



TC
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
ARKEOLOJİ ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ
KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA VE ONARIM ANABİLİM DALI
KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA VE ONARIM YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

LYKOS VADİSİ ANTİK TRAVERTEN OCAKLARININ
MİNERO-PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİ

Nergiz İMRE

Aralık 2018
DENİZLİ

**TC
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
ARKEOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA VE ONARIM ANABİLİM DALI
KÜLTÜR VARLIKLARINI KORUMA VE ONARIM YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**LYKOS VADİSİ ANTİK TRAVERTEN OCAKLARININ
MİNERO-PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİ**

Nergiz İMRE

**Danışman
Prof. Dr. Tamer KORALAY**

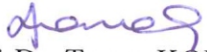
**Aralık 2018
DENİZLİ**

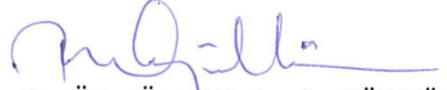
YÜKSEK LİSANS TEZİ ONAY FORMU

Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı, Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bilim Dalı öğrencisi Nergiz İMRE tarafından Prof. Dr. Tamer KORALAY yönetiminde hazırlanan “Lykos Vadisi Antik Traverten Ocaklarının Minero-Petrografik ve Jeokimyasal Özellikleri” başlıklı tez aşağıdaki jüri üyeleri tarafından 24.12.2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavında başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Dr. Öğr. Üyesi Evin CANER ÖZGEL

Jüri Başkanı


Prof. Dr. Tamer KORALAY
Jüri-Danışman


Dr. Öğr. Üyesi Bahattin GÜLLÜ
Jüri

Pamukkale Üniversitesi Arkeoloji Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 28.01.2019 tarih ve...03/01...sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Celal Şimşek

Enstitü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atıfta bulunulduğunu beyan ederim.

Nergiz İMRE

ÖNSÖZ

Günümüzde yapılan arkeolojik araştırmaların kültür tarihi açısından olabildiğince eksiksiz olarak değerlendirilebilmeleri için fen ve doğa bilimlerinin çeşitli dallarıyla birlikte yapılan çalışmalar oldukça önem kazanmaktadır. Arkeolojik kalıntılarda hammaddenin saptanması/kaynak analizi teknolojik düzey, ticaretin gelişimi, kültürel ilişkilerin aydınlatılması, doğal çevre ve iklim özelliklerinin belirlenebilmesi hakkında bilgi sağlarken; bilimsel veriler için genellikle taş, mermer, obsidyen, seramik malzeme ve metal örneklerin kimyasal analizi yapılmaktadır. “*Lykos Vadisi Antik Traverten Ocaklarının Minero-Petrografik ve Jeokimyasal İncelemeleri*” adı altında hazırlanan tez de Jeoloji Mühendisliği Bölümü ve Arkeoloji Bölümünün interdisipliner alanda hazırladığı oldukça önemli bir çalışmadır. Bu tez çalışmasıyla ilk çağlardan günümüze kadar önemli yerleşimlere ev sahipliği yapmakta olan Lykos vadisindeki belirli antik traverten ocaklardan (Hierapolis, Gölemezli, Develi-Akköy, Çukurbağ, Tripolis) alınan örneklerle kaynak analizi yapılarak arkeolojik çalışmaları devam eden/çalışma gerçekleştirilecek olan antik kentlerdeki (Laodikeia, Hierapolis, Tripolis, Attouda, Kolossai) yapıların yenileme/bütünleme çalışmalarına en uygun traverten malzemenin tespitini sağlamak için önemli bir bilimsel/sayısal altlık oluşturulmuştur.

Tez konusunu belirlemede ve tezin her aşamasında bana yol gösteren, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her türlü desteğini esirgemeyen değerli akademik danışmanım Prof. Dr. Tamer KORALAY’ a, bu tez çalışmasını destekleyen Pamukkale Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimine, tezimi “*Arkeoloji Enstitüsü*” adı altında vermemi sağlayan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Celal Şimşek’ e beni evinde misafir eden ve bazı antik ocakları gezerken bize eşlik eden değerli arkadaşım Arkeolog-Restoratör Eda ALTUNCU’ya bilgisayarım ile ilgili problem yaşadığımda bana yardımcı olan Bilgisayar Mühendisi arkadaşım Kadriye TÜRKYILMAZ’a ve en nihayetinde beni bugünlere kadar getiren hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme en derin duygularıyla teşekkür ederim.

ÖZET

LYKOS VADİSİ ANTİK TRAVERTEN OCAKLARININ MİNERO-PETROGRAFIK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

İMRE, Nergiz

Yüksek Lisans Tezi

Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Anabilim Dalı

Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Yüksek Lisans Programı

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Tamer KORALAY

Aralık 2018, 117 sayfa

Batı Anadolu'daki Lykos Vadisi, tarihi, coğrafi özellikleri, jeopolitik konumu ve elverişli iklim şartlarından dolayı erken dönemlerden itibaren birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış arkeolojik alanlardan biridir. Lykos vadisi antik dönem yerleşimlerinde bantlı traverten türü yapıtaşlarının yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarından çıkarılan ve "Alabastro fiorito", "Alabastro listato" ve "Alabastro rossa" olarak adlandırılan bantlı travertenlerde beyaz, sarı, kahverengi, kırmızı ve kırmızımsı bordo renk ardalanması karakteristiktir. Mineralojik olarak karbonat mineralleri (iğnemsî, sütunsu şekilli kalsit > aragonit) ve daha az miktarda Ca-Fe-oksit, mikrosparit, mikrit'ten oluşan bantlı traverten örnekleri kolloform (balon yapısı), ışınal dentritik ve mikritik laminallı doku göstermektedir. Bu sonuçlar XRD (X-Ray Difraktometre) ve Konfokal Raman Spektrometre çalışmalarıyla da desteklenmiştir. Jeokimyasal olarak termojenik kökenli travertenlerle benzerlik gösteren Lykos vadisi traverten örnekleri Kıta Kabuğuna (CC) oranla 10-1000 kat, Kuzey Amerika Şeyl Bileşimine (NASC) göre 5 ile 100000 kat ve Ortalama Fanerozoik Kireçtaşlarına (APL) oranla 10 ile 10000 kat tüketilme göstermektedir. CC, NASC ve APL çoklu element değişim diyagramlarında Al, Ca, Fe, Ti, Cr, Ni, Ba, Rb, Sr, Zn, Pb, Ce, La ve Nd elementlerinde görülen anomaliler oldukça belirgindir. Örnekler yüksek Sr içeriklerine sahip olup, Çukurbağ örneklerinde 618.9-6920 ppm, Hierapolis örneklerinde 616-8585 ppm, Develi-Akköy örneklerinde 1669-8375 ppm, Gölemezli örneklerinde 592-1269 ppm ve Tripolis örneklerinde 1116-9509 ppm arasında değişim göstermektedir. $\delta^{13}\text{C}$ (‰) ve $\delta^{18}\text{O}$ (‰) izotop içerikleri Çukurbağ'da (5.41-6.68‰), ((-16.05)-(-12.09)‰); Hierapolis'de (5.09-5.63‰), ((-14.85)-(-9.18)‰); Develi-Akköy'de (4.69-5.16‰), ((-14.98)-(-11.62)‰); Gölemezli'de (4.21-4.51‰), ((-15.29)-(-13.76)‰) ve Tripolis'de (2.99-3.99‰), ((-15.93)-(-13.01)‰) olarak belirlenmiştir. Örneklerin jeolojik oluşum yaşları Çukurbağ'da 24.11 ± 0.13 - 91.1 ± 1.4 ky; Hierapolis'de 55.10 ± 0.22 - 158.3 ± 4.8 ky; Develi-Akköy'de 55.59 ± 0.23 - 74.92 ± 0.32 ky; Gölemezli'de 303.0 ± 20 - 408.0 ± 15 ky ve Tripolis'de 2.09 ± 59 - 351.01 ± 8.12 ky arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bantlı Traverten, Lykos Vadisi, Jeokimya, C-O izotopları, U-Th yaşlandır

ABSTRACT

MINERO-PETROGRAPHIC AND GEOCHEMICAL FEATURES OF BANDED TRAVERTINES IN LYCUS VALLEY

İMRE, Nergiz

Master Thesis

Conservation and Restoration of Cultural Heritage Department

Conservation and Restoration of Cultural Heritage Master Programme

Adviser of Thesis: Prof. Dr. Tamer KORALAY

November 2018, 117 Pages

The Lycus Valley in Western Anatolia is one of the archaeological sites that have hosted many civilizations since the early periods due to its historical, geographical features, geopolitical location and favorable climatic conditions. The banded travertine type building blocks had been commonly used in the Lycus Valley antique settlements. White, yellow, brown, red and reddish burgundy colored bands ranging in thickness from a few mm up to cm are specific characteristic of banded travertines, extracted from Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy, Gölemezli and Tripolis ancient quarries and called “Alabastro fiorito”, “Alabastro listato” and “Alabastro rossa”. The banded travertine samples in Lycus Valley have similar mineral compositions and mainly consist of carbonate minerals (needle or column-shaped calcite > minor amounts of dolomite, aragonite) and Ca-Fe-oxide, microsparite, micrite. They show colloform (balloon structure), radial dendritic and micritic laminated texture. These results are also supported by XRD and CRS studies. Lycus Valley travertines which are geochemically similar to thermogenic banded travertines, indicate depletions between 10-1000, 5-100000 and 10-10000 compared to the Continental Crust (CC), North American Shale Composition (NASC) and Average Phanerozoic Limestones (APL), respectively. In CC, NASC and APL normalized diagrams, banded travertine samples show clear anomalies in Al, Ca, Fe, Ti, Cr, Ni, Ba, Rb, Sr, Zn, Pb, Ce, La and Nd elements respective to other elements. The remarkably high Sr contents of the banded travertines are between 618.9-6920 ppm for Çukurbağ, 616-8585 ppm for Hierapolis, 1669-8375 ppm for Develi-Akköy, 592-1269 ppm for Gölemezli and 1116-9509 ppm for Tripolis samples. $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ values of Lycus valley travertines range between (5.41-6.68‰), ((-16.05)-(-12.09)‰) in Çukurbağ; (5.09-5.63‰), ((-14.85)-(-9.18)‰) in Hierapolis; (4.69-5.16‰), ((-14.98)-(-11.62)‰) in Develi-Akköy; (4.21-4.51‰), ((-15.29)-(-13.76)‰) in Gölemezli and (2.99-3.99‰), ((-15.93)-(-13.01)‰) in Tripolis respectively. The geologic ages of banded travertines from the Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy, Gölemezli and Tripolis quarries varies between 24.11 ± 0.13 - 91.1 ± 1.4 ka, 55.10 ± 0.22 - 158.3 ± 4.8 ka, 55.59 ± 0.23 - 74.92 ± 0.32 ka, 303.0 ± 20 - 408.0 ± 15 ka and 2.09 ± 59 - 351.01 ± 8.12 ka, respectively.

Key Words: Banded Travertine, Lycus Valley, Geochemistry, C and O isotopes, U-Th series radiometric dating

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI.....	i
BİLİMSEL ETİK SAYFASI.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
GİRİŞ.....	1
Araştırmanın Amacı.....	1
Araştırmanın Kapsamı.....	1
Literatür Araştırması.....	2
Saha Uygulamaları.....	2
Mineralojik- Petrografik Çalışmaları.....	2
Tüm Kayaç Kimyası (XRF) Çalışmaları.....	3
C- O Duraylı İzotop Jeokimyası Çalışmaları.....	3
U-Th Yaşlandırma Çalışmaları.....	4

BİRİNCİ BÖLÜM BÖLGESEL JEOLojİ

1.1	Lykos Vadisinin Coğrafik Özellikleri ve Antik Ocakların Konumu...	5
1.2	Lykos Vadisinin Eski Yerleşimler Açısından Önemi.....	7
1.3	Lykos Vadisinin Jeolojik Özellikleri.....	9
1.4	Lykos Vadisinde Önceki Yıllarda Yapılan Araştırmalar.....	12

İKİNCİ BÖLÜM

LYKOS VADİSİ ANTİK OCAKLARININ JEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

2.1	Oniks, Alabaster ve Bantlı Traverten Terimleri	21
2.2	Lykos Vadisi Antik Bantlı Traverten Ocakları.....	23
2.2.1	Çukurbağ Antik Ocağı.....	23
2.2.2	Hierapolis Antik Ocakları.....	26
2.2.3	Develi-Akköy Antik Ocakları.....	29
2.2.4	Gölemezli Antik Ocağı.....	33
2.2.5	Tripolis Antik Ocakları.....	37

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MİNERO-PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL İNCELEMELERİ

3.1	Bantlı Travertenlerin Minero-Petrografik İncelemeleri.....	42
3.1.1	Optik Mikroskop İncelemeleri	42
3.1.2	X-Işınları Difraktometre (XRD) İncelemeleri.....	53
3.1.3	Konfokal Raman Spektrometre (Confocal Raman Spectrometry-CRS) İncelemeleri.....	56
3.2	Bantlı Travertenlerin Jeokimyasal İncelemeleri.....	63
3.2.1	Ana Oksit Element İncelemeleri.....	63
3.2.2	İz Element İncelemeleri.....	71
3.2.3	Analiz Sonuçlarının Ayrışım Fonksiyonu Analizi ile Değerlendirilmesi.....	82

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
C-O DURAYLI İZOTOP İNCELEMELERİ VE
U-Th SERİSİ YAŞLANDIRMA ÇALIŞMALARI

4.1. Lykos Vadisi Bantlı Travertenlerinin C-O İzotop Bileşimleri.....	85
4.1.1 Karbon İzotopu.....	87
4.1.2 Oksijen İzotopu.....	88
4.2. Lykos Vadisi Bantlı Traverten Örneklerinin U-Th Serisi İzotop Bileşimleri ve Jeolojik Oluşum Yaşları.....	92
SONUÇLAR.....	98
KISALTMALAR.....	103
KAYNAKÇA.....	104
TABLolar DİZİNİ.....	112
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	113
ÖZGEÇMİŞ.....	117

GİRİŞ

Geçmişten günümüze miras kalan ve gelecek nesillere aktarılacak olan kültürel miras fiziksel, biyolojik ve insan faktörü gibi birçok sebepten bozulmaya uğramaktadır. İnsanlık tarihinin gelişimini somut bir şekilde ortaya koyan tarihi eserleri bütünleme ve yenileme çalışmalarının hangi malzeme ile yapılacağının belirlenmesi gerekir.

