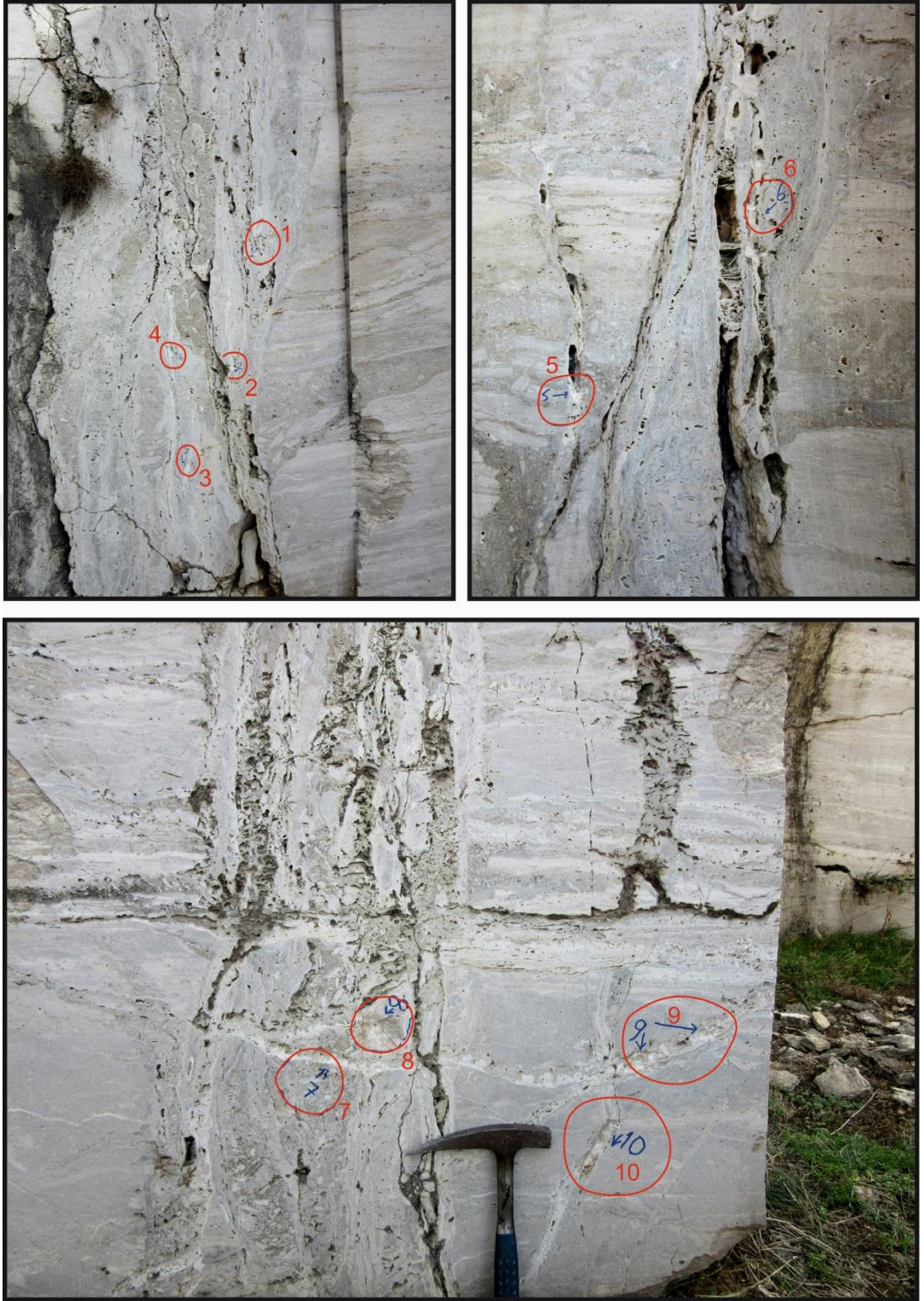


Şekil 1.4 Akkaya sırt tipi traverteninden AK-2B, AK-2C, AK-2D ve AK-2T kodlu örneklerin alındığı yerler

İmanlar tabakalı travertenleri içerisinde tabakalı travertenleri kesen karbonat damarları (kalsit enjeksiyonları) dayk veya sil benzeri yapılar sunarlar. Bu damarların kalınlıkları 3-4 cm'den 7-8 cm'ye kadar değişmektedir (Şekil 1.5).

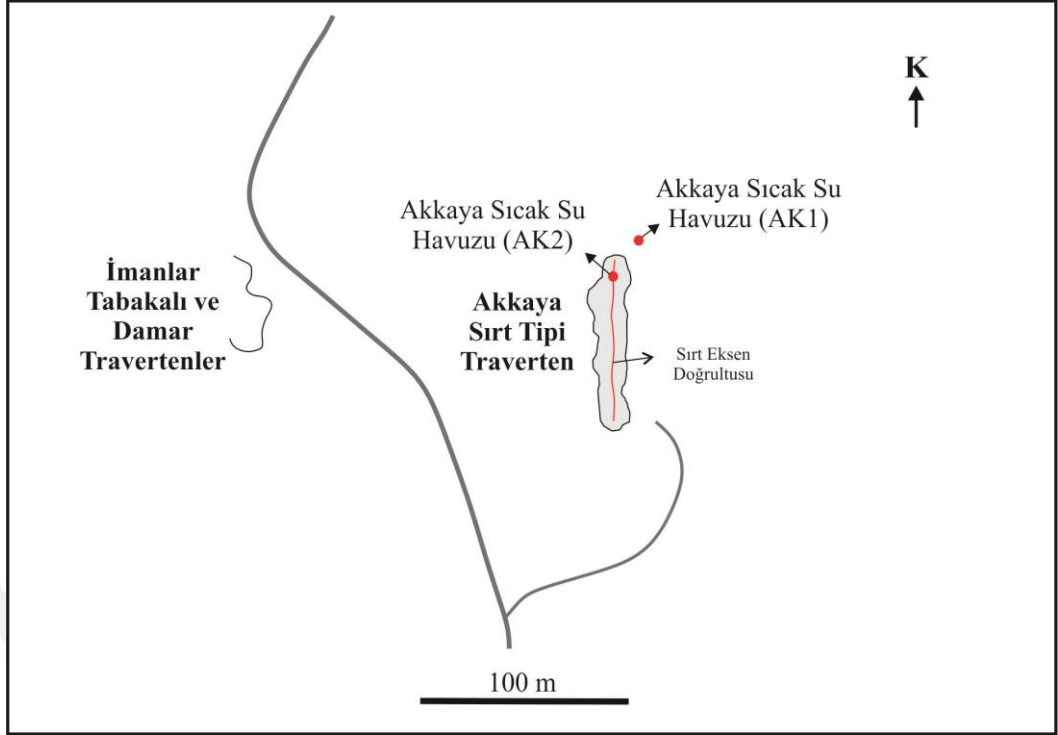
Akkaya sırt tipi traverteni üzerinde bulunan sıcak su havuzlarından gaz örnekleri de toplanmıştır. Sırt tipi travertenin kuzeydoğu ucundaki (AK1 kodlu) ve merkezi kısmındaki (AK2 kodlu) sıcak su havuzlarından bakır ve cam tüp içine gaz örnekleri toplanmıştır (Şekil 1.6-1.7). Bakır ve cam tüp içerisine gaz örneklerinin alımı tamamen su altında gerçekleştirilmiştir. Sıcak su havuzundaki gaz çıkış noktasına huni yerleştirilerek silikon boru yardımıyla gazın bakır tüpün içinden geçmesi sağlanmış, sonra bakır tüpün serbest ucunda gaz kabarcıklarının çıkışı gözlenmesinin ardından önce bakır tüpün serbest kısmı daha sonra silikon boru bağlı olan kısmı özel bir makasla kesilmiştir. Cam tüple suda çözülmüş gaz örneği alımında ise önce boş bir cam tüp havuzun içine sokularak ters çevrilmiştir. Cam tüpün içi tamamen su ile dolana kadar beklendikten sonra, ağzı sabitleyici yardımıyla kapatılmıştır. Bu işlemler tüplerin atmosferle temasının kesildiği su altında gerçekleştirilmiştir.





Şekil 1.5 İmanlar tabakalı travertenleri üzerinde tabakalı travertenleri kesen İM-D1, İM-D2, İM-D3, İM-D4, İM-D5, İM-D6, İM-D7, İM-D8, İM-D9 ve İM-D10 kodlu damar örneklerin alındığı yerler





Şekil 1.6 Gaz örnekleme yapılan sıcak su havuzlarının sırt tipi traverten üzerindeki yerleri (Blumental 1941'den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 1.7 Akkaya sıcak su havuzlarında gerçekleştirilen gaz örnek alım çalışmaları ve gaz çıkışlarının gösterildiği yerler

### 1.3.2 Ofis çalışmaları

Tez konusu ve amacına yönelik ilgili kitap, rapor, makale ve tez çalışmaları geniş bir yelpazede taranmış, incelenmiş ve önemli görülen yerler not edilmiştir. Elde edilen bilgiler, laboratuvar analizleri sonucu elde edilen verilerle karşılaştırılarak belirli çıkarımlar yapılmıştır. Çalışma alanına ait yeniden gözden geçirilen jeolojik haritalarla birlikte diğer haritalara ait çizimler CorelDraw Graphic Suite X5 bilgisayar programıyla çizilmiştir. Analiz sonuçlarının gösterildiği grafikler Microsoft Excel programıyla hazırlanmıştır.

### 1.3.3 Laboratuvar çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları kapsamında mineralojik, petrografik, izotopik ve jeokimyasal analiz çalışmaları yapılmıştır.

Sırt tipi ve damar traverten örneklerinin ince kesit parlatmaları, optik polarizan mikroskobunda yapı-doku incelemeleri ve XRD-Tüm kayaç mineralojik analizleri Hacettepe Üniversitesi'nde yapılmıştır.

Sırt tipi ve damar travertenlerden alınan örneklerin uranyum serisi tekniğiyle yaşlandırılması, Nu Plasma HR Multi-collector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (MC-ICP-MS) cihazında ve nadir toprak element (NTE+Y) bileşimlerinin belirlenmesi, Thermo X-series ICP-MS cihazında Queensland Üniversitesi Radyojenik İzotop Laboratuvarı'nda (Avustralya) gerçekleştirilmiştir. Herbir örneğin altere olmamış kalsit kristalleri seçilerek analize hazır hale getirilmesine dikkat edilmiştir. Analizler Zhao vd. (2001), Yu vd. (2006), Uysal vd. (2007) ve Ünal-İmer vd. (2016)'da verilen teknikler kullanılarak yapılmıştır. Uranyum serisi yaşlar Isoplot/Ex 3.0 Program'ı kullanılarak hesaplanmıştır (Ludwing 2003).

Sırt tipi ve damar traverten örneklerinin stronsiyum izotop ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) analizleri VG sector-54 Termal İyonizasyon Kütle Spektrometre (Thermal Ionization Mass Spectrometer) cihazında Queensland Üniversitesi Radyojenik İzotop Laboratuvarı'nda



(Avustralya) gerçekleştirilmiştir. Stronsiyum izotop oranları ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), kütle ayrımı yapmak amacıyla,  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$  izotop oranı kullanılarak doğrulanmıştır. SRM 987 uluslararası standardının uzun dönemli tekrarlanan analizlerinin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değeri ortalama  $0,710249 \pm 0,000028 (2\sigma)$ 'dir.

Sırt tipi ve damar traverten örneklerinin duraylı karbon ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) ve oksijen ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ) izotop analizleri otomatik karbonat hazırlama cihazına (KIEL-III) bağlı gaz oranlı kütle spektrometresi (Finnigan MAT 252) cihazında Arizona Üniversitesi Environmental İzotop Laboratuvarı'nda (ABD) gerçekleştirilmiştir. Öncelikle toz haline getirilmiş numuneler  $70^\circ\text{C}$ 'de vakum altında susuz fosforik asit ile reaksiyona sokulmuştur. İzotop oranı ölçümleri NBS-18 ve NBS-19 ulusal standartların tekrarlanan ölçümlerine dayanılarak kalibre edilmiştir. İzotop sonuçları VPDB standardında delta " $\delta$ " notasyonu (%o per mil) şeklinde verilmiştir. Analitik hassasiyet  $\delta^{18}\text{O}$  için  $\pm 0,1\%$  ( $1\sigma$ ) ve  $\delta^{13}\text{C}$  için  $\pm 0,08\%$  ( $1\sigma$ )'dir.

Akkaya jeotermal sisteminden alınan gaz örneklerinin helyum ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) ve argon ( $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  ve  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ) izotop analizleri gaz kromatografi (Perkin Elmer Clarus 500 equipped with a double TCD-FID detector) cihazında Palermo Jeofizik ve Volkanoloji Enstitüsü'nde (İtalya) gerçekleştirilmiştir. Bakır tüpler içinde bulunan gaz örnekleri gaz kromatografi cihazı içine doğrudan enjekte edilerek analiz edilmiştir. Suda çözülmüş gaz örneklerinin analizi ise önce su ile gaz arasındaki dengenin sağlanmasından sonra gerçekleştirilmiştir. Analitik süreçler Sugisaki ve Taki (1987) ve Capasso ve Inguaggiato (1998)'de anlatılmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çalışma alanının KAFZ'na yakınlığı nedeniyle bölgede yapılan çalışmaların sayısı oldukça fazladır. Önceki çalışmalar başlıca; tektonik, sismolojik, paleo-sismolojik, sedimentolojik-stratigrafik ve jeokimyasal-hidrojeokimyasal konularını esas almıştır. Bu bölümde, öncelikle inceleme alanı ve çevresinde gerçekleştirilen çalışmalara ve daha sonra tezin amacı ve konusunu oluşturan ancak çalışma alanından bağımsız olarak gerçekleştirilen araştırmalara kronolojik olarak değinilmiştir.

Tez alanına ait ilk çalışmayı gerçekleştiren Blumenthal (1941), kuzeyde Eskipazar, doğuda Ilgaz, batıda Bolu ve güneyde Kızılcahamam-Çubuk olmak üzere bölgenin özellikle genel ve yapısal jeolojisi hakkında önemli bilgiler vermekle kalmayıp Eskipazar ve çevresinde bulunan sıcak su kaynakları ve traverten çökelleri hakkında da bulgularını sunmuştur. İmanlar köyünün yaklaşık 1 km kuzeyinde yer alan traverten çökellerini “Akkaya traverteni” olarak ilk defa isimlendirmiştir. Blumenthal (1941), Akkaya traverteni çevresinde sıcak su havuzlarının olduğunu ve havuzlarda gaz çıkışlarının görüldüğünü bildirmiştir. Söz konusu su ve gaz çıkışlarına sebep olan ısıtıcı faktörün bölgede görülen magmatik aktivitenin son aşamasının ürünleri olduğunu savunmuştur. Yazar, Akkaya, Şerafeddin ve Ozandere bölgelerindeki sıcak suların hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla örneklemeler yapmış ve suların kalsiyum bikarbonat ( $\text{CaHCO}_3$ ) tipinde, sertliklerinin ise yüksek olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca yazar, Akkaya civarında görülen gaz çıkışlarını da incelemiş ve gazın bileşimini % 95  $\text{CO}_2$ , % 0,4  $\text{O}_2$  (oksijen) ve eser halde  $\text{H}_2\text{S}$  (hidrojen sülfür) olarak belirlemiştir. Son olarak yazar, Akkaya traverteninin morfolojik özelliklerinden, beyazımsı-grimsi renginden ve ince tabakalı olduğundan söz etmiştir.

Ambraseys (1970), çalışma alanının yaklaşık 5 km güneyinde uzanan KAFZ'nun İsmetpaşa segmenti üzerindeki krip hareketlerinin varlığını ve hızını ilk kez ortaya koymuştur. Krip hareketi, İsmetpaşa Karayolları Bakım İstasyonu'nun 1957 yılında yapılan taş duvarında gözlenmiştir. Ambraseys (1970) tarafından 1957-1969 yılları arasında yapılan ölçümlerde 2 cm/yıl hızında bir hareket tespit edilmiştir.

Tokay (1973), KAFZ'nun Gerede-Ilgaz arasında kalan bölümlerinde yapısal jeolojik ve jeolojik haritalama çalışmaları gerçekleştirmiştir. Gerede-Ilgaz kesiminde yer alan Ulusu, Gerede, Çerkeş, Dikmen, Kızılbirlik ve Yılanlı faylarını adlandıran ilk araştırmacı olmuştur. Ayrıca bu fayların geometrik özellikleri, sismik etkinlikleri ve tektonik evrimleri hakkında bilgiler vererek bu fayların KAFZ'nun Gerede-Ilgaz segmentine ait olduğunu belirtmiştir. Son olarak, KAFZ'nun yaşının orta Pliyosen (yaklaşık 3,6 milyon yıl) olduğunu belirtmiş ve o zamandan bu yana 60-80 km'lik bir doğrultu atım gerçekleştiğini ileri sürmüştür.

Barka (1984) Eskipazar'ın hemen doğusundaki Çerkeş-Kurşunlu-Ilgaz havzasının jeolojisi ve tektonik evrimini çalışmıştır. Çalışmalarından elde ettiği bilgilere göre neotektonik dönemin erken Pliyosen'de başladığını öne sürmüştür. Ayrıca Pontus grubu çökellerini alt ve üst Pontus formasyonları olmak üzere iki grupta incelemiş ve KAFZ üzerinde en geç Tortoniyen (geç Miyosen)'den itibaren 25 km'lik sağ yanal atımın meydana geldiğini belirtmiştir.

Okumura vd. (1990, 1994), Gerede ilçesinin Ardıçlı yöresinde yapmış oldukları hendek çalışmalarında yaklaşık olarak 2000 yıllık bir süreçte yinelenme periyodu  $250 \pm 30$  yıl (200-300 yıl) olan 8 adet büyük tarihsel dönem deprem kaydı tespit etmişlerdir.

Yücel ve Hakyemez (1991), Akkaya-Eskipazar dolayının genel jeolojisi-stratigrafisi ve jeotermal enerji olanaklarını belirlemek amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Çalışma alanındaki faylar ayrıntılı olarak incelenerek jeotermal sisteme olan etkisi ortaya konulmuştur. Akkaya-Eskipazar sahasının morfolojik yapısını etkileyen ana faktörün KAFZ olduğu belirtilmiştir. Çalışma alanında bulunan kayalardan petrografik ve paleontolojik örnekler alınarak, hazne, örtü ve ısıtıcı kaya birimleri saptanmış, sıcak ve soğuk su kaynaklarının kimyasal analizleri yapılmıştır. Akkaya su kaynağının sıcaklığı  $35^{\circ}\text{C}$  ve debisi yaklaşık 3-4 l/s olarak tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma sahasında yüzeyleyen üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkaniklerin (Galatya volkaniklerine ait bazalt ve andezitler) ısıtıcı kayalar olabilecekleri üzerinde durulmuştur. Yapılan jeokimyasal analizler sonucunda bu sahanın rezervuar sıcaklığının  $40-50^{\circ}\text{C}$  arasında olduğu tahmin edilmiştir.

Ikeda (1994), KAFZ'nun Gerede segmentindeki fayın Gerede çayını kestiği yerde (Hamamlı köyünün 1.7 km doğusu) bulunan tarihi bir köprüye ait ayakların 26 m sağ yanal olarak yer değiştirdiğini belirtmiştir. Araştırmacı bu tarihi köprünün muhtemelen 1300 yıl önce (milattan sonra  $680\pm 190$ ) inşa edilmiş olabileceğini öne sürmüştür. Köprünün en az 4 ya da 5 depremle yıkılıp muhtemelen 5. depremden önce inşa edildiği tespit edilmiştir. Bu depremler kullanılarak, ortalama sağ yanal atım miktarı  $6,5\pm 0,5$  m olarak tahmin edilmiş ve bu segmentte yüzey kırığı oluşturan depremlerin en az 270 yıl ve en fazla 450 yıl aralıklarla tekrarlandığı bulunmuştur.

Şaroğlu vd. (1995), Yeniçağa-Gerede-Eskipazar arasındaki bölgenin jeolojisini incelemişlerdir. Bu kapsamda çalışma alanını da içine alacak şekilde bölgedeki kayaç birimlerini KAFZ'nun kuzey ve güney bloğundaki kayaçlar olmak üzere iki ana gruba ayırmışlardır. Çalışma alanının stratigrafisi, tektoniği ve özellikle KAFZ'nun morfolojik etkilerini araştırmışlar ve fay zonunun yaşını geç Pliyosen ve atımını 30 km olarak belirlemişlerdir.

Elmas vd. (1997), Bolu-Eskipazar zonunun güneyde Sakarya kıtası, kuzeyde ise İstanbul-Zonguldak tektonik birliği ve KAFZ'nun kolları ile dokanaklı olduğundan bahsetmişlerdir. Ayrıca Bolu-Eskipazar zonunun BGB-DKD gidişli dar bir kuşak ve kenet zonu olduğundan söz etmişlerdir.

Özaksoy vd. (1998), KAFZ'nun Gerede segmentinin doğu ucu yakınında, İsmetpaşa'nın yaklaşık 4 km doğusunda KAFZ'nun ürettiği 1944 ve daha eski depremlerin etkilerini ve tekrarlanma aralıklarını araştırmak için söz konusu hat üzerinde hendek çalışması yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar bölgede en az üç depremin (1035, 1668 ve 1944 depremleri) meydana geldiğini göstermiştir.

Özaksoy (2000), KAFZ'nun, Bolu-Gerede segmentinin doğu kesiminin neotektonik ve paleo-sismolojik özelliklerini ve fayın güneyinde yer alan Çerkeş-Kurşunlu-Ilgaz havzasının tektonik evrimini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda  $^{14}\text{C}$  metodu ile yaşlandırılmış MÖ 830, MÖ 379 ve MÖ 79 yıllarına karşılık gelen 3 adet tarih öncesi

deprem belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre deprem yinelenme periyodu en az 276 en fazla 633 yıl olarak tespit edilmiştir.

Demirtaş (2000), KAFZ'nun Abant-Gerede arasında kalan bölümünün neotektonik özelliklerini ve paleo-depremselliğini incelemiştir. Gerede segmentinin deprem potansiyelini belirlemek amacıyla açılan hendeklerde son 2000 yılda oluşan en az sekiz depremin en az 200 en fazla 779 yıl aralıklarla yineleniğini tespit etmiştir. Ayrıca son 2000 veya 6335 yıllık süreçte fay boyunca depremlerin düzenli olarak yinelenmediğı ve belirli zaman aralıklarında kümeleşmeler gösterdiği belirtilmiştir. Elde edilen verilere göre KAFZ'nun başlangıç yaşı geç Pliyosen-erken Pleyistosen olarak düşünülmüştür.

Koçyiğit vd. (2001), KAFZ'nun İsmetpaşa-Kargı bölümünün tektonik ve sismik özelliklerini araştırmıştır. İsmetpaşa-Kargı bölümünün Eskipazar, Ulusu, Tosya, Çerkeş-Kurşunlu, Devrez ve söz konusu çalışmada ilk olarak tanımlanan ve isimlendirilen Dodurga fay sistemi olmak üzere altı adet alt-fay kuşağından oluştuğunu belirtmişlerdir.

Güleç vd. (2002), Türkiye'deki helyum izotop ölçümlerinin, tektonik, volkanik ve sismik aktivitelerle olan ilişkisini araştırmışlardır. Çalışma alanına yakın bölgelerde bulunan Kurşunlu-Çavundur, Orta-Çankırı ve Çepni-Bolu bölgelerinden alınan gaz örneklerinin helyum ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) izotop ( $R/R_A$ ) değerleri 1.22 ile 4.99 arasında tespit edilmiştir. Sonuç olarak tektonik olarak aktif olan KAFZ'nun batı ve orta kesimlerinde %60'a kadar varan mantosal helyum katkısı ortaya konmuştur.

Eskipazar havzasının neotektoniğini ve evrimini detaylı bir şekilde inceleyen Biryol (2004) bu havza içerisindeki yaşlı ve genç çökellerin paleotektonik ve neotektonik rejimler sonucunda oluştuğunu belirtmiştir. Çalışma alanındaki neotektonik rejimin oluşum yaşı geç Pliyosen olarak ifade edilmiştir. Havzayı sınırlayan Kadılar, Beytarla, Budaklar, Arslanlar, Dibek, Karkın, Boztepe ve Acısu faylarının topoğrafik, morfolojik ve geometrik ilişkileri ortaya çıkarılmıştır. Araştırmacı, Eskipazar havzasının geniş çaplı aktif ve aktif olmayan Pliyosen-Kuvaterner traverten oluşumları ile temsil edildiğini ve travertenlerin Budaklar, Karkın ve İmanlar formasyonlarında görüldüğünü

belirtmiştir. Neotektonik birimler içerisindeki travertenler radyometrik olarak tarihlenmediğinden konumlarına göre göreceli olarak yaşlandırılmıştır. En yaşlı traverten çökelleri Budaklar formasyonunda en geç traverten çökelleri ise İmanlar formasyonuna ait Akkaya travertenleri olarak belirtilmiştir. İmanlar kırık sisteminde yer alan Akkaya çatlak sisteminin yönelimi yaklaşık K10-14°B, çatlak açıklığı ise yaklaşık 2-3 cm olarak belirlenmiştir. Çatlağın oldukça kısa ağız açıklığına sahip olmasından dolayı çatlak aktivitesinin oldukça güncel olduğu savunulmuştur.

Kuterdem (2005), Eskipazar ve KAFZ arasındaki bölgenin morfotektonik özelliklerini coğrafi bilgi sistemleri ile çalışmıştır. Çalışma alanı ve çevresindeki yüzey şekilleri belirlenerek bunların KAFZ ve yapısal unsurlar ile olan ilişkisini ortaya çıkarmak amacıyla incelemeler yapılmıştır. KAFZ'nun K70°D doğrultusunda izlendiği belirtilmiş ve ayrıca basınç sırtları, çöküntü gölleri, vadi ve dere ötelenmeleri uydu görüntüleriyle gözlemlenmiştir. Ayrıca İmanlar köyünün yaklaşık 1 km kuzeyinde bulunan Akkaya traverteninde saptanan açılma çatlağının konumunu K15°B olarak ölçmüştür. KAFZ'nun neden olduğu sağ yanal dere ötelenmeleri incelenip çalışma alanındaki en büyük atım değeri 1700 m olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde vadi ötelenmelerinde de en büyük atım değeri 1500 m olarak belirlenmiştir.

Hartleb (2006), KAFZ'nun paleo-sismolojisi hakkında bilgiler vermiştir. Paleosismoloji çalışmalarından birini, Gerede'nin yaklaşık 12 km doğusunda bulunan Ulaşlar köyünde gerçekleştirmiştir. Burada gerçekleştirilen hendek çalışmasında 1944 Bolu-Gerede, 1668 ve 1050 depremlerinin yüzey kırıkları tespit edilmiştir.

Süer vd. (2008), KAFZ boyunca çok sayıda jeotermal su kaynağının jeokimyasal özelliklerini ve sismik faaliyetlerle olan ilişkisini belirlemek amacıyla 2002-2004 yılları arasında söz konusu suların fizikokimyasal ve izotopik analizlerini yapmışlardır. Bolu ve Kurşunlu-Çankırı bölgelerindeki jeotermal suların baskın olarak sodyum bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ), soğuk suların ise kalsiyum bikarbonat ( $\text{CaHCO}_3$ ) tipinde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sıcak ve soğuk suların oksijen ve hidrojen izotop kompozisyonları suların meteorik kökenli olduğunu göstermiştir.

Akın (2008), Eskipazar (Karabük) travertenlerinden Karkın formasyonuna ait sarı travertenlerin bozunma davranışlarını incelemiştir. Bu çalışmada sarı travertenlerin bozunma sınıflamaları belirlenerek, yapı taşı ölçeğinde incelemeler yapılmıştır. Ayrıca sarı travertenlerin petrografik, kimyasal ve fiziko-mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Kaplan (2010), Karabük-Eskipazar yöresindeki Budaklar ve İmanlar formasyonlarındaki travertenleri doku özelliklerine göre sınıflayıp, her bir dokuya ait mühendislik özelliklerini belirlemiştir. Budaklar formasyonuna ait travertenler masif ve boşluklu, İmanlar formasyonuna ait travertenler ise masif, boşluklu ve breşik dokulu olarak sınıflanmıştır. Son olarak yapıtaşı olarak kullanılacak travertenlerin masif ve breşik dokulu travertenlerden tercih edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Keskin (2010), Akkaya sıcak su kaynakları dahil olmak üzere Eskipazar ve çevresinde bulunan jeotermal ve mineralli suların hidrojeokimyasal parametrelerini sismik faaliyetlerle ilişkili olarak incelemiştir. 2007 ve 2009 yılları arasında jeotermal ve mineralli sular üzerinde  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  ve trityum izotop ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlere göre su kaynaklarının meteorik kökenli olduğundan bahsetmiştir. Ayrıca Akkaya kaynağının su tipinin Na-Ca-MgHCO<sub>3</sub> olduğunu belirtmiştir. Haziran 2007 ve Aralık 2008 arasında bölgede meydana gelen küçük ölçekli depremlerle, ölçülen parametrelerde değişimler gözlemlendiği belirtilmiştir. Ayrıca parametrelerdeki çoğu değişimin depremlerden birkaç gün önce meydana geldiği görülmüştür.