Araştırmanın Amacı

Denizli çevresinde antik dönemde önemli yerleşimlere ev sahipliği yapan Lykos (Lycus) vadisinde birçok antik taş ocağı (çoğunlukla traverten/bantlı traverten ile mermer) bulunmaktadır. Sunulan tez çalışmasının amacı antik dönem traverten/bantlı traverten ocaklarının makro ve mikro ölçekte jeolojik, minero-petrografik, jeokimyasal özellikleri ile C-O duraylı izotop bileşimleri ve U-Th serisi izotop yaşlandırma yöntemi ile jeolojik oluşum yaşlarını belirlemektir. Bununla birlikte elde edilen veriler ışığında ocaklar arası karşılaştırmalar yaparak benzerlik ve/veya farklılıkları ortaya çıkarmaktır. Bu çalışma sonucunda Lykos vadisi antik traverten/bantlı traverten ocaklarının özelliklerini içeren oldukça değerli bir veri seti oluşturulacaktır. Elde edilen veri seti bölgedeki antik yerleşimlerde (Hierapolis, Laodikya ve Tripolis) devam eden yenileme/bütünleme çalışmalarında doğru kayaç malzemesi seçimi için önemli bir bilimsel/sayısal altlık oluşturacaktır.

Araştırmanın Kapsamı

Tez çalışmasının amacında belirtilen çalışmaları gerçekleştirebilmek için uygulanacak yöntemleri şu başlıklar altında toplayabiliriz:

- Literatür araştırması
- Saha uygulamaları
- Mineralojik-petrografik incelemeler
- Tüm kayaç kimyası çalışmaları
- C-O duraylı izotop jeokimyası çalışmaları
- U-Th yaşlandırma
- Verilerin değerlendirilmesi

Literatür araştırması

Tez çalışmasının ilk aşaması olarak Lykos vadisi ile çevresindeki antik dönem yerleşimleri ile bölgenin jeolojik özellikleri üzerine yapılmış olan önceki çalışmaların derlenmesi ve araştırması yapılmıştır. Bu kapsamda tez konusu ile ilişkili yayınlara ait kısa bilgiler verilmiştir.

Saha uygulamaları

Tez çalışmasının önemli bir kısmını oluşturan saha uygulamaları kapsamında Lykos vadisinde belirlenen antik dönem traverten/bantlı traverten ocaklarından (Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy, Gölemezli ve Tripolis) her ocağı karakterize eden ve yeteri kadar sayıda kayaç örnekleri alınmıştır. Örnek alımı sırasında “Garmin Monterra” marka küresel konumlama cihazı (Global Position System-GPS) kullanılarak örneğin konumu ilgili topografik harita üzerine işaretlenmiştir. Bununla birlikte antik ocaklara ait bazı büyüklük ölçümleri (yükseklik, genişlik, derinlik) lazer ölçüm cihazı kullanılarak antik ocakların boyutları ortaya çıkarılmıştır.

Mineralojik-Petrografik çalışmaları

Optik Mikroskop Çalışmaları: Kayaç örneklerinin mineral bileşimleri ve dokusal özelliklerini belirlemek amacıyla Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarı’nda ince kesitleri hazırlanmış, Optik Mineraloji Laboratuvarı’nda, “Carl-Zeiss Primotech” marka alttan ve üstten aydınlatmalı polarize mikroskop kullanılarak mineral bileşimleri, kristal boyu ölçümleri ve dokusal özellikleri belirlenmiştir.

XRD İncelemeleri: Bantlı Traverten örneklerinde optik mikroskop çalışmaları sırasında ayrımı yapılamayan karbonat mineralleri (kalsit\dolomit\aragonit vb.) ile tanımlanamayan daha az orandaki bileşenleri belirleyebilmek için X-Işınları Difraktometre (XRD) analizleri yapılmıştır. XRD analizler için, kayaç örnekleri halkalı değirmende 150-200 mesh boyutuna kadar öğütülerek toz haline getirilmiştir. Toz halindeki kaya örneklerinin XRD analizleri Ankara Üniversitesi Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) Laboratuvarında “Inel Equinox 1000” marka kobalt katotlu tüplü cihazla yapılmıştır.

Raman Konfokal Spektrometre İncelemeleri: Mikroskop ve XRD çalışmaları ile ayrımı yapılamayan karbonat minerallerinin türlerinin belirlenmesi amacıyla farklı renk ve doku özelliği gösteren bantlı traverten ince kesitleri üzerinde Konfokal Raman Spektrometre (Confocal Raman Spectrometer - CRS) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İncelenecek mineral üzerinde herhangi bir bozucu etkinin olmaması ve örnek hazırlama gerektirmemesi nedeniyle daha çok tanımlayıcı analiz yapan CRS çalışmaları Ankara Üniversitesi YEBİM Laboratuvarında, yüksek çözünürlüklü, analitik “Thermo - DXR Raman spectrometer” cihazı kullanılarak yapılmıştır.

Tüm kayaç kimyası (XRF) çalışmaları

Antik traverten/bantlı traverten ocaklarından alınan kayaç örneklerinin, jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla; ana ve iz element analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları çeşitli diyagramlar kullanılarak karşılaştırılmış, ocaklar arasındaki benzerlik ve/veya farklılıklar ortaya çıkarılmıştır. Bantlı traverten örnekleri halkalı değirmende 150-200 mesh boyutuna kadar öğütülmüştür. Daha sonra her bir kayaç tozundan 3.9 g alınarak, 0.9 g bağlayıcı wax ile homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Karışım halindeki örnek tozu 15-20 N/m basınç altında, 32 mm çapında bir tablet şeklinde sıkıştırılmış ve analize hazır hale getirilmiştir. XRF analizleri Ankara Üniversitesi YEBİM Laboratuvarında “Spectro XLAB 2000 PEDXRF” (Polarized Energy Dispersive XRF) cihazı kullanılarak yapılmıştır.

C-O duraylı izotop jeokimyası çalışmaları

Antik dönem yapılarında kullanılan karbonat bileşimli kayaçların olası kaynak alanlarının belirlenmesi ve kökenlerine yönelik yaklaşımlar yapabilmek için C-O duraylı izotop analizleri yaygın ve etkili bir şekilde kullanılan metotlardan biridir. Lykos vadisi antik dönem bantlı traverten örneklerinin C ve O izotop oranları İngiltere’deki Iso-Analytical Limited laboratuvarında Sürekli Akış-İzotop Oranı Kütle Spektroskopisi (CF-IRMS) ile ölçülmüştür. Analiz sonuçları IA-R0 22 (Iso-Analitik çalışma standardı kalsiyum karbonat, $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}} = \text{‰} - 28.63$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}} = \text{‰} - 22.69$), NBS-18 (karbonatit, $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}} = \text{‰} - 5.01$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}} = \text{‰} - 23.2$) ve NBS-19 (kireçtaşı, $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}} = \text{‰} + 1.95$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}} = \text{‰} - 2.2$) standartları kullanılarak kalibre edilmiştir.

U-Th yaşlandırma çalışmaları

U /Th yaşlandırma çalışmaları için bantlı traverten örneklerinin beyaz ve kristalli yapı gösteren kısımlarından küçük parçalar halinde örnekleme yapılmıştır. Alınan örnekler tungsten-karbid bileşimli halkalı değirmende öğütülerek toz haline getirilmiştir. Toz halindeki örnekler ultrasonik banyodan geçirilerek kurutulmuş, plastik tüpler içerisinde analiz edilecek laboratuvara gönderilmiştir. Örneklerin U-Th yaşlandırma çalışmaları National Taiwan University, Department of Geosciences, High-Precision Mass Spectrometry and Environment Change (HISPEC) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Her örneğin U/Th kimyası için ortalama 50-100 mg örnek tozu kullanılmıştır¹. U/Th izotopik bileşimleri belirlemek ve cihaz kaynaklı hataları düzeltmek amacıyla ^{229}Th - ^{233}U - ^{236}U içeren izotop seyreltme methodundan yararlanılmıştır². ^{238}U için $1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ ve ^{234}U için $2.8221 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ ve ^{230}Th için $9.1705 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ formülü kullanılarak ^{230}Th verileri hesaplanmıştır³.

Tez çalışması için uygulanan analiz yöntemleri, analiz edilen bantlı traverten örneklerinin sayısı ve antik ocaklara göre dağılımı Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1 Antik ocaklardan alınan örnek sayıları ve uygulanan analiz yöntemleri.

Analiz Yöntemleri	ANTİK BANTLI TRAVERTEN OCAKLARI				
	Çukurbağ (n = 6)	Hierapolis (n = 6)	Develi-Akköy (n = 7)	Gölemezli (n = 10)	Tripolis (n = 9)
Optik Mikroskop	5	5	6	9	6
XRD	3	3	4	4	4
CRS	3	3	3	3	4
Jeokimya	6	6	7	10	9
C-O İzotop	5	5	5	6	5
U-Th Yaşlandırma	6	6	7	10	5

n : örnek sayısı

¹ Shen et al. 2008, 4201-4223.

² Shen et al. 2002, 165-178; Shen et al. 2003, 1075-1079; Shen et al. 2012, 71-86.

³ Jaffey et al. 1971, 1889-1906.

BİRİNCİ BÖLÜM

BÖLGESEL JEOLojİ

1.1 Lykos Vadisinin Coğrafi Özellikleri ve Antik Ocakların Konumu

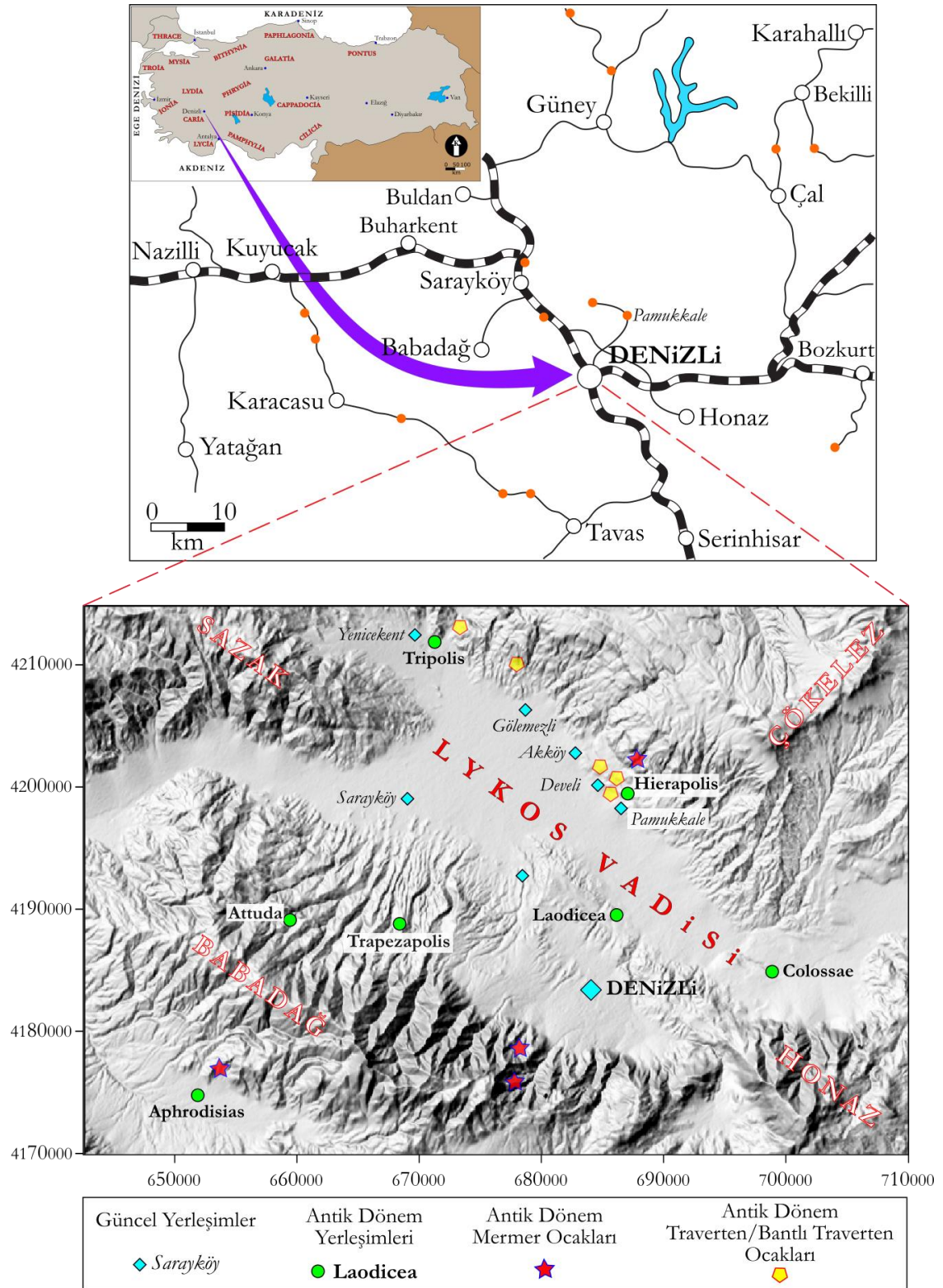
Lykos vadisi konum olarak İç Ege Bölgesi'nde yer alır. Güneyde Babadağ (Salbakos), kuzeyde Çökelez Dağı, güneydoğuda Honaz (Kadmos) Dağı, batıda ise Buldan Sazak Dağı ile çevrelenmiştir⁴ (Şekil 1.1). Lykos vadisinde Laodikeia (Laodicea ad Lycum / Diaspolis / Rhoas-Eskihisar), Colossai (Colassae/Chonai-Honaz), Hierapolis (Pamukkale), Attouda (Hisarköy/Sarayköy), Tripolis (Tripolis ad Maeandrum/Antoniopolis-Yenicekent) Trapezapolis (Bekirler Köyü/ Babadağ) Karoura (Tekkeköy/Sarayköy) ve Thiounta (Gözler Kasabası) antik yerleşimleri bulunmaktadır^{4, 5}. Lykos vadisi içerisinde geçen Çürüksu nehri Honaz (Kadmos) dağı eteklerinden doğar, Sarayköy yakınında Büyük Menderes'e katılır. Antik dönemde İç Ege bölgesinde üretilen ürünlerin Ege denizine, oradan da antik dünyaya ulaştırılmasında Lykos nehri önemli bir yere sahiptir. Lykos vadisinde belirlenen antik dönem bantlı traverten ocakları başlıca 5 bölge altında incelenmiştir. Antik dönem ocakları sırasıyla Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy ocakları 1/25000 ölçekli Denizli M22-a1 paftasında, Gölemezli, Tripolis ocakları Uşak L21-c3 paftasında yer almaktadır.