Güleç vd. (2010), KAFZ üzerinde bulunan sıcak su kaynaklarından helyum izotop ölçümleri yapmışlardır. Çalışma alanına oldukça yakın bir mesafede olan Çankırı-Kurşunlu bölgesinde yapılan ölçümlerde helyum izotop bileşimi 1.23 R/R<sub>A</sub> ve %15 mantosal helyum katkısı tespit edilmiştir. Araştırmacılar Batı Anadolu'daki mantosal helyum katkısının KAFZ'na göre daha az olduğunu savunmuşlardır.

De Leeuw vd. (2010), KAFZ boyunca oluşmuş jeotermal akışkanların (Reşadiye, Gözlek-Amasya, Hamamözü, Kurşunlu-Çavundur, Bolu, Seben, Babas-Mudurnu, Efteni-Gölyaka, Yalova yöreleri) akışkanların  $\delta^{13}\text{C}$ , CO<sub>2</sub>/<sup>3</sup>He ve <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He değerlerini belirlemişlerdir. Örneklerin  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerinin -4,5 ile +5,8 (‰VPDB) arasında,

$CO_2/{}^3He$  değerlerinin  $5.10^9$  ile  $5.10^{14}$  arasında ve  ${}^3He/{}^4He$  değerlerinin ise 0,24 ile 2,3  $R_A$  arasında olduğu tespit edilmiştir. En yüksek  ${}^3He/{}^4He$  değerlerinin, Galatya volkaniklerine yakın bölgelerde görüldüğü not edilmiştir. Ayrıca KAFZ boyunca %29'a kadar varan mantosal helyum varlığı kaydedilmiştir.

Ülkemizdeki traverten çalışmaları özellikle 1990'lı yıllarda Batı Anadolu'da Büyük Menderes grabeninde bulunan Denizli-Pamukkale travertenleri ile başlamıştır. Bu çalışmalar başlıca; yapısal jeolojik, tektonik, sedimantolojik, jeomorfolojik, jeokimyasal ve hidrojeokimyasal incelemelerden ibarettir.

Altunel ve Hancock (1993a,b), Pamukkale travertenlerini yapısal, tektonik ve morfolojik olarak incelemişler ve travertenleri teras tipi, sırt tipi, fay önü, aşınmış örtü ve kendiliğinden oluşmuş kanal travertenleri olarak 5 ana morfolojik sınıfa ayırmışlardır. Travertenlerin, sıcaklığı  $35-56^\circ C$  arasında değişen, kabukta gelişen kırık ve çatlaklardan itibaren yüzeye ulaşan sıcak sulardan çökeldikleri belirtilmiştir. Pamukkale travertenlerinden uranyum serisi yöntemiyle elde edilen yaş verilerine göre, travertenler en az 400.000 yıldan bu yana oluşmaya devam etmektedir. Sırt tipi travertenlerde sırt eksenine paralel olarak gelişen damar şeklindeki kırık ve çatlaklar etkin olan genişleme rejimini temsil ettiğinden bu kırık-çatlakların genişleme tektoniğinin bir ürünü olduğunu vurgulamışlardır.

Altunel ve Hancock (1996a), Denizli-Pamukkale sırt tipi traverten kütlelerinde oluşan karbonat dolgulu genişlemeli çatlakların yapısal jeolojik davranışlarını incelemiş ve neotektonik önemlerinden bahsetmişlerdir. Sırt tipi travertenlerin sırt eksenindeki merkezi çatlaklarda gelişen bantlı travertenlerin, eksen boyunca uzanan çatlağın gelişimi hakkında önemli bilgiler verdiği görülmüştür. Çatlak merkezinde oluşan bantlı travertenlerin kalınlıklarının derinliğe bağlı olarak artışının çatlağın aynı oranda açılmasına, derinliğe bağlı olarak basamaklı artışın ise çatlağın aşamalı (dönemsel) olarak açılmasına bağlanmıştır. Ayrıca sırt eksenine paralel ve dik olarak gelişen traverten dolgulu çatlakların (damar travertenler) gerilme tektoniği etkisinde şekillendiğinden söz edilmiştir. Sonuç olarak, aktif olan sırt tipi travertenlerin bölgedeki



tektonik gelişimi ve gerilme yönlerinin dağılımını belirlemede kullanılan önemli bir neotektonik unsur olduğu üzerinde durulmuştur.

Altunel (1996b), Pamukkale travertenlerinin morfolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik önemleri hakkında bilgiler vermiştir. U-Th yaşlandırma yönteminin esasları ve örnek alımında dikkat edilecek hususlar üzerinde açıklamalar yapılmıştır. Sırt tipi travertenlerin merkezi çatlaklarında oluşan bantlı-damar travertenlerin, çatlağın gelişimi hakkında önemli veriler sağladığı vurgulanmıştır. Sırt tipi travertenin çatlak merkezindeki açıklık miktarının, çatlak merkezinden elde edilen yaşa oranlanmasıyla toplam açılma hızı tespit edilmiştir. Buna göre Pamukkale bölgesindeki sırt tipi travertenlerinin açılma çatlaklarının ortalama 0.02 ile 0.1 mm/yıl hızında açıldığı görülmüştür.

Hancock vd. (1999), aktif fay çalışmalarında travertenlerin kullanımına (travertonics-traverten tektoniği) yönelik çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında sıcak su kaynaklarından çökelen genç travertenlerden neotektonik davranışları ve geçmişleri hakkında bilgiler elde edilebileceğinden bahsedilmiştir. Çatlaklar içerisinde bulunan bantlı-damar travertenlerin uranyum serisi yöntemiyle yaşlandırılarak her bir çatlak için yanal yayılma hızlarının hesaplanabileceği gösterilmiştir. Bu bilgiden yararlanılarak Pamukkale travertenlerinde yanal yayılma hızları 2,8-22,0 mm/yıl arasında bulunmuştur. Bantlı travertenlerde gerçekleştirilen yaşlandırmanın hem yapısal hikayeyi hem de bölgede meydana gelen jeotermal akışkanların maksimum olduğu zamanı ortaya çıkardığı savunulmuştur. Sonuç olarak, artan akışkan hareketlerinin dönemlerini bilmenin, fay oluşumu ile ilişkili deprem hareketlerinin bu dönemlerle ilişkili olup olmadığını belirleme ihtimalini ortaya çıkardığı savunulmuştur.

Uysal vd. (2007), uranyum serisi yaşlandırma ile travertenler üzerindeki çatlak gelişiminin, geç Kuvaterner sismik olayları ile olan ilişkisinden bahsetmiştir. Pamukkale bölgesindeki damar travertenlerinden alınan örneklerde gerçekleştirilen duraylı karbon ve oksijen izotopu, radyojenik stronsiyum izotopu ve ayrıca nadir toprak element analizleri sonuçlarından yararlanılarak karbondioksitçe zengin akışkanların sismik faaliyetler süresince yüzeye ulaşarak damar (dayk ve sil benzeri) travertenleri

çökelttiği sonucuna varılmıştır. Damar travertenlerden elde edilen yaş verilerinin, tarihsel dönem deprem aktivitelerini belirleme açısından önemli bilgiler sağladığını belirtmiştir.

Uysal vd. (2009), aktif sismik bölgelerdeki basınç püskürmesi ürünleri ve bunların iklimle olan ilişkilerini incelemiştir. Pamukkale ve Kırşehir jeotermal sahalarındaki damar travertenlerden alınan örneklerden uranyum serisi yaş ve karbon-oksijen izotop verileri elde edilmiştir. Kurak iklim dönemlerinde yeraltı su seviyesinin düşmesi ile yüksek karbondioksit basınçlı püskürmelerin sismik faaliyetler ile tetiklenerek damar travertenlerini oluşturduğu savunulmuştur. Elde edilen sonuçlar arazi gözlemleri, karbon-oksijen izotopları ve nadir toprak element verileri gibi jeokimyasal veri setleri ile doğrulanmıştır.

Uysal vd. (2011), Marmaris yakınlarındaki Kumlubük köyündeki dar bir fay zonunda oluşan kalsit damarlarından elde edilen jeokronolojik, jeokimyasal ve mikroyapısal kanıtlar doğrultusunda sismik döngüleri incelemiştir. U-Th yöntemiyle yaşlandırılan kalsit damarlarının Younger Dryas, Heinrich 1-2 ve Son Buzul Maksimum dönemlerinde çökeldiği görülmüştür. Traverten damarlarını oluşturan karbondioksitçe zengin akışkanların kökenine yönelik bulgular ortaya konularak iklimin hidrolojik döngüyü ve karbondioksit bütçesini etkilediği belirtilmiştir.

De Filippis vd. (2012), Pamukkale'de bulunan Kamara, Çukurbağ, Akköy ve Kocabaş sırt tipi travertenlerini stratigrafik, yapısal, jeokimyasal ve jeokronolojik yöntemlerle incelemiştir. Sırt tipi travertenlerde sırt ekseninden kenarlara akış yönünde çökelen tabakalı travertenleri ve bir damar şeklinde tabakalı travertenleri kesen bantlı travertenleri detaylı bir şekilde tanımlamışlardır. Bantlı travertenlerden U-Th yaş verileri ve karbon-oksijen izotopik verileri elde edilmiş ve bu veriler ışığında akışkanın sismik bir faaliyet sonucunda ani şekilde yüzeye ulaşarak damar travertenleri oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Özkul vd. (2013), Denizli havzasındaki travertenleri ve bunları çökeltten sıcak su kaynaklarını sedimentolojik, hidrojeokimyasal ve jeokimyasal açıdan incelemiştir.

Travertenler üzerinde kalsit oksijen izotop paleo-termometresi kullanılarak, travertenleri oluşturan suların paleo-sıcaklıkları tespit edilmiştir. Sırt tipi travertenler üzerinde gelişen damar travertenlerin sadece soğuk-kurak iklim dönemlerinde değil sıcak-nemli dönemlerde de geliştiği belirtilmiştir. Damar travertenlerin sismik faaliyetler sonucu oluştuğuna değinilmiştir. Ayrıca Denizli havzasında bulunan travertenlerin iklimsel dalgalanmalardan etkilenmediğini tektonik aktivite ile ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Ünal-İmer vd. (2016), karbondioksit salınım olaylarının deprensellikle olan ilişkisini incelemişlerdir. Marmaris bölgesindeki üç farklı lokasyondan alınan traverten örneklerinde karbon, oksijen ve stronsiyum izotop analizlerinin yanı sıra nadir toprak element analizleri de gerçekleştirilmiştir. Traverten damarlarında görülen kataklastik breşleşme sismik faaliyetlerin bir sonucu olarak yorumlanmıştır. Ayrıca, duraylı izotop kayıtlarındaki dalgalanmalar kireçtaşının çözünme karakteri ve sismik dönemler arasındaki akışkan hareketleriyle açıklanmıştır. Nadir toprak element desenlerinde görülen anomalilerin ana kayayla olan etkileşimi ortaya koymasından önemli bir veri olduğu vurgulanmıştır.

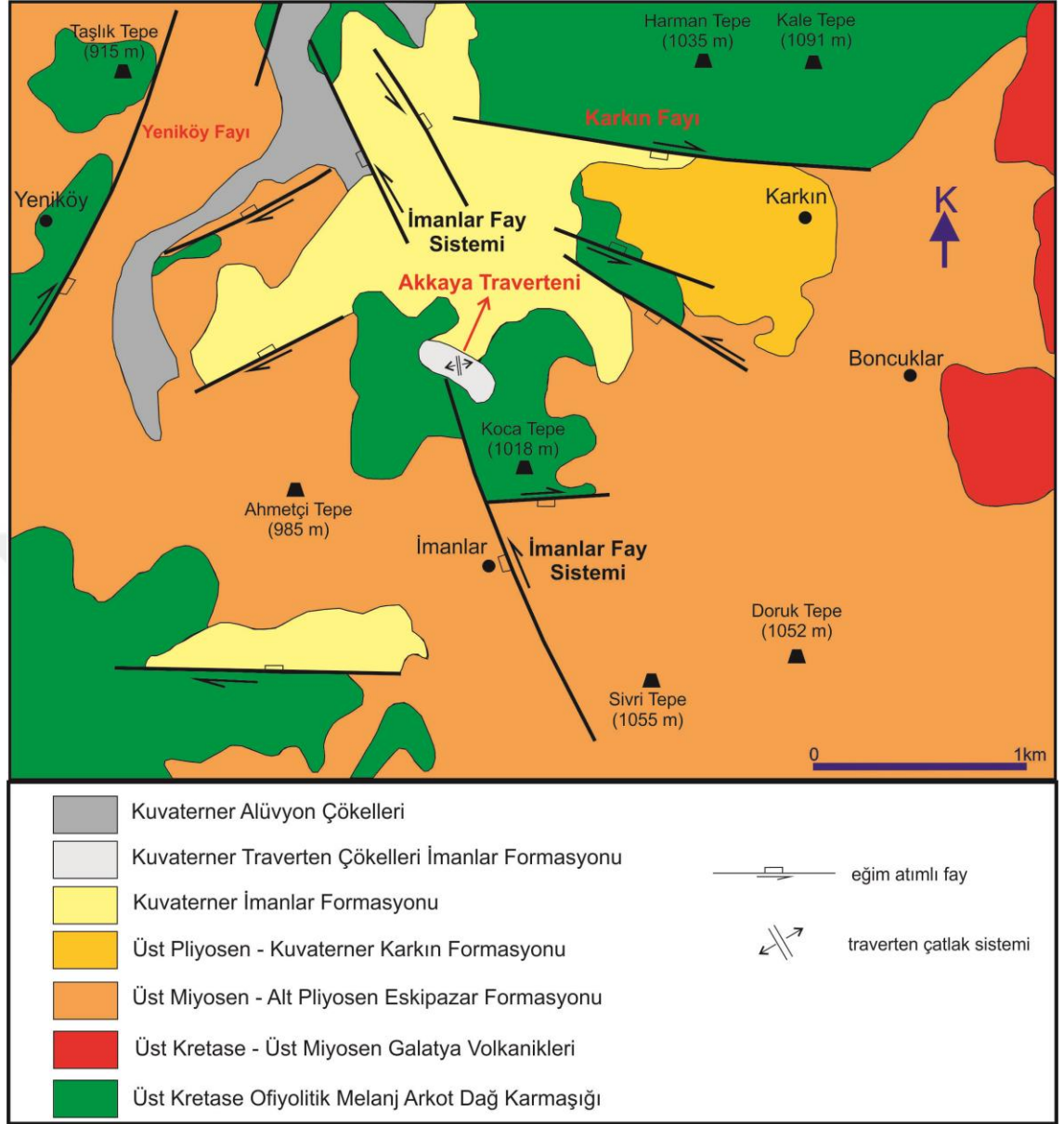
### 3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanının jeolojisini ortaya koymak için Tokay (1973), Yücel ve Hakyemez (1991), Şaroğlu vd. (1995) ve Biryol (2004)'un çalışmalarından faydalanılmış ve ayrıca alandaki jeolojik birimlerin yerinde incelenmesi suretiyle elde edilen bulgular sunulmuştur. Çalışma alanı ve yakın çevresine ait jeoloji haritası şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bölgede yüzeyleyen jeolojik birimler stratigrafik sırayla aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.1 Arkot Dağ Karmaşığı

Çalışma alanında temeli Arkot Dağ karmaşığı oluşturur. Bu karmaşık ilk kez Tokay (1973) tarafından "Arkot Dağ Formasyonu" olarak isimlendirilmiştir. Birim ofiyolitik melanj özelliğinde olup bünyesinde sedimanter, metamorfik ve magmatik kayaları içermektedir. Tektonizmadan etkilenmiş olan karmaşık bu özelliğinden dolayı Biryol (2004) tarafından "Arkot Dağ Tektonik Karmaşığı" olarak isimlendirilmiştir. Karmaşığın Intra-Pontid kenedi boyunca iyi gözlendiğini belirten Göncüoğlu vd. (2014) birimi geç Santoniyen (geç Kretase) yaşlı karışık sedimanter çökel topluluğu olarak tanımlamıştır.

Arkot Dağ karmaşığı çalışma alanı ve çevresinde geniş bir yayılım sergiler. Birim içerisinde yaşı geç Kretase olarak tanımlanmış çok sayıda kireçtaşı blokları mevcuttur (Şekil 3.2). Bu bloklar masif yapıda, koyu renkli ve belirgin bir şekilde bozunmuş olup yüzeylerinde likenler gelişmiştir. Alt sınırı gözlenemeyen birim Eskipazar formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir.



Şekil 3.1 Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Biryol 2004'den değiştirilerek alınmıştır)

Arkot Dağ karmaşığı, literatürdeki Arkot Dağ formasyonu (Tokay 1973), Melanj formasyonu (Saner vd. 1980), Abant karmaşığı (Yılmaz vd. 1981), Bakacak formasyonu (Göncüoğlu vd. 1986), İkisü formasyonu, Bakacak olistostromu, Asmalidere formasyonu, Çankaya formasyonu, Kazımiye graniti, Kirazlı kuvarsiti ve Yörüktepe mermeri (Yılmaz vd. 1990), Arkot karmaşığı (Yücel ve Hakyemez 1991), Soğucak formasyonu (Erendil vd. 1991), Arkot Dağ grubu (Şaroğlu vd. 1995) ve Arkot Dağ tektonik karmaşığı (Biryol 2004) ile karşılaştırılabilir.





Şekil 3.2 Arkot Dağ karmaşığına ait kireçtaşı blokları

### 3.2 Galatya Volkanikleri

Galatya volkanikleri orta Anadolu'nun kuzeybatısında uzanan volkanik bir kuşaktır. Bu volkaniklerin evrimi Neotetis Okyanusunun kuzey kolunun kapanmasıyla ilişkilendirilmiştir (Şengör ve Yılmaz 1981, Koçyiğit 1991). Galatya volkaniklerinin kuzeyi KAFZ ile güneyi ise volkanikler ile ara katkılı karasal birimler ile çevrelenmiştir (Tankut vd. 1998).

Galatya volkanikleri, çalışma alanının doğusunda Boncuklar köyü civarında yüzeyler. Volkanikler genellikle bazalt ve andezit lav parçaları ve ayrıca aglomera ve tüflü seviyelerle temsil edilmektedir.

Koçyiğit (1991) ve Koçyiğit vd. (2003)'ne göre Galatya volkanikleri geç Kretase'den geç Miyosen'e kadar süren uzun bir dönemde oluşmuşlardır. Diğer çalışmalarda ise Galatya volkaniklerinin büyük bir kısmının Miyosen yaşlı oldukları belirtilmiştir (Keller vd. 1992, Toprak vd. 1996, Wilson vd. 1997). Bu volkaniklere ait bazaltlardan elde edilen K-Ar yaşları erken Miyosen (17-19 milyon yıl) ve geç Miyosen (10 milyon yıl) olmak üzere iki ana volkanik püskürme evresi ortaya koymuştur (Wilson vd. 1997). Çalışma alanı ve yakın çevresindeki sıcak su kaynaklarının varlığı derinlerde magmatik faaliyetin halen devam ettiğini ve dolayısıyla su kaynaklarının bu magmatizmadan etkilenerek ısındığını düşündürmektedir.

Galatya volkanikleri, literatürdeki Köroğlu volkanik serileri, Köroğlu kompleksi, Tersiyer volkanik serileri (Erol 1951, 1954, 1955), Miyosen volkanikleri (Tokay 1973), Aydos bazaltı (Akyürek vd. 1979), Bozdağ bazaltı (Akyürek vd. 1984), Köroğlu (Galatya) volkanik kompleksi (Tankut vd. 1990), Özlü bazaltı (Türkecan vd. 1991), Arkın formasyonu (Yücel ve Hakyemez 1991) ve Galatya Yay Kompleksi (Koçyiğit vd. 2003a) ile karşılaştırılabilir.

### **3.3 Eskipazar Formasyonu**

Formasyon ilk olarak Şaroğlu vd. (1995) tarafından “Pazarbaşı Formasyonu” olarak isimlendirilmiş ve tanımlanmıştır. Ancak yapılan tanımlamalar yetersiz görüldüğü için Biryol (2004) tarafından yeniden tanımlanarak “Eskipazar Formasyonu” olarak isimlendirilmiştir. Eskipazar formasyonu çalışma alanı ve çevresinde geniş bir yayılım sergilemektedir. Formasyon, göl ve akarsu ortamlarında çökelen kırmızı renkli çamurtaşlarından meydana gelmektedir (Şekil 3.3). Formasyon kalınlığı 520 m olarak belirtilmiştir (Biryol 2004).

Mikro ve makro memeli fosil topluluğu içermesinden dolayı formasyonun yaşı geç Miyosen-erken Pliyosen olarak belirlenmiştir (Şaroğlu vd. 1995). Eskipazar formasyonu Arkot Dağ karmaşığını uyumsuz olarak örtmekte ve diğer genç birimler tarafından örtülmektedir. Eskipazar formasyonu, literatürdeki Kırmacıdere formasyonu (Kimpan 1974), Örencik formasyonu (Aydın vd. 1987), Boncuklar formasyonu (Yücel ve Hakyemez 1991) ve Pazarbaşı formasyonu (Şaroğlu vd. 1995) ile karşılaştırılabilir.

### **3.4 Karkın Formasyonu**

Formasyon Şaroğlu vd. (1995) tarafından “Bahçepınar Formasyonu” ve daha sonra Biryol (2004) tarafından ise “Karkın Formasyonu” olarak isimlendirilmiştir. Formasyon çalışma alanının kuzeydoğusundaki Karkın köyünün güneybatısındaki gölsel kireçtaşları ile temsil edilmektedir (Şekil 3.4). Kireçtaşları sert ve beyazımsı-gri renkte olup içerlerinde yaş verecek fosile rastlanılmamıştır.

Karkın formasyonu alüvyonlar ile uyumsuz olarak örtüldüğünden dolayı üst Pliyosen-Kuvaterner yaşı verilmiştir (Biryol 2004). Formasyon, Eskipazar formasyonu ve Arkot Dağ karmaşığını uyumsuz olarak örtmektedir.





Şekil 3.3 Eskipazar formasyonuna ait kırmızı renkli çamurtaşları





Şekil 3.4 Karkın formasyonuna ait gösel kireçtaşları

### 3.5 İmanlar Formasyonu

İmanlar formasyonu Biryol (2004) tarafından isimlendirilmiştir. Formasyon İmanlar köyünün yaklaşık 1 km kuzeyinde çalışma alanının merkezinde net bir şekilde gözlenir. Formasyon, aktif olarak çökelen sırt tipi traverten ve bu travertenin yaklaşık olarak 190 m batısında bulunan tabakalı ve damar travertenler ile temsil edilmektedir (Şekil 3.5). Ayrıca bu iki birim arasında kumlu-karbonatlı dolguya sahip akarsu çökelleri olarak bilinen konglomera biriminin kireçtaşı, andezit, bazalt ve radyolarit çakılları içerdiği belirtilmiştir (Biryol 2004). Traverten çökelleri ve konglomera birimleri arasındaki sınır arazide kolaylıkla ayırt edilebilmektedir (Şekil 3.6).

Sırt tipi traverten sivri morfolojisi ile karakteristiktir. Sırtın güney kesiminde su çıkışı olmamasından dolayı siyahımsı bir renk göze çarparken kuzey kesimi güncel sıcak su çıkışlarının çökelttiği karbonatlar nedeniyle beyaz renklidir. Traverten üzerinde yer yer sarı renkli kükürt oluşumları da gözlenmiştir (Şekil 3.7.a). Sırt tipi travertenin uzunluğu yaklaşık 90 m olarak ölçülmüştür. Travertene ait çatlak açıklığı 2-3 cm ve sırt ekseninin doğrultusu yaklaşık K-G olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.7.a,b,c,d). Yapılan ölçümlerde travertenin sırt eksenini doğrultusu güney uçta  $K10^{\circ}B$ , orta kısımda  $K6^{\circ}B$  ve kuzey uçta  $K5^{\circ}B$  olarak belirlenmiştir. Sırt tipi travertenin genişliği ise güney uçta 11 m, orta kısımda 7 m ve kuzey uçta ise 24 m olarak ölçülmüştür.

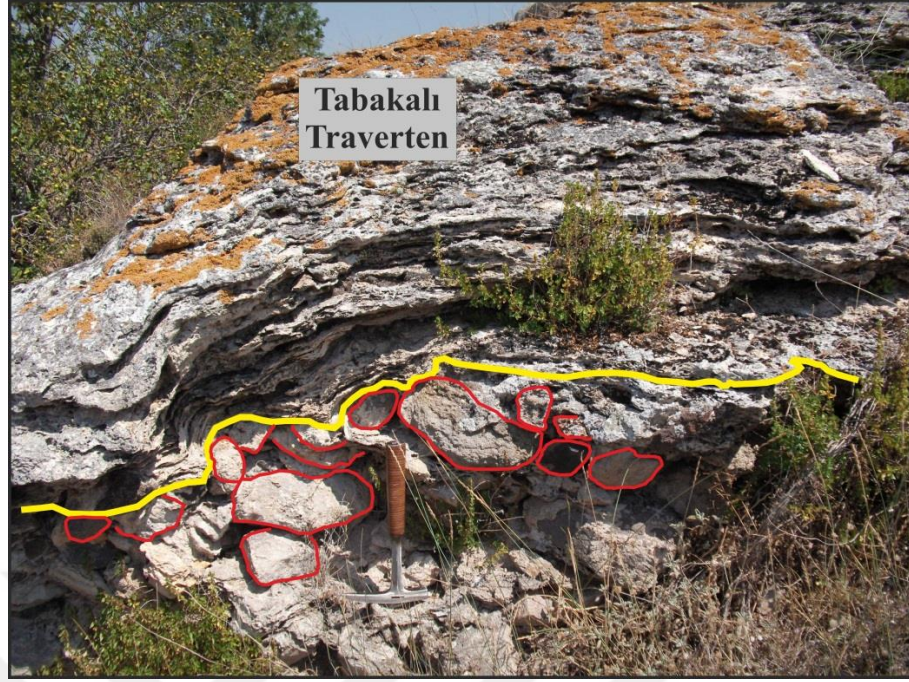
Akkaya sırt tipi traverteninin kuzey ucunda 2 ve kuzeydoğu kesiminde 1 adet olmak üzere toplam 3 adet sıcak su çıkış noktası ve oluşturduğu havuzlar bulunmaktadır. Bu havuzlardan gaz çıkışları mevcuttur (Şekil 3.8.a,b,c). Havuzların ve su kaynaklarının travertenin kuzey kısmında yer alması su çıkışına olanak sağlayan kırıkların zaman içerisinde kuzeyde yoğunlaştığına işaret etmektedir (Şekil 3.8.d). 1944 Gerede depreminden sonra bu su çıkışlarının azaldığı ve yer değiştirdiği yerel halk tarafından da belirtilmiştir.



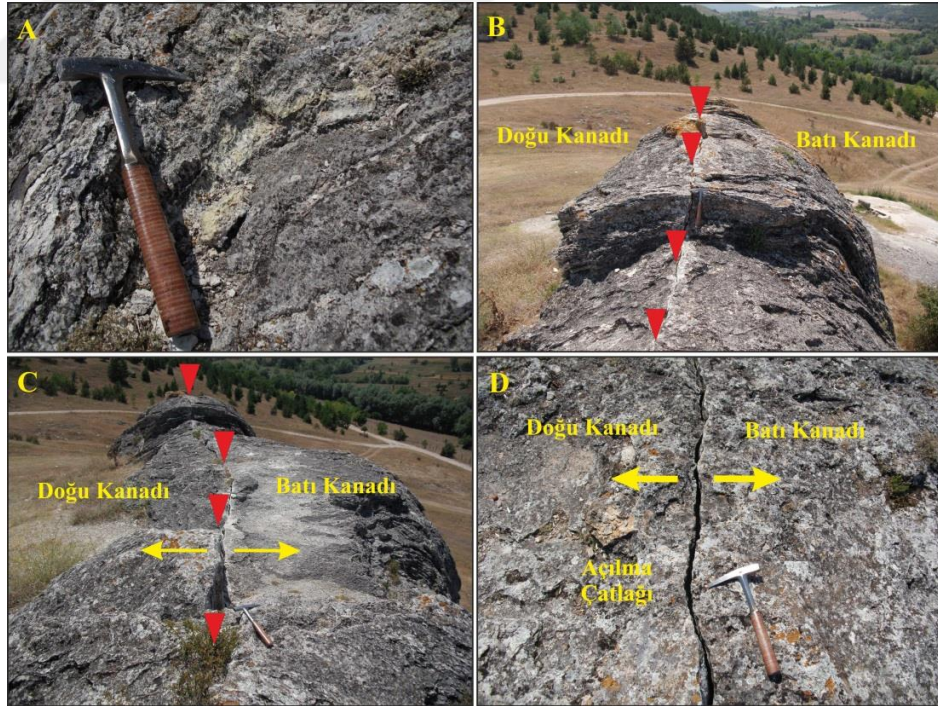


Şekil 3.5.a. İmanlar formasyonuna ait sırt tipi, b. tabakalı ve damar travertenlerin genel görünümü (Her iki resimde de bakış doğuya doğrudur)





Şekil 3.6 Tabakalı travertenler ile çakıltaşları arasındaki sınırın görünümü (Sarı çizgi tabakalı travertenler ile çakıltaşları arasındaki sınırı, kırmızı çizgiler ise çakıltaşlarının boyutlarını göstermektedir)



Şekil 3.7.a. Tabakalı traverten üzerindeki kükürt sıvamaları, b.c. sırt tipi travertenin sırt eksenini yönelimi, d. sırt tipi traverten üzerinde gözlenen açılma çatlakları (kırmızı üçgenler sırt eksenini göstermektedir)

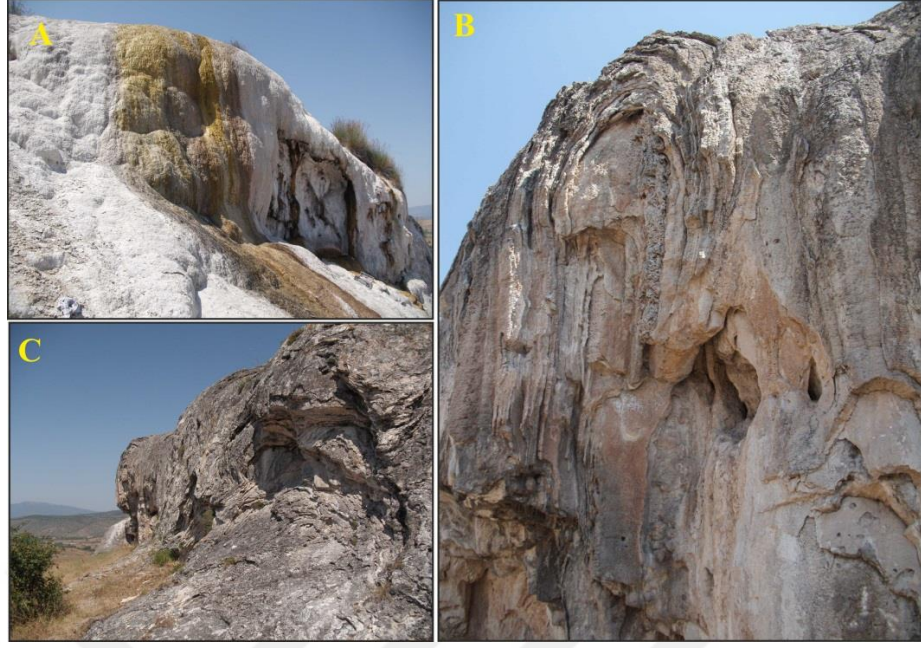




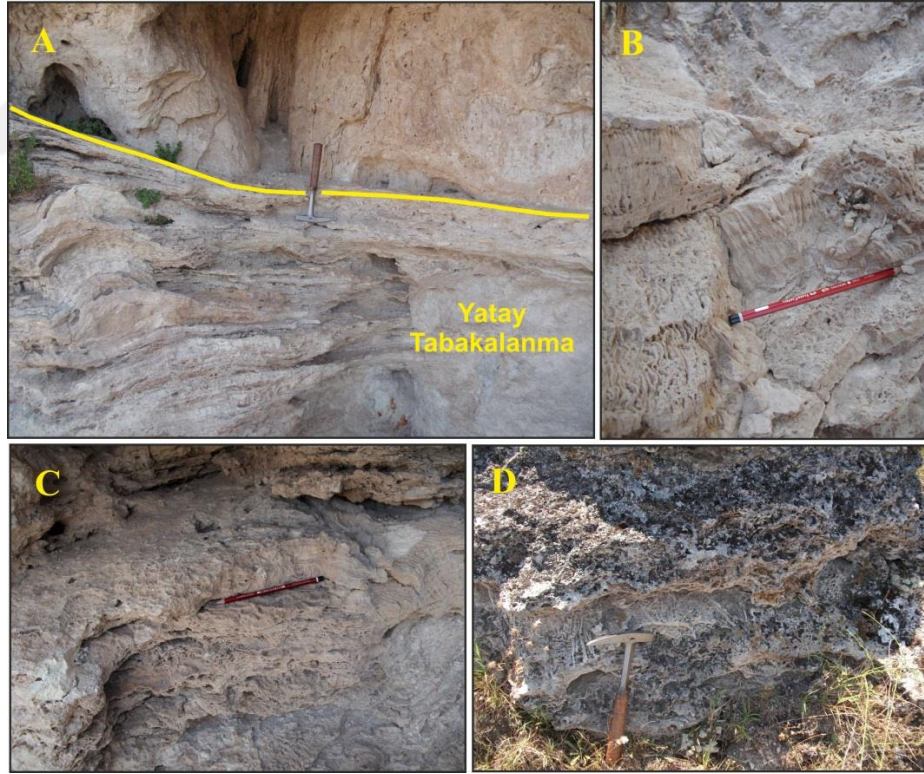
Şekil 3.8. a.b.c Sırt tipi travertenin kuzey ucunda gözlenen sıcak su havuzları, d. traverten sırtının kuzeyinde bulunan eski su havuzu

Sırt tipi travertenin kuzey ucunun topoğrafik olarak daha yüksek olmasından dolayı buradaki travertenler şelale ve teras tipindedir (Şekil 3.9.a). Benzer şekilde, sırt tipi traverteninin batı kanadı da dik yamaçlıdır. Bundan dolayı traverten çökelleri şelale tipinde ve yer yer damla taş tipinde gelişmiştir (Şekil 3.9.b,c). Bu tür oluşumlar travertenin doğu kanadında gözlenmemiştir. Arazi bulguları traverten oluşumlarının çoğunlukla morjolojiye göre şekillendiklerini göstermektedir.

Sırt tipi travertende, kanatlardan itibaren tabanına doğru yatay tabakalanmalar göze çarpar. Bu durum en iyi şekilde travertenin batı kanadında görülmektedir (Şekil 3.10.a). Yatay tabakalarda kalsit kristali desenleri, mikroteras yapıları ve organik maddece zengin (siyanobakteri, alg ve bitki kalıntıları; Pentecost 2005) kırıntılı malzemeler (çakıltaşı, breş ve kıltaşı) oldukça yaygındır (Şekil 3.10.b,c,d). Bu kırıntılı malzemeler muhtemelen basınç püskürmelerinin ürünleridir.



Şekil 3.9.a Sırt tipi travertenin kuzey ucundaki şelale tipi görünüm, b.c. sırt tipi traverteninin batı kanadında görülen traverten çökelleri



Şekil 3.10.a. sırt tipi travertenin tabanında görülen yatay tabakalanma, b. kalsit kristal oluşum desenleri, c.d. mikroteras yapıları ve organik madde (alg-siyanobakteri) kalıntılarının genel görünümü



İmanlar tabakalı ve damar travertenleri stratigrafik olarak sırt tipi traverten ve konglomera birimlerinin altındadır (Şekil 3.11.a.b). İmanlar travertenleri, tekdüze bir özellik sergilemeyip tabakalı ve damar (dayk ve sil benzeri) travertenleri ve ayrıca bu travertenler içerisinde basınç püskürme ürünleri olarak tanımlanabilen breş çökelleri ve kırıntılı malzemeleri içermektedir (Şekil 3.11.c.d). Damar travertenleri ve breş çökellerinin oluşum mekanizmasına dair yorumlamalar “Tartışma” bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.11.a.b. İmanlar tabakalı ve damar travertenlerinin genel görünümü (bakış doğuya doğrudur), c.d. tabakalı ve damar travertenler ve breş-kırıntılı malzemelerin genel görünümü

### 3.6 Alüvyon Çökelleri

Çalışma alanı ve çevresindeki alüvyon çökelleri çoğunlukla ince taneli kum, silt ve organik maddece zengin taşkın düzlüğü çökellerinden meydana gelmiştir. Genellikle çalışma alanını çevreleyen Kuruçayır Irmağı vadisinde de taşkın düzlüğü çökelleri mevcuttur (Biryol 2004).



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde, Akkaya jeotermal sahasındaki sırt tipi ve damar travertenlerden toplanan örneklerin analizlerinden (mineralojik, petrografik, jeokronolojik, izotopik ve jeokimyasal), ayrıca sıcak su havuzlarından alınan gaz örneklerinin analizlerinden (izotopik) elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

### 4.1 Petrografi

Sırt tipi ve damar travertenlerinden alınan karbonat örneklerinin mineralojik bileşimini ve yapı-doku özelliklerini belirlemek amacıyla sırasıyla XRD (X-Ray Diffraction) tüm kayaç mineralojik analizleri ve ince kesit petrografisi yapılmıştır (Şekil 4.1).

Sırt tipi traverten ve damar travertenlerinden alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen XRD analiz sonuçlarına göre, AK-2T kodlu örnek hariç diğer tüm örnekler saf kalsitten oluşmaktadır. AK-2T kodlu örnekte ise kalsit ve aragonit tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Traverten örneklerinin X-ışınları difraktogramları EK 1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Traverten örneklerine ait ince kesitlerin optik polarizan mikroskobunda incelenmesi

Çizelge 4.1 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar travertenlerinden (İM kodlu) elde edilen örneklerin XRD tüm kayaç mineralojik analiz sonuçları

Örnek Adı	Mineral Adı
AK-YR1a	Kalsit
AK-YR1b	Kalsit
AK-1T	Kalsit
AK-2C	Kalsit
AK-2T	Kalsit + Aragonit
İM-D1	Kalsit
İM-D2	Kalsit
İM-D3	Kalsit
İM-D5	Kalsit
İM-D6	Kalsit
İM-D7	Kalsit
İM-D8	Kalsit
İM-D9	Kalsit
İM-D10	Kalsit

Traverten çökelleri kalsiyum karbonatın ( $\text{CaCO}_3$ ) polimorfları olan kalsit ve/veya aragonit minerallerinden oluşmaktadır. Bu mineraller kaynak suyunun kimyasal kompozisyonuna, sıcaklığına ve ayrıca karbondioksit basıncına bağlı olarak çeşitlilik gösterir.

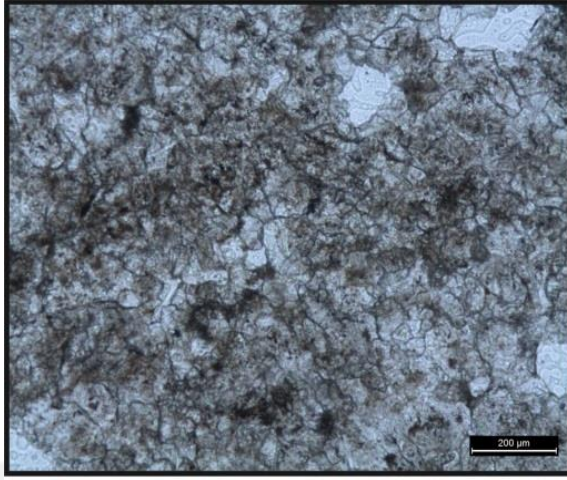
Oda sıcaklığında kalsite nazaran daha az duraylı olan aragonit doğada sıcak sulardan çökelen travertenlerde oldukça yaygındır. Laboratuvar gözlemleri aragonitin tercihen sıcaklıkları  $30^\circ\text{C}$  ile  $60^\circ\text{C}$  arasında değişen sulardan çökeldiğini göstermiştir. Düşük sıcaklıklarda ise aragonit yalnızca yüksek magnezyum konsantrasyonuna sahip sulardan çökelmektedir (Lippmann 1973, Folk 1994, Pentecost 2005). Bununla birlikte, sıcaklığı  $30^\circ\text{C}$  ile  $40^\circ\text{C}$  arasında değişen sulardan kalsit ya da aragonitin magnezyum içeriğine bakılmaksızın çökeldiği görülmüştür (Amundson ve Kelly 1987).

DeneySEL çalışmalar, sıcaklığı  $44^\circ\text{C}$ 'yi aşmayan sulardan aragonitin, sıcaklığı  $30^\circ\text{C}$  ile  $43^\circ\text{C}$  arasında olan sulardan ise kalsit ve aragonitin birlikte ve sıcaklığın  $30^\circ\text{C}$ 'nin altında olduğu durumlarda ise sadece kalsitin çökeldiğini göstermiştir (Fouke vd. 2000, Pentecost 2005).

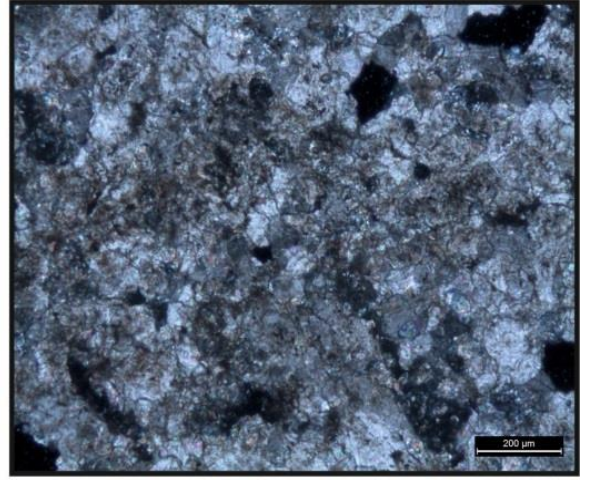
Su sıcaklığı ve magnezyum içeriğinin yanı sıra, kalsit ve aragonit çökmesinde karbondioksit gaz konsantrasyonunun da etkili olduğu görülmüştür. Aragonitin baskın olarak karbondioksit gaz salınımının yüksek olduğu akışkanlardan çökeldiği belirtilmiştir (Kitano 1963, Lippmann 1973). Aynı zamanda, sıcak sulardaki yüksek stronsiyum içeriğinin aragonit çökmesinde etkin olduğu görülmüştür (Malesani ve Vannucchi 1975, Pentecost 2005). Travertenlerde gözlenen aragonit mineralleri genel anlamda; stronsiyum içeriği (Malesani ve Vanucchi 1975), su sıcaklığı, buharlaşma derecesi (Chafetz vd. 1991), Mg/Ca oranı (Folk 1994), çökme oranı ve yüksek karbondioksit gazı basıncı (Pichler ve Veizer 2004) gibi faktörlere bağlanmıştır (Pentecost 2005, Uysal vd. 2007, Özkul vd. 2013).

Örneklerin ince kesit petrografi çalışmaları optik polarizan mikroskopuyla gerçekleştirilmiştir. İncelenen örneklerin ince kesit görüntüleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de sunulmuştur. AK-1T kodlu örnekteki kalsit mineralleri renksiz ve özşekilsiz taneler halinde bulunmaktadır. Taneler birbirine iyi kenetlenmiş durumda olup mozayik dokusu sergiler. Ayrıca kalsitler ikinci nikelde yüksek diziye ait inci grisi veya beyazımsı girişim renkleri ile karakteristiktir (Şekil 4.2).

AK-2T kodlu örnekte aragonit minerallerinin renksiz, ışınal dizilim gösteren çubuksu ve lifsi yapıda bulunması dikkat çekmektedir. Aragonitler ikinci nikelde yüksek dizilerin beyaz veya beyazımsı girişim renklerini gösterirler (Şekil 4.3). İncelenen her iki örnekte de organizma kalıntılarına ve yeniden kristalleşme izlerine rastlanılmamıştır.

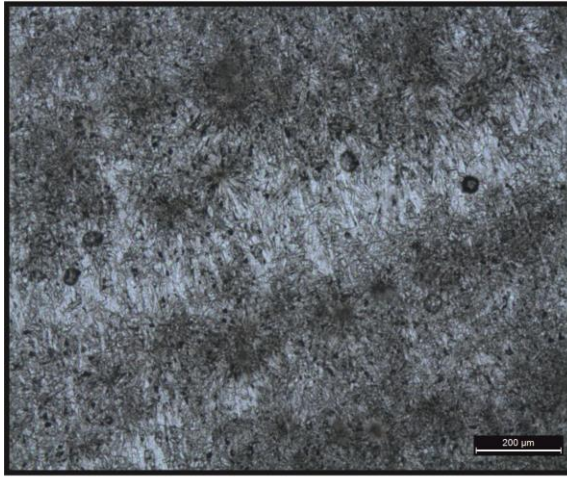


Tek Nikol

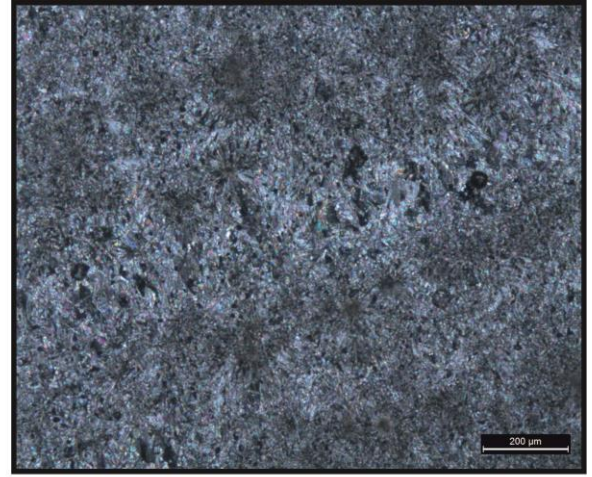


Çift Nikol

Şekil 4.2 AK-1T kodlu örneğin ince kesit görüntüleri



Tek Nikol



Çift Nikol

Şekil 4.3 AK-2T kodlu örneğin ince kesit görüntüleri

## 4.2 Karbon ve Oksijen İzotopları

Travertenlerde karbon ve oksijen izotop ölçümleri Vienna Peedee Belemnite (VPDB) (Güney Carolina Peedee formasyonu içindeki belemnite ait kalsit) standardına göre yapılmaktadır.  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  ve  $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$  izotop çiftleri arasındaki oransal değişiklikler “ $\delta$ ” notasyonu (‰ per mil) ile gösterilmektedir. VPDB standardı denizel kireçtaşlarından alınmıştır ve  $\delta^{13}\text{C}=0$  olarak tanımlanmıştır.  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ve  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  için  $\delta$  notasyonları:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[ \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{örnek}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{standart}}} - 1 \right] (\times 1000)$$

$$\delta^{18}\text{O} = \left[ \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{örnek}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standart}}} - 1 \right] (\times 1000)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Pozitif  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri, örnekteki  $^{13}\text{C}$  miktarının standarda/referansa göre zenginleştiğini, negatif  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri ise örnekteki  $^{13}\text{C}$  miktarının standarda/referansa göre tüketildiğini ifade etmektedir. Aynı durum oksijen izotopları için de geçerlidir. Karbonatların  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri oldukça geniş aralıkta (-25 ‰’den +15 ‰’e kadar) bulunabilmektedir (Pentecost 2005).

Sudaki oksijen izotopları için standart, “Vienna Standard Mean Ocean Water” (VSMOW)’dır. Deniz suyundaki  $\delta^{18}\text{O}=0$  olarak kabul edilmektedir. Fakat karbonatlı kayalarda oksijen izotop bileşimi genellikle VPDB ölçeğinde ifade edilmektedir.  $\delta^{18}\text{O}$  (VSMOW) ile  $\delta^{18}\text{O}$  (VPDB) arasındaki ilişki:

$$\delta^{18}\text{O} (\text{VSMOW}) = 1,03086 \delta^{18}\text{O} (\text{VPDB}) + 30,86$$

$$\delta^{18}\text{O} (\text{VPDB}) = 0,97006 \delta^{18}\text{O} (\text{VSMOW}) - 29,94$$

denklemleriyle verilmiştir (Coplen vd. 1983, Pentecost 2005). VPDB ölçeğine göre denizel karbonatların  $\delta^{18}\text{O}$  değeri ‰ 0’a oldukça yakındır fakat tatlı sular  $^{18}\text{O}$ ’ce tüketilmiş olduğundan, denizel olmayan karbonatların  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri doğal olarak negatif çıkmaktadır (Pentecost 2005).

Sırt tipi ve damar travertenlerinden alınan örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB-VSMOW) ve  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) değerleri çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Ayrıca sırt tipi ve damar travertenlerinin  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB)’e karşılık çizilen  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB) dağılım grafikleri sırasıyla Şekil 4.4-4.5’de gösterilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla Akkaya sırt tipi traverteni üzerinde bulunan sıcak su kaynağının  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VSMOW),  $\delta^2\text{H}$  (‰VSMOW) ve  $\delta^{13}\text{C}_{\text{ÇİK}}$  (‰VPDB) değerleri çizelge 4.3’de gösterilmiştir (Keskin 2010).

Çizelge 4.2 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örneklerinin  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri (‰)

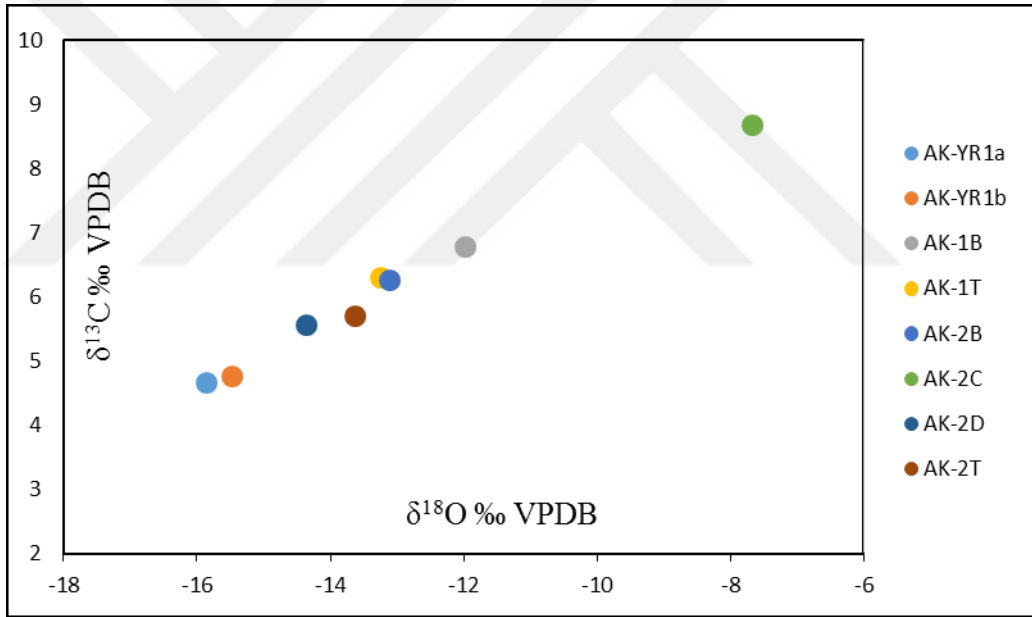
Örnek Adı	$\delta^{13}\text{C}$ VPDB	$\pm\sigma$	$\delta^{18}\text{O}$ VPDB	$\pm\sigma$	$\delta^{18}\text{O}$ VSMOW
AK-YR1a	4,66	0,08	-15,86	0,10	14,51
AK-YR1b	4,75	0,08	-15,47	0,10	14,91
AK-1B	6,78	0,08	-11,97	0,10	18,52
AK-1T	6,29	0,08	-13,24	0,10	17,21
AK-2B	6,20	0,08	-13,11	0,10	17,34
AK-2C	8,68	0,08	-7,67	0,10	22,95
AK-2D	5,56	0,08	-14,36	0,10	16,06
AK-2T	5,70	0,08	-13,63	0,10	16,81
İM-D1	4,80	0,08	-13,70	0,10	16,74
İM-D2	4,83	0,08	-13,79	0,10	16,64
İM-D3	4,80	0,08	-13,32	0,10	17,13
İM-D4	5,32	0,08	-13,28	0,10	17,17
İM-D5	5,58	0,08	-12,08	0,10	18,41
İM-D6	7,01	0,08	-10,89	0,10	19,63
İM-D7	7,78	0,08	-11,98	0,10	18,51
İM-D8	5,50	0,08	-11,24	0,10	19,27
İM-D9	7,97	0,08	-12,48	0,10	17,99
İM-D10	5,73	0,08	-11,49	0,10	19,01

Sırt tipi travertenden alınan AK kodlu örneklerin  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri, +4,66 ile +8,68 (‰VPDB);  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ise -15,86 ile -7,67 (‰VPDB) arasında değişmektedir (Çizelge 4.2, Şekil 4.4). İmanlar travertenlerinden alınan İM kodlu damar traverten örneklerinin  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri +4,80 ile +7,97 (‰VPDB);  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri -13,79 ile -10,89 (‰VPDB) arasında değişmektedir (Çizelge 4.2, Şekil 4.5). Dolayısıyla örneklerdeki  $^{13}\text{C}$  miktarının standarda (VPDB) göre zenginleştiği ve örneklerdeki  $^{18}\text{O}$  miktarının ise standarda (VPDB) göre tüketildiği görülmüştür. Ayrıca sırt tipi travertene ait örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VSMOW) değerleri +14,51 ile +22,95; damar travertenlere ait örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VSMOW) değerleri ise +16,64 ile +19,63 arasında değişmektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.3 Akkaya sırt tipi traverteni üzerinden bulunan sıcak su havuzunda kaydedilen  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  ve  $\delta^{13}\text{C}_{\text{ÇİK}}$  değerleri (‰) (Keskin 2010)

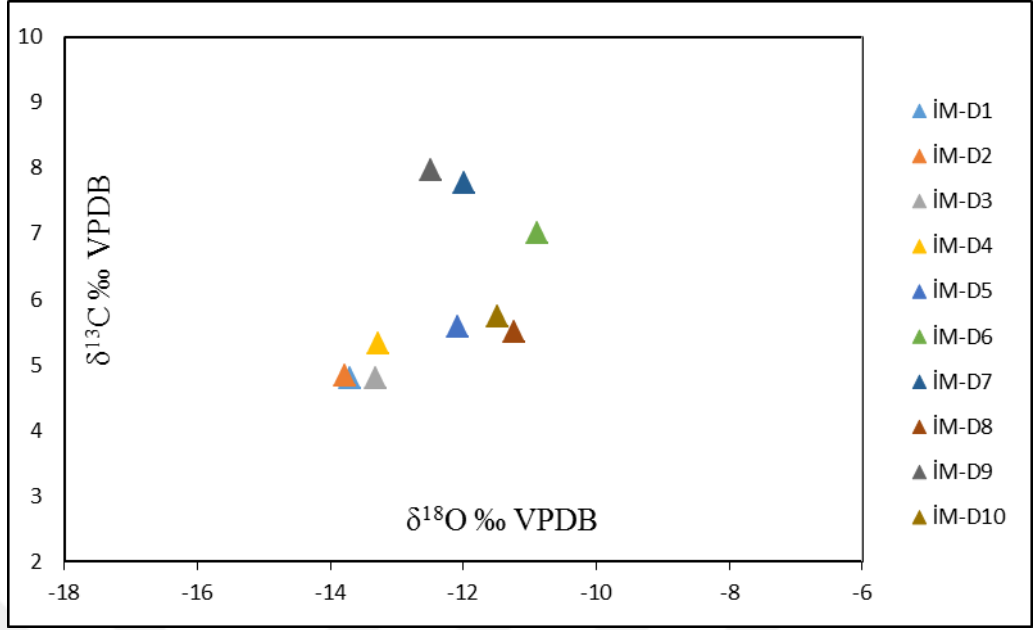
Referans	$\delta^{18}\text{O}$ VSMOW	$\delta^2\text{H}$ VSMOW	$\delta^{13}\text{C}_{\text{ÇİK}}$ VPDB
Keskin (2010)	-12,06	-90,9	6,30
Keskin (2010)	-12,30	-95,5	3,01
Keskin (2010)	-12,28	-95,1	2,96
Keskin (2010)	-12,35	-96,3	1,19
Keskin (2010)	-12,25	-96,7	-

Akkaya sıcak su kaynağının  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri -12,35 ile -12,06 (‰VSMOW);  $\delta^2\text{H}$  değerleri -96,7 ile -90,9 (‰VSMOW) ve  $\delta^{13}\text{C}_{\text{ÇİK}}$  değerleri ise +1,19 ile +6,30 (‰VPDB) arasında değişmektedir (Çizelge 4.3).



Şekil 4.4 Sırt tipi traverten örnekleri (AK kodlu) için  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$  grafiği





Şekil 4.5 Damar traverten örnekleri (İM kodlu) için  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$  grafiği

Travertenleri çökeltten paleo-akışkanın  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VSMOW) değerini belirlemek amacıyla Kim ve O'Neil (1997) tarafından önerilen aşağıdaki denklemler kullanılmıştır.

$$10^3 \ln \alpha_{\text{kalsit} - \text{akışkan}} = 18030/T - 32,42$$

$$10^3 \ln \alpha_{\text{kalsit} - \text{akışkan}} \approx \delta^{18}\text{O}_{\text{kalsit}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{akışkan}} \text{ olduğundan,}$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{kalsit}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{akışkan}} = 18030/T - 32,42' \text{ dir.}$$

Burada travertenlerden elde edilen  $\delta^{18}\text{O}_{\text{kalsit}}$  (‰VSMOW) değeri bilinmektedir (Çizelge 4.2). Akkaya sahasında açılan jeotermal su kuyusunda akışkan sıcaklığı yaklaşık  $50^\circ\text{C}$  olarak ölçülmüştür (Yücel ve Hakyemez 1991). Bu sıcaklık değeri kullanılarak sırt tipi ve damar travertenlerini çökeltten paleo-akışkanın  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VSMOW) değeri sırasıyla:

$$-8,89 \leq \delta^{18}\text{O}_{\text{akışkan}} \leq -0,45$$

$$-6,76 \leq \delta^{18}\text{O}_{\text{akışkan}} \leq -3,77$$

şeklinde bulunmuştur.