İç Anadolu düzlüklerini Ege bölgesi ile birleştiren Lykos vadisi antik çağdaki kral yolunun bir koludur. Lykos vadisi coğrafi konumu itibariyle birçok bölge arasında geçit teşkil ettiğinden iklimi değişiklik göstermektedir. Ortalama sıcaklık değerleri Ege Bölgesi ikliminden biraz düşüktür. Yaz ve kış aylarındaki sıcaklık değişimleri sırasıyla 44.4 ve (-11.4) °C arasındadır. 1970-2010 yılları arasındaki ortalama toplam yağış miktarı 551.1 mm olup, yağışların % 70'lik kısmı Ekim-Mart aylarında gerçekleşmiştir. Lykos vadisi kuzeybatı yönünde esen rüzgârların etkisi altındadır. Lykos vadisi suyun bol, iklim şartlarının elverişli olması nedeniyle tarım ve hayvancılık için uygun bir bölgedir. Bununla birlikte termal su kaynaklarının varlığı vadinin Roma döneminde devlet yöneticileri ve zenginlerin tedavi amacıyla tercih ettikleri bir şifa merkezi olmasına neden

⁴ Şimşek 2007.

⁵ Şimşek 2013.

olmuştur. Coğrafi konumundan dolayı bölgeler arasında geçiş noktasında yer alan Lykos vadisinde ticaret oldukça gelişmiştir.



Şekil 1.1 İnceleme alanlarını gösteren yer buldur haritası.

1.2 Lykos Vadisinin Eski Yerleşimler Açısından Önemi

Antik dönem arkeoloji yazıtlarında Frigya (Phrygia)⁶ sınırlarına dâhil edilen Lykos Vadisi, günümüzde Batı Anadolu’da doğu-batı uzanımlı normal fayların şekillendirdiği ve aktif olarak genişleme tektoniğinin etkisinde kalan Büyük Menderes Grabeni içerisindeki coğrafik bölgeyi kapsamaktadır. Lykos Vadisi içerisinde Laodikya, Hierapolis, Tripolis, Colossae gibi önemli yerleşim merkezleri bulunmaktadır. Aşağıda bu yerleşimler hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Laodikeia (Laodikeia ad Lycum): Laodikeia adına tarihte ilk kez III. Seleukos’un M.Ö. 323 yılında öldürülmesinden sonra yaşanan taht kavgalarının anlatımında rastlanılmıştır. Kent adını II. Anthiokhos’un eşi kraliçe Laodike’den alır. Byzantionlu Stephanus’un anlattığı bir diğer hikâyeye göre ise; I. Antiokhos ya da III. Antiokhos’un rüyasında gördüğü üç kadın (annesi, kızkardeşi, eşi) kendileri için kraldan Karia’da kent kurmasını istemişlerdir. Kral da eşi için Nysa, annesi için Antiokheia, kızkardeşi için Laodikeia kentini kurmuştur. Plinius Laodikeia kentinin önce Diospolis ve sonra Rhoas olarak adlandırılan daha eski bir köyün Seleukos kralı II. Antiokhos Teos (261-247) tarafından kurulduğundan söz eder. Strabon Hellenistik dönemde Laodikeia adında pek çok kent kurulduğu için bu yüzden kent yanında bulunan Lykos nehri ile anılarak (Laodikeia ad Lycum) aynı isimli diğer kentlerden ayrıldığından bahseder⁷.

Hierapolis: Telephos’un eşi Hiera’nın kenti ya da arkeoloji literatüründe “Kutsal Kent” anlamına gelen Hierapolis, Lykos vadisinin ortasında, Denizli ilinin 18 km kuzeyinde bulunmaktadır. M.Ö. 188’de Apemia barışından sonra kurulmuştur. Hierapolis, Roma İmparatoru Neron dönemindeki (M.S. 60) büyük depreme kadar, Hellenistik kentleşme ilkelerine bağlı kalarak özgün dokusunu sürdürmüştür. Deprem kuşağı üzerinde bulunan kent, Neron dönemi depreminden büyük zarar görmüş ve tamamen yenilenmiştir. Üst üste yaşadığı bu depremlerden sonra kent, tüm Hellenistik niteliğini kaybetmiş, tipik bir Roma kenti görünümünü almıştır. Hierapolis, Roma döneminden sonra Bizans döneminde de çok önemli bir merkez olmuştur⁸. Ünlü tarihçi Strabon kentte mevcut su kaynaklarından çıkan suların çabucak donarak taşlaştığından

⁶ Frigya (Phrygia) coğrafi bölgesi, bugünkü Eskişehir, Ankara, Afyon ilerini; Konya, Isparta, Burdur illerinin kuzeyini, Kütahya ilinin doğusunu kapsamaktadır.

⁷ Strabon, XII,8,6.

⁸ <http://www.pamukkale.gov.tr/tr/antik-kentler/pamukkale-hierapolis> (20.11.2018).

ve insanların bu suları kanallar boyunca akıtarak taş doğal çitler oluşturdıklarından bahsetmektedir. Strabon'a göre kentte ilkçağda ölümler dünyasına giriş yerlerinden biri olarak kabul edilen ve Plutonium adı verilen bir yapı bulunmaktadır. Eski kaynaklara göre metal ve taş işlemeciliği, dokuma kumaşları ile ünlü olan kent, Büyük Konstantin döneminde Frigya bölgesinin başkentliğini yapmış, Bizans döneminde Piskoposluk merkezi olmuştur. Bu özellikleri ile alan UNESCO Dünya Miras Listesi'nde yer almaktadır⁹.

Colossae: Lykos vadisinin güneybatı ucunda, Honaz (Cadmos) dağının kuzeyinde bulunan antik kent, Aksu çayının kenarına kurulmuştur. Antik çağdan beri kullanılan güney şark yolu üzerinde yer almaktadır. Ksenophon'a göre Frigya'nın 6 büyük kentinden biridir¹⁰. Strabon'a göre kentin adını koyunlarının rengi vermektedir⁸. Ksenophon, Kyros'un uzun yürüyüşünden bahsederken, kalabalık, büyük ve zengin olan Colossae'ye ulaştığını belirtir (Ksenophon, Anabasis). Herodotos, Pers Kralı Kserkses'in M.Ö. 480'deki büyük seferinde ordularıyla Colossae'de konakladığını bildirmektedir. Strabon ve Plinius'un verdiği bilgilere bakıldığında, kentin M.Ö. I. yy'da eski önemini kaybettiği ancak M.S. II. yy'da tekrar büyüyerek bölgenin önemli kentlerinden biri haline geldiği görülür. M.Ö. III. yy'dan itibaren Hierapolis ve Laodikeia'nın kurulması ile önemini yitiren şehir, M.S. I. yy'da Neron döneminde meydana gelen depremle harap olmuştur¹¹.

Tripolis (Tripolis ad Maeandrum): Tripolis, Lykos vadisinin kuzeydoğu ucunda, Denizli-Buldan ilçesine bağlı Yenicekent kasabasının güney kesiminde bulunmaktadır. Lidya (Lydia)¹² sınırları içerisinde Apollonia ismiyle kurulan antik kent, bir dönem Antoniopolis olarak adlandırılmış, M.Ö. 1. yy'da Tripolis ismini almıştır. Seleukos'lar ve Bergama Krallığı arasında M.Ö. 190 yılında yapılan Magnesia Savaşı'nı Roma'nın desteğiyle kazanan Bergama Krallığı M.Ö. 188'de Apameai (Dinar) barışı ile Tripolis kentini ele geçirmiştir. M.Ö. 133 yılında III. Attalos'un ölümü ve vasiyeti ile Tripolis Roma İmparatorluğu'na bağlanmıştır.

⁹ <http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR,44432/pamukkale-hierapolis-denizli.html> (20.11.2018).

¹⁰ <http://www.pamukkale.gov.tr/tr/Antik-Kentler/Colossae-Antik-Kenti> (20.11.2018).

¹¹ <http://www.pamukkale.gov.tr/tr/Antik-Kentler/Tripolis-Antik-Kenti> (20.11.2018).

¹² Lidya (Lydia) coğrafi bölgesi, Gediz Nehri (antik Yunancadaki adı Hermos) ve Küçük Menderes (Kaistos) Irmağı vadilerini kapsayan ve günümüzde yaklaşık olarak Manisa ve Uşak illerine denk gelen bölgedir.

Tripolis antik kenti M.Ö. II. yy sonları ile M.S. I. ve IV. yy ortalarında birçok deprem ve savaşlara sahne olduğundan fazlaca tahrip olmuştur. Tripolis Lidya kentleri arasında yer almasına karşın Frigya ve Karya (Caria)¹³ bölgelerine ulaşımı sağlayan önemli sınır, ticaret ve tarım merkezlerinden biridir¹⁴.

1.3 Lykos Vadisinin Jeolojik Özellikleri

Jeolojik araştırmalarda “Denizli Grabeni” olarak tanımlanan Lykos vadisi kuzeybatı (KB) - güneydoğu (GD) uzanımlı, 7-28 km arasında değişen genişliğe, 62 km uzunluğa sahip bir çöküntü alanıdır¹⁵. Lykos vadisi ve çevresinde görülen jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru;

- Paleozoyik yaşlı Metamorfik kayalar (Menderes Masifi),
- Mesozoyik yaşlı Likya Naplarına ait kayalar toplulukları (Honaz Ofiyoliti),
- Erken-Orta Miyosen yaşlı Kızılburun Formasyonu,
- Orta Miyosen yaşlı Sazak Formasyonu,
- Orta-Geç Miyosen yaşlı Kolonkaya Formasyonu,
- Geç Miyosen - Pliyosen yaşlı Ulubey Formasyonu,
- Kuvaterner yaşlı Asartepe formasyonu, Traverten çökelleri ve Alüvyon birimlerinden oluşmaktadır¹⁶ (Şekil 1.2).

Lykos vadisi ve çevresinde görülen temel kayalar Menderes Masifi ve Likya naplarına ait kaya toplulukları oluşturmaktadır. Bu kaya toplulukları vadiyi sınırlayan yüksek rakımlı alanlarda yaygın olarak yüzeylenirler. Batı Anadolu’da geniş alanlar kaplayan Menderes Masifi içerisinde başlıca iki farklı kayalar topluluğu ayırt edilmektedir. Bunlar sırasıyla yüksek derecede metamorfizmaya uğramış gözlü gnays, migmatit, amfibolit ve eklojit bileşimli kayalardan oluşan metamorfitler ile ince-orta tabakalı kuvarsit, mikaşit, fillat ve mermerlerden oluşan düşük dereceli metamorfitlerdir. Düşük

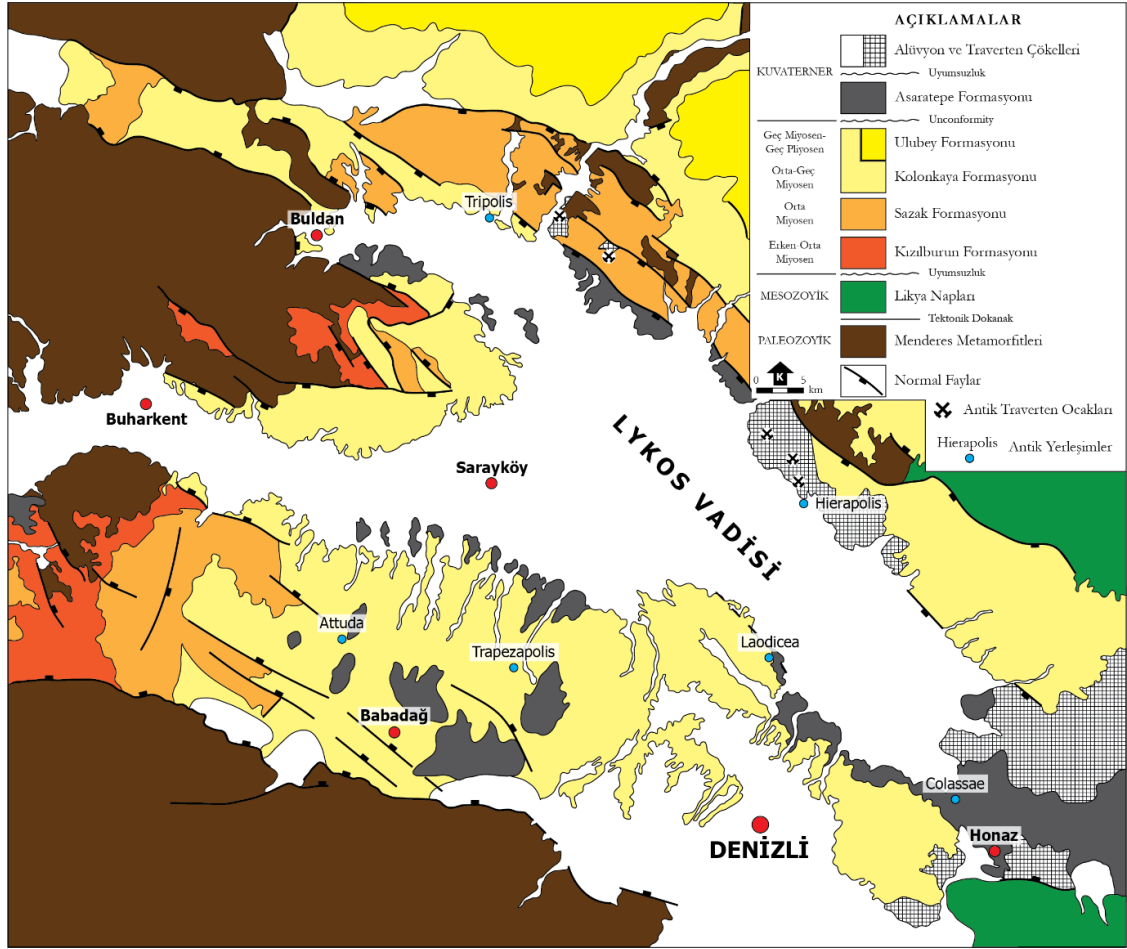
¹³ Karya (Caria) coğrafi bölgesi, günümüzdeki Büyük Menderes Nehri güneyi, Muğla ili kuzey kısımları ve içerideki bölgeye denk gelen bölgedir.