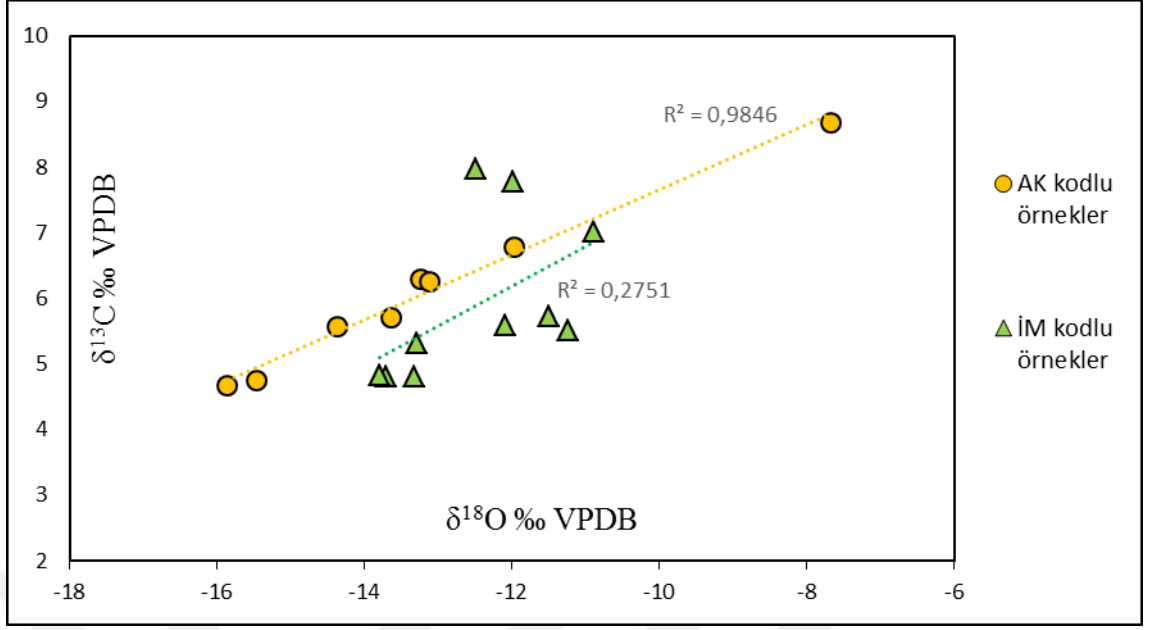


Clark ve Fritz (1997)'ye göre meteorik suların  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri genellikle -25,0 ile -1,0 (‰VSMOW) arasındadır. Dolayısıyla, paleo-akışkanın  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinden (-8,89 ile -0,45 ‰VSMOW arası) hareketle, akışkanın meteorik kökenli olduğu söylenebilir.

Travertenleri çökelten paleo-akışkanların  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri (-8,89 ile -0,45 ‰VSMOW arası) ile Keskin (2010) tarafından ölçülen Akkaya sıcak su kaynağının  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri (-12,35 ile -12,06 ‰VSMOW arası) negatiftir. Bu değerlerin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Sırt ve damar travertenlerin  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri (+4,66 ile +7,97 ‰VPDB arası) ile Keskin (2010) tarafından belirlenen Akkaya sıcak su kaynağının  $\delta^{13}\text{C}_{\text{ÇIK}}$  değerleri (+1,19 ile +6,30 ‰VPDB arası) ise pozitif olmakla beraber değerlerin birbirleriyle örtüştüğü görülmektedir.

Sırt tipi traverten örneklerinin (AK kodlu)  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB) ve  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) değerleri damar traverten örneklerine (İM kodlu) göre daha geniş bir aralıkta değişmektedir (Şekil 4.4-4.5). Travertenlerin negatif  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB) ve pozitif  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) değerleri akışkandaki  $\text{CO}_2$ 'in derin kökenli yani travertenlerin termojenik tip olduklarını göstermektedir (Turi 1986, Pentecost 2005).

Tüm örneklerin karşılaştırıldığı  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$  grafiğinde (Şekil 4.6), AK kodlu örnekler arasında kuvvetli pozitif bir ilişki ( $R^2=0,98$ ) mevcutken, İM kodlu damar travertenleri için zayıf bir pozitif ilişki ( $R^2=0,27$ ) söz konusudur.



Şekil 4.6 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örnekleri için  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$  grafiği

### 4.3 Stronsiyum İzotopları

Stronsiyumun  $^{88}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$  ve  $^{84}\text{Sr}$  olmak üzere 4 adet duraylı izotopu vardır. Bu izotopların bollukları (%) sırasıyla 82,53, 7,04, 9,87 ve 0,56'dır. Stronsiyum-87,  $^{87}\text{Rb}$  izotopunun radyoaktif olarak yarılanması ile oluşur (Faure 1986). Karbonatlı kayalarda iz miktarda bulunan stronsiyum akışkanların kökenini belirlemede kullanılmaktadır.

$^{87}\text{Sr}$  ile  $^{86}\text{Sr}$  izotopu arasındaki kütle farkı % 2,8'dir. Bu değer, karbonatlı akışkanlardan kalsit ya da aragonit çökmesi sırasında izotop bölümlenmesinin gerçekleşmesini mümkün kılmamaktadır. Ayrıca karbonatlı kayaların rubidyumu kristal kafeslerine almamaları, karbonatlı kayalarda ihmal edilebilir düzeyde  $^{87}\text{Sr}$  izotopunun üretilmesine sebep olmaktadır (Tucker ve Wright 1990). Dolayısıyla, karbonat çökelinin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değeri, akışkanın  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değeri ile aynıdır. Akışkanın  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değeri ise ayrışmaya uğrattığı kayaç ve/veya minerallerin Rb/Sr oranı ve yaşına bağlı olarak değişmektedir (Faure 1986, Tucker ve Wright 1990).

Okyanus suyunun  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerinin Fanerozojik dönem boyunca çeşitlilik gösterdiği bilinmektedir.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  verilerinden hareketle okyanuslardaki karbonatlı kayaçların çökelme dönemini tahmin etmek mümkündür (Peterman vd. 1970).

Sırt tipi ve damar travertenlerinden alınan örneklerin stronsiyum izotop kompozisyonları ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) izelge 4.4’de gösterilmiştir. Bununla birlikte, karşılaştırma amacıyla temel birimleri oluşturan Arkot Dağ karmaşığına ait bazaltların (Göncüoğlu vd. 2008) ve Galatya volkanik kayaçlarının (Wilson vd. 1997, Varol vd. 2014)  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri de izelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) rneklerin Sr izotopik ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) değerleri

rnek Adı	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$
AK-YR1a	0,707406	0,000011
AK-YR1b	0,707378	0,000010
AK-1T	0,707387	0,000010
AK-2B	0,707405	0,000010
AK-2C	0,707367	0,000009
AK-2D	0,707358	0,000010
AK-2T	0,707365	0,000009
İM-D1	0,707407	0,000010
İM-D2	0,707410	0,000010
İM-D3	0,707397	0,000009
İM-D4	0,707409	0,000011
İM-D5	0,707372	0,000011
İM-D6	0,707336	0,000011
İM-D7	0,707403	0,000011
İM-D8	0,707380	0,000009
İM-D9	0,707404	0,000010
İM-D10	0,707393	0,000013

Çizelge 4.5 Galatya volkanikleri ve Arkot Dağ karmaşığı ait mafik kayaların Sr izotopik ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) değerleri

Referans	Birim	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Wilson vd. (1997)	Galatya Volkanikleri	0,703450
Wilson vd. (1997)	Galatya Volkanikleri	0,704534
Wilson vd. (1997)	Galatya Volkanikleri	0,704580
Wilson vd. (1997)	Galatya Volkanikleri	0,705130
Wilson vd. (1997)	Galatya Volkanikleri	0,705290
Wilson vd. (1997)	Galatya Volkanikleri	0,705630
Wilson vd. (1997)	Galatya Volkanikleri	0,706088
Göncüoğlu vd. (2008)	Arkot Dağ Karmaşığı	<b>0,707493</b>
Göncüoğlu vd. (2008)	Arkot Dağ Karmaşığı	<b>0,707559</b>
Göncüoğlu vd. (2008)	Arkot Dağ Karmaşığı	<b>0,707617</b>
Göncüoğlu vd. (2008)	Arkot Dağ Karmaşığı	<b>0,707686</b>
Göncüoğlu vd. (2008)	Arkot Dağ Karmaşığı	<b>0,709032</b>
Varol vd. (2014)	Galatya Volkanikleri	0,704356
Varol vd. (2014)	Galatya Volkanikleri	0,704676
Varol vd. (2014)	Galatya Volkanikleri	0,704793
Varol vd. (2014)	Galatya Volkanikleri	0,704932
Varol vd. (2014)	Galatya Volkanikleri	0,705286
Varol vd. (2014)	Galatya Volkanikleri	0,705351

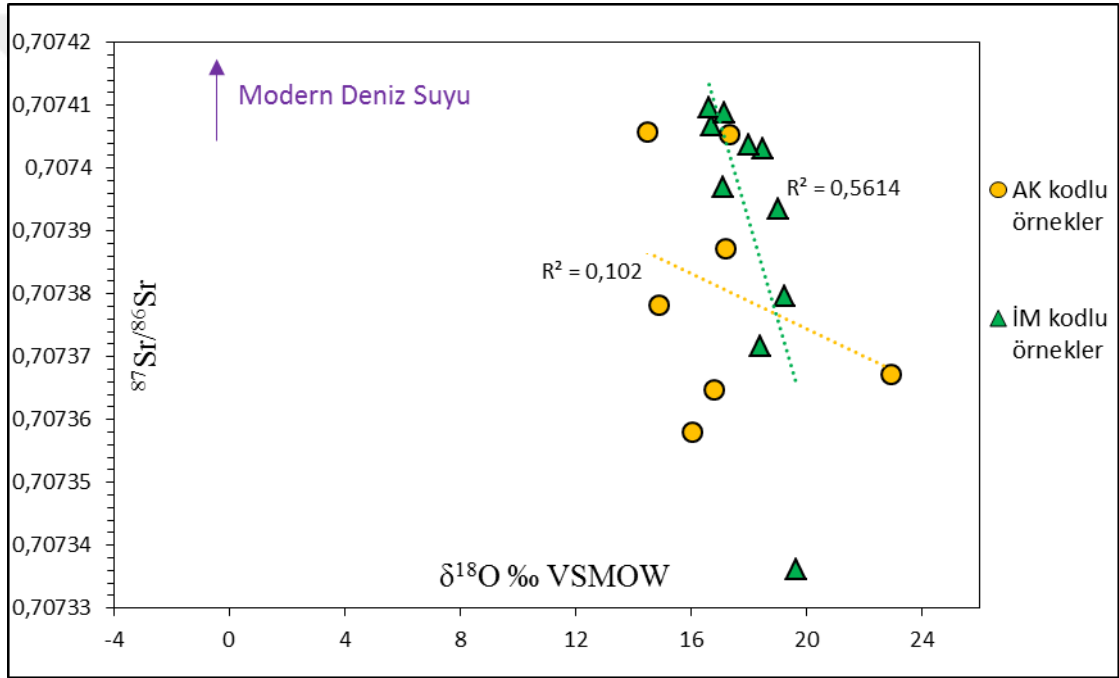
Sırt tipi traverten örneklerinin (AK kodlu)  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri tekdüze şekilde 0,707358 ( $\pm 0,000010$ ) ile 0,707406 ( $\pm 0,000011$ ) arasında, damar traverten örneklerinin (İM kodlu)  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri ise gene tekdüze şekilde 0,707336 ( $\pm 0,000011$ ) ile 0,707410 ( $\pm 0,000010$ ) arasındadır. Ayrıca, damar travertenlerinin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri sırt tipi travertene göre hafifçe yüksektir (Şekil 4.7-4.8).

Travertenlerin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri, günümüz deniz suyu  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerinin (0,709234  $\pm 0,000009$ ; DePaolo ve Ingram 1985, Faure 1998) oldukça altındadır. Bu değerler Arkot Dağ kayalarının  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  oranından hafifçe düşük, ancak Galatya volkaniklerine ait kayaların  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  oranından ise oldukça yüksektir (Çizelge 4.4-4.5). Dolayısıyla, travertenlerin Sr izotop bileşimi Arkot Dağ karmaşığına ait mafik kayaların Sr izotop bileşimine daha yakındır.

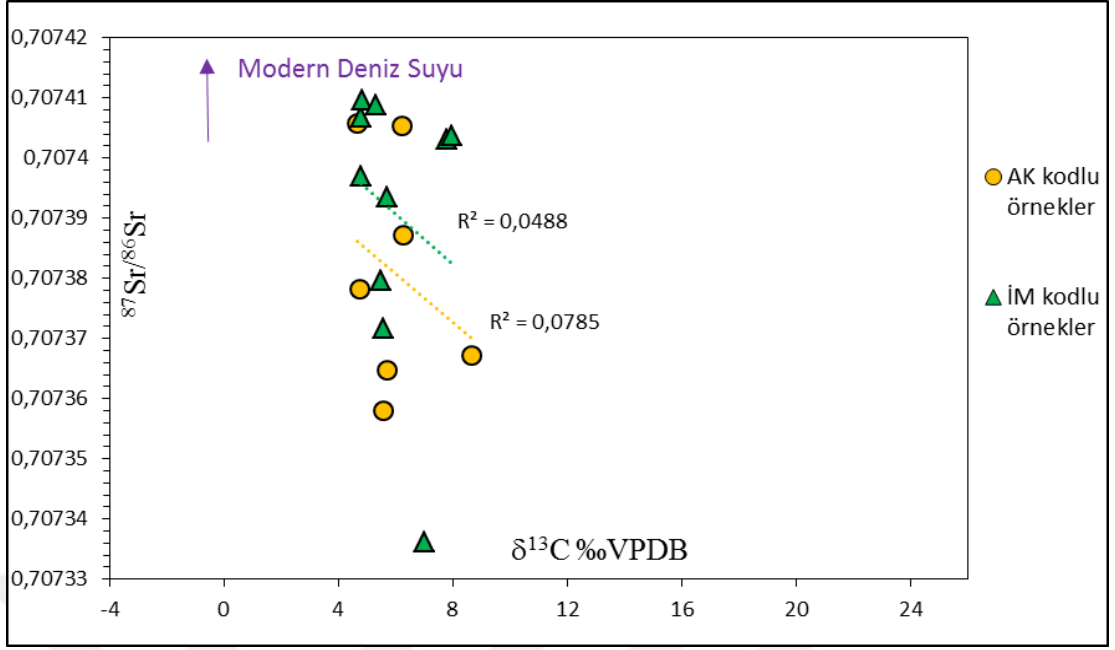
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerlerine karşılık çizilen  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  diyagramları sırasıyla şekil 4.7-4.8'de sunulmuştur.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $\delta^{18}\text{O}$  diyagramında, damar travertenler için elde edilen korelasyon değeri ( $R^2$ ) 0,5 iken, sırt tipi traverten için korelasyon değeri ( $R^2$ ) 0,1'dir.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\delta^{13}\text{C}$  diyagramında ise korelasyon değerleri sırt ve damar travertenler için sırasıyla 0,07 ve 0,04'dür.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\delta^{18}\text{O}$  diyagramından görüldüğü üzere damar travertenler arasındaki pozitif ilişki ( $R^2=0,5$ ) daha belirgindir.

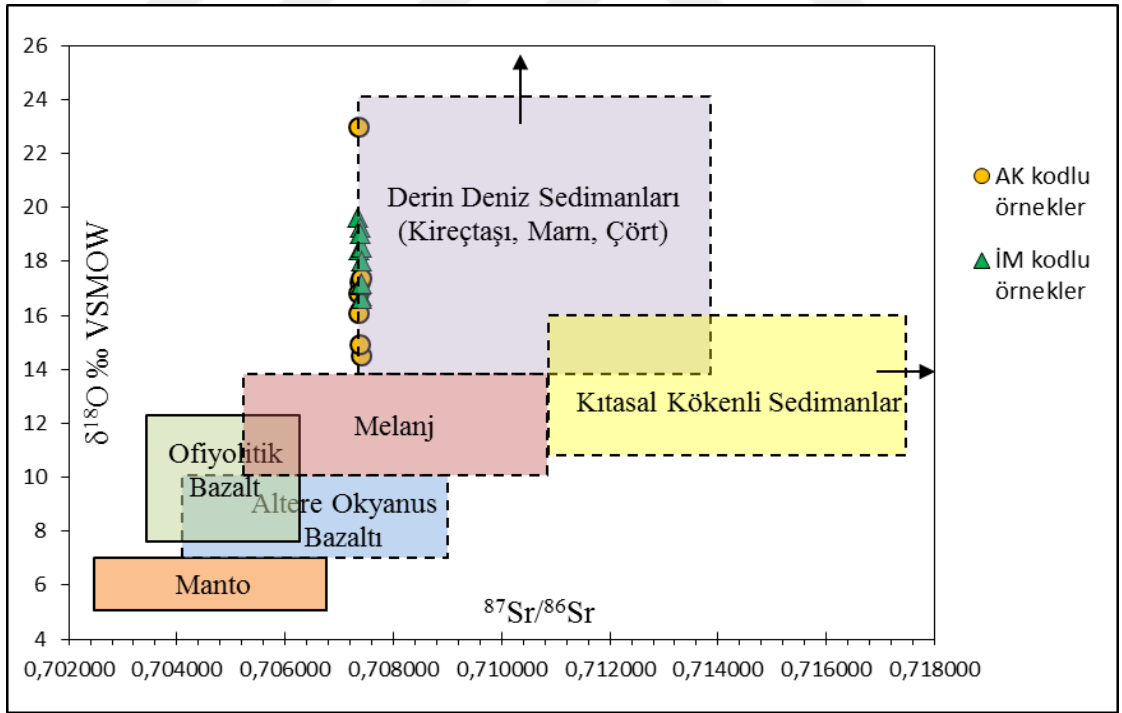
Magmatik, sedimanter kayaçlar ve traverten örneklerinin  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Buna göre, traverten örneklerinin tümü mantosal kaynaktan oldukça uzak olan derin deniz çökelleri (kireçtaşı, marn ve çört) bölgesine düşmektedir (Şekil 4.9, Magaritz vd. 1978).



Şekil 4.7 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örnekleri için  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-\delta^{18}\text{O}$  grafiği



Şekil 4.8 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örnekleri için  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $\delta^{13}\text{C}$  grafiği



Şekil 4.9 Magmatik, sedimanter kayaçlar ve sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örnekleri için  $\delta^{18}\text{O}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  grafiği (Magaritz vd. 1978'den değiştirilerek alınmıştır)

#### 4.4 Asal Gaz İzotopları

Asal gazlar periyodik tablonun en sağında yer alan 8A grubunu temsil eden elementlerdir. Bunlar artan atom numarasına göre sırasıyla Helyum (He), Neon (Ne), Argon (Ar), Kripton (Kr), Ksenon (Xe) ve Radon (Rn) elementleridir. Asal gazlar eylemsiz (inert) olmaları sebebiyle jeolojide özellikle; mantonun heterojenliğini ve kaynak rezervuarlara ait izotop kayıtlarını belirlemede ve ayrıca ısı ve gaz kaynağının tespit edilmesinde kullanılan oldukça önemli izleyicilerdir.

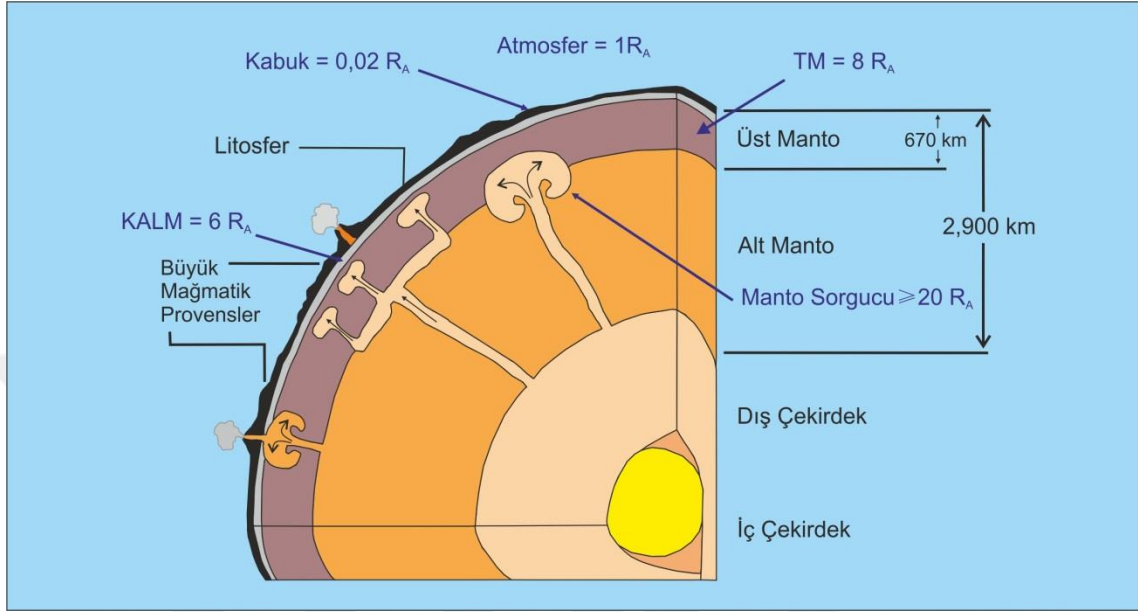
Manto, kabuk ve atmosfer asal gazların yerküredeki başlıca rezervuarlarını oluşturur. Asal gaz ölçümlerinde referans (standart) olarak yerküre atmosferinin izotop bileşimleri kullanılmaktadır (Çizelge 4.6, Porcelli vd. 2002).

Çizelge 4.6 He, Ne ve Ar izotoplarının atmosferdeki bileşimleri (Porcelli vd. 2002)

İzotop	Göreceli Bolluk	Atomik Bolluk (%)
<sup>3</sup> He	$1.399 \pm 0,013 \cdot 10^{-6}$	0,000140
<sup>4</sup> He	$\equiv 1$	100
<sup>20</sup> Ne	$9,80 \pm 0,08$	90,5
<sup>21</sup> Ne	$0,0290 \pm 0,0003$	0,268
<sup>22</sup> Ne	$\equiv 1$	9,23
<sup>36</sup> Ar	$\equiv 1$	0,3364
<sup>38</sup> Ar	$0,1880 \pm 0,0004$	0,0632
<sup>40</sup> Ar	$295,5 \pm 0,5$	99,60

<sup>3</sup>He ve <sup>4</sup>He olmak üzere iki adet izotopa sahip olan helyum evrende en çok bulunan elementlerden biridir. Atmosferin <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He oranı ( $R_A$ )  $1,39 \cdot 10^{-6}$  civarındadır (Mamyrin vd. 1970, Clarke vd. 1976). Diğer Yerküre rezervuarlarının helyum izotop bileşimleri  $R_A$  cinsinden Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Kabuğun asal gaz izotop bileşimi değişken olmakla birlikte kabuğun yaşına, jeolojik geçmişine ve radyoaktif element içeriğine bağlı olarak farklılık gösterir. Yerküredeki <sup>4</sup>He izotopunu, kabukta fazlaca bulunan U ve Th elementlerinin ve <sup>40</sup>Ar izotopunu ise kabukta bol miktarda bulunan <sup>40</sup>K izotopunun radyoaktif bozunması sonucu oluşmaktadır. Dolayısıyla, U, Th ve K'ca zengin bir kıtasal kabuk, <sup>4</sup>He ve <sup>40</sup>Ar izotopları zengindir (Holland ve Gilfillan 2013). Kabuğun <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He oranı 0,02 ile 0,05  $R_A$  aralığındadır (Ozima ve Podosek 2001).

Fakat okyanus ortası sırtı bazaltlarında (MORB) yapılan ölçümlerde ise  $^3\text{He}/^4\text{He}$  oranının yaklaşık  $8 R_A$  olduğu ortaya konulmuştur. Dolayısıyla, mantosal helyum yüksek  $^3\text{He}/^4\text{He}$  oranına sahip ilksel helyum ( $^3\text{He}$ ) içermektedir (Clarke vd. 1969).



Şekil 4.10 Yerkürenin  $R_A$  cinsinden helyum izotop bileşimleri (Arndt 2000 ve Hilton 2014'den değiştirilerek alınmıştır)  
(TM: Tüketilmiş Manto, KALM: Kıta Altı Litosferik Manto)

Argonun ise  $^{36}\text{Ar}$ ,  $^{38}\text{Ar}$  ve  $^{40}\text{Ar}$  olmak üzere 3 adet izotopu vardır. Kütleli olarak atmosferde en fazla olan argon izotopu  $^{40}\text{Ar}$ 'dur. Atmosferin argon izotop oranları ( $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ) sırasıyla 296 ve 0,188 olmakla beraber MORB'daki  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  izotop oranı ise 30.000 civarındadır (Porcelli vd. 2002, Dickin 2005).

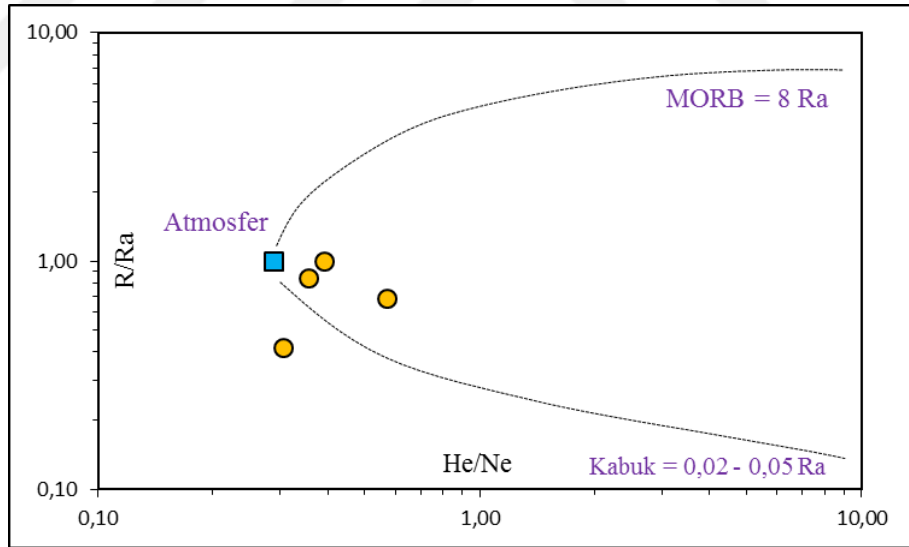
Akkaya sıcak su havuzlarının sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri ve sıcak su havuzlarından örneklenen gazların He ve Ar izotop bileşimleri, düzeltilmiş He ve Ar izotop oranlarıyla birlikte sırasıyla çizelge 4.7-4.8'de verilmiştir. Buna göre, çizelge 4.8'de He ve Ne değerleri "cc/l" cinsinden verilen örnekler Giggenbach cam aparatına toplanmış suda çözünmüş gazı, "ppm" cinsinden verilenler ise bakır tüplere toplanmış olan gazı temsil etmektedir.



Çizelge 4.7 Gaz örnekleme yapılan sıcak su havuzlarının (AK1 ve AK2 kodlu) sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri

Sıcak Su Havuzu	Sıcaklık (°C)	pH	Elektriksel İletkenlik (EC)
AK1	24	6,5	>1000 $\mu\text{S/cm}$
AK2	19	6,8	>1000 $\mu\text{S/cm}$

Analiz sonuçlarına göre, jeotermal akışkanlarda ölçülen helyum izotop değerleri 0,42 ile 0,99  $R_A$  arasında değişmekte olup kabuksal değerlerin ( $R_A \sim 0,02-0,05$ ; Ozima ve Podosek 2001) oldukça üzerindedir. Manto ve kabuğa ait helyum izotop oranları sırasıyla 8  $R_A$  ve 0,05  $R_A$  oldukları göz önüne alındığında, basit ikili karışıma göre, Akkaya akışkanlarındaki mantosal helyum katkısı %5,2 ile %12,4 arasında değişmektedir. Ayrıca,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  izotop oranları 290,2 ile 292,3 değerleri,  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  izotop oranları ise 0,1864 ile 0,1876 değerleri arasındadır. Elde edilen sonuçlar  $R/R_A$ -He/Ne,  $R/R_A$ - $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  ve  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  grafiklerinde değerlendirilmiştir (Şekil 4.11-4.13).