¹⁴ Duman 2013, 179-203.

¹⁵ Westaway 1993, 37-53.

¹⁶ Şimşek 1984, 145-162; Sun 1990, 92; Gökgez 1998, 115-156; Bülbül 2000, 98; Özkul et al. 2013, 179-204; Alçıçek 2007, 304; Brogi et al. 2016, 211-232; Koralay et al. 2017, 143-164.

dereceli metamorfik kayaçlar biyotit, muskovit, klorit, grafit, kalsit ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır¹⁷.



Şekil 1.2 Lykos vadisi ve çevresinin jeoloji haritası (Sun¹⁶, dan değiştirilerek alınmıştır.)

Likya napları Triyas-Üst Kretase yaşlı ofiyolit ve sedimanter/metasedimanter birimlerden oluşmaktadır. Napların bir bölümü kalın karbonat ve kırıntılı istiflerle temsil edilirken, diğer bölümünü ofiyolit kayaçlar oluşturmaktadır. Ayrıca Likya naplarını oluşturan kaya birimleri düşük dereceli metamorfizma etkileri göstermektedir. Denizli Grabeni içerisinde grabenin güneydoğusunda yaygın olarak görülen Likya Napları şeyl, kumtaşı, konglomera, kuvarsit, kireçtaşı, dolomit ve serpantinleşmiş peridotit türü kaya birimleri tarafından temsil edilmektedir^{17, 18}.

¹⁷ Konak et al. 1987, 42-53; Oberhänsli et al. 1997, 135-150; Yılmaz vd. 1998, 210-336; Şengün et al. 2006, 321-342; Candan et al. 2011, 1-23; Koralay et al. 2007, 18-24; Bozcu 2009, 851-861; Okay 1989, 45-58; Sözbilir 1995, 309-330; Gündoğan et al. 2008, 49-65; Özkaymak 2015, 110-129; Koralay ve Koralay 2018.

Erken Miyosen-Pliyosen zaman aralığında oluşmuş Kızılburun, Sazak, Kolankaya ve Ulubey formasyonları Lykos vadisini dolduran Neojen yaşlı çökelleri temsil etmektedir. Neojen çökellerin ayrıntılı stratigrafisi ve kayaç özellikleri Sun¹⁸ ve Alçiçek¹⁹ tarafından ayrıntılı olarak verilmiştir. Kızılburun formasyonu akarsu etkisi altında gelişmiş alüvyon yelpazesi çökellerinden oluşmaktadır. Formasyon ortalama 300 m kalınlığa sahip olup, kaba ve ince taneli konglomera, çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve killi kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır. Lykos vadisinde temel kayaları üzerine aşıl uyumsuzlukla gelen, Kızılburun formasyonunun yaşı Erken-Orta Miyosen olarak belirlenmiştir²⁰.

Tuzlu bir göl ortamında çökelmiş olan Sazak formasyonunun kalınlığı 150-300 m arasında değişmektedir. Formasyon tabanda kıltaşı, silttaşı, killi kireçtaşı, gri renkli marn ile başlayıp, üst kesimlere doğru kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, jips arejenit, jipsli çamurtaşına geçen kaya birimlerinden oluşmaktadır. Kızılburun formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Sazak formasyonunun yaşı Orta Miyosen'dir²¹.

Kolankaya formasyonu sığ-derin göl ve kıyı-alüvyon yelpazesi ortamında çökelmiş olup, 500 m kalınlığa sahiptir. Formasyon marn, çamurtaşı (kil-silt ar dalanması) ve egemen olarak kumtaşlarından oluşmaktadır. Kumtaşları açık kahverengi, sarımsı ve gri renklerde yer yer az pekleşmiş, orta-kalın tabakalı, bol miktarda Gastrapod ve Pelespod (Deniz kabuğu) fosilleri içermektedir. Kolankaya formasyonun yaşı Orta Geç Miyosen olarak belirlenmiştir²¹.

Göl ortamına işaret eden kayaç birimleri ve fosiller içeren Ulubey formasyonu Lykos vadisinin kuzeyinde, yüksek rakımlı alanlarda yayılım göstermektedir. Ulubey formasyonunun kalınlığı 250 m olarak ölçülmüştür. Formasyon içerisinde baskın kayaç türü kireçtaşları olup, tabanda silttaşı-kıltaşı-marn ve killi kireçtaşı ar dalanması gözlenir. Üst kesimlere doğru kumlu kireçtaşı, açık pembe kireçtaşlarıyla devam eder, en üstte gri beyaz renkli kireçtaşlarıyla son bulur. Kolankaya formasyonu ile yan al geçişli olarak görülen Ulubey formasyonuna fosil içeriklerine göre Üst Pliyosen yaşı verilmiştir²¹.

¹⁸ Sun 1990, 92.

¹⁹ Alçiçek 2007,304.

²⁰ Sun 1990, 92; Alçiçek 2007, 304; Alçiçek et al. 2007, 596-637; Şimşek 1984, 145-162.

Asartepe formasyonu akarsu ortamını karakterize eden alüvyon yelpazesi, örgülü ve menderseli akarsu çökellerinden oluşmaktadır. Formasyonun kalınlığı 50-150 m arasındadır. Genellikle kırmızımsı turuncu ve/veya sarımsı beyaz renkli, orta-kalın tabakalanmalı, gevşek karbonat-kil çimentolu, yarı yuvarlaklaşmış çakıltası-kumtaşı ar dalanması ve yer yer marnlı, kireçli seviyelerden oluşmaktadır. Asartepe formasyonu kendinden önceki tüm birimleri açıs al uyumsuzlukla örtmektedir. Formasyonun yaşı Pliyosen olarak belirlenmiştir²¹.

Lykos vadisi temel jeolojik birimlerini uyumsuzlukla örten Kuvaterner yaşı çökeller orta-kötü boylanmalı çakıl, kum, kil ve topraktan oluşan alüvyon çökelleri, fay önlerinde gelişmiş yamaç molozları ve düzlüklerdeki bikarbonatlı suların oluşturduğu traverten çökellerinden oluşmaktadır.

1.4 Lykos Vadisinde Önceki Yıllarda Yapılan Araştırmalar

Lykos vadisi ve yakın çevresinde jeolojik (stratigrafi, sedimantoloji, petrografi ve tektonik konularında) amaçlı çalışmalar yapılmıştır. Günümüze kadar yapılan belli başlı araştırmalar ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

Şimşek (1984), Denizli grabeni ve çevresindeki kayaç türlerinin ilk ayrıntılı haritalaması ve litostratigrafik olarak tanımlamalarını yapmıştır. Paleozoyik yaşı temel birimleri üzerine uyumsuz olarak gelen graben dolgu birimlerini Kızılburun formasyonu, Sazak formasyonu ve Kolankaya formasyonu adları ile tanımlamıştır.

Okay (1989), Ege bölgesinin en yüksek zirvesini oluşturan Honaz Dağının doğuya doğru devrik antiklinal yapısı oluşturduğunu ve antiklinalin devrik kanadı boyunca kıvrılmış ve doğuya doğru sürüklenmiş olduğunu ifade etmiştir. Honaz Dağı ve çevresinde alttan üste doğru; Göbecik tepe birimi, Honaz şeyli, Menderes masifi, Sandak birimi ve Honaz ofiyolitinden oluşan allokon özellikte beş ana tektonik birimin bulunduğunu belirlemiştir.

Sun (1990), Denizli ve Uşak arasındaki karasal havzalardaki çökel dolgularını ve potansiyel linyit yataklarını araştırmıştır. Bununla birlikte, Şimşek (1984) tarafından verilen bölgenin jeoloji haritasını ve stratigrafik tanımlamaları daha ayrıntılı bir şekilde yenilemiştir.

Westaway (1993), Denizli havzasında genişlemenin başlamadan önceki döneminde çökelmenin yarı kurak iklim koşullarında depolanan kırmızı konglomera ve marnlarla başladığını ve daha sonra Orta-Üst Miyosen’de havzanın deniz seviyesi altına düşerek kireçtaşlarının çökeldiğini belirtmiştir.

Sözbilir (1995), Denizlinin kuzeydoğusunda Mesozoyik-Kuvaterner aralığındaki birimleri litostratigrafik özelliklerini ayrıntılı olarak incelemiş ve bölgedeki Neojen yaşlı birimleri; Kızılburun, Killik ve Kolankaya Formasyonları’ndan oluşan Belevi Grubu adı altında ele alarak, birimlerin depolanma özelliklerini açıklamıştır.

Demirkıran ve Çalapkulu (2001), Denizli Pamukkale - Kocabaş Kaklık çevresindeki travertenleri morfolojik olarak beş ayrı tipe ayırmıştır. Araştırmacı kimyasal analiz sonuçlarına göre; göl ortamında oluşmuş travertenlerin Alüminyum (Al), Potasyum (K), Titan (Ti) ve Demir (Fe) içeriklerinin damar ve sırt tipi travertenlere oranla daha yüksek değerlerde olduğunu belirlemiştir. Bununla birlikte Magnezyum (Mg) içeriklerinin gölsel ve sırt tipi travertenlerde damar tipi travertenlerden daha yüksek olduğunu, Silisyum (Si) değerleri bakımından belirgin farklılıkların görülmediğini ifade etmiştir.

Sözbilir (2002), Denizlinin doğusundaki Dereköy’ün güneyinde Geç Paleosen-Eosen yaşlı metamorfik olmayan tortul istifin eski çalışmalarda Menderes Masifi’nin en üst bölümü olarak yorumlandığını, ancak son çalışmalarda Dereköy istifinin Likya melanji üzerinde uyumsuzlukla oturduğunu ve dolayısıyla bu birimlerin Menderes istifinin bir parçası olarak kabul edilemeyeceğini belirtmiştir.

Özkul vd. (2002), Denizli Grabeni genelinde güncel ve eski travertenlerde arazi ve petrografik özelliklerine göre farklı litofasiyesler tanımlamışlar, bu litofasiyeslerin çökeldiği depolanma ortamlarını ve izotop değişimlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda Kuvaterner yaşlı traverten oluşumlarında dokuz litofasiyes

tanımlamışlardır. Bu litofasiyeslerin $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ izotop değerlerinin %0.35 ile 6.70 arasında, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ izotop değerlerinin %(-6.47) ile (-15.1) arasında geniş bir dağılıma sahip olduğunu, litofasiyeslerin yapılarına ve ortamlarına göre izotopik olarak bir gruplaşma gösterdiğini ortaya çıkarmışlardır.

Alçıçek (2007), Denizli havzası Neojen çökel istifini oluşturan birimlerin ayrıntılı mineralojik, jeokimyasal ve izotopik özelliklerini inceleyerek elde ettiği sonuçları sedimentolojik ve paleontolojik verilerle karşılaştırmıştır. Neojen çökel istifi içerisindeki karbonatlardan elde ettiği C ve O izotopları ile ana oksit ve eser element sonuçlarına göre havzadaki çökelmenin tektonizma ve eski iklim denetiminde gerçekleştiğini ifade etmiştir.

Özkul et al. (2010), Denizli havzası'nda normal fay düzlemlerini ve bunlarla ilişkili açılma çatlaklarını dolduran bantlı travertenler arazi özellikleri, mineral bileşimleri, jeokimyasal ve C-O izotop bileşimleri üzerine çalışma yapmışlardır. Bantlı traverten oluşumlarının genellikle düşey yönde geliştiklerini, kalsit, kalsit-aragonit ya da bazen sadece aragonit bileşimli olduklarını ifade etmişlerdir. Bantlı travertenlerin $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ değerlerinin %3.7 ile 5.8; $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ değerlerinin %13.8 ile 19.5 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar travertenlerin oluşumunda, pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin termojen kökeni, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ izotop değerlerinin ise derinden kaynaklanan CO_2 ile zenginleştirilmiş yerel meteorik suları işaret ettiğini ifade etmişlerdir.

De Flippis et al. (2012), Denizli grabeninin kuzeyindeki alanlarda görülen açılma çatlağı tipi traverten oluşumlarını stratigrafik, yapısal, jeokimyasal ve jeokronolojik açıdan incelemişlerdir. Araştırmacılar bölgede; **i)** fay diklikleri ve yamaç yüzeylerinde gelişmiş tabakalı yapıda ve **ii)** açılma çatlaklarında gelişmiş bantlı yapıda olmak üzere iki temel tipte traverten oluşumuna işaret etmişlerdir. U-serisi izotop verilerine göre tabakalı ve bantlı traverten oluşumlarının Kuvaterner dönemi içerisinde birkaç on ile bin yıl öncesine kadar oluşumlarını sürdürdüğü belirlenmiştir. C-O duraylı izotop ve nadir toprak element verileri, traverten oluşumlarına neden olan akışkanların sık dolaşımı, nispeten derin kökenli jeotermal çevrime işaret ettiğini belirtmişlerdir.

Özkul et al. (2013), Denizli havzasında 6 farklı traverten sahasındaki traverten oluşumlarının depolanma özellikleri ile mineralojik, kimyasal ve C-O izotop bileşimlerini incelemişlerdir. Araştırmacılar traverten oluşturan kaynak sularının Ca-Mg-HCO₃-SO₄ (Pamukkale, Kelkaya ve Pınarbaşı alanları) Ca-Mg-SO₄-HCO₃(Çukurbağ) türünden olduklarını, sıcaklıklarının 19 ila 57 °C arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Traverten oluşumlarının büyük oranda kalsit daha az miktarda aragonit'ten oluştuğunu, havzanın kuzeyinde bulunan traverten oluşumlarının genellikle bantlı, kristalen kabuk, sal ve pizooit tipinde olduklarını ifade etmişlerdir. Açılma çatlaklarında gelişmiş traverten oluşumları aragonitik bileşimde olup, Sr bakımından zengin olduklarını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte izotop içerikleri bakımından $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ değerlerinin, havzanın kuzeyindeki travertenler için ‰3.7-11.7 güney-güneydoğusundaki travertenler için ‰(-4)-5.8 arasında değiştiğini, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ değerlerinin güneydeki alanlar için ‰(-16.6)-(-4.8); kuzeydeki alanlar için ‰(-15.2)-(-7.8) değişim gösterdiğini belirlemişlerdir.

Erten (2013), Denizli karasal Neojen-Kuvaterner havzasının (GB-Türkiye) küçük memeli fosilleri ve biyokronolojik incelemesini gerçekleştirmiştir. Araştırma sonucunda dokuz tane küçük memeli lokalitesinde daha önce bilinen *Cricetodon candirensis*, *Megacricetodon minor*, *Myomimus dehmi*, *Heterosminthus gansus*, *Byzantinia* sp., *Megacricetodon* cf. *debruijini*, *Heterosminthus gansus* ve *Myocricetodon eskihisarensis*, *Micrdyromys complicatus*, *Cricetulodon hartenbergeri*, *Microdyromys complicatus*, *Progonomys* sp., *Dryomys tosaensis* türlerinin yanındaiki yeni tür de tanımlanmıştır. Ayrıca Yenicekent beldesinde bulunan yeni türe *Megacricetodon yenicekentensis*, Denizli merkezde bulunan yeni *Mus* türüne de *Mus denizliensis* adı verilmiştir.

Brogi et al. (2016), Yenicekent (Buldan-Denizli) ve çevresinde tektonik yapıların hidrotermal akışkanların dolaşımı ve traverten oluşumları üzerine olan etkilerini incelemişlerdir. Kamara jeotermal sisteminde akışkan dolaşımı ve traverten depolanmasının KB ve KD yönelimli fay sistemleriyle kontrol edildiğini ve Orta Pleyistosen'den beri aktif olduğunu ifade etmişlerdir. Kamara bantlı kalsit oluşumları ile termal akışkanlar üzerinde yaptıkları SEM/EDS, sıvı kapanım ve C-O izotop analizler sonuçlarına göre; farklı kaya litolojilerinden süzülen akışkanların meteorik sularla karışım yaptıklarını, sıvı kapanım sıcaklıklarının 44-57 °C arasında olduğunu belirlemişlerdir.

Akdeniz havzası antik dönem yerleşimlerinde traverten/bantlı traverten türü yapıtaşları oldukça yaygın olarak kullanılmıştır. Proje çalışması sırasında incelenen çalışmalarda bu kaya türleri üzerine yapılmış arkeoloji-arkeometri çalışmalarının oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Aşağıda günümüze kadar yapılmış belli başlı araştırmalar ve sonuçları aşağıda verilmiştir.

Hancock et al. (2000), Antik Yunan, Roma ve Bizans döneminde Hierapolis antik kenti yapılarında kullanılan traverten ocaklarının büyük bir kısmının Pamukkale fayının üzerinde, antik kentin aşağısındaki düzlük alanlarda ve/veya fay dikliklerinde bulunduğunu belirlemişlerdir. Traverten çökeliminin aktif faylar ve bunlara bağlı açıklıklardan yüzeye çıkan karbonat ve gaz bakımından zengin sıcak sularla ilişkili olduğunu ifade etmişlerdir. Bantlı traverten oluşumlarından Roma ve Bizans dönemlerinde lahit, blok, sütun üretimi yapıldığı, daha ince taneli olanlarının süs taşı olarak kullanıldığını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte kentte bulunan önemli yapıların (tiyatro, agora, kilise, plütonyum, vb.) Pamukkale fay'ına bağlı olarak meydana gelen depremler ile yıkıldığını belirtmişlerdir.

Barbieri et al. (2002a), Mısır ve Girit'teki (Yunanistan) Ca-alabaster oluşumlarının petro-fasiyes özellikleri ve stronsiyum izotop özelliklerini araştırmışlardır. Sadece petrografik özelliklerin Mısır ve Girit Ca-alabasteri arasında ayırım yapmak için yeterli olmadığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte Sr izotoplarının, Ca-alabaster oluşumlarının kökenini belirlemek için daha yararlı olduğunu ifade etmişlerdir. Mısır örneklerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının, Mısır'daki Eosen denizel kireçtaşlarına benzediğini, Girit'ten gelen örneklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının bölgedeki Mesozoyik kireçtaşlarına göre farklılık gösterdiğini belirlemişlerdir. Girit örneklerinin izotop oranlarında görülen bu farklılık Ca-alabaster oluşumları sırasında deniz suyunun karışım yapması ile açıklanmıştır.

Barbieri et al. (2002b), 47 Mısır ve 23 Minoan (Girit) eserini petrografik özellikleri ve Sr izotop oranları açısından araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, Mısır eserlerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerlerinin 0.70770-0.70779 aralığında değiştiğini ve Nil vadisindeki Ca-alabaster ocaklarıyla uyumlu olduklarını, Minoan eserlerinde $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının nispeten daha geniş bir (0.70771-0.70893) değişim aralığına sahip olduklarını belirlemişlerdir. Bununla birlikte 11 adet Minoan eserin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının Mısır

eserlerine oldukça benzerlik sergilediğini, muhtemelen ticaret yolu ile Girit'e getirilmiş olabileceğini ifade etmişlerdir.

Bruno (2002), Hierapolis antik kenti (Denizli) yakınlarındaki alabaster ocaklarının varlığına işaret etmiş ve iki alabaster ocağı hakkında ayrıntılı bilgi vermiştir. Arazi gözlemleri ve işletme yöntemlerine göre, ocaklardaki farklı alabaster türlerini (Alabastro listato, Alabastro fiorito ve Alabastro rossa) tespit etmiştir. Ayrıca bu renkli taşların, Hierapolis, Laodikya ve Tripolis gibi antik kentlerde yerel gereksinimleri karşılamak için çıkarıldığını belirtmiştir.

Chatziconstantinou and Poupaki (2002), Kos Adası (Yunanistan), antik traverten ocaklarını ayrıntılı bir şekilde incelemişlerdir. Bu çalışmada yazarlar traverten ocaklarının petrografik özelliklerinin yanında tarihçesi ve ocak işletme yöntemleri hakkında kısa bilgiler vermişlerdir.

Çolak and Lazzarini (2002), Thyatira (Akhisar) alabaster ve mermer ocaklarının minero-petrografik ve C-O izotopik özelliklerini araştırmışlardır. Alabaster oluşumlarının Triyas yaşlı mermerler içerisindeki damar ağları şeklinde olduklarını, mineralojik bileşimlerinin iğnemsli kalsit kristallerinden oluştuğunu ve bantlı doku gösterdiklerini ifade etmişlerdir. Ayrıca alabaster örneklerinin $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ değerlerinin sırasıyla ‰(-0.9)-(-8.8) ve ‰(-10.4)-(-11,8) arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Alabaster oluşumlarının Triyas yaşlı mermerlerin ana bileşimini oluşturan kalsitin çözünmesi ve yeniden çökertilmesi ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Antonelli et al. (2003), St. Pietro barok kilisesinde (Valle-İtalya) kullanılan çeşitli yapı taşlarını incelemişlerdir. Kilise içi süslemede kullanılan 44 kayaç türünün (hematit bantları içeren Alabastro Pecorella, Alabastro Tartaruga ve Alabastro Palombara) mineralojik ve petrografik tanımlamalarını yapmışlardır.

Brilli et al. (2005), Akdeniz'deki klasik mermer ocaklarıyla ilgili araştırmalar yapmışlardır. Bu çalışmada Ege bölgesinde yer alan antik ocaklar da incelenmiştir. Bu ocaklardan örnekler alınarak $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerleri ölçülmüş ve Akdeniz bölgesi antik mermer ocaklarının Sr izotop veri tabanı oluşturulmaya çalışılmıştır.

Testa and Lilyquist (2006), Ca-alabaster eserlerinin kaynak alanlarını belirlemede Sr izotoplarının yararlılığını belirlemek için Mısır ve Girit eserlerini üzerinde inceleme yapmışlardır. Sr izotop analizlerinin duraylı kıta bölgelerinde (Mısır), tektonik olarak aktif bölgelere göre (Girit) daha tutarlı sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Harrell et al. (2007), Bantlı travertenlerde (Mısır) renk bantlanmasının nedeni ve antik Mısır eserlerinde zaman içerisinde meydana gelen beyazlamanın nedenlerini araştırmışlardır. Araştırmacılar renk bantlanmasının nedenini belirlemek için Mısır'daki 3 eski bantlı traverten ocağının (Wadi Araba, Wadi Asyut ve Wadi Sannur) detaylı mineralojik-petrografik ve jeokimyasal analizlerini yapmışlardır. Bununla birlikte beyazlama nedenini belirlemek için gama ve ultraviyole ışınlama deneyleri gerçekleştirmişlerdir.

Antonelli et al. (2010), Cezayir'deki antik Roma dönemi yerleşimi olan Cuicul kasabasındaki mimari yapılarda ve heykellerde kullanılmış beyaz mermerler ile renkli süs taşlarının (ithal edilmiş) kaynağını tespit etmek, tanımlamak ve özelliklerini belirlemek amacıyla mineralojik-petrografik ve C-O duraylı izotop analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Yapılarda kullanılan mermerlerin yedi farklı litotipten oluştuğu, bunlardan dördünün Yunanistan kökenli, birinin Orta Asya kökenli ve diğer ikisinin Kuzey Afrika kökenli olduğunu söylemişlerdir.

Özkul (2010), Denizli Havzası'nın farklı noktalarında, varlığı bilinen antik traverten ocaklarının genel jeolojik özellikleri ile jeolojik miras açısından değerlendirmesini yapmıştır. Travertenlerin Denizli havzasındaki Tripolis, Hierapolis, Laodikya ve Colossae gibi antik kentlerin ana yapıtaşını oluşturduğunu, bununla birlikte Selçuklu dönemi yapılarından Akhan ve Çardakhan kervansaraylarının yapımında da traverten kullanıldığını belirlemiştir. Antik dönemde traverten yapıtaşı üretiminde önemli bir merkez olması, ocaklarda ileri işletme tekniklerinin kullanılması, Türkiye'de ilk kez Homoerectus fosilinin travertenler içinde bulunması nedeniyle Denizli Travertenlerinin jeolojik ve kültürel miras öğeleri taşıdığını ifade etmiştir.

Herrmann et al. (2012), Ain Tekbalet ve Bou Hanifa (Cezayir) ocaklarının saha, minero-petrografik bileşimleri ve C-O izotop özelliklerini araştırmışlardır. "Alabastro Pecerolla"nın Bou Hanifa ocaklarından çıkarıldığını ve Avrupa'daki antik Roma

şehirlerine ihraç edildiğini belirlemişlerdir. Bununla birlikte “Alabastro Fiorito” ya benzeyen alabaster-travertenlerin Ain Tekbalet ocaklarından yerel ihtiyaçlara cevap verebilmek için işletildiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca Bou Hanifia ocakları için $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ ve $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ değerlerinin sırasıyla ‰ (-1.0)-0.7, ‰ (-16.4)-(-10.7) arasında değiştiği belirlenmiştir.

Scardozzi (2012), Hierapolis antik kenti ve yakın çevresinde yapmış olduğu yüzey araştırmaları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) çalışmalarına göre çok sayıda antik ocağın (mermer, alabaster/bantlı traverten) varlığına işaret etmiştir. Bu ocakların çoğunluğu ilk olarak yazar tarafından tespit edilmiştir. Gölemezli ve Çukurbağ bölgelerinde 100 m uzunluğunda, 2-10 m genişliğinde ve 5-20 m ayna yüksekliğine sahip, 21 alabaster (listato, fiorito ve rosa) ocağının varlığı belgelenmiştir.

Koralay et al. (2014; 2017), Tripolis antik kenti yapılarında kullanılan bantlı traverten bloklarının minero-petrografik ve jeokimyasal özellikleri ile olası kaynak alanları hakkında inceleme yapmışlardır. Beyaz, sarımsı beyaz, kırmızı ve kırmızımsı bordo renk ardalanması ile karakteristik olan bantlı traverten bloklarının sütun yapılarında, duvar bloklarında, duvar ve zemin kaplamalarında kullanıldığını belirlemişlerdir. Bantlı traverten örneklerinin iğnemsî karbonat mineralleri ve daha az miktarda ince taneli karbonat çamuru ve kil minerallerinden oluştuğunu optik mikroskop, X-Ray Difraktometre (XRD) ve Konfokal Raman Spektrometre çalışmalarıyla ortaya çıkarmışlardır. Bununla birlikte bantlı traverten örneklerinin Ortalama Fanerozoik Kireçtaşları değerlerine göre normalleştirilmiş çoklu element dağılım diyagramında, Nb, La, Ce ve Sr elementlerinin önemli zenginleşme; Rb, Ba, Th, Zr, Y, Zn, Cu ve Pb elementlerinin tüketilme gösterdiklerini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar bantlı traverten yapı taşlarının olası kaynak alanının antik kentin 3 km kuzeydoğusunda bulunan antik ocaklar olabileceğini bildirmişlerdir.