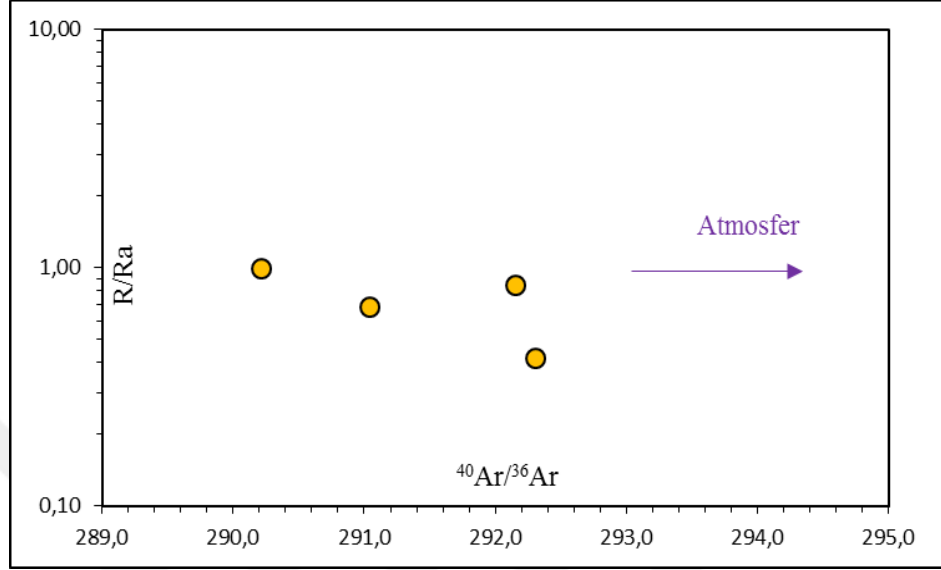
Şekil 4.11 Akkaya sıcak su havuzlarından toplanan gazlara ait  $R/R_A$ -He/Ne grafiği

$R/R_A$ -He/Ne grafiğinde örneklerin büyük ölçüde atmosfere yakın bir alanda çıktığı görülmektedir. Ancak atmosferin helyum ( $^3\text{He}$ ) içeriğinin kabuktakinden daha düşük olması nedeniyle, örneklerin kabuk ile manto arasında bir helyum katkısı içerdikleri söylenebilir (Şekil 4.11).

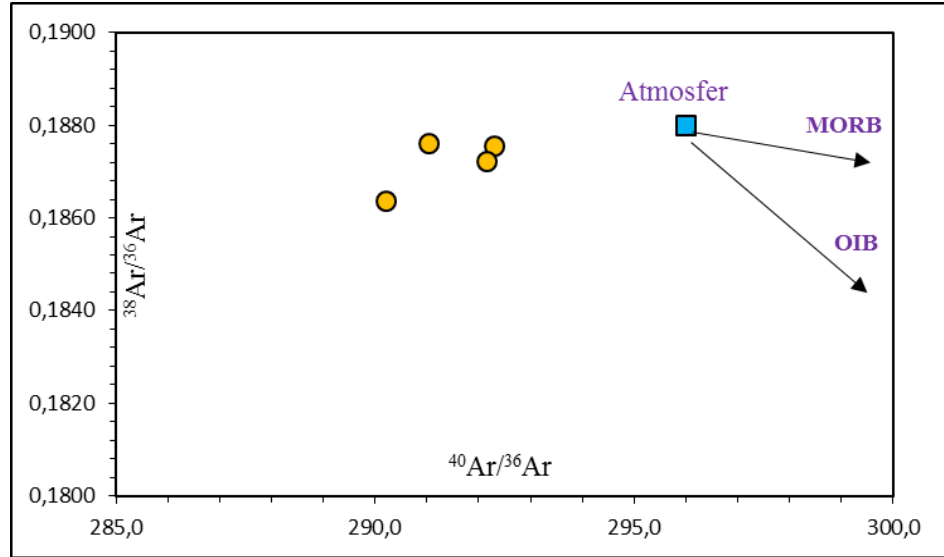
Çizelge 4.8 Akkaya sıcak su havuzlarından alınan örneklerin He, Ne ve Ar izotop analiz sonuçları

Örnek Yeri	Örnek Tipi	R/R <sub>a</sub>	R/R <sub>a</sub> (düzelt.)	±2σ	He/Ne	He cc/l	Ne cc/l	<sup>40</sup> Ar ppm	<sup>40</sup> Ar ±2σ	<sup>38</sup> Ar ppm	<sup>38</sup> Ar ±2σ	<sup>36</sup> Ar ppm	<sup>36</sup> Ar ±2σ	<sup>40</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar (düzelt.)	±2σ	<sup>38</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar (düzelt.)	±2σ
AK1	Suda çöz. gaz	0,97	0,84	0,013	0,36	3,4.10 <sup>-5</sup>	9,59.10 <sup>-5</sup>	2379	5,820	1,53	4,4.10 <sup>-3</sup>	8,154	2,2.10 <sup>-2</sup>	292,2	0,109	0,1872	0,000295
AK2	Suda çöz. gaz	0,96	0,42	0,007	0,31	3,4.10 <sup>-5</sup>	1,15.10 <sup>-4</sup>	3703	9,043	2,38	6,4.10 <sup>-3</sup>	12,69	3,4.10 <sup>-2</sup>	292,3	0,082	0,1875	0,000206
Örnek Yeri	Örnek Tipi	R/R <sub>a</sub>	R/R <sub>a</sub> (düzelt.)	±2σ	He/Ne	He ppm	Ne ppm	<sup>40</sup> Ar ppm	<sup>40</sup> Ar ±2σ	<sup>38</sup> Ar ppm	<sup>38</sup> Ar ±2σ	<sup>36</sup> Ar ppm	<sup>36</sup> Ar ±2σ	<sup>40</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar (düzelt.)	±2σ	<sup>38</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar (düzelt.)	±2σ
AK1	gaz	1,00	0,99	0,006	0,39	0,05	0,12	96	0,025	0,06	8,7.10 <sup>-5</sup>	0,330	1,5.10 <sup>-4</sup>	290,2	0,112	0,1864	0,000259
AK2	gaz	0,86	0,68	0,022	0,57	0,11	0,20	240	0,107	0,15	1,2.10 <sup>-4</sup>	0,825	5,1.10 <sup>-4</sup>	291	0,075	0,1876	0,000124

$R/R_A$ - $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  grafiğinde örneklerin büyük çoğunluğuna ait  $R/R_A$  değerlerinin 1'den küçük olduğu (Şekil 4.12) ve ayrıca  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  değerlerinin ise atmosfer değeri olan 296'dan düşük olduğu görülmektedir (Şekil 4.13).



Şekil 4.12 Akkaya sıcak su havuzlarından elde edilen gaz örneklerinin  $R/R_A$ - $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  grafiği



Şekil 4.13 Akkaya sıcak su havuzlarından elde edilen gaz örneklerinin  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  grafiği

#### 4.5 Nadir Toprak Element (NTE+Y) Kompozisyonları

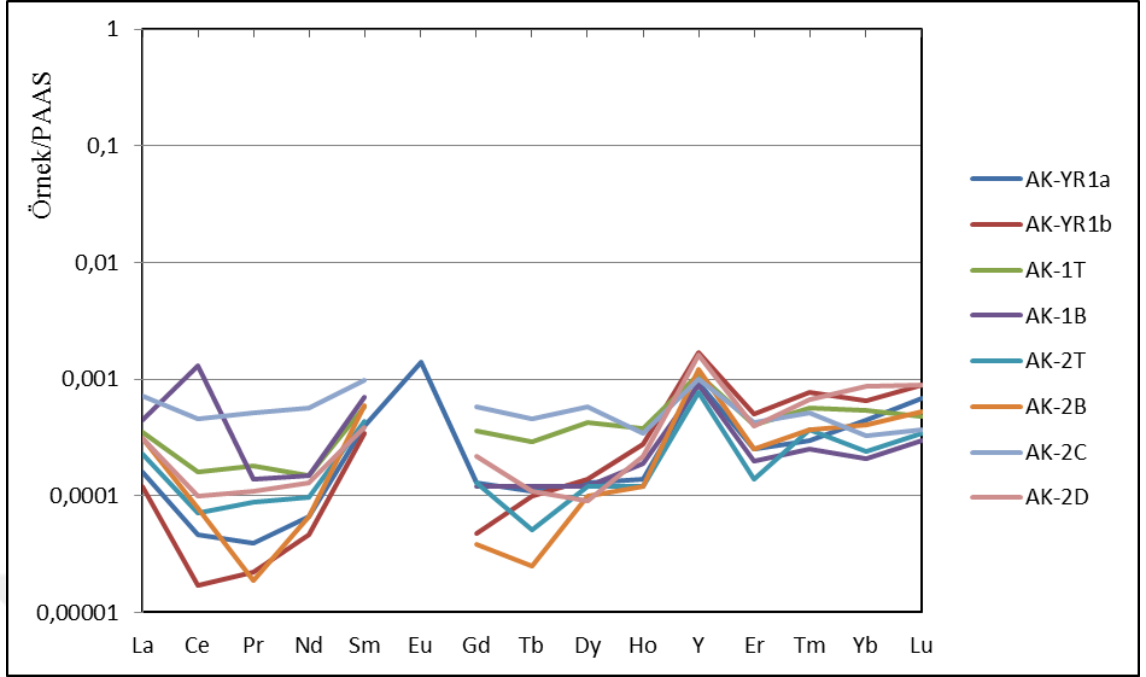
Sırt tipi ve damar traverten örneklerinin nadir toprak element (NTE) + itriyum (Y) bileşimleri çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Nadir toprak elementleriyle benzer fiziko-kimyasal özelliklere ve iyonik yarıçapa sahip olması nedeniyle, itriyum (Y) kaynak yorumlarında nadir toprak elementleriyle birlikte kullanılmaktadır.

Sedimanter kayaçların NTE konsantrasyonları genellikle Post-Archean Australian Shale (PAAS)’e göre karşılaştırılır. Sırt tipi ve damar traverten örneklerinin NTE+Y değerleri PAAS (Taylor ve McLennan 1985) ile karşılaştırıldığında, örnek konsantrasyonlarının oldukça düşük olduğu görülmüştür (Şekil 4.14-4.15). Sırt tipi traverten konsantrasyonlarının PAAS’a göre  $10^4$  ile  $10^5$  kat, damar traverten bolluklarının ise  $10^3$  ile  $10^4$  kat daha düşük oldukları dikkat çekmektedir (Şekil 4.14-4.15). Damar travertenler sırt tipi travertene göre daha yüksek NTE+Y konsantrasyonları içermektedir. Damar travertenlerinde ağır nadir toprak element zenginleşmesi, ayrıca tüm örneklerde belirgin negatif seryum (Ce), pozitif lantan (La) ve itriyum (Y) anomalileri söz konusudur (Şekil 4.16).

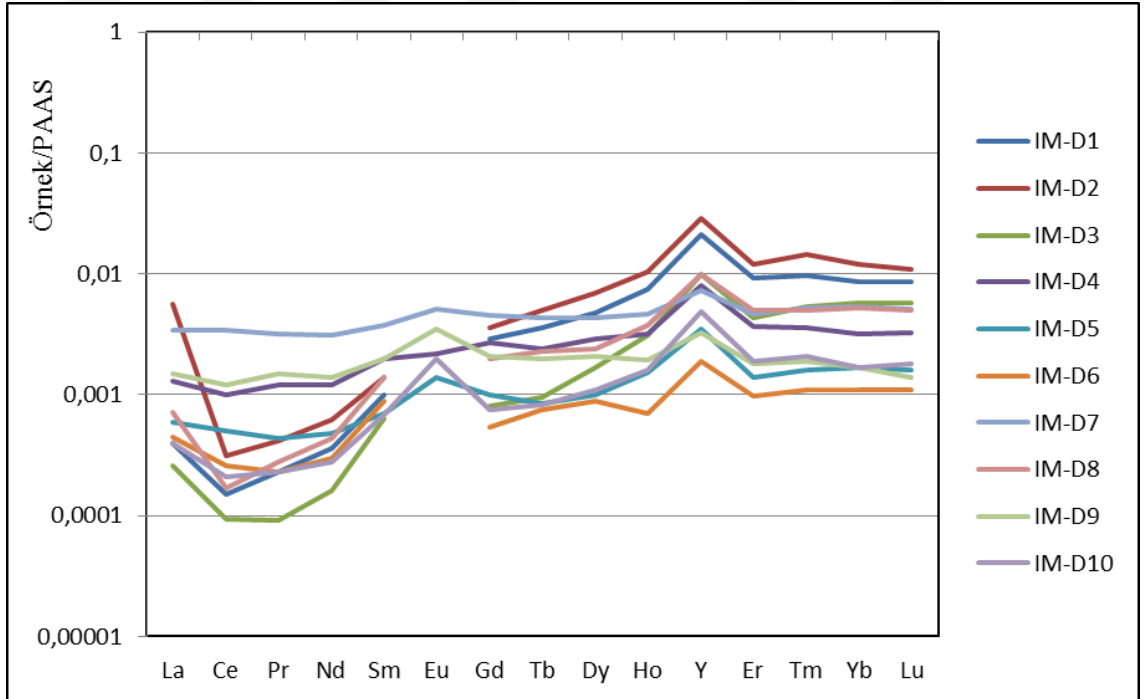
Karşılaştırma amacıyla Arkot Dağ karmaşığına ait bazaltlar (Göncüoğlu vd. 2014), Galatya volkanikleri (Wilson vd. 1997) ve Pamukkale-damar travertenleri (Uysal vd. 2007) PAAS (Taylor ve McLennan 1985) ile karşılaştırılmış NTE+Y desenleri de şekil 4.16’da verilmiştir. Buna göre travertenlerin NTE+Y bileşimlerinin, Galatya volkanikleri ve Arkot Dağ bazaltlarına göre yaklaşık  $10^5$  kat daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca Arkot Dağ bazaltları ile temel birimlerin hemen üzerinde bulunan İmanlar tabakalı travertenler içindeki damar travertenlerin hafif nadir toprak elementi desenlerinin paralellik gösterdiği dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, Arkot Dağ bazaltları ve travertenler ile kısmen uyumlu hafif pozitif Eu (Evropyum) anomalisi görülmektedir. Galatya volkaniklerine ait NTE+Y desenlerinde travertenler ile uyumlu olarak hafif pozitif evropyum (Eu) ve itriyum (Y) anomalileri söz konusudur (Şekil 4.16). Son olarak, sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (IM kodlu) örneklerinin NTE desenlerinin Pamukkale-damar traverten örneklerinin nadir toprak element desenleri ile genel anlamda büyük ölçüde benzerlik sergilediği görülmüştür (Şekil 4.16).

Çizelge 4.9 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örneklerinin NTE+Y konsantrasyonları (ppb)

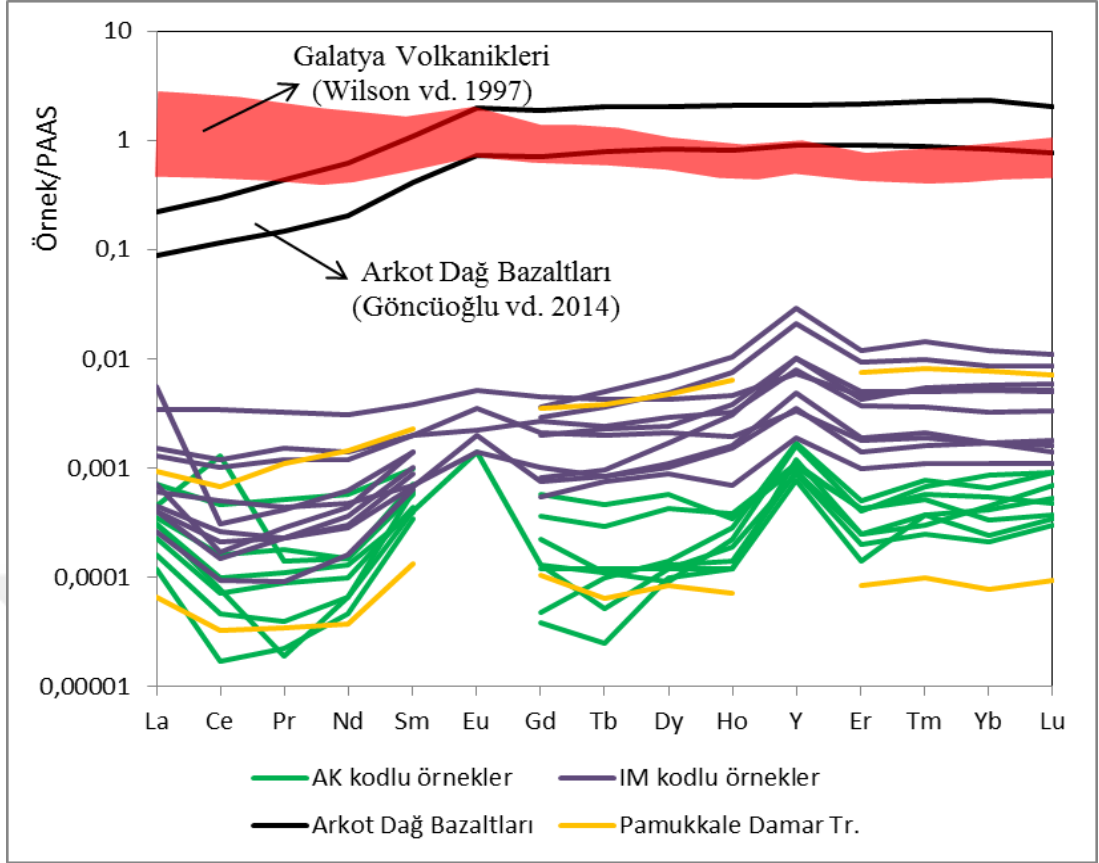
Örnek	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Y	Er	Tm	Yb	Lu
AK-YR1a	6,16	3,72	0,35	2,26	2,24	1,55	0,61	0,09	0,63	0,14	25,31	0,74	0,12	1,27	0,30
AK-YR1b	4,71	1,36	0,20	1,58	1,92	-	0,22	0,08	0,66	0,28	48,15	1,45	0,31	1,85	0,39
AK-1B	17,54	10,97	1,26	5,28	3,97	-	0,60	0,10	0,59	0,19	23,98	0,59	0,10	0,62	0,13
AK-1T	13,75	12,97	1,65	5,42	3,27	-	1,71	0,23	2,03	0,38	32,33	1,19	0,23	1,53	0,21
AK-2B	12,10	6,26	0,17	2,27	3,38	-	0,18	0,02	0,49	0,12	32,82	0,74	0,15	1,16	0,23
AK-2C	27,87	36,87	4,59	19,49	5,53	-	2,72	0,36	2,73	0,34	28,19	1,24	0,21	0,94	0,16
AK-2D	12,09	8,12	1,01	4,58	2,20	-	1,03	0,09	0,43	0,22	43,20	1,16	0,27	2,44	0,39
AK-2T	8,97	5,69	0,79	3,34	2,46	-	0,61	0,04	0,58	0,12	20,93	0,40	0,15	0,69	0,15
İM-D1	15,83	12,71	2,08	12,35	5,90	-	13,53	2,81	22,55	7,48	582,07	26,59	3,95	24,44	3,76
İM-D2	21,67	24,86	3,71	21,31	8,09	-	17,11	3,85	33,07	10,21	800,57	35,85	5,76	36,10	5,13
İM-D3	10,24	7,49	0,82	5,58	3,57	-	3,81	0,74	8,16	3,10	289,47	12,48	2,17	16,09	2,51
İM-D4	49,82	83,97	10,78	43,76	11,42	2,42	12,96	1,91	13,92	3,19	216,77	10,71	1,47	9,10	1,44
İM-D5	22,99	40,43	3,97	16,36	3,89	1,59	5,00	0,65	4,70	1,52	95,03	4,05	0,65	4,81	0,69
İM-D6	17,56	21,33	2,08	10,35	4,99	-	2,54	0,59	4,12	0,70	53,22	2,80	0,45	3,13	0,50
İM-D7	132,46	277,73	29,02	108,46	21,62	5,60	21,11	3,36	20,14	4,59	197,57	13,36	2,10	15,18	2,20
İM-D8	27,32	14,05	2,55	15,14	8,16	-	9,42	1,78	11,66	3,84	288,11	14,38	2,03	14,90	2,17
İM-D9	57,54	100,79	13,76	50,36	11,25	3,78	10,16	1,56	9,99	1,93	89,82	5,13	0,79	4,91	0,63
İM-D10	15,38	17,21	2,09	9,58	3,81	2,25	3,55	0,64	5,31	1,59	133,42	5,68	0,86	5,07	0,79



Şekil 4.14 Sırt tipi travertenlerin PAAS (Taylor ve McLennan 1985) ile karşılaştırılmış NTE+Y desenleri



Şekil 4.15 Damar travertenlerinin PAAS (Taylor ve McLennan 1985) ile karşılaştırılmış NTE+Y desenleri



Şekil 4.16 Sırt tipi (AK), damar traverten (IM), Galatya volkanikleri, Arkot Dağ bazaltları ve Pamukkale-damar traverten (Uysal vd. 2007) örneklerinin karşılaştırmalı NTE+Y desenleri

#### 4.6 Uranyum Serisi Yaşlandırma

Traverten çökellerinde yaygın olarak iki çeşit yaşlandırma yöntemi kullanılmaktadır. Bunlardan biri radyojenik izotoplar ( $^{14}\text{C}$  ve  $^{234}\text{U}$ - $^{230}\text{Th}$  gibi) diğeri ise biyostratigrafidir. Radyojenik izotopların kullanılmasından elde edilen sonuçların çözünürlüğü daha yüksektir.  $^{14}\text{C}$  yöntemi ile ~55,000 yıl, U-Th yöntemi ile ~500,000 yıla varan yaşlandırma yapılabilmektedir (Schwarcz 1980, 1990, Pentecost, 2005). Türkiye'deki çalışmalarda travertenler çoğunlukla uranyum serisi yöntemiyle yaşlandırılmıştır (Altunel 1996b, Uysal vd. 2007, 2009, Ünal-İmer vd. 2016, Mutlu vd. 2017, Karabacak vd. 2017).

Uranyum serisi yaşlandırma tekniği karbonatlı çökellerdeki  $^{234}\text{U}$  izotopunun zaman içerisinde  $^{230}\text{Th}$  izotopuna dönüşümüne dayalıdır. Karbonat içeren akışkanlarda

uranyum, uranyum oksit ( $UO_2^{-2}$ ) iyonu halinde bulunur. Akışkandan karbonat çökelişi sırasında uranyum oksit, uranyum ( $^{234}U$  izotopu) halinde karbonat kristal kafesinin içinde tutulur. Karbonatın çökmesiyle birlikte  $^{234}U$  izotopu zamanla  $^{230}Th$  izotopuna dönüşür (Schwarcz 1980). Toryum izotopları travertenlerde ihmal edilebilir bir bollukta olduğundan ayrışmamış karbonatlardaki  $^{234}U$  ve  $^{230}Th$  ölçümleri yapılarak çökme yaşı bulunur (Harmon vd. 1980, Schwarcz 1980). U-Th yönteminden elde edilen yaşlar 5,000 ile 500,000 yıla varan bir zaman ölçeğinde değişmektedir (Li vd. 1989, Smart 1991, Altunel 1996b, Uysal vd. 2007). Ancak son yıllarda çoklu toplayıcı-indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (MC-ICP-MS) yöntemi kullanılarak yüksek çözünürlüklü tarihlendirme yapılabilmektedir. Uranyum serisi yaşlandırmasında dikkat edilmesi gereken husus kırıntılı toryum ( $^{232}Th$ ) ile radyojenik toryumun ( $^{230}Th$ ) ayrılmasıdır. Örnekleme yapılırken, kırıntılı toryum ihtiva edebilecek ikincil kristalleşmelerden, alterasyon yüzeylerinden ve kırıntılı havza çökellerinden kaçınılmalıdır.

Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örneklerine ait U-Th yaş verileri Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Buna göre sırt tipi traverten 0,856 ( $\pm 0,918$ ) ile 29,952 ( $\pm 14,295$ ) bin yıl, damar travertenler ise 1,774 ( $\pm 0,249$ ) ile 92,864 ( $\pm 5,557$ ) bin yıl arasında oluşmuştur.

Bu verilere göre, damar travertenleri olarak bilinen traverten dolgulu çatlaklardan ilk çökelen 5 numaralı (İM-D5) damardır. Daha sonra sırasıyla 8 (İM-D8), 10 (İM-D10), 3 (İM-D3), 2 (İM-D2) ve 1 (İM-D1) numaralı damarlar çökelmiştir. Ardından 7 (İM-D7) ve 9 (İM-D9) numaralı damarlar, 10 (İM-D10) ve 8 (İM-D8) numaralı damarları yatay bir şekilde kesen çatlak içinde oluşmuşlardır. Beklendiği üzere kesilen damarlar (İM-D8 ve İM-D10), kesen damarlardan (İM-D7 ve İM-D9) daha yaşlıdır. Dolayısıyla, arazi gözlemleri yaşlandırma sonuçları ile doğrulanmıştır. Yaş verilerine göre en genç damar 6 (İM-D6 kodlu) numaralı damardır.



Çizelge 4.10 Sırt tipi (AK kodlu) ve damar traverten (İM kodlu) örneklerin U-Th yaş verisi

Örnek Adı	U (ppm)	<sup>232</sup> Th (ppb)	( <sup>230</sup> Th/ <sup>232</sup> Th)	( <sup>234</sup> U/ <sup>238</sup> U)	±2σ	( <sup>230</sup> Th/ <sup>238</sup> U)	±2σ	<sup>230</sup> Th yaş (bin yıl)	±2σ	Başlangıç ( <sup>234</sup> U/ <sup>238</sup> U)
AK-YR1a	0,0008	0,19	1,48	0,9057	0,0048	0,1246	0,0159	9,344	4,388	0,8975
AK-YR1b	0,0005	0,05	1,15	1,0595	0,0040	0,0334	0,0031	1,529	1,073	1,0610
AK-1T	0,0006	1,20	0,83	1,2210	0,0051	0,5272	0,0268	16,273	26,613	1,3954
AK-2C	0,0037	4,82	1,19	1,2229	0,0048	0,5063	0,0127	29,952	14,295	1,3355
AK-2D	0,0013	1,08	0,96	1,2491	0,0049	0,2660	0,0130	9,029	9,132	1,3119
AK-2T	0,0067	0,63	0,96	1,2645	0,0035	0,0299	0,0021	0,856	0,918	1,2706
İM-D1	0,0021	0,83	4,24	1,4336	0,0038	0,5610	0,0157	46,207	3,210	1,5405
İM-D2	0,0023	2,02	2,20	1,4061	0,0057	0,6414	0,0146	49,236	6,461	1,5756
İM-D3	0,0010	0,62	2,82	1,3145	0,0034	0,5695	0,0250	49,329	5,887	1,4161
İM-D5	0,0118	8,84	3,26	1,2526	0,0031	0,8042	0,0071	92,864	5,557	1,3910
İM-D6	0,0502	1,60	3,02	1,5527	0,0021	0,0318	0,0010	1,774	0,249	1,5593
İM-D7	0,1358	21,89	4,39	1,1594	0,0014	0,2333	0,0017	21,108	1,612	1,1753
İM-D8	0,0018	1,66	2,59	1,3002	0,0051	0,7798	0,0139	78,721	6,998	1,4661
İM-D9	0,0957	17,14	3,70	1,1635	0,0017	0,2185	0,0013	18,941	1,792	1,1794
İM-D10	0,0011	2,74	1,14	1,3667	0,0053	0,9312	0,0317	67,146	25,859	1,9478

## 5. TARTIŞMA

Akkaya sahasındaki termojenik tipteki travertenleri çökelten karbondioksitin, temelde bulunan Arkot Dağ karmaşığına ait denizel kireçtaşlarının akışkanlar tarafından çözünmesiyle (dekarbonizasyon) açığa çıkabileceğı düşünölmektedir. Travertenlere ait  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) değeri ile Akkaya sıcak su kaynağından elde edilen  $\delta^{13}\text{C}_{\text{ÇIK}}$  (‰VPDB) değeri birbine yakın ve pozitif olması travertenleri çökelten akışkanların termojenik tipte olduğunu desteklemiş olup, sisteme inorganik karbon katkısının olduğunu göstermektedir (Turi 1986, Pentecost 2005, Keskin 2010).

Örneklere ait  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB) değeri göreceli olarak geniş bir aralıkta seyretmesi travertenlerin farklı sıcaklıktaki akışkanlardan çökdiklerini göstermektedir. O'Neil vd. (1969), Friedman (1970), Turi (1986), Pentecost (2005) ve Uysal vd. (2007) tarafından da belirtildiğı üzere, akışkan sıcaklığı arttıkça çökelen karbonattaki  $\delta^{18}\text{O}$  değeri düşüş göstermektedir. Clark ve Fritz (1997)'e göre meteorik suların  $\delta^{18}\text{O}$  değeri genellikle -25,0 ile -1,0 (‰VSMOW) ve  $\delta^2\text{H}$  değeri ise -1,0 ile -150 (‰VSMOW) arasındadır. Travertenleri çökelten paleo-akışkanların  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VSMOW) değeri ile birlikte Akkaya jeotermal sistemine ait sıcak su kaynağına ait  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VSMOW) ve  $\delta^2\text{H}$  (‰VSMOW) değeri, akışkanın meteorik kökenli olduğunu göstermiştir (Keskin 2010).

$\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB) ve  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) değeri arasındaki pozitif ilişki, akışkan buharlaşması ve karbondioksit gazı salınımı süresince dengede olmayan izotop bölümlenmesinin bir göstergesidir (Valero-Garces vd. 1999, Liu vd. 2003, Pentecost 2005, Uysal vd. 2007, 2009). Bu durumun karbondioksitçe zengin akışkanın ani boşalımından dolayı izotop çiftleri arasındaki bölümlenmeyi sağlayamamasından kaynaklandığı düşünölmektedir. Diğer bir deyişle,  $\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{CO}_2$  arasındaki izotopik denge karbondioksit salınımından etkilenmiştir (Vuataz ve Goff 1986, Pauwels vd. 1997, Cartwright vd. 2002, Pentecost 2005, Uysal vd. 2007, 2009). Damar ve sırt tipi traverten örneklerinde kaydedilen oldukça yüksek ve pozitif  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) değeri hızlı  $\text{CO}_2$  salınımı sırasında oluşan  $^{12}\text{C}$  kaybının denge dışı izotop bölümlenmesi ile açıklanabilir (Valero-Garces vd. 1999, Liu vd. 2003, Pentecost 2005, Uysal vd. 2007).

Traverten örneklerinin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerlerinin Arkot Dağ mafik kayaların  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  oranından hafifçe düşük, ancak Galatya volkaniklerinin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerinden oldukça yüksek olması ve traverten örneklerinin hafif NTE desenlerinin büyük çoğunluğunun Arkot Dağ bazaltları ile paralellik göstermesi akışkanların özellikle Arkot Dağ mafik kayalarını yıkayarak yüzeye ulaştığını düşündürmektedir. Stratigrafik anlamda sırt tipi travertenin altında bulunan İmanlar tabakalı travertenleri içerisindeki damar travertenlerin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri, bu tabakalı ve damar travertenlerin üstündeki sırt tipi travertenden elde edilen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerlerine göre daha yüksektir. Bu durum İmanlar tabakalı ve damar traverten çökellerinin temel birimlerin hemen üzerinde bulunması ile açıklanabilir. Dolayısıyla, sırt tipi traverten muhtemelen alttaki tabakalı travertenleri çözen akışkanlar tarafından çöktürülmüştür.

Mesozoyik (özellikle üst Kretase) denizel karbonatlara ait  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerlerinin 0,707340 ile 0,707650 arasında olduğu belirtilmiştir (Peterman vd. 1970, Burke vd. 1982). Travertenlerden elde edilen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerlerinin (0,707336 ile 0,707410 arasında) Mesozoyik döneme ait denizel karbonatların  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri ile örtüşmesi akışkanların bölgedeki temel kayaları temsil eden üst Kretase Arkot Dağ denizel kireçtaşlarını çözerek yüzeyde travertenleri çöktürmesi ile açıklanabilir. Ayrıca  $\delta^{18}\text{O}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  grafiğinden de görüleceği üzere, Sr izotoplarının kökensel olarak derin deniz çökellerine ait kireçtaşlarından kaynaklandığı düşünülmektedir (Magaritz vd. 1978). Örneklerin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerlerinin mantosal bir köken göstermemesi, Galatya volkaniklerinin Sr izotop değerlerine fazlaca katkı yapmadığı şeklinde yorumlanabilir.

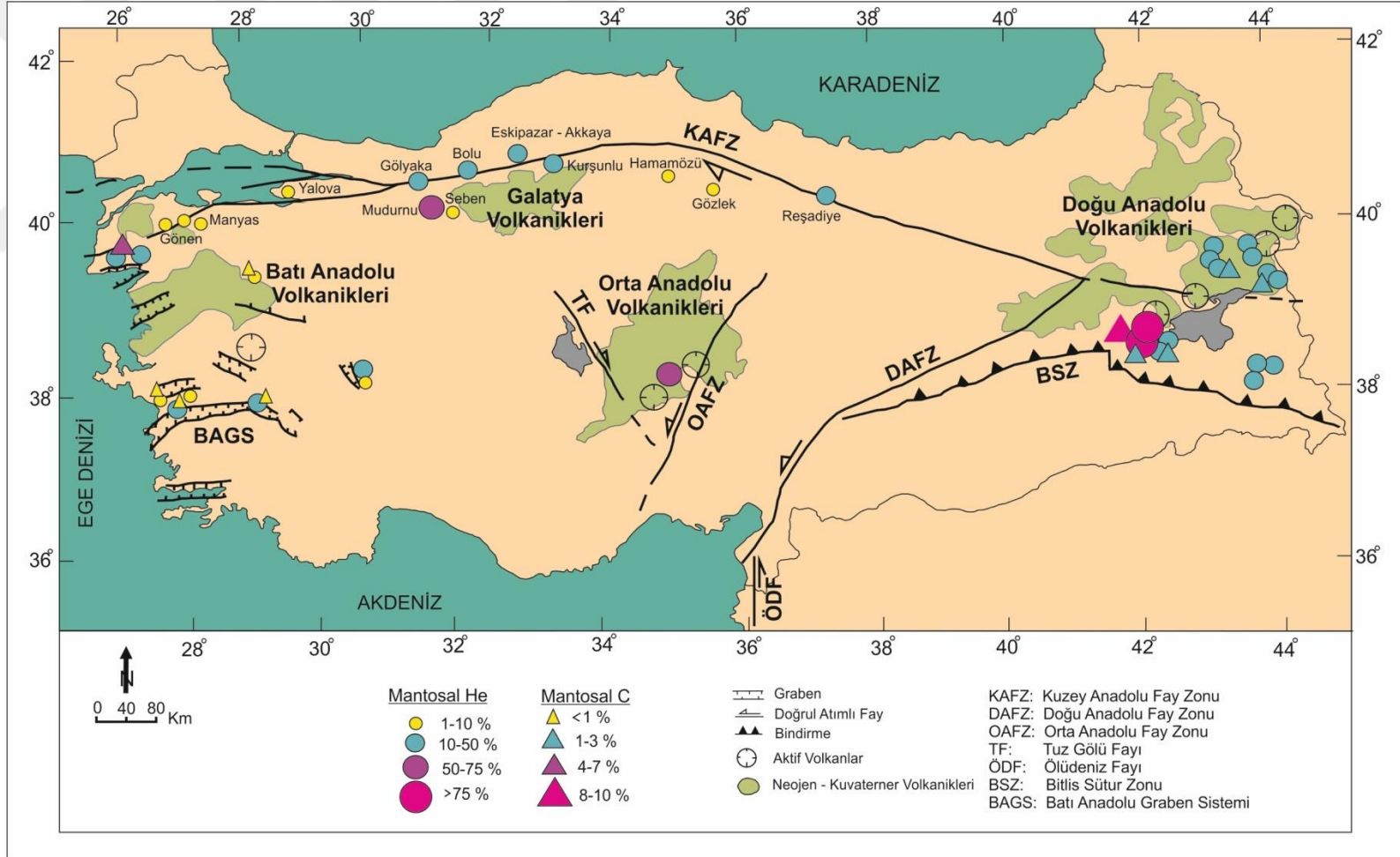
Eskipazar-Akkaya yöresinde güncel magmatik faaliyet olmamasına rağmen gaz örneklerinden elde edilen helyum izotop değerleri (0,42-0,99  $R_A$ ) kabuk için karakteristik değerden (0,02-0,05  $R_A$ ; Ozima ve Podosek 2001) oldukça yüksek çıkmıştır. Ayrıca, gaz örneklerinde yaklaşık %13'e kadar varan mantosal helyum katkısı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, Akkaya jeotermal sahasına ait helyum izotop değerleri kabuk kökenli radyojenik ( $^4\text{He}$ ) helyum katkısıyla seyreltilmiş de olabilir. Bu seyrelme derecesi ise mantosal helyumun ( $^3\text{He}$ ) kabuğa akışı ve kabuktaki radyojenik helyum ( $^4\text{He}$ ) üretim oranına bağlı olarak değişmektedir (Kennedy vd. 1997, Kennedy ve van Soest 2006). KAFZ'nun orta kısımlarında kaydedilen helyum izotop değerlerinin

de aynı şekilde kabuğa ait değerlerden oldukça yüksek olduğu ve mantosal helyum katkısının %60'a kadar ulaştığı belirtilmiştir (Şekil 5.1, Güleç vd. 2002, De Leeuw vd. 2010). Galatya volkaniklerine ait son magmatik faaliyet geç Miyosen (~10 milyon yıl; Wilson vd. 1997) döneminde gerçekleştiğine göre, %13'e kadar varan mantosal helyum katkısının, bu son magmatik faaliyetle birlikte KAFZ boyunca kabukta depolanması ile gerçekleşmesi olasıdır. Dolayısıyla, mantosal helyumun kabuğa aktarımı, mantosal eriyiklerin karbondioksitçe zengin akışkanlar ile birlikte fay zonları boyunca yüzeye taşınmasıyla açıklanabilir (Şekil 5.2, Güleç 1988, Güleç vd. 2002, Mutlu vd. 2008).

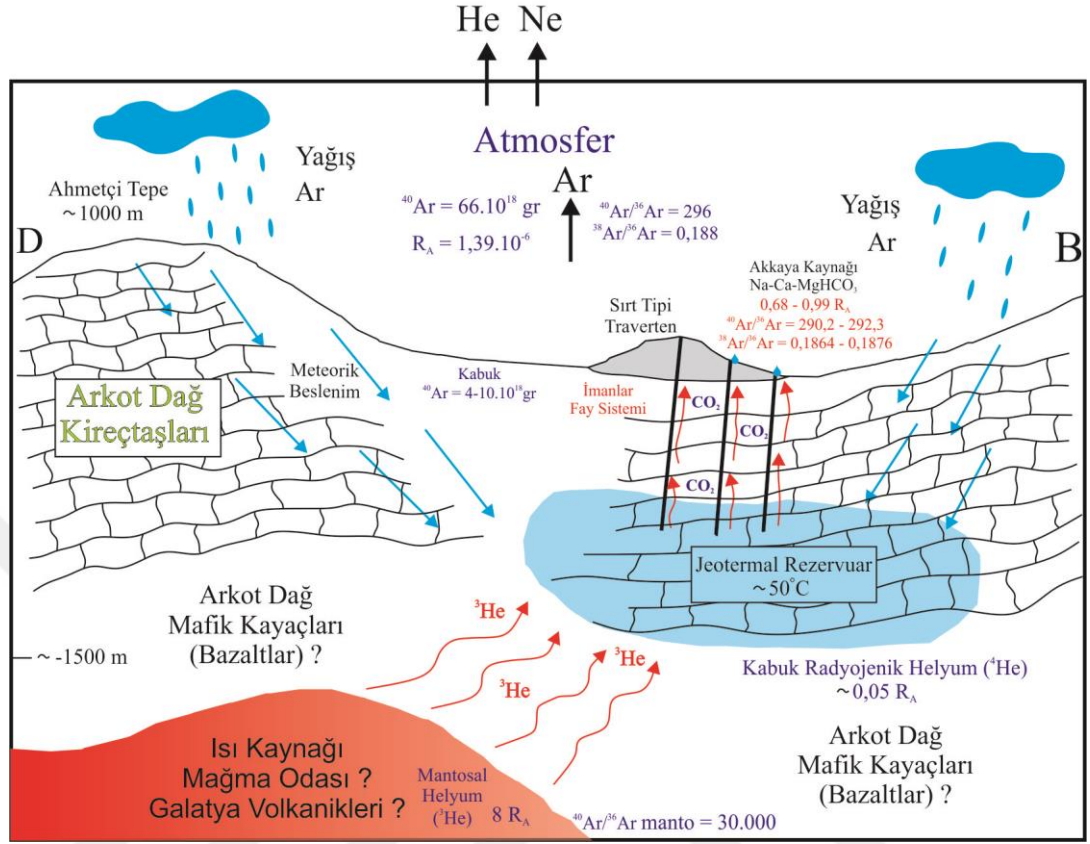
Jeotermal akışkanların büyük bir çoğunluğunun atmosfere yakın argon izotop kompozisyonu içerdiği savunulmuştur (Mazor ve Wasserburg 1965, Hearn vd. 1990, Kennedy vd. 1991, Tedesco vd. 1998, Shimizu vd. 2005, Sano ve Fischer 2013). Akkaya jeotermal sahasına ait gaz örneklerinin  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  izotop oranları 290,2 ile 292,3 değerleri,  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  izotop oranları ise 0,1864 ile 0,1876 değerleri arasında kaydedilmesi atmosferin argon izotop değerlerine ( $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}=296$  ve  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}=0.188$ ; Porcelli vd. 2002) yakın olduğunu göstermektedir. Bu durum, helyum ve neona göre atmosferde daha fazla miktarda tutulan argonun, meteorik yağışla birlikte sisteme karışabileceğini göstermektedir (Şekil 5.2).

Nadir toprak element desenlerinde gözlenen negatif seryum (Ce), pozitif lantan (La) ve pozitif itriyum (Y) anomalileri deniz suyundan çökelen kireçtaşları için oldukça karakteristiktir (Elderfield 1988, Bau vd. 1995, Bolhar vd. 2004). Dolayısıyla, bölgenin genel jeolojisi dikkate alındığında, travertenleri oluşturan akışkanların temel birimler içerisinde yer alan Arkot Dağ karmaşığına ait denizel kireçtaşları ile etkileşime girdiği söylenebilir (Şekil 5.2).

Damar travertenlerin sırt tipi travertene göre daha yüksek NTE+Y konsantrasyonları içermesi, damar travertenleri çökeltten akışkanların temel birimler (Arkot Dağ kireçtaşları) ile etkileşime girmesi ile açıklanabilir. Sırt tipi travertenleri oluşturan akışkanlar ise, stratigrafik olarak daha altta bulunan tabakalı ve damar travertenleri çözümleridir. Dolayısıyla, sırt tipi traverten damar travertenlere göre daha düşük NTE+Y konsantrasyonlarına sahiptir.



Şekil 5.1 Anadolu'daki mantosal helyum ve karbonun Neojen-Kuvaterner volkanikleri ve ana tektonik unsurlara göre dağılımı (Güleç vd. 2002, De Leeuw vd. 2010'dan değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 5.2 Akkaya jeotermal sahasının izotopik, hidrojeokimyasal, jeolojik ve yapısal veriler doğrultusunda çizilmiş bir kavramsal modeli (Manto, kabuk ve atmosferin helyum ve argon izotop değerleri, Ozima ve Podosek 2001, Pocelli vd. 2002, Dickin 2005 ve Holland ve Gilfillan 2013'den, Akkaya jeotermal sahasına ait rezervuar sıcaklığı ve sediman kalınlığı, Yücel ve Hakyemez 1991'den, Akkaya kaynağının su tipi Keskin 2010'dan alınmıştır)

Akışkanın yeraltında bulunduğu süre boyunca su-kayaç etkileşimi vasıtasıyla kimyasal kompozisyonunu zenginleştirmesi beklenir, ancak bu durumun incelenen travertenler için söz konusu olmadığı görülmüştür. Örneklere ait düşük NTE+Y bileşimleri CO<sub>2</sub>/su oranının fazla olması ve/veya CO<sub>2</sub> taşıyan akışkanın yüzeye hızlı yükselmesi olmak üzere iki şekilde açıklanabilir. Çalışma alanı yakınlarında KAFZ üzerinde bulunan Bolu ve Kurşunlu'da (Çankırı) jeotermal akışkanlardan elde edilen CO<sub>2</sub> bollukları sırasıyla 710-1040 ve 1700-3869 (x10<sup>-3</sup>) cm<sup>3</sup>/g H<sub>2</sub>O olarak tespit edilmiştir. Bolu sıcak sularında çözülmüş CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun doygunluk seviyesine çok yakın olduğu Kurşunlu'da ise akışkanın karbondioksitçe aşırı doygun olduğu belirtilmiştir (De Leeuw vd. 2010). Akkaya jeotermal sistemine ait sıcak suların CO<sub>2</sub> bolluğu ise 506-660 mg/l

arasında kaydedilmiştir (Keskin 2010). Bununla birlikte, sistemdeki akışkanın CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun doygunluk seviyesinde olduğu söylenebilir. CO<sub>2</sub>'ce zengin akışkanların temel kayaçlarla sınırlı ölçüde reaksiyona girdiği, dolayısıyla akışkanın daha düşük NTE+Y içeriğine sahip olduğu ortaya konmuştur (Huang ve Longo 1994, Uysal vd. 2009). Dolayısıyla, artan CO<sub>2</sub>/su oranı, su-kayaç etkileşiminin kalitesini düşürebilir.

CO<sub>2</sub>'ce zengin akışkanın ani salınımı muhtemelen deprensellik ile gerçekleşmiştir. Sismik faaliyet, bölgedeki ilgili fayları harekete geçirerek ya da yeni kırıklar oluşturarak kayaçların geçirimsizliğinin artmasına ve rezervardaki yüksek CO<sub>2</sub> içerikli akışkanın kabukta fay düzlemleri boyunca yükselerek basınç ferahlamasına neden olmuştur (Gratier vd. 2002, Uysal vd. 2007, 2009, Ünal-İmer vd. 2016). Bu basınç ferahlama olayları yüzeyde basınç püskürmeleri şeklinde meydana gelmektedir. Basınç püskürmesi ürünü olarak değerlendirilen breş çökelleri bu tezi desteklemektedir.

Damar travertenlerin U-Th yaş verileri çoğunlukla 18,941 ( $\pm 1,792$ ) ile 92,864 ( $\pm 5,557$ ) bin yıl arasındadır. Tarihsel dönem deprem verilerinin yetersizliğinden dolayı bu dönem içerisindeki sismik faaliyetler ile gelişebilecek damar travertenleri hakkında herhangi bir yorum yapmak güçtür. Dolayısıyla, çalışma alanı ve çevresinde bundan sonra yapılabilecek yüksek çözünürlüklü paleo-sismolojik çalışmalar bu damarların oluşumunda etkili olabilecek sismik faaliyet tarihçesini ortaya çıkarabilir.



## 6. SONUÇLAR

Akkaya-Eskipazar (Karabük) jeotermal sahasına ait sırt tipi ve damar travertenlerin mineralojik, petrografik, jeokimyasal (NTE+Y) ve izotopik ( $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ve  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) özellikleri ve ayrıca gaz örneklerinin izotopik ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  ve  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ ) bileşimleri, çalışma alanı ve çevresinin genel jeolojik ve tektonik yapısı göz önünde bulundurularak incelenmiştir.

Çalışma alanında yaklaşık K-G doğrultulu açılma çatlakları ve bu açılma çatlaklarına bağlı olarak oluşan sırt tipi travertenin kuzey ucunda bulunan havuzlarda sıcak su ve gaz çıkışlarının görülmesi ve çalışma alanının KAFZ'na yaklaşık 6 km mesafede bulunması bölgenin jeodinamik unsurlarının halen aktif olduğunu göstermektedir.

XRD analizlerine göre, sırt tipi travertene ait AK-2T kodlu örnek hariç diğer tüm sırt tipi ve damar traverten örnekleri saf kalsitten meydana gelmiştir. AK-2T kodlu örnek kalsit (%51) ve aragonitten (%49) oluşmaktadır. İnce kesit petrografisi gerçekleştirilen örneklerde organizma kalıntılarına ve yeniden kristalleşme izlerine rastlanılmamıştır.

Karbon izotop analizlerine göre, sırt tipi traverten örneklerinin  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) değerleri +4,66 ile +8,68 arasında, damar traverten örneklerinin  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) değerleri ise +4,80 ile +7,97 arasında değişmektedir. Oksijen izotop analizlerine göre, sırt tipi traverten örneklerinin  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB) değerleri -15,86 ile -7,67 arasında ve damar traverten örneklerinin  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB) değerleri ise -13,79 ile -10,89 arasında değişmektedir. Paleo-akışkanların  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinden (-8,89 ile -0,45 ‰VSMOW arası) hareketle, travertenleri çökelten akışkanların meteorik kökenli olduğu görülmüştür. Traverten örneklerinin negatif  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VPDB) ve oldukça pozitif  $\delta^{13}\text{C}$  (‰VPDB) değerleri, travertenleri çökelten akışkandaki karbondioksitin termojenik tipte olduğunu göstermektedir.

Stronsiyum izotop analizlerine göre, sırt tipi traverten örneklerinin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri 0,707358 ile 0,707406 arasında ve damar traverten örneklerinin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  değerleri ise 0,707336 ile 0,707410 arasında değiştiği görülmektedir. Traverten örneklerinin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

ve  $\delta^{18}\text{O}$  (‰VSMOW) değerleri ile birlikte, NTE+Y desenlerinde gözlenen negatif seryum (Ce), pozitif lantan (La) ve pozitif itriyum (Y) anomalilerinden hareketle travertenleri oluşturan akışkanlar temelde bulunan Arkot Dağ kireğtaşlarıyla etkileşime girmiştir. Bu durum ayrıca Arkot Dağ kireğtaşlarının derin denizel kökenli olduğunu desteklemektedir. Bununla birlikte  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ve NTE+Y verilerine göre akışkanların, Galatya volkaniklerine ait kayaçlar ile değil de Arkot Dağ karmaşığına ait mafik kayaçlar ile de etkileşim içinde olduğu belirlenmiştir.

Akkaya jeotermal sistemine ait gaz örneklerinin analiz sonuçlarına göre helyum izotop değerlerinin 0,42 ile 0,99  $R_A$  arasında değişmekte olduğu görülmüştür. Bu değerler kabuğa ait helyum izotop değerlerinden ( $R_A \approx 0,02-0,05$ ) oldukça yüksektir. Bununla birlikte, gaz örneklerinde yaklaşık %13'e kadar varan mantosal helyum katkısı belirlenmiştir. Fakat mantosal helyum ( $^3\text{He}$ ) değerindeki düşüklük, mantosal helyumun kabuğa fay zonları boyunca aktarılışı sırasında kabukta üretilen radyojenik helyum ( $^4\text{He}$ ) tarafından seyreltilmesi ile açıklanmıştır. Ayrıca gaz örneklerinin  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  izotop oranları 290,2 ile 292,3 değerleri,  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  izotop oranları ise 0,1864 ile 0,1876 değerleri arasındadır. Bu değerlerin ise atmosfere ait argon izotop değerlerine ( $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}=296$  ve  $^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}=0.188$ ) yakın olduğu görülmüştür.

Traverten örneklerinde geręekleřtirilen uranyum serisi yaşlandırma sonuçlarına göre sırt tipi travertenin 0,856 ( $\pm 0,918$ ) ile 29,952 ( $\pm 14,295$ ) bin yıl arasında ve damar travertenlerin ise 1,774 ( $\pm 0,249$ ) ile 92,864 ( $\pm 5,557$ ) bin yıl arasında oluştuğu belirlenmiştir. Damar travertenler üzerinde geręekleřtirilen arazi gözlemleri sonucunda damarların kesme-kesilme ilişkilerine göre genç-yaşlı ilişkisi belirlenmiştir. Bu ilişki, kesilen (İM-D8 ve İM-D10 kodlu) ve kesen (İM-D7 ve İM-D9 kodlu) damarların U-Th yaş verileri ile doğrulanmıştır.

Sırt tipi ve damar travertenlerin NTE+Y değerlerinin PAAS'a göre sırasıyla  $10^4$  ile  $10^5$  kat ve  $10^3$  ile  $10^4$  kat daha düşük oldukları belirlenmiştir. Stratigrafik olarak sırt tipi travertenin altından bulunan damar travertenlerin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ile NTE+Y değerlerinin sırt tipi travertenin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ile NTE+Y değerlerine göre yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum sırt tipi travertenin alttaki tabakalı ve damar travertenleri çözen akışkanlar

tarafından çökeltilmesi ile damar travertenlerin  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ile NTE+Y değerlerinin yüksek olması ise temel birimlerin hemen üzerinde bulunması ile açıklanmıştır.

Özellikle sırt tipi travertende  $\delta^{18}\text{O}$  ile  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri arasında gözlenen pozitif ilişki ( $R^2=0,9$ ) ve sırt tipi ve damar travertenlerinde kaydedilen oldukça yüksek ve pozitif  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri hızlı  $\text{CO}_2$  salınımına bağlı denge dışı izotop bölümlenmesi ile açıklanmıştır.

Arazi gözlemleri tabakalı travertenler içerisinde damar şeklinde gelişen traverten dolgularının yanında görülen breş parçalarının basınç püskürmesi ürünü olduğunu göstermektedir. Karbondioksitçe zengin akışkanın yüzeye ani salınımı farklı boyutlardaki breş parçalarını meydana getirmiştir. Bu durumun depremsellik ile bağlantılı olabileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akın, M. 2008. Eskipazar (Karabük) travertenlerinin bozunmasının araştırılması. Doktora Tezi, Ankara Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 231 s, Ankara.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Dağ, Z. ve Sunu, O. 1979. Hacılar (K. Çubuk – Ankara) bölgesinde alt Triyas’ın varlığı. TJK Bülteni, 22/2, 169 – 174.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y. 1984. Ankara – Elmadağ – Kalecik dolayının temel jeoloji özellikleri. Jeoloji Mühendisliği, 20, 31 – 46.
- Altunel, E. and Hancock, P.L. 1993a. Morphological features and tectonic setting of Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. Geol. J., 28, 335-346.
- Altunel, E. and Hancock, P.L. 1993b. Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey. Z. Geomorphol. Suppl., 94, 285–302.
- Altunel, E. and Hancock, P.L., 1996a. Structural attributes of travertine - filled extensional fissures in the Pamukkale plateau, western Turkey. International Geology Review 38, 768 - 777.
- Altunel, E., 1996b. Pamukkale travertenlerinin morfolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik özellikleri, MTA dergisi, 118, 47-64.
- Ambraseys, N.N., 1970. Some characteristic features of the North Anatolian Fault Zone, Tectonophysics, 9, 143 – 165.
- Amundson, R., Kelly, E., 1987. The chemistry and mineralogy of a CO<sub>2</sub> – rich travertine depositing spring in the California Coast Range, Geochim. Cosmochim. Acta, 51, 2883 – 2890.
- Arndt, N.T. 2000. Hot heads and cold tails. Nature, 407. 458 – 461.
- Aydın, M., Serdar, H.S., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R., Demir, O. Özçelik, Y., 1987. Çamdağ (Sakarya) – Sünnicedağ (Bolu) yöresinin jeolojisi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 30 (1), 1 – 14.
- Barka, A. 1984, Kuzey Anadolu Fay Zonundaki Bazı Neojen-Kuvaterner Havzalarının Jeoloji ve Tektonik Evrimi, Ketin Simpozyumu, 209-227.
- Barnes, I., Irwin, W.P. and White, D.E. 1978. Global distribution of carbon – dioxide discharges and major zones of seismicity. United States Geological Survey, Water Resources Investigations 78 – 39, Open File report.

- Bau, M., Dulski, P. and Möller, P. 1995. Yttrium and holmium in South Pacific seawater: vertical distribution and possible fractionation mechanism. *Chem. Erde – Geochemistry* 55, 1 – 15.
- Biryol, C.B. 2004. Neotectonics and evolution of the Eskipazar Basin, Karabük – Turkey, M. Sc. Thesis. Middle East Technical University. 124 p. Ankara.
- Blumenthal, M. 1941. Eskipazar Transversal Dağları'nın Jeolojisi ve Maden Suyu Menbaları II.Kısım. *MTA Dergisi*, 24, 320-352.
- Bolhar, R., Kamber, B.S., Moorbath, S., Fedo, C.M. and Whitehouse, M.J. 2004. Characterisation of early Archaean chemical sediments by trace element signatures. *Earth Planet. Sci. Lett.* 222, 43 – 60.
- Burke, W.H., Denison, R.E., Hetherington, E.A., Koepnick, R.B., Nelson, N.F. and Otto, J.B., 1982. Variation of seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  throughout Phanerozoic time. *Geology* 10, 516 – 519.
- Capasso, G. and Inguaggiato, S. 1998. A simple method for the determination of dissolved gases in natural waters. An application to thermal waters from Vulcano Island. *Applied Geochemistry* 13, 631-642.
- Cartwright, I., Weaver, T., Tweed, S., Ahearne, D., Cooper, M., Czapnik, K. And Tranter, J., 2002. Stable isotope geochemistry of cold  $\text{CO}_2$  – bearing mineral spring waters, Daylesford, Victoria, Australia: sources of gas and water and links with waning volcanism. *Chemical Geology* 185, 71 – 91.
- Chafetz, H.S., Rush, P.F. and Utech, N.M. 1991. Microenvironmental controls on mineralogy and habit of  $\text{CaCO}_3$  precipitates: an example from active travertine system. *Sedimentology* 38, 107 – 126.
- Chiodini, G. and Frondini, F., 2001. Carbon dioxide degassing from the Albani Hills volcanic region, Central Italy. *Chemical Geology* 177 (1–2), 67–83.
- Chiodini, G., Cardellini, C., Amato, A., Boschi, E., Caliro, S., Frondini, F. and Ventura, G. 2004. Carbon dioxide Earth degassing and seismogenesis in central and southern Italy. *Geophysical Research Letters* 31, L07615.
- Clark, I. and Fritz, P., 1997. *Environmental isotopes in hydrogeology*. Lewis, New York. 328 pages.
- Clarke, W.B., Beg, M.A. and Craig, H. 1969. Excess  $^3\text{He}$  in the sea: evidence for terrestrial primordial helium, *Earth and Planetary Science Letters* 6, 213 – 220.
- Clarke, W.B., Jenkins, W.J. and Top, Z. 1976. Determination of tritium by mass spectrometric measurement of  $^3\text{He}$ , *International Journal of Applied Radiation and Isotopes* 27, 515 – 522.
- Coplen, T.B., Kendall, C. and Hopple, J., 1983. Comparison of isotope reference samples. *Nature*, 302: 236-236.