Brilli et al. (2017), Hierapolis ve çevresindeki 11 adet antik traverten (Alabastro Listato veya Fiorito) ocağının (Yokuşyol, Çallı, Çukurbağ-Öküzini, Karakaya-Yarıkkaya ve Hanife) bilimsel tanımlamasını yapmışlardır. Hierapolis alabasterlerinin Ca-alabaster ile temsil edildiğini ve renk/desen bakımından karakteristik özellikler taşıdığını, $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ değerlerinin, ‰ 3.50-5.87 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca Hierapolis bantlı travertenlerinin termojenik kökenli olduklarını ifade etmişlerdir.

Scardozzi (2017), Roma ve Bizans dönemi yazılı kaynaklarında önemli mermer ve alabaster üretim merkezi olarak belirtilen Hierapolis alabaster ocakları üzerinde detaylı inceleme yapmıştır. Antik ocakların dağılımı, boyutları, ne kadar malzeme çıkarıldığı, C-O izotop bileşimleri hakkında veriler sunmuştur. Antik dönem ocaklarının modern işletmeler tarafından çoğunlukla tahrip edilmiş olduğunu ifade etmiştir.

Koralay et al. (2018), Tripolis antik kentindeki yapılarda kullanılan bantlı traverten örnekleri ile antik kentin 3 km kuzeydoğusundaki antik dönem ocaklarından alınan bantlı traverten örnekleri üzerinde detaylı minero-petrografik, jeokimyasal, C-O ve U-Th serisi izotop incelemeleri yapmışlardır. Mikroskobik incelemelerine göre, örneklerin bantlı doku gösterdiği, baskın olarak iğne şekilli kalsit, daha az miktarda dolomit, aragonit, kil mineralleri ve demir oksit minerallerinden (hematit) oluştuklarını ifade etmişlerdir. Kristal boyutlarının, şehir örneklerinde 0.163 ila 1.418 mm arasında, ocak örneklerinde 0.303-1.270 mm arasında değiştiğini, $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ izotop içeriklerinin benzer değerlerde ve termojenik orijini gösteren pozitif izotopik karbon oranlarına sahip olduklarını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, örneklerin Sr içeriklerinin yüksek değerlerde olduğunu (şehir örnekleri için 722-5090 ppm, antik ocak örnekleri için 1116-9509 ppm), Tripolis şehir ve Antik ocak örneklerinin jeolojik oluşum yaşlarının (U-Th serisi yaşlandırma tekniğine göre) sırasıyla $\sim 267\text{ka} - 9\text{ ka}$ ve $\sim 350\text{ka} - 2\text{ ka}$ arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak Tripolis kenti bantlı traverten yapı taşlarının kaynak alanının antik kentin 3 km kuzeydoğusunda bulunan antik ocaklar olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Baker et al. (2018), Mısır, Kuzey Afrika, Türkiye (Hierapolis ve Gölemezli) ve İtalya'da bulunan antik dönem alabaster ocaklarından alınan 15 adet alabaster örneğinin minero-petrografik ve izotop özelliklerini belirlemişlerdir. Önceki çalışmalarda ocaklardan elde edilen sonuçları Oplontis, Hierapolis ve Alba Fucens (İtalya) müzelerindeki eserlerin verileri ile karşılaştırarak bir veri seti oluşturmayı amaçlamışlardır. Kuzey Afrika alabaster örnekleri üzerinde yapmış oldukları $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ ve $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ izotop ölçümlerinin sırasıyla 0.708056-0.712452 ve 18.460-18.819 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca alabaster ocakları ile ilgili yapılacak detaylı minero-petrografik, kimyasal ve izotopik çalışmaların bu kaya türlerinin antik dönemdeki dağılımları ve ticaretinin anlaşılmasına yönelik önemli bilgiler sağlayacağını ifade etmişlerdir.

İKİNCİ BÖLÜM

2. LYKOS VADİSİ ANTİK OCAKLARININ JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

2.1 Oniks, Alabaster ve Bantlı Traverten Terimleri

“Doğal yapı taşları” ocaktan çıkarıldıktan sonra doğrudan ve/veya çok az bir işleminden geçirildikten sonra kullanılabilen, atmosfer etkilerine dayanıklı, teknolojik özellikleri bakımından yapı işlerinde kullanmaya elverişli kayaç türleridir. İnsanoğlu geçmişte ve günümüzde kolaylıkla elde edilebilmesi, şekil verilebilir olması ve dayanıklılığı sebebiyle doğal yapı taşlarını yaygın olarak kullanmış/kullanmaktadır²¹. Arkeolojik kazılarda karşılaşılan en önemli sorunlardan bir tanesi kazılarda açığa çıkarılan yapıları ve buluntuları (heykel, biblo, vazo, amfora vb.) oluşturan kayaç türlerinin tanımlanması ve olası kaynak alanlarının belirlenmesidir. Günümüzde farklı bilim dalları arasında yapılan ortak çalışmalar bu tür bilimsel ve teknik problemlerin çözümünde olumlu sonuçların elde edilmesine neden olmuştur. Bu anlamda jeoarkeoloji; jeoloji ve arkeoloji bilimlerinin ortak çalışmaları sonucu son 20 yıllık süreçte hızla gelişmiş disiplinler arası bir çalışmadır²². Kayaların mineral bileşimleri, doku özellikleri ve adlandırması jeoloji mühendisliğinin ana çalışma konularından birini oluşturmaktadır. Ancak arkeoloji kayıtlarında bazı kaya türlerinin jeolojik anlamlarından farklı isimler altında tanımlandığı görülmektedir. Bu anlamda oniks, alabaster ve bantlı traverten türü mineral/kayalar görünüşte benzer renk, desen ve dokusal özellikler gösteriyor olsa bile minero-petrografik anlamda farklı mineral/kaya türlerini tanımlamaktadır. Farklı renk ve doku özelliğine sahip kayalar antik dönem yerleşimlerinde güç ve zenginliğin önemli göstergesi olmuştur. Bu nedenle belirgin renk değişimleri gösteren, az bulunan kaya türleri taş ustalarının çalışmaktan zevk aldıkları bir malzeme olmuştur²². Aşağıdaki tabloda bu kaya/mineral türlerinin özellikleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir (Tablo 2.1).

²¹ Koralay 2017, 145-163.

Tablo 2.1 Oniks, alabaster ve bantlı traverten türü mineral/kayaların bazı fiziksel özelliklerinin karşılaştırması²².

	ONIKS	ALABASTER	BANTLI TRAVERTEN
ÖZELLİKLER			
Tanımı	Renk bantlanması gösteren, kristal boyutu <0.01 mm olan, kuvars mineralidir.	Renk bantlanması gösteren, kolaylıkla işlenebilen, ince kristalli bir jips mineralidir.	Renk bantlanması gösteren, kalsit-aragonit bileşimli, iğnemsî kristallerden oluşan, karbonat kayacıdır.
Kimyasal Bileşimi	SiO ₂	CaSO ₄ 2H ₂ O	CaCO ₃
Kristal Sistemi	Trigonal	Monoklinik	Trigonal
Saydamlık	Saydam, opak	Saydam, opak	Saydam, yarı saydam
Rengi	Beyaz, gri, siyah, sarı, kahverengi	Beyaz, gri, pembe, sarı, kahverengi	Beyaz, gri, sarı, kahverengi, kırmızı, bordo
Çizgi Rengi	Beyaz	Beyaz	Beyaz
Parlaklık	Reçine	Camsı, yarı camsı, ipeksi	Camsı, yarı camsı, reçine, inci
Sertliği	6.5 – 7	2	3
Kırılma Yüzeyi	Konkoidal	Konkoidal, kıymıklı	Konkoidal
Dilinim	-	Mükemmel	Mükemmel
Yoğunluk	2.6 g/cm ³	2.3 g/cm ³	2.71 g/cm ³

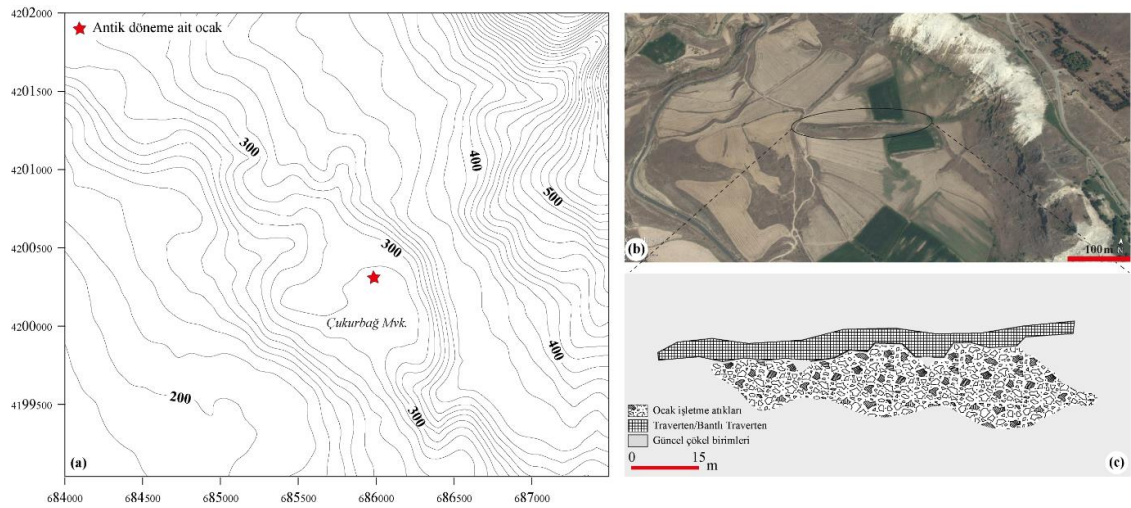
²² Klein and Hurlbut 1993.

2.2 Lykos Vadisi Antik Bantlı Traverten Ocakları

Lykos vadisi antik dönem yerleşimlerinde (Hierapolis, Laodikya ve Tripolis) Hellenistik, Roma ve Bizans dönemlerinden kalma anıt niteliği taşıyan önemli yapılar (tapınaklar, tiyatrolar, agoralar) bulunmaktadır. Bu yapıların ana yapıtaşlarını çoğunlukla mermer ve traverten bileşimli kayalar oluşturmaktadır. Bu yapıtaşlarının büyük çoğunluğunun bölgedeki belirlenen antik ocaklardan çıkarılmış olduğu belirtilmektedir. Lykos vadisinde antik traverten ocakları için yapılan literatür araştırması sonrasında varlığı belirlenen beş farklı ocak alanında, 2017 yılı bahar-yaz dönemlerinde arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Aşağıda arazi çalışmaları kapsamında ocakların genel özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2.2.1 Çukurbağ Antik Ocağı

Çukurbağ ocağı Hierapolis antik yerleşiminin 1 km kuzeydoğu'sunda, Pamukkale kasabasının 1.5 km kuzey'inde yer almaktadır. Ocak deniz seviyesinden yaklaşık 290 m yüksekte olup, yaklaşık 494 hektar bir alana yayılmıştır (Şekil 2.1a, b). Antik ocağa ulaşım oldukça kolay olup, Pamukkale'den Karahayıt'a doğru giden asfalt karayolunu takip etmek gerekir.



Şekil 2.1 a) Çukurbağ ocağını yerini gösteren topografik harita, **b)** Antik ocağın içerisinde bulunduğu açılma çatlağı ve çevresinin Google Earth görüntüsü, **c)** Çukurbağ antik ocağının kroki.

Çukurbağ antik ocağının coğrafik konumu blok üretimi ve antik yerleşimlere taşınması bakımından oldukça elverişlidir. Ocak, Hierapolis antik kenti sınırları içinde kalması ve yol güzergâhına yakın olması nedeniyle tahrip edilmeden kalabilmiştir. Ocaktan geçmiş dönem traverten/bantlı traverten üretimi ve işletmeciliği hakkında bilgiler edinilebilmektedir.

Çukurbağ antik ocağı doğu (D) - batı (B) uzanımlı açılma çatlağı içerisinde bulunmaktadır (Şekil 2.1b, c). Açılma çatlağının uzunluğu 300 m olup, 100 m'lik kesiminde işletme izleri bulunmaktadır. Antik ocak işletmesi 3-5 m genişliğinde olup, ayna yüksekliği 2-6 m arasında değişmektedir (Şekil 2.2a, b). Ocak içerisindeki malzemenin dışarıya çıkarıldığı 2 giriş bulunmaktadır (Şekil 2.2c). Ocak aynalarında blok, sütun çıkarmak amacıyla kesici ve delici aletler kullanılmasından kaynaklanan farklı yönlerde keski izleri ile işletme basamakları belirgin olarak görülmektedir (Şekil 2.2d, e). Bununla birlikte ana kaya kütlesi üzerinde belli aralıklarla bir hat boyunca dizilmiş kare şekilli oyuklara rastlanılmıştır (Şekil 2.2d, f). Bu oyuklar blokları kaldırmak için kullanılan makara sistemlerini taşıyan ağaç kütüklerin yerleştirildiği yuva izleri olarak yorumlanmıştır. Bununla birlikte ana kaya kütlesi üzerinde blok/sütun çıkarmak amacıyla açılmış köşeli oyuklar, ocak atıklarının içerisinde yarı işlenmiş dikdörtgen, silindirik şekilli blok parçaları görülmüştür (Şekil 2.2g, h).