- D'Alessandro, W., Glammanco, S., Bellomo, S. and Parello, F. 2007. Geochemistry and mineralogy of travertine deposits of the SW flank of Mt. Etna (Italy): relationships with past volcanic and degassing activity. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 165 (1–2), 64–70.
- De Filippis, L., Faccenna, C., Billi, A., Anzalone, E., Brilli, M., Özkul, M., Soligo, M., Tuccimei, P. and Villa, I.M. 2012. Growth of fissure ridge travertines from geothermal springs of Denizli basin, western Turkey. *Geological Society of America Bulletin* 124, 1629–1645.
- De Leeuw, G.A.M., Hilton, D.R., Güleç, N. and Mutlu, H. 2010. Regional and temporal variations in  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ ,  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  along the North Anatolian Fault Zone, Turkey. *Applied Geochemistry* 25, 524 – 539.
- Demirtaş, R., 2000. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Abant – Gerede arasında kalan bölümünün neotektonik özellikleri ve paleosismisitesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 191 s, Ankara.
- DePaolo, D.J. and Ingram, B.L., 1985. High resolutions stratigraphy with strontium isotopes. *Science*, 227, 938 – 941.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R. Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F. and Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of eastern Anatolia – a young collision zone. In: Coward, M.P., Ries, A.C. (Eds.), *Collision Tectonics*. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 19, pp. 3 – 36.
- Dickin, A.P., 2005. *Radiogenic Isotope Geology*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Elderfield, H., 1988. The oceanic chemistry of the rare earth elements. *Royal Society Lond. Ser. A* 325, 105 – 126.
- Elmas, A., Yiğitbaş, E. and Yılmaz, Y. 1997. Bolu-Eskipazar Zonu'nun jeolojisi; Intra-Pontid Sütur Zonu'nun gelişimine bir yaklaşım, *Geosound*, 30, 1-13.
- Erol, O., 1951, Ayaş Dağları ve Mürted Ovasının kuzey bölümü hakkında rapor. MTA. Rapor No: 2456. Ankara.
- Erol, O., 1954. Ankara ve civarının jeolojisi hakkında rapor. MTA. Rapor No: 2491. Ankara.
- Erol, O., 1955. Köroğlu – Işık dağları volkanik kütlelerinin orta bölümleri ile Beypazarı – Ayaş arasındaki Neojen havzasının jeolojisi hakkında rapor. MTA. Rapor No: 2279. Ankara.
- Erendil, M., Aksay, A., Oral, A., Tunay, G., Temren, A. and Kuşcu, İ., 1991. Bolu masifi ve çevresinin jeolojisi. MTA Rap. No: 9425, 55 s.

- Faure, G., 1986. Principles of isotope geology, 2nd edition, Wiley, New York, 589 s.
- Faure, G., 1998. Principles and applications of geochemistry, 2nd edition, Prentice Hall, New Jersey, 600 s.
- Folk, R.L., 1994. Interaction between bacteria, nannobacteria and mineral precipitation in hot springs of central Italy. *Geographie Physique et Quaternaire* 48, 233 – 246.
- Fouke, B. W., Farmer, J.D., Des Marais, D.J., Pratt, L., Sturchio, N.C., Burns, P.C. and Discipula, M.K., 2000. Depositional facies and aqueous – solid geochemistry of travertine – depositing hot springs, Angel Terrace, Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA. *Journal Sed. Res.*, 70, 565 – 585.
- Friedman, I., 1970. Some investigations of the deposition of travertine from Hot Springs, I. The isotopic chemistry of a travertine-depositing spring. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34: 1303-1315.
- Göncüoğlu, M.C., Erendil, M., Tekeli, O., Ürgün, B.M., Aksay, A. and Kuşcu, İ., 1986. Armutlu yarımadasının doğu kesiminin jeolojisi. MTA Rap. No: 7786
- Göncüoğlu, M.C., Gürsu, S., Tekin, U.K. and Köksal, S. 2008. New data on the evolution of the Neotethyan oceanic branches in Turkey: Late Jurassic ridge spreading in the Intra – Pontide branch. *Ofioliti* 33, 153 – 164.
- Göncüoğlu, M.C., Marroni, M., Pandolfi, L., Ellero, A., Ottria, G., Catanzariti, R., Tekin, U.K. and Sayit, K. 2014. The Arkot Dağ Melange in Araç area, central Turkey: evidence of its orihin within the geodynamics evolution of the Intra – Pontide Suture Zone. *J. Asian Earth Sci* 85: 117 – 139.
- Güleç, N., 1988. Helium – 3 distribution in western Turkey. *Bulletin of Mineral Research and Exploration Institute of Turkey* 108, 35 – 42.
- Güleç, N., Hilton, D.R. and Mutlu, H. 2002. Helium isotope variations in Turkey: relationship to tectonics, volcanism and recent seismic activities. *Chem. Geol.* 187. pp. 129–142.
- Güleç, N., Mutlu, H. and Hilton, D.R. 2010. Gas geochemistry of Turkish geothermal fluids: He and C isotope and relative abundance studies. *Proceedings World Geothermal Congress 2010. Bali, Indonesia.*
- Gratier, J.P., Favreau, P., Renard, F. and Pili, E. 2002. Fluid pressure evolution during the earthquake cycle controlled by fluid flow and pressure solution crack sealing. *Earth Planets Space* 54, 1139 – 1146.
- Hancock, P.L., Charmes, R.M.L., Altunel, E. and Çakır, Z. 1999. Travertines: using travertines in active fault studies, *Journal of Structural Geology*, 21, 903 – 916.

- Harmon, R.S., Glazek, J. and Nowak, K. 1980.  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$  dating of travertine from the Bilzingsleben archaeological site, *Nature*, 284, 132 – 135.
- Hartleb, R.D. 2006. Paleoseismology of the North Anatolian Fault, Turkey: towards a long term record of seismic moment release in time and space. Ph. D. Thesis. Faculty of the Graduate School University of Southern California. USA. 240 s.
- Hearn, E.H., Kennedy, B.M and Trudell, A.H. 1990. Coupled variations in helium isotopes and fluid chemistry: Shoshone Geyser Basin, Yellowstone National Park. *Geochim. Cosmochim Acta* 54: 3103-3113.
- Hilton, D. 2014. Rift! Geological Clues to What's Tearing Africa Apart. University of California Television (UCTV)
- Holland, G., Gilfillan, S., (P. Burnard-ed.). 2013. The noble gases as geochemical tracers, *Advanced in isotope geochemistry*, Springer – Verlag, 177 – 223 s.
- Huang, W.L. and Longo, J.M. 1994. Experimental studies of silicate – carbonate reactions. 2. Applications to steam flooding of soil sands. *Applied Geochemistry* 9 (5), 523– 532.
- Ikeda, Y. 1994. Topography produced by active faults. Simizaki, K. and Matsuda, T., (eds.), *Earthquakes and Faults*. Section 2, 45-62, (in Japanese).
- Irwin, W.P. and Barnes, I., 1980. Tectonic relations of carbon – dioxide discharges and earthquakes. *Journal of Geophysical Research* 85 (NB6), 3115 – 3121.
- Işık, V., Seyitoglu, G. and Çemen, I. 2003. Ductile–brittle transition along the Alasehir shear zone and its structural relationship with the Simav detachment, Menderes massif, western Turkey. *Tectonophysics* 374, 1–18.
- Kaplan, İ.K. 2010. Budaklar ve İmanlar formasyonlarındaki travertenlerin mühendislik özellikleri (Eskipazar, Karabük). Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 101 s, Ankara.
- Karabacak, V., Uysal, İ.T., Ünal-İmer, E., Mutlu, H. and Zhao, J. 2017. U-Th age evidence from carbonate veins for episodic crustal deformations of Central Anatolian Volcanic Province. *Quaternary Science Reviews* 177, 158-172.
- Keller, J., Jung, D., Echardt, F – J. and Kreuzer, H. 1992. Radiometric ages and chemical characterization of the Galatean andesite massif, Pontus, Turkey. *Acta Vulcanologica (Marinelli Volume)* 2, 267 – 276.
- Kennedy, B.M., Hiyagon, H. and Reynolds, J.H. 1991. Noble gases from Honduras geothermal sites. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 45(1-2): 29-39.
- Kennedy, B.M., Kharaka, Y.K., Evans, W.C., Ellwood, A., DePaolo, D.J., Thordsen, J., Ambats, G. and Mariner, R.H. 1997. Mantle fluids in the San Andreas fault system, California. *Science* 278, 1278 – 1281.



- Kennedy, B.M. and van Soest, M.C. 2006. A helium isotope perspective on the Dixie Valley, Nevada, hydrothermal system. *Geothermics* 35, 26 – 43.
- Keskin, T.E. 2010. Groundwater changes in relation to seismic activity: a case study from Eskipazar (Karabük, Turkey). *Hydrogeology Journal* 18: 1205 – 1218.
- Kim, S.T. and O’Neil, J.R., 1997. Equilibrium and nonequilibrium oxygen isotope effects in synthetic carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 3461 – 3475.
- Kipman, E., 1974. Sakarya Çamdağ (Kestanepınar – Yassıgeçit köyleri arası) deniz çökeltisi demir cevherinin jeolojisi. *İ. Ü. Fen. Fak. Monografileri*, s. 25, 1 – 72.
- Kitano, Y., 1963. Geochemistry of calcareous deposits found in hot springs. *Journal Earth Sci. Nagoya University*, 11: 68 – 100.
- Koçyiğit, A., 1991. An example of an accretionary forearc basin from northern Central Anatolia and its implications for history of subduction of Neo – Tethys in Turkey, *Geological Society of America Bulletin* 103: 22 – 36.
- Koçyiğit, A., Rojay, B., Cihan, M. And Özacar, A. 2001b, The June 6, 2000, Orta (Çankırı, Turkey) Earthquake: Source from a New Antithetic Sinistral Strike-Slip Structure of the North Anatolian Fault System, the Dodurga Fault Zone, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 10, 69-82.
- Koçyiğit, A., Winchester, J.A., Bozkurt, E. and Holland, G. 2003, Saraçköy Volcanic Suite: implications for the subductional phase of arc evolution in the Galatean Arc Complex, Ankara, Turkey. *Geological Journal*, 38, 1 – 14.
- Koçyigit, A. 2005. The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta* 18 (3–4), 167–208.
- Kuterdem, N.K. 2005. Eskipazar (Karabük güneyi) ve Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) arasındaki bölgenin morfo – tektonik özelliklerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 94 s.
- Li, W.X., Lundberg, J., Dickin, A.P., Clifford D.F., Schwarcz, H.P, Mcnutt, R. and Williams, D.1989. High precision mass-spectrometric uranium – series dating of cave deposits and implications for paleoclimatic studies, *Nature*, 339, 534 – 536.
- Lippmann, F. 1973. *Sedimentary Carbonate Minerals*, Heidelberg (Springer-Verlag), 228 s.

- Liu, Z., Zhang, M., Li, Q., and You, S., 2003. Hydrochemical and isotope characteristics of spring water and travertine in the Baishuitai area (SW China) and their meaning for paleoenvironmental reconstruction. *Environmental Geology* 44 (6), 698-704.
- Malesani, P., Vanucchi, S. 1975. Precipitazione di calcite o di aragonite dalle acque termominerali in relazione alla genesi e all'evoluzione dei travertini: *Accademia Lincell, Rendiconti Scienze fisica, matematica e naturale*, 58, pp. 761 – 776
- Mamyrin, B.A., Anufriev, G.S., Kamensky, I.L. and Tolstikhin, I.N. 1970. Determination of the isotopic composition of atmospheric helium, *Geochemistry International* 7, 498 – 505.
- Marler, G.D. and White, D.E. 1975. Seismic geyser and its bearing on origin and evolution of geysers and hot springs of Yellowstone-National-Park. *Geological Society of America Bulletin* 86 (6), 749–759.
- Magaritz, M., Whitford, D.J. and James, D.E. 1978. Oxygen isotopes and the origin of high  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  andesites, *Earth Planet Science Letter*, 40, 220 – 230.
- Mazor, E. and Wasserburg, G.J. 1965. Helium, neon, argon, krypton, and xenon in gas emanations from Yellowstone and Lassen Volcanic National Parks. *Geochim. Cosmochim. Acta* 29: 443-454.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M.N. and Veis, G. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 105 (B3), 5695–5719.
- Miller, S.A., Collettini, C., Chiaraluce, L., Cocco, M., Barchi, M. and Kaus, B.J.P. 2004. Aftershocks driven by a high-pressure CO<sub>2</sub> source at depth. *Nature* 427 (6976), 724–727.
- Mutlu, H., Güleç, N. and Hilton, D.R. 2008. Helium – carbon relationships in geothermal fluids of western Anatolia, Turkey. *Chemical Geology* 247, 305 – 321.
- Mutlu, H., Güleç, N. and Aral, D. 2011. Asal gaz izotopları yeni jeotermal kaynakların keşfinde öncü olabilir mi?, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir
- Mutlu, H., Dirik, K., Uysal, T., Yüce, G., Bayarı, S., Özyurt, N., Temel, A., Seyitoğlu, G., Ünal-İmer, E., Aydoğdu, İ., Yıldırım, G. ve Durutürk, B. 2017. Anadolu'daki aktif fay zonlarından elde edilen radyometrik, duraylı izotopik, jeokimyasal ve asal gaz sinyalleri, 70. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, s.312-313, Ankara

- Okumura, K., Yoshioka, T., Kuşcu, İ., Kayanne, H. and Suzuki, Y.1990. Activity of the North Anatolian Fault during these two Milenia on the surface faults of 1944 earthquake, American Geophysical Union 1990 Fall Meeting.
- Okumura, K., Yoshioka, T. And Kuşcu, İ. 1994. Surface faulting on the North Anatolian Fault in these two millenia, In Proceedings of the Workshop on Paleoseismology, U.S. Geological Survey, Open File Report 94-568, 143 p.
- Öcal, N. 1959. Abant Zelzelesi, Istanbul Kandilli Rasathanesi, Sismoloji yayınları, 4.
- O'Neil, J.R., Clayton, R.N. and Mayeda, T.K. 1969. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates, J. Chem. Phys. 51, 5547 – 5558.
- Oral, M.B., Relinger, R.E., Toksoz, M.N., King, R.W., Barka, A.A., Kinik, I. and Lenk, O. 1995. Global positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean. EOS Trans. 76, 1 – 3.
- Ozima, M. and Podosek, P.A. 2001. Noble gas geochemistry, Second edition, Cambridge University Press, Cambridge. 302p.
- Özaksoy, V., Gökten, E. ve Demirtaş, R. 1998. Kuzey Anadolu Fayı Gerede segmenti doğu kesiminde aktif tektonik çalışmaları; İsmetpaşa Treci ön sonuçları, Aktif Tektonik Araştırma Grubu Birinci Toplantısı, 88-93. In: Makaleler, Akyüz, S., and Barka, A.A. (editörler), İTÜ., Maden Fak. & Avrasya Yerbilimleri Enst. Aralık 1998.
- Özaksoy, V. 2000. Çerkeş – Ilgaz segmentinde Kuzey Anadolu Fay Zonunun sismotektoniği, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 116 s, Ankara.
- Özkul, M., Kele, S., Gökgez, A., Shen, C-C., Jones, B., Baykara, M.O., Forizs, I., Nemeth, T., Chang, Y-W. and Alçıçek, M.C. 2013. Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based on their depositional and geochemical data. Sedimentary Geology 294. 179 – 204.
- Pauwels, H., Fouillac, C., Goff, F. and Vuataz, F.D.1997. The isotopic and chemical composition of CO<sub>2</sub> – rich thermal waters in the Mont – Dore region (Massif Central, France). App. Geochem. 12, 411 – 427.
- Pentecost, A., 2005. Travertine. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 446 p.
- Peterman, Z.E., Hedge, C.E. and Tourtelot, H.A.1970. Isotopic composition of strontium in sea water throughout phanerozoic time. Geochim. Cosmochim. Acta 34, 105-120.
- Pichler, T. and Veizer, J. 2004., The precipitation of aragonite from shallow – water hydrothermal fluids in a coral reef, Tatum Bay, Ambitle Island, Papua New Guinea, Chemical Geology 207, 31 – 45.

- Porcelli, D., Ballentine, C.J. and Wieler, R., (eds). 2002. Noble gases in geochemistry and cosmochemistry, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Mineralogical Society of America. 844 s.
- Rihs, S., Condomines, M. and Poidevin, J.L. 2000. Long-term behaviour of continental hydrothermal systems: U-series study of hydrothermal carbonates from the French Massif Central (Allier Valley). *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 64 (18), 3189–3199.
- Saner, S., Taner, İ., Aksoy, Z., Siyako, M. ve Bürkan, K.A. 1980. Karabük – Safronbolu bölgesinin jeolojisi. *Türkiye 5. Petrol Kongresi*, 111 – 122 s.
- Sano, Y. and Fischer, T.P., (P. Burnard-ed.). 2013. The noble gases as Geochemical Tracers, *Advances in isotope geochemistry*, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg. 249-317 s.
- Schwarcz, H.P. 1980. Absolute age determination of archeological sites by uranium series dating of travertines, *Archaeometry* 22, 3 – 24.
- Schwarcz, H.P. 1990. Dating travertine, 113 – 116, in: J.S. Herman, D.A., Hubbard, Jr., *Travertine – Marl: steam deposits of Virginia division of mineral resources*, Publication 101, Charlottesville, Va. (Virginia Division of Mineral Resources)
- Shimizu, A., Sumino, H., Nagao, K., Notsu, K. and Mitropoulos, P. 2005. Variation in noble gases isotopic composition of gas samples from the Aegean arc, Greece. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 140(4): 321-339.
- Sibson, R.H., Moore, J.McM. and Rankin, A.H. 1975. Seismic pumping a hydrothermal fluid transport mechanism. *J. Geol. Soc. Lond.* 131, 653 – 659.
- Smart, P.L. 1991. Uranium series dating. In: P.L. Smart, P.D. Francis (Eds.). *Quaternary dating methods – a user’s guide*. *Quart. Res. Assoc. Tech. Guide* 4, London, 45 – 83 pp.
- Stanley, K.O. and Faure, G. 1979. Isotopic composition and source of strontium in sandstone cements: The High Plains Sequence of Wyoming and Nebraska, *Journal Sed. Pet.* 49, 45 – 54.
- Sugisaki, R. and Taki, K. 1987. Simplified analyses of He, Ne, and Ar dissolved in natural waters. *Geochemical Journal* 21, 23-27.
- Süer, S., Güleç, N., Mutlu, H., Hilton, D.R., Çifter, C. and Sayın, M. 2008. Geochemical monitoring of geothermal waters (2002–2004) along the North Anatolian Fault Zone, Turkey: spatial and temporal variations and relationship to seismic activity. *Pure Appl. Geophys.* 165, pp. 17–43.

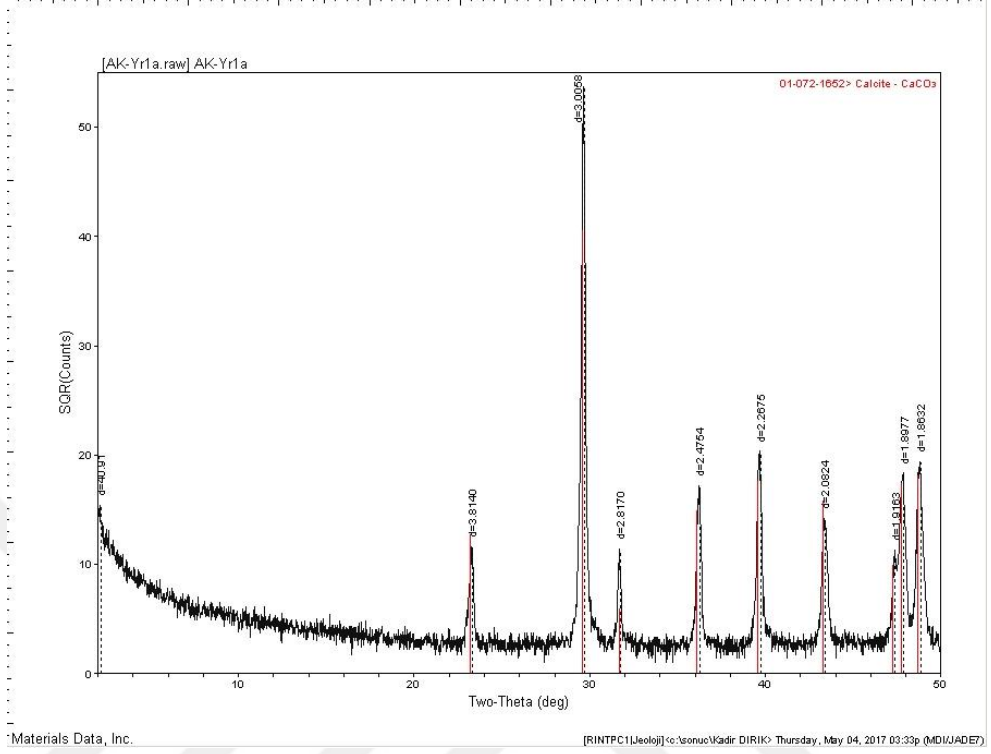
- Şaroğlu, F., Herece, E., Emre, Ö. ve Sarıaslan, M.1995, Yeniçağa-Gerede- Eskipazar arasındaki jeolojisi ve Kuzey Anadolu Fayı'nın genel özellikleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Rapor No. 9873.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181 – 241.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F. 1985. Strike – slip deformation, basin formation and sedimentation: Strike – slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ.* 37, 227-264.
- Tankut, A., Akıman, O., Türkmenoğlu, A., Güleç, N. and Göker, T.T.1990. Tertiary volcanic rocks in northwest – Central Anatolia, in *IESCA 1990 Proceedings 2*, Savaşçın, Y., Eronat, A.H., (editörler). 450 – 466.
- Tankut, A., Wilson, M. and Yihunie, T.1998. Geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanism in the Güvem area, Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85, 285 – 301.
- Tedesco. D., Nagao, K. and Scarsi, P.1998. Noble gas isotopic ratios from historical lavas and fumaroles at Mount Vesuvius (southern Italy): constrains for current and future volcanic activity. *Earth Planet Sci. Lett.* 164 (1-2): 61-78.
- Tokay, M. 1973, Kuzey Anadolu Fay Zonunun Gerede ile Ilgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler, Kuzey Anadolu Fayı ve Depremler Kuşağı Simpozyumu Tebliğleri, M.T.A. Enstitüsü Ankara, 12-29.
- Toprak, V., Savaşçın, Y., Güleç, N. and Tankut, A. 1996. Structure of the Galatean province. *Int. Geol. Rev.* 38, 747 – 758.
- Tucker, M.E. and Wright, V.P., (Dickson, J.A.D.'nin bir bölümüyle birlikte) 1990. *Carbonate sedimentology*, Blackwell Science Ltd, 482 s.
- Turi, B. 1986. Stable isotope geochemistry of travertines. In: P. Fritz and J.-Ch. Fontes, (Eds.) *Handbook of environmental isotope geochemistry*, Vol. 2, The terrestrial environment, B. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands: 207-238.
- Türkecan, A., Dinçel, A., Hepşen, N., Papak, İ., Akbaş, B., Sevin., M., Özgür, İ.B., Nedi, Y., Mutlu, G., Sevin, D., Ünay, E., Saraç, G. ve Karataş, S. 1991. Bolu – Çankırı (Koroğlu Dağları) arasındaki Neojen yaşlı volkanitlerin stratigrafisi ve petrolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 6, 85 – 103.
- Uysal İ.T., Feng Y., Zhao J.X., Altunel E., Weatherley D., Karabacak V., Cengiz O., Golding S.D., Lawrence M.G. and Collerson, K.D.2007. U-series dating and geochemical tracing of late Quaternary travertine in co-seismic fissures. *Earth Planet Sc Lett* 257: 450–462.

- Uysal, İ. T., Feng, Y., Zhao, J., Işık, V., Nuriel, P. and Golding, S.D. 2009. Hydrothermal CO<sub>2</sub> degassing in seismically active zones during the late Quaternary. *Chemical Geology* 265, 442-454.
- Uysal I. T., Feng Y.-X., Zhao J.-X., Bolhar R., Isik V., Baublys K.A., Yago A. and Golding S. D. 2011. Seismic cycles recorded in late Quaternary calcite veins: geochronological, geochemical and microstructural evidence. *Earth Planet. Sci. Lett.* 303, 84–96.
- Ünal–İmer, E., Uysal, I.T. Zhao, J.-X., Işık, V., Shulmeister, J., İmer, A. and Feng, Y-X. 2016. CO<sub>2</sub> outburst events in relation to seismicity: constraints from microscale geochronology, geochemistry of late Quaternary vein carbonates, SW Turkey. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 187. 21 – 40.
- Valero–Garces, B.L., Delgado – Huertas, A., Ratto, N. and Navas, A. 1999. Large C–13 enrichment in primary carbonates from Andean Altiplano lakes, northwest Argentina, *Earth Planet. Sci. Lett.* 171, 253 – 266.
- Varol, E., Temel, A., Yürür, T., Gourgaud, A. and Bellon, H. 2014. Petrogenesis of the Neogene bimodal magmatism of the Galatean Volcanic Province, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 280, 14 – 29.
- Vuataz, F.D. and Goff, F. 1986. Isotope geochemistry of thermal and nonthermal waters in the Valles Caldera, Jemez Mountains, Northern New Mexico. *Journal Geophys.Res.* 91 (B2), 1835 – 1853.
- Wilson, M., Tankut, A. and Güleç, N. 1997. Tertiary volcanism of the Galatean province, NW Central Anatolia, Turkey. *Lithos* 42, 105 – 121.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A.M. ve Yiğitbaş, E. 1981. Abant (Bolu) – Dokurcun (Sakarya) arasındaki Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzey ve güneyinde kalan tektonik birliklerin jeolojik evrimi. *İstanbul yerbilimleri*, 2/3 – 4, 239 – 261.
- Yılmaz, Y., Gürpınar, O., Genç, S.C., Bozcu, M., Yılmaz, K., Şeker, H., Yiğitbaş, E. ve Keskin, M. 1990. Armutlu yarımadası ve dolayının jeolojisi. İTÜ YBYK UYGAR Merkezi – TPAO Rap. 210 s.
- Yu, K.F., Zhao, J.X., Shi, Q., Chen, T.G., Wang, P.X., Collerson, K.D. and Liu, T.S. 2006. U-series dating of dead Porites corals in the South China Sea: Evidence for episodic coral mortality over the past two centuries, *Quaternary Geochronology* 1, 129-141.
- Yücel, B. ve Hakyemez, Ş., 1991. Akkaya – Eskipazar (Çankırı) bölgesinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları: MTA Der. Rap. No: 9427, 15 s., Ankara.
- Zhao, J.X., Hu, K., Collerson, K.D. and Xu, H.K. 2001. Thermal ionization mass spectrometry U-series dating of a hominid site near Nanjing, China. *Geology* 29 (1), 27-30

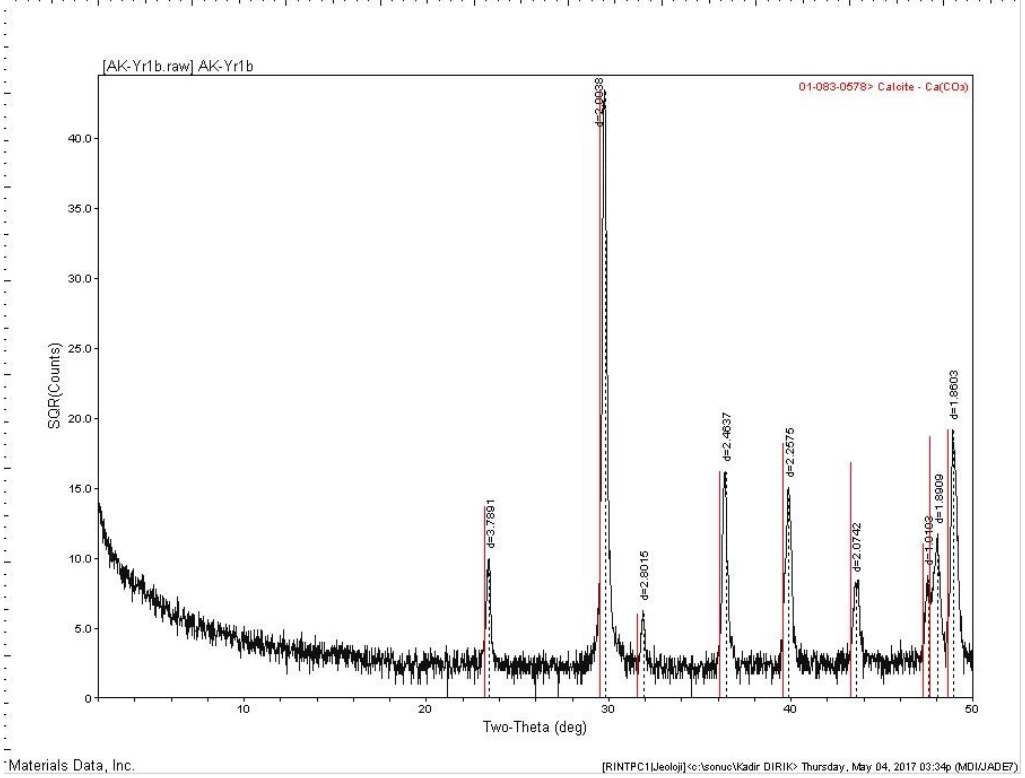


# EK 1 XRD ANALİZ SONUÇLARI

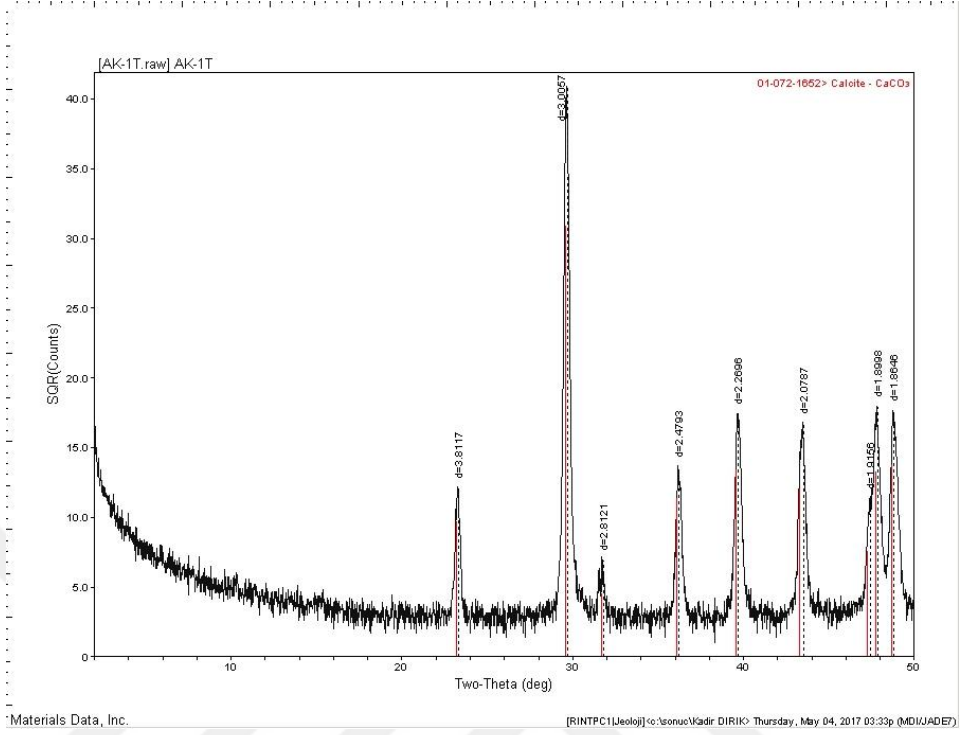
## AK-YR1a kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



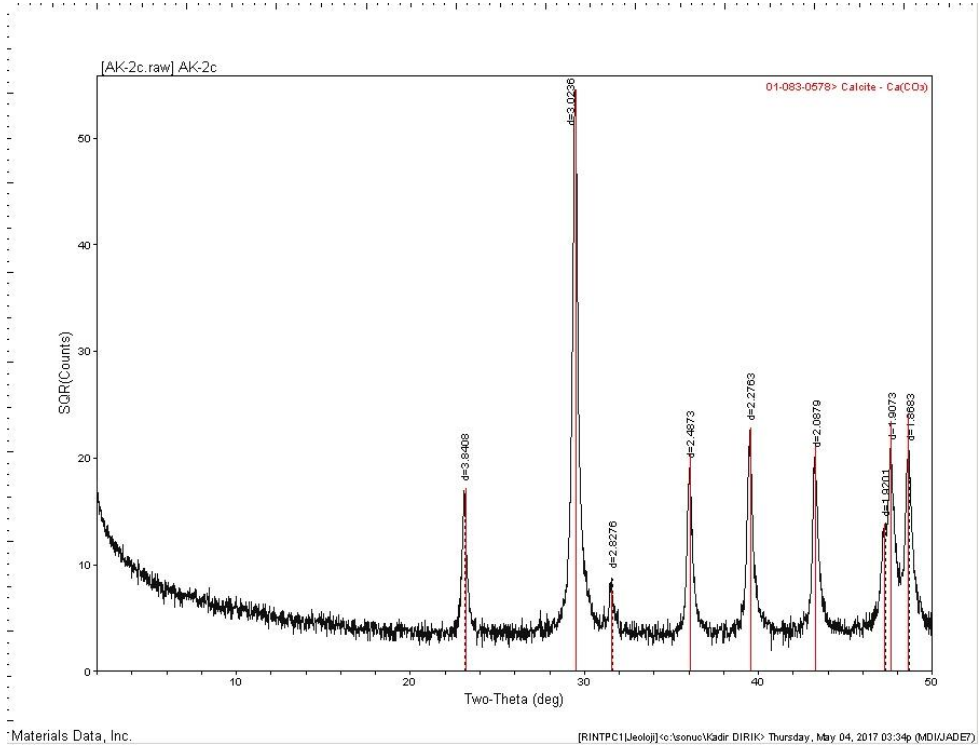
## AK-YR1b kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



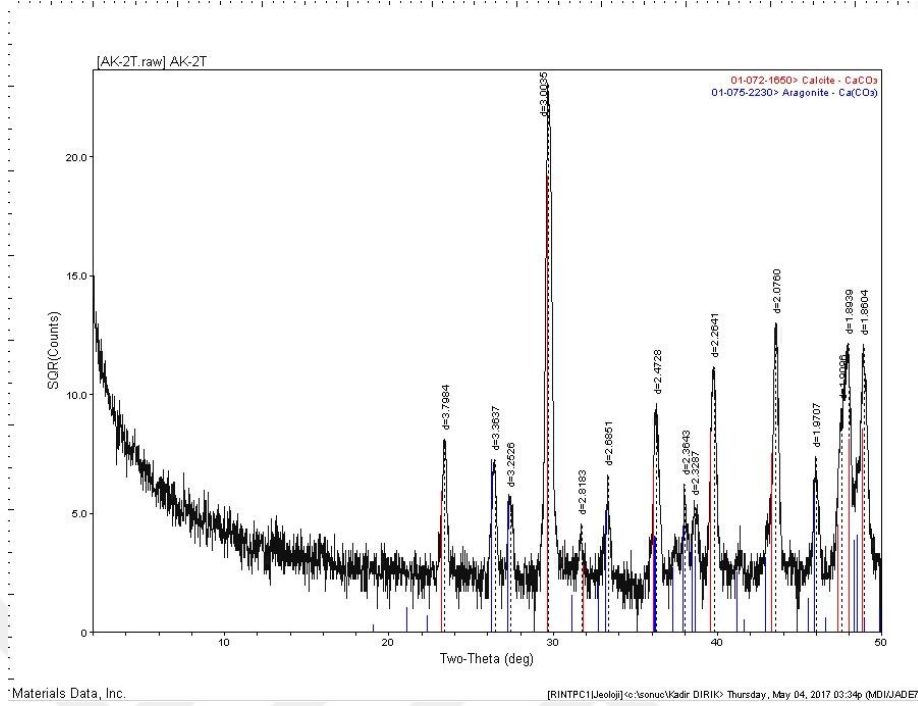
## AK-1T kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



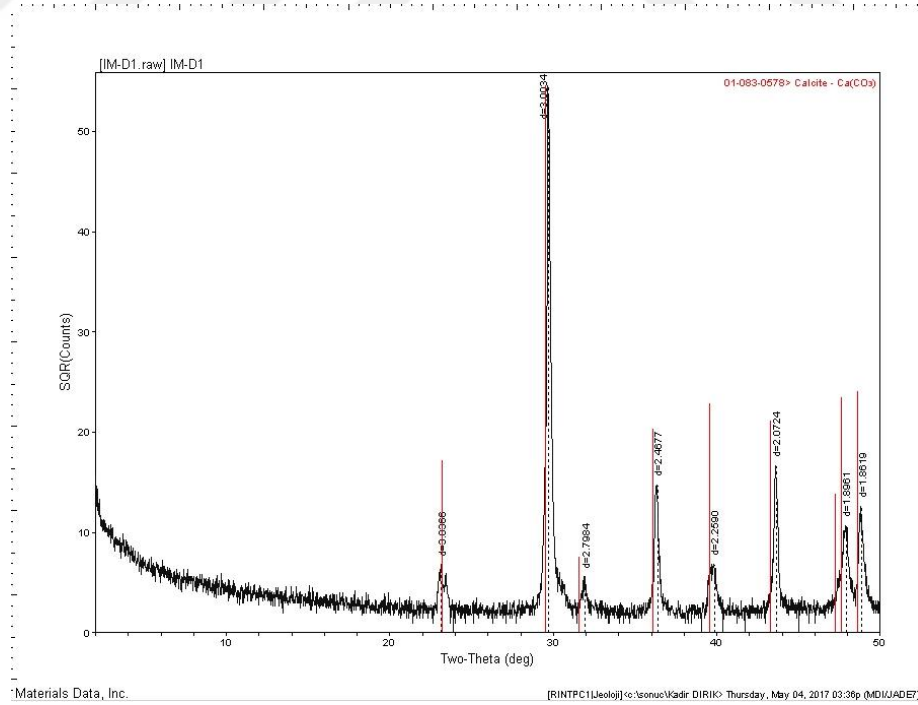
## AK-2C kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



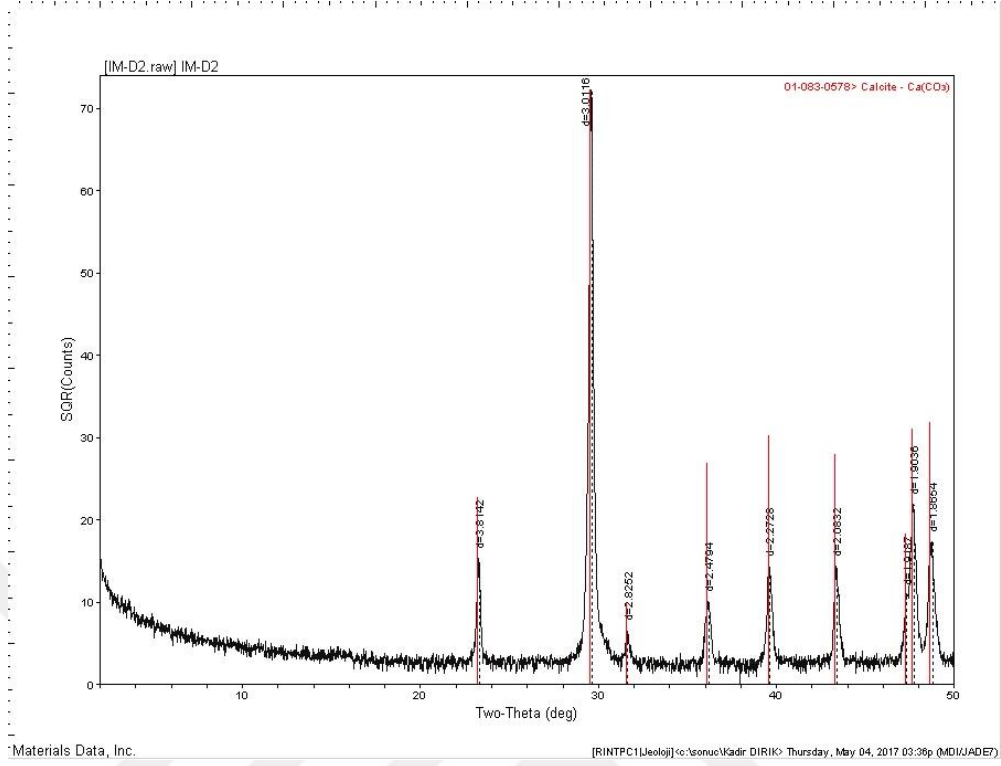
## AK-2T kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



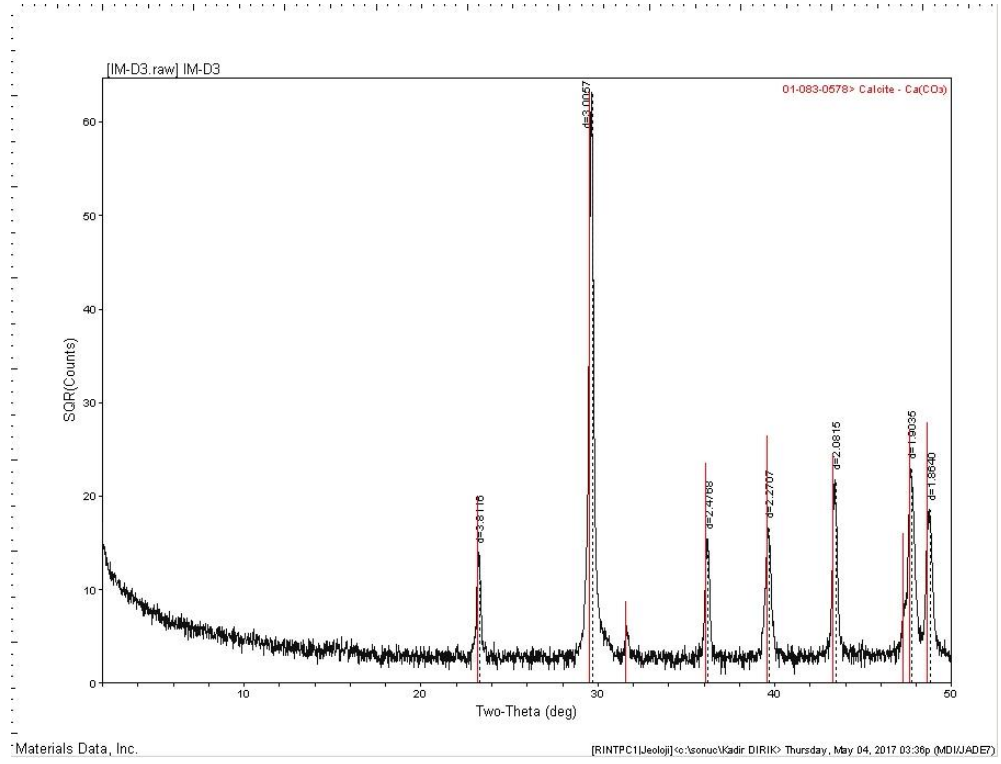
## İM-D1 kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



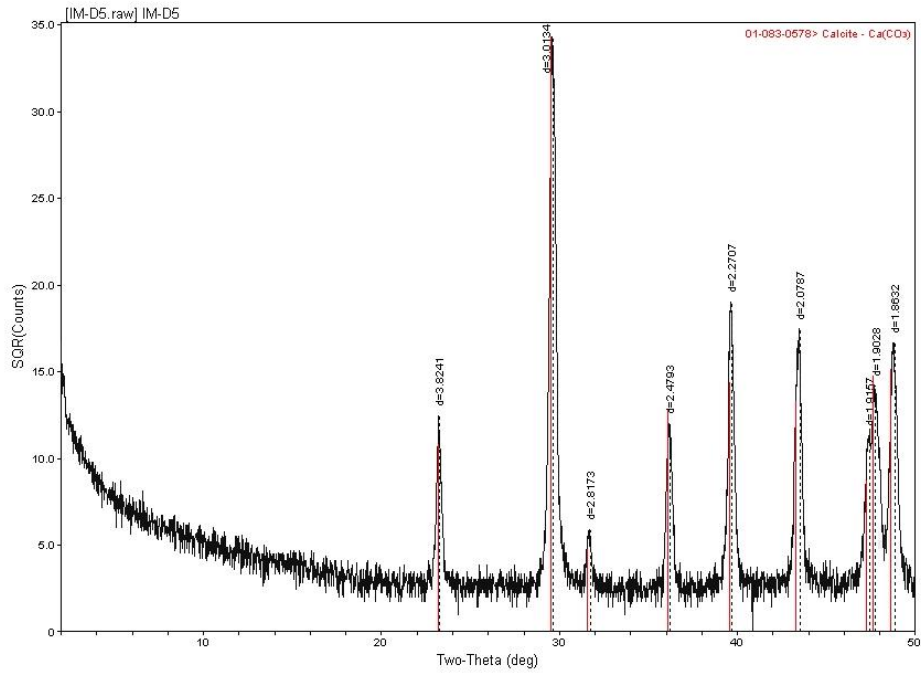
### İM-D2 kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



### İM-D3 kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



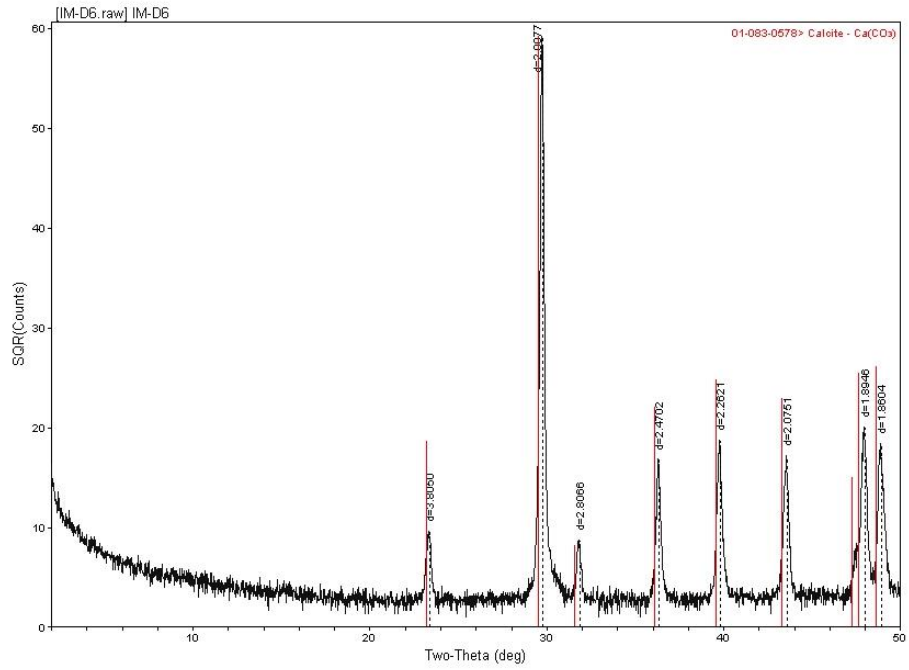
## İM-D5 kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



Materials Data, Inc.

[RINTPC1]Jeoljic:\sonuc\Kadir DIRIK> Thursday, May 04, 2017 03:38p (MDI/JADE7)

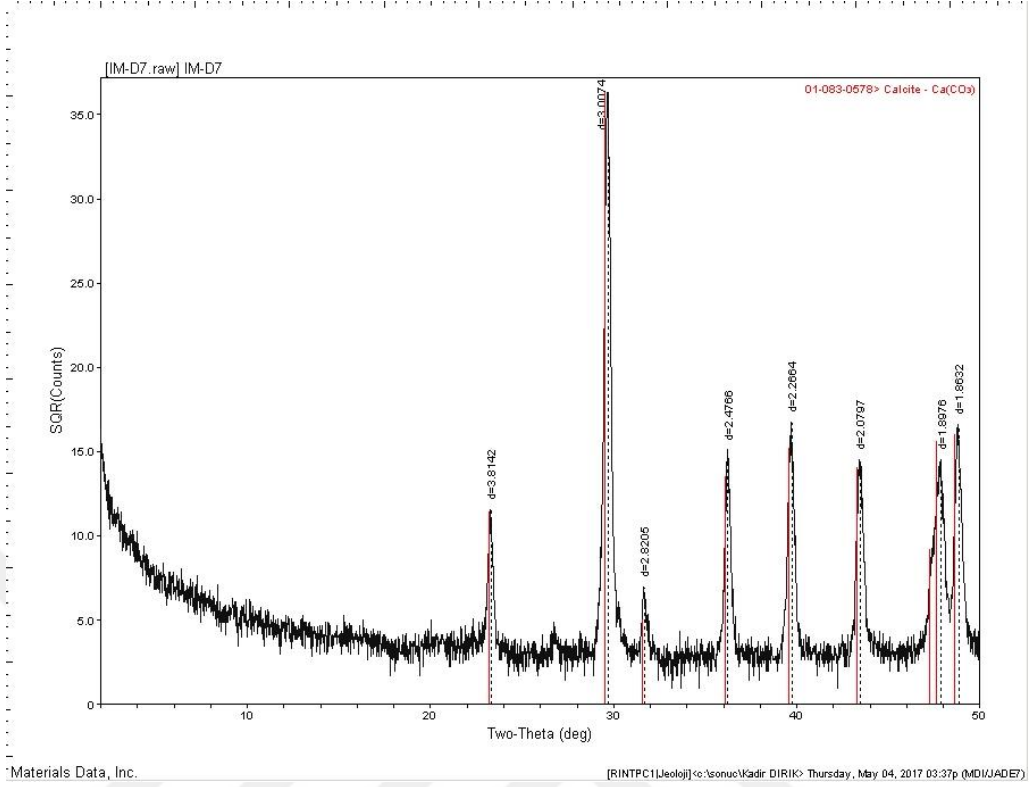
## İM-D6 kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



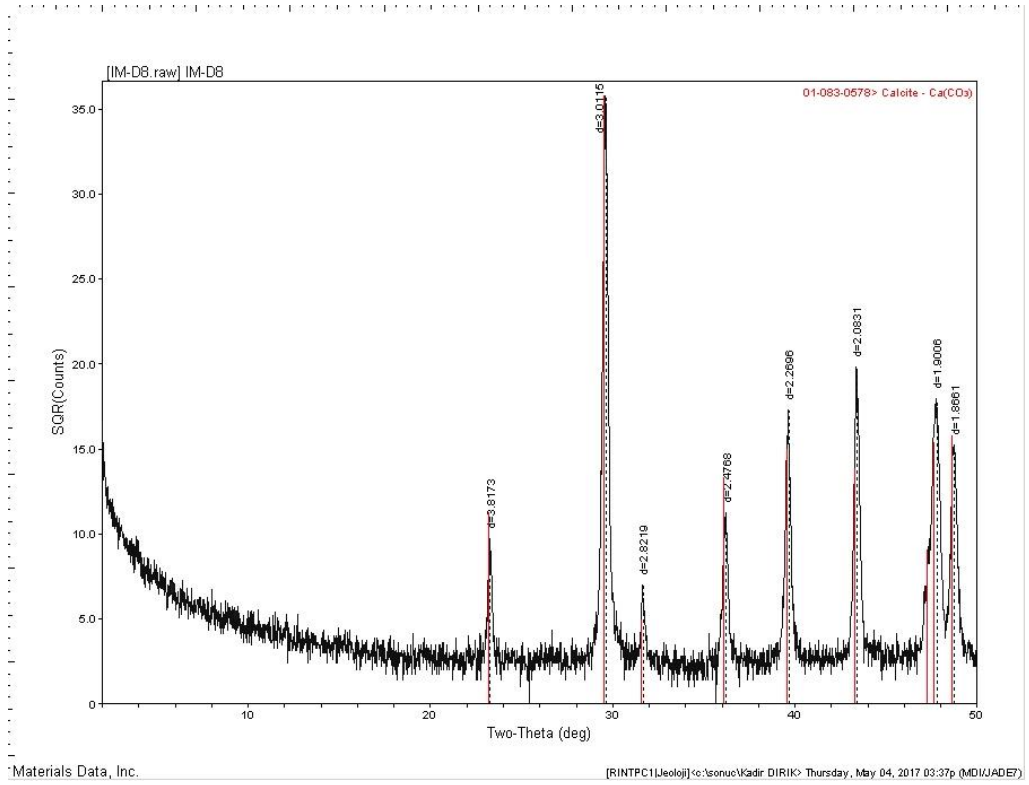
Materials Data, Inc.

[RINTPC1]Jeoljic:\sonuc\Kadir DIRIK> Thursday, May 04, 2017 03:38p (MDI/JADE7)

## İM-D7 kodlu örneğin X-ışını difraktogramı

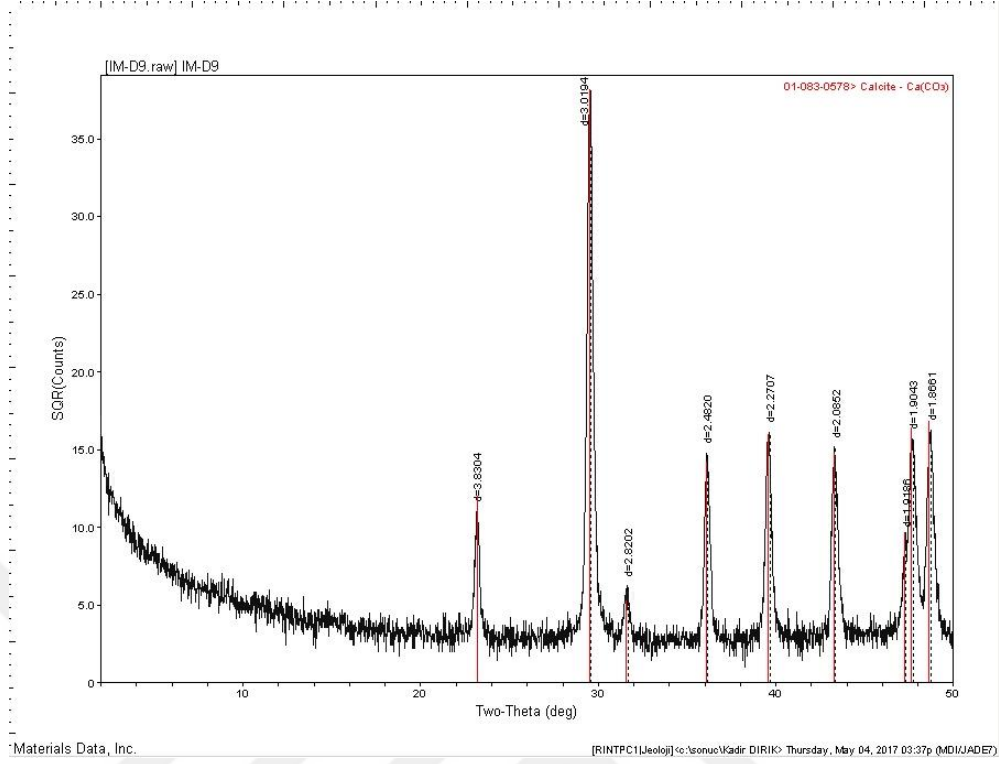


## İM-D8 kodlu örneğin X-ışını difraktogramı

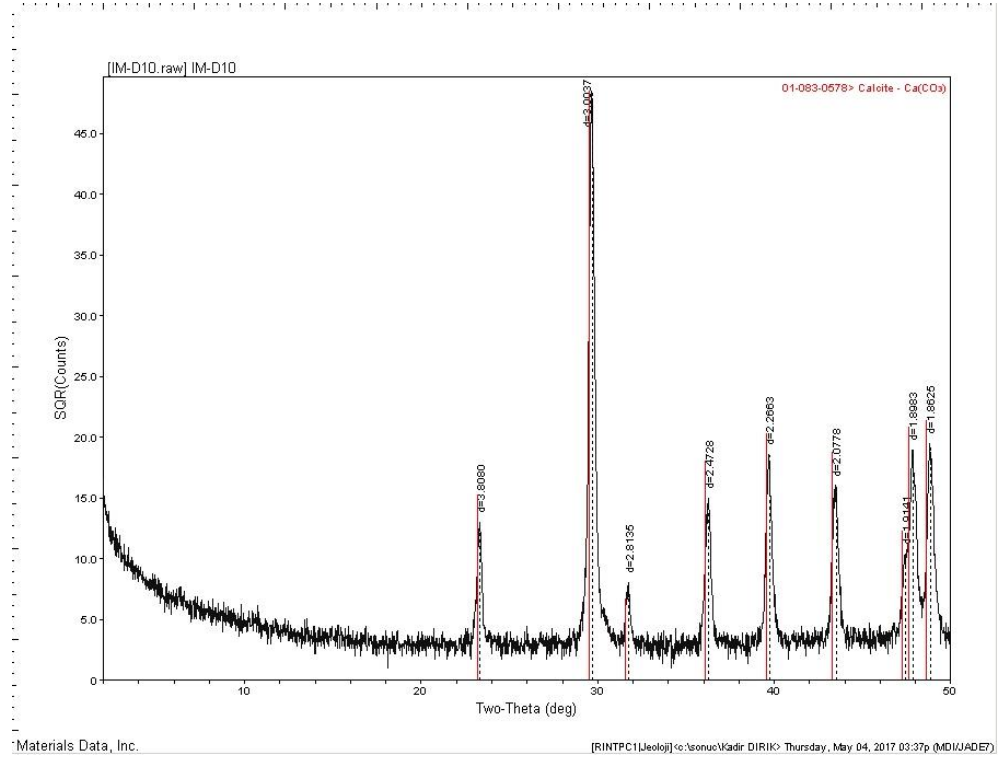




## İM-D9 kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



## İM-D10 kodlu örneğin X-ışını difraktogramı



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökhan YILDIRIM

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Tarihi : 16.01.1992

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu

Lise : Bahçelievler Deneme Lisesi (2010)

Lisans : Ankara Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2015)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2015-Mayıs 2018)

### Yayınlar/Ulusal Kongre Sunumları

1. Mutlu, H., Dirik, K., Uysal, T., Yüce, G., Bayarı, S., Özyurt, N., Temel, A., Seyitoğlu, G., Ünal-İmer, E., Aydoğdu, İ., **Yıldırım, G.**, Durutürk, B. 2017. Anadolu'daki aktif fay zonlarından elde edilen radyometrik, duraylı izotopik, jeokimyasal ve asal gaz sinyalleri, 70. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 312-313.s, Ankara

2. **Yıldırım, G.**, Mutlu, H., Dirik, K., Uysal, T., Yüce, G. 2018. Traverten çökellerinde sismik faaliyet izlerinin jeokronolojik, radyometrik-duraylı izotopik ve jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi: Akkaya travertenleri örneği (Eskipazar-Karabük), 71. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 385-386.s, Ankara

### Görev Aldığı Projeler

1. TÜBİTAK (114Y544 kod nolu proje-bursiyer) Türkiye'deki Ana Aktif Fay Sistemlerinin Geç Kuvaterner'deki Paleo-depremselliğinin Radyometrik Yaş Tayini ve İzotop Çalışmaları ile Araştırılması