Çukurbağ ocağında traverten ve bantlı traverten oluşumları mevcuttur. Traverten oluşumları açılma çatlağının iki kanadı boyunca görülürken, bantlı traverten oluşumları açılma çatlağının merkez kısımlarında, ince-orta (10-30 cm) arasında değişen tabakalı yapıda ve düşey konumlu olarak görülmektedir (Şekil 2.3a, b). Bantlı traverten oluşumları genellikle beyaz renkli olup, yer yer kahverengi renkli ince damarlar içermektedir (Şekil 2.3c, d). Renk bantlarının genişliği 0.5-6 mm arasında değişmektedir. “Munsell Geological Rock-Color Chart” a göre baskın olarak beyaz (N9), sarımsı gri (5Y 8/1), açık kahverengi (5YR 5/6), sarımsı kahverengi (10YR 5/4) daha nadiren açık yeşilimsi gri (5GY 8/1), soluk kırmızımsı kahverengi (10R 5/4), koyu sarı turuncu (10YR 6/6) arasında değişen renkli bantlar belirlenmiştir (Şekil 2.3e, f). Bantlı travertenleri oluşturan bileşenler ince kristalli olup, kristal yüzeyleri güneş ışığı altında parlamaktadır.



Şekil 2.2 a) Antik ocağın içerisinde bulunduğu D-B uzanımlı açılma çatlığının genel görünümü, **b)** ocak genişliği ve ayna yüksekliği, **c)** ocak girişi, **d)** ocak aynasında görülen keski izleri, **e)** ocak içerisindeki işletme basamakları, **f)** blok/sütunları kaldırmak amacıyla açılmış kare şekilli oyuklar ve keski izleri, **g** ve **h)** ocak atıkları içerisindeki bitirilmemiş dikdörtgen ve silindir şekilli bloklar.

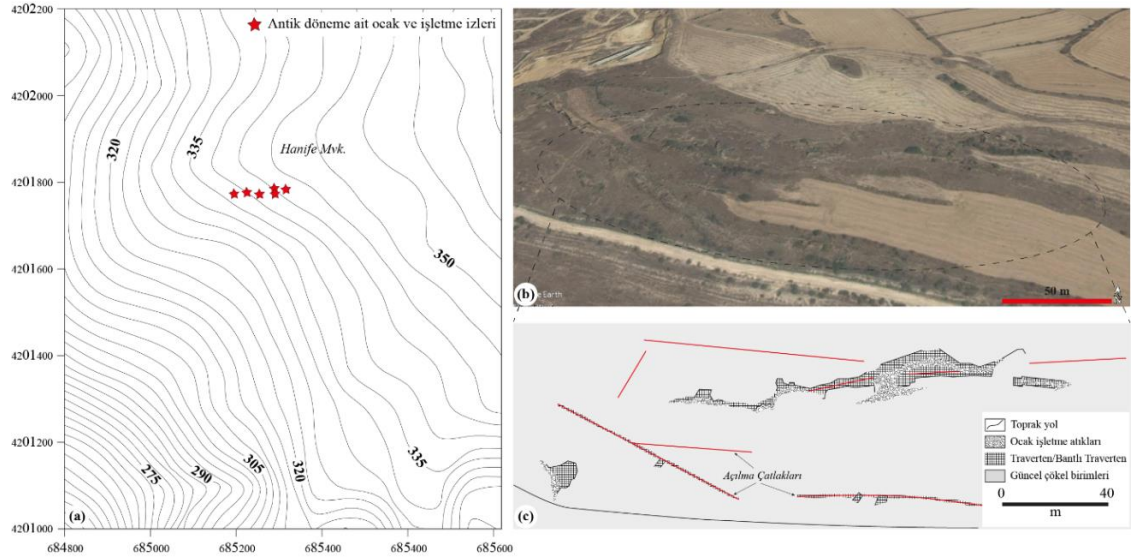


Şekil 2.3 a ve b) Açılma çatlağı içerisinde düşey yönde gelişmiş ince-orta tabakalı bantlı traverten oluşumları, **c ve d)** bantlı travertenler içerisindeki kahverengi renk bantları, **e ve f)** bantlı travertenlerde görülen renk bantları.

2.2.2 Hierapolis Antik Ocakları

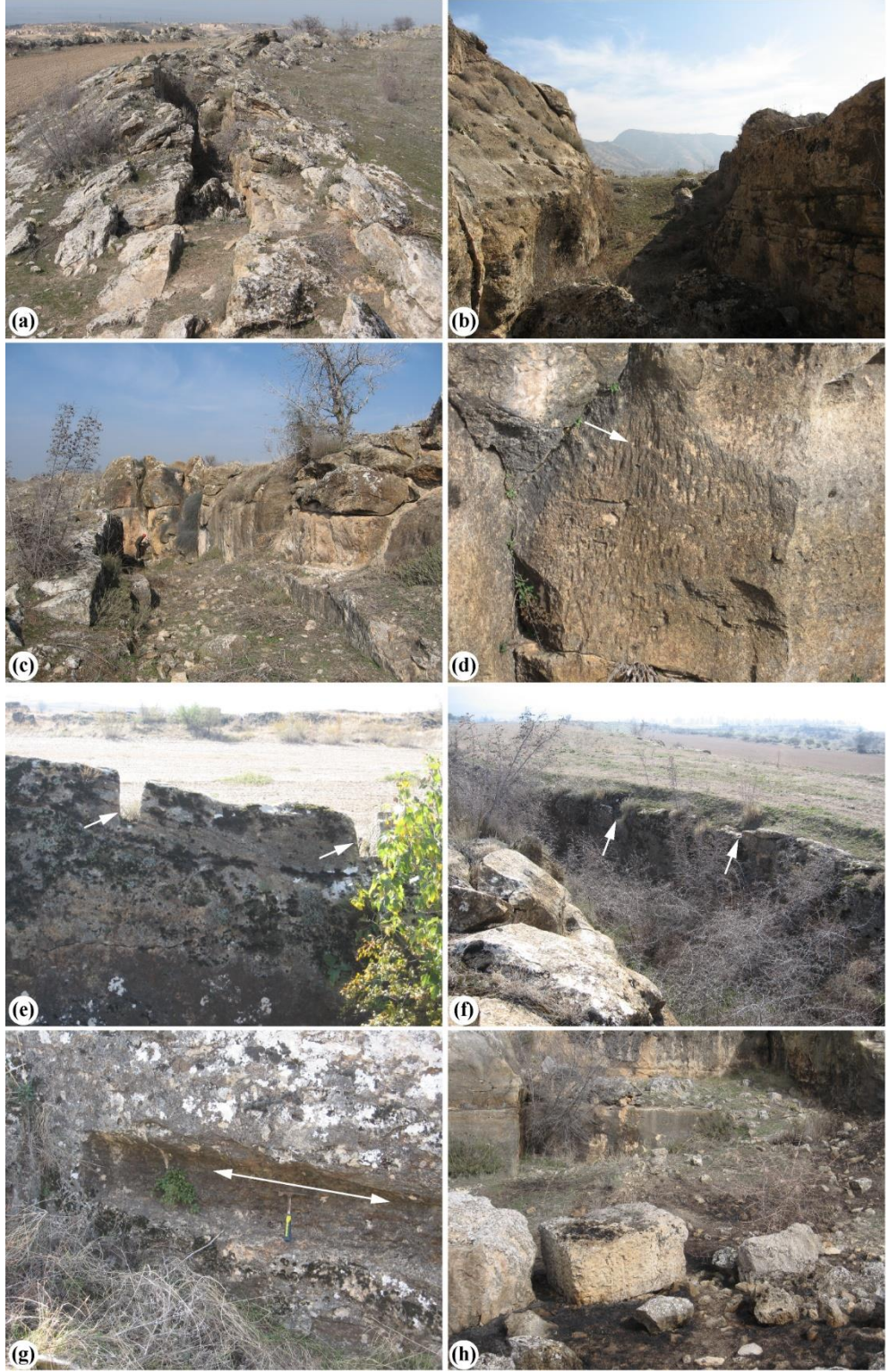
Hierapolis antik ocakları, Hierapolis antik yerleşiminin 1.5 km batı'sında, Karahayıt kasabasının 2 km güneydoğu'sunda yer almaktadır. Bölgede farklı büyüklüklerde çok sayıda ocak açmaları bulunmaktadır. Ocak açmaları Hierapolis-Karahayıt arasındaki düzlük alanda (Hanife Mvk.) yayılım göstermekte olup, deniz seviyesinden yaklaşık 335 m yüksekte ve yaklaşık 1575 hektar bir alana yayılmıştır (Şekil

2.4a). Ocaklara ulaşım oldukça kolay olup, Pamukkale'den Karahayıt'a doğru giden asfalt veya toprak karayolunu takip etmek gerekir. Hierapolis antik ocaklarının coğrafik konumu blok üretimi ve antik yerleşimlere taşınması bakımından oldukça elverişlidir. Ocakların bulunduğu alanın düzlük olması ve yoğun çiftçilik faaliyetleri nedeniyle bazı açmalarda tahribat söz konusudur.



Şekil 2.4 a) Hierapolis ocaklarının yerini gösteren topografik harita, **b)** antik ocakların içerisinde bulunduğu açılma çatlakları ve çevresinin Google Earth görüntüsü, **c)** Hierapolis antik ocaklarının krokisi.

Hierapolis antik ocakları yaklaşık doğu (D) - batı (B) uzanımlı açılma çatlakları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 2.4b, c). Açılma çatlaklarının uzunlukları 30-150 m arasında değişmektedir (Şekil 2.5a, b). Bantlı traverten üretimi yapılan ocakların genişliği 5-15 m, ayna yükseklikleri 2-6 m arasında değişmektedir. Ocak aynalarında blok, sütun çıkarmak amacıyla kesici ve delici aletler kullanılmasından kaynaklanan farklı yönlerde keski izleri ile işletme basamakları belirgin olarak görülmektedir (Şekil 2.5c, d). Ana kaya kütlesi üzerinde belli aralıklarla düşey yönde açılmış, yaklaşık 40 cm genişliğinde oyuklar görülmektedir (Şekil 2.5e, f). Bu oyuklar blokları kaldırmak için kullanılan makara sistemlerini taşıyan ağaç kütüklerin yerleştirildiği yuva izleri olarak yorumlanmıştır. Bununla birlikte ocak atıklarının içerisinde yarı işlenmiş dikdörtgen, silindirik şekilli blok parçaları görülmüştür (Şekil 2.5g, h).



Şekil 2.5 a) Antik ocakların içerisinde bulunduğu D-B uzanımlı açılma çatlaklarından birinin genel görünümü, **b)** ocak genişliği ve ayna yüksekliği, **c)** nispeten daha küçük ölçekli ocağın genel görünüşü, **d)** ocak aynasında görülen keski izleri, **e** ve **f)** ocak içerisindeki blok/sütunları kaldırmak amacıyla açılmış oyuklar, **g)** ocak içerisinde bitirilmemiş silindir şekilli blok, **h)** ocak atıkları içerisindeki dikdörtgen şekilli blok.

Hierapolis ocaklarından çıkarılan traverten blokları Hierapolis antik kentindeki yapılarda yaygın olarak kullanılmış, bantlı travertenlerden yapılan süs eşyaları Ön Asya bölgesinde ve Akdeniz havzasındaki diğer yerleşimlere ihraç edilmiştir²³. Bantlı travertenler açılma çatlaklarının merkez kısımlarında, ince-orta (10-30 cm) arasında değişen tabakalı yapıda ve düşey konumlu olarak görülmektedir. Açılma çatlağının merkezinden uzaklaştıkça birbiri ile zıt yönlerde eğimli, boşluk miktarı fazla gözenekli traverten oluşumları görülmektedir (Şekil 2.6a, b). Bantlı traverten oluşumları genellikle sarımsı beyaz, kırmızımsı kahve renkli olup, yer yer beyaz renkli ince damarlar içermektedir (Şekil 2.6c, d). Bantlı travertenleri oluşturan bileşenler ince kristalli olup, kristal yüzeyleri güneş ışığı altında parlamaktadır. Bununla birlikte bazı açılma çatlaklarının yüzeylerinde küremsi şekilli, kristalin kabuk şeklinde karbonat oluşumları görülmektedir (Şekil 2.6e, f). Renk bantlarının genişliği 0.1-7 mm arasında değişmektedir. Bantlı travertenlerin renkleri “Munsell Geological Rock-Color Chart” a göre sarımsı gri (5Y 8/1), sarımsı kahverengi (10YR 5/4), açık kahverengi (5YR 5/6), koyu sarı turuncu (10YR 6/6), beyaz (N9), soluk kırmızımsı kahverengi (10R 5/4), kahverengi (5YR 3/4), soluk kırmızı (5R 3/4) ve koyu kırmızı (5R 2/6) arasında değişmektedir (Şekil 2.6g, h).

2.2.3 Develi-Akköy Antik Ocakları

Develi-Akköy ocakları, Akköy kasabasının 2 km batı’sında, Develi köyünün 1.2 km kuzey’inde bulunmaktadır. Antik dönem ocakları KB-GD uzanımlı açılma çatlağının içerisinde yer almaktadır. Antik dönem yazıtlarında Hierapolis kenti yapılarında kullanılan bantlı traverten/traverten blokların büyük çoğunluğunun bu alandan karşılandığı ifade edilmektedir. Ocakların bulunduğu alanda Hierapolis’i Tripolis antik kentine bağlayan taş döşeme yol kalıntıları görülmektedir. Bu yol Philadelphia (Alaşehir) ve Sardis (Salihli) aracılığıyla doğrudan Ege kıyılarına ve Bergama’ya giden ana yola bağlanmaktaydı²⁴. Bu durum Develi-Akköy ocaklarından çıkarılan bantlı traverten/traverten bloklarının diğer Ön Asya şehirlerine de götürülmüş olabileceğini düşündürmektedir. Topoğrafik haritada Yarıkaya Mvk. olarak adlandırılan ve yaklaşık 2 km uzunluğa sahip yükselti boyunca sıralanmış çeşitli büyüklüklerde çok sayıda antik ocak işletmesi bulunmaktadır (Şekil 2.7a).

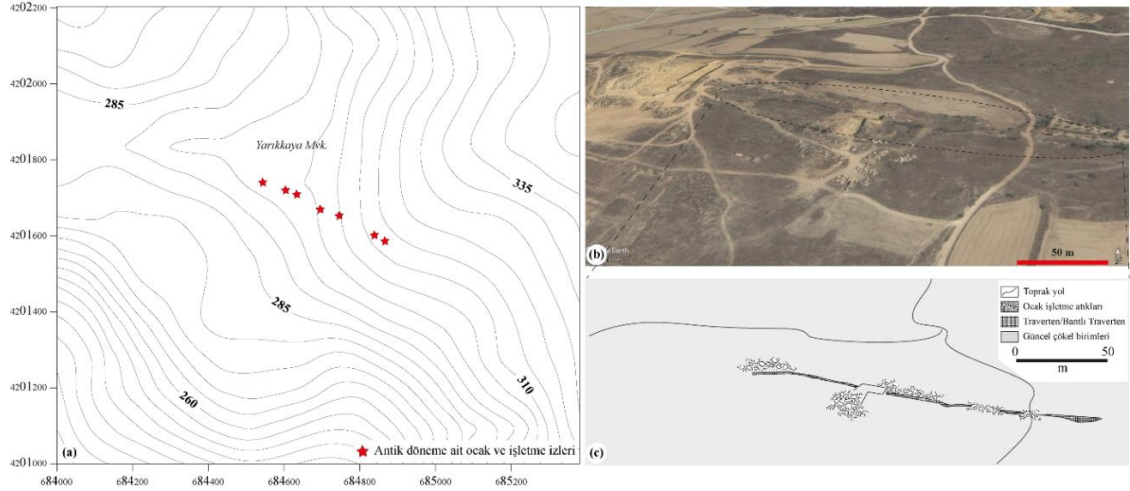
²³ Brill et al. 2017, 403-418.

²⁴ Şimşek 2013.



Şekil 2.6 a) Düşey yönde gelişmiş ince-orta tabakalı bantlı traverten oluşumu, **b)** bantlı traverten oluşumlarının yakından görünümü, **c** ve **d)** bol gözenekli yapıdaki traverten oluşumları, **e)** açılma çatlağı yüzeylerinde gelişmiş küremsi şekilli karbonat oluşumları, **f)** bireşik yapı gösteren bantlı traverten, **g** ve **h)** bantlı travertenlerde görülen renk bantları.

Ocaklar deniz seviyesinden yaklaşık 305 m yüksekte ve yaklaşık 0.5 hektar bir alana yayılmıştır. Ocaklara ulaşım oldukça kolay olup, Akköy yerleşiminden ocaklara giden toprak karayolu bulunmaktadır.



Şekil 2.7 a) Develi-Akköy ocaklarının yerini gösteren topografik harita, **b)** antik ocakların içerisinde bulunduğu açılma çatlak ve çevresinin Google Earth görüntüsü, **c)** Develi-Akköy antik ocaklarının krokisi.

Develi-Akköy antik ocaklarının olduğu bölgede aktif olarak çalışan traverten ocak işletmeleri nedeniyle ulaşım açısından problem yoktur. Bununla birlikte antik ocakların büyük çoğunluğu bu işletmeler tarafından tahrip edilmiş, bölgedeki güncel yerleşimler için moloz ve çöp döküm alanı olarak kullanılmıştır. Develi-Akköy antik ocaklarının coğrafik konumu blok üretimi ve antik yerleşimlere taşınması bakımından oldukça elverişlidir. Bazı ocaklarda kesme izleri, işletme basamakları ve ocaktan blokları çıkarmak için kullanılan makara sistemlerini taşıyan kare/dikdörtgen şekilli oyuklar hala tanımlanabilmektedir.

Develi-Akköy antik ocakları yaklaşık kuzeybatı (KB) - güneydoğu (GD) uzanımlı açılma çatlak içerisinde bulunmaktadır (Şekil 2.7b, c). Ocaklar 350 m uzunluğa sahip tek parçadan oluşan açılma çatlak içerisinde sıralanmaktadır (Şekil 2.8a). Önceki yıllarda aktif olarak çalışan traverten işletmeleri açılma çatlakının birçok kesimini ve antik ocakları tahrip etmiştir (Şekil 2.8b). Antik ocaklardan kısmen korunmuş olanları çatlakın KB kesiminde bulunmakta olup, duvar yüzeylerinde belirgin ocak işletme izleri görülmektedir.



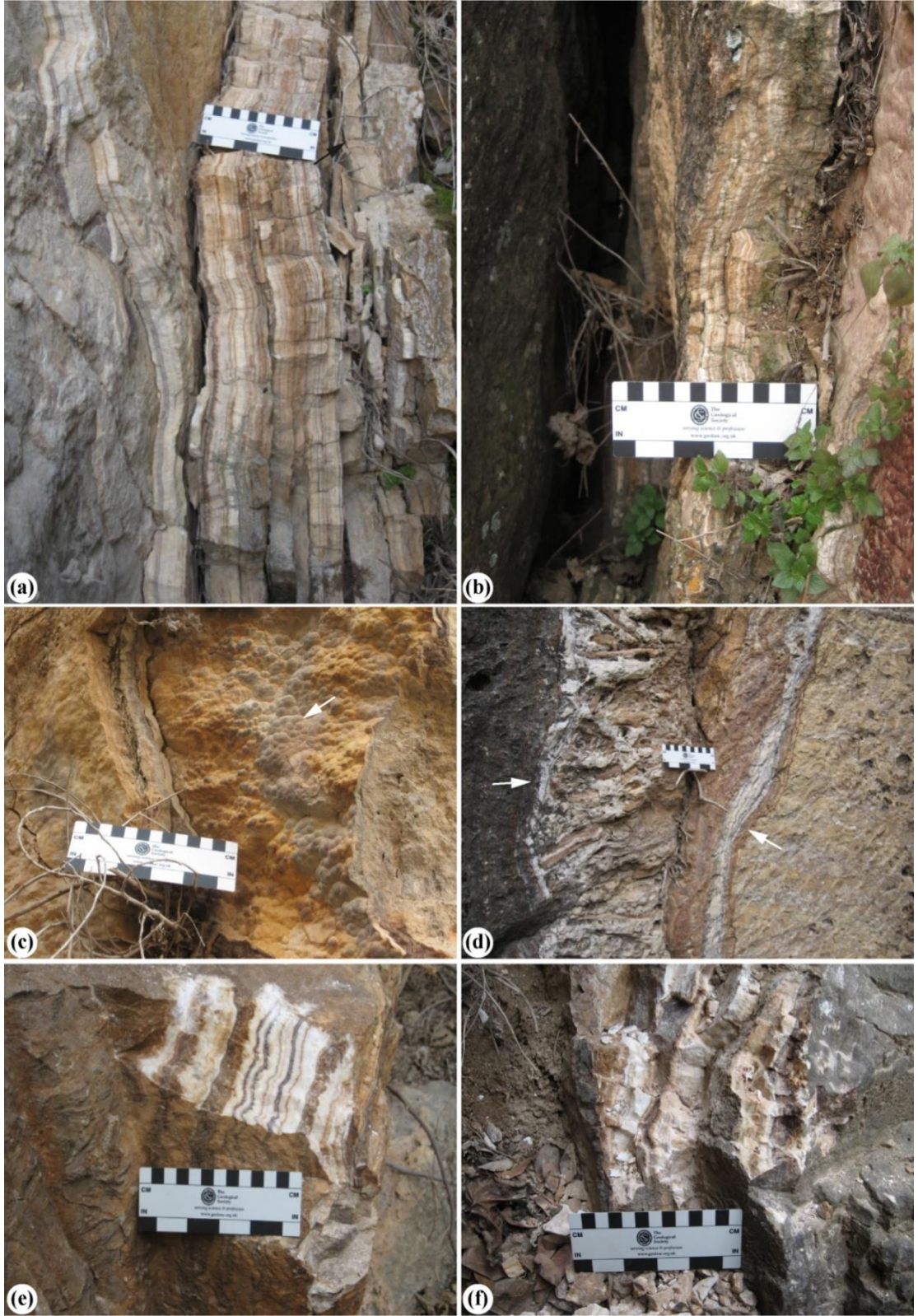
Şekil 2.8 a) Antik ocakların içerisinde bulunduğu KB-GD uzanımlı açılma çatlağı, b) açılma çatlağının genişliği ve ayna yüksekliği ile modern işletme tarafından yapılan tahribatın genel görünümü, c, d ve e) açılma çatlağı duvarlarında görülen keski izleri ve işletme basamakları, f) ocak içerisindeki blok/sütunları kaldırmak amacıyla açılmış oyuklar, g ve h) açılma çatlağı çevresindeki işletme atıkları içerisinde bitirilmemiş silindirik şekilli bloklar.

Özellikle blok üretimi yapılan kısımlarda ocak genişliği 4-5 m, ayna yükseklikleri 8-15 m arasında değişmektedir. Ocak aynalarında blok, sütun çıkarmak amacıyla kesici ve delici aletler kullanılmasından kaynaklanan farklı yönlerde keski izleri ile işletme basamakları belirgin olarak görülmektedir (Şekil 2.8c, d, e). Açılma çatlağının en üst kesiminde ana kaya kütlesi üzerinde belli aralıklarla açılmış, $\perp$ şekilli oyuklar görülmektedir (Şekil 2.8f). Bu oyuklar blokları kaldırmak için kullanılan makara sistemlerini taşıyan ağaç kütüklerin yerleştirildiği yuva izleri olarak yorumlanmıştır. Açılma çatlağının kenar kesimlerinde görülen işletme atıklarının içerisinde yarı işlenmiş silindirik şekilli blok parçaları görülmektedir (Şekil 2.8g, h).

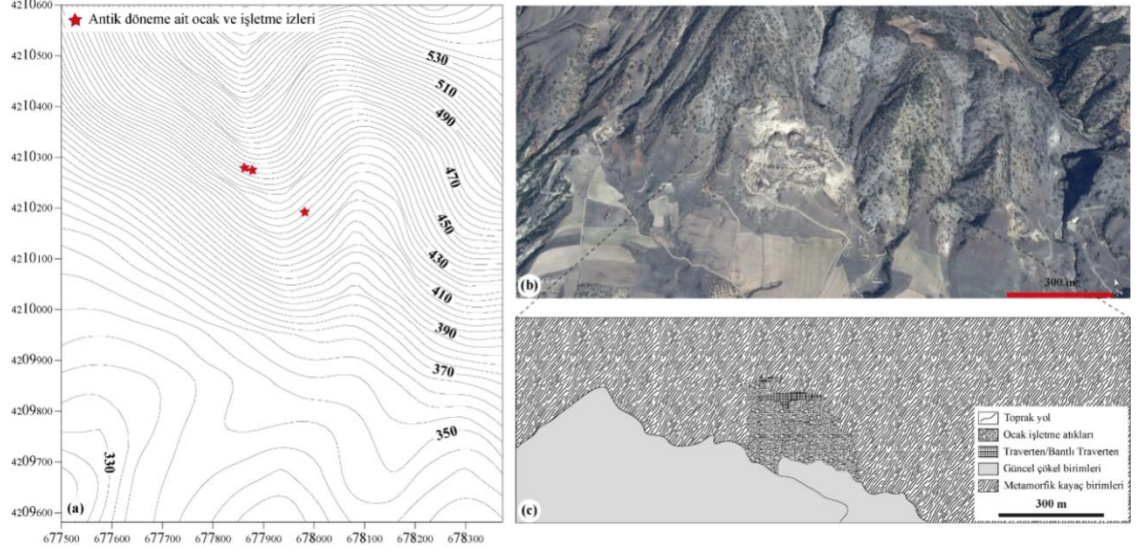
Develi-Akköy antik ocaklarından çıkarılan bantlı travertenler açılma çatlağının merkez kısımlarında, ince-orta (10-30 cm) arasında değişen tabakalı yapıda ve düşey konumlu olarak görülmektedir (Şekil 2.9a, b). Açılma çatlağının merkezinden uzaklaştıkça tabanda bireşik yapı, üstlere doğru gözenekli yapıda traverten oluşumları görülmektedir. Bantlı traverten oluşumları genellikle kırmızımsı kahve, sarımsı kahve renkli olup, yer yer beyaz renkli ince damarlar içermektedir. Bantlı travertenleri oluşturan bileşenler ince kristalli olup, kristal yüzeyleri güneş ışığı altında parlamaktadır. Bununla birlikte bazı açılma çatlaklarının yüzeylerinde küremsi şekilli, kristalin kabuk şeklinde karbonat oluşumları görülmektedir (Şekil 2.9c, d). Renk bantlarının genişliği 0.1-2 mm arasında değişmektedir. Bantlı travertenlerin renkleri “Munsell Geological Rock-Color Chart” a göre kırmızımsı kahverengi (10R 4/6), kahverengi (5YR 3/4), soluk kahverengi (5YR 5/2), sarımsı gri (5Y 8/1), beyaz (N9), koyu sarı-turuncu (10YR 6/6) ve koyu kırmızımsı kahverengi (10R 3/4) arasında değişmektedir (Şekil 2.9e, f).

2.2.4 Gölemezli Antik Ocağı

Gölemezli antik ocağı, Gölemezli kasabasının 3.5 km kuzeybatı’sında bulunmaktadır. Antik dönem ocağı KB-GD uzanımlı ana fay kırığı üzerinde yer almaktadır. Jeolojik çalışmalarda Akköy segmenti olarak tanımlanan bu fay Lykos vadisinin kuzey sınırını oluşturmakta olup, metamorfik temel kayalar ile havza dolgusunu oluşturan sedimanter kayalarını birbirinden ayırmaktadır. Antik dönem ocak işletmesi deniz seviyesinden yaklaşık 475 m yüksekte ve yaklaşık 0.65 hektar bir alana yayılmıştır (Şekil 2.10a, b). Ocağa ulaşım sınırlı olup, Gölemezli yerleşiminden ocaklara giden toprak karayolu bulunmaktadır.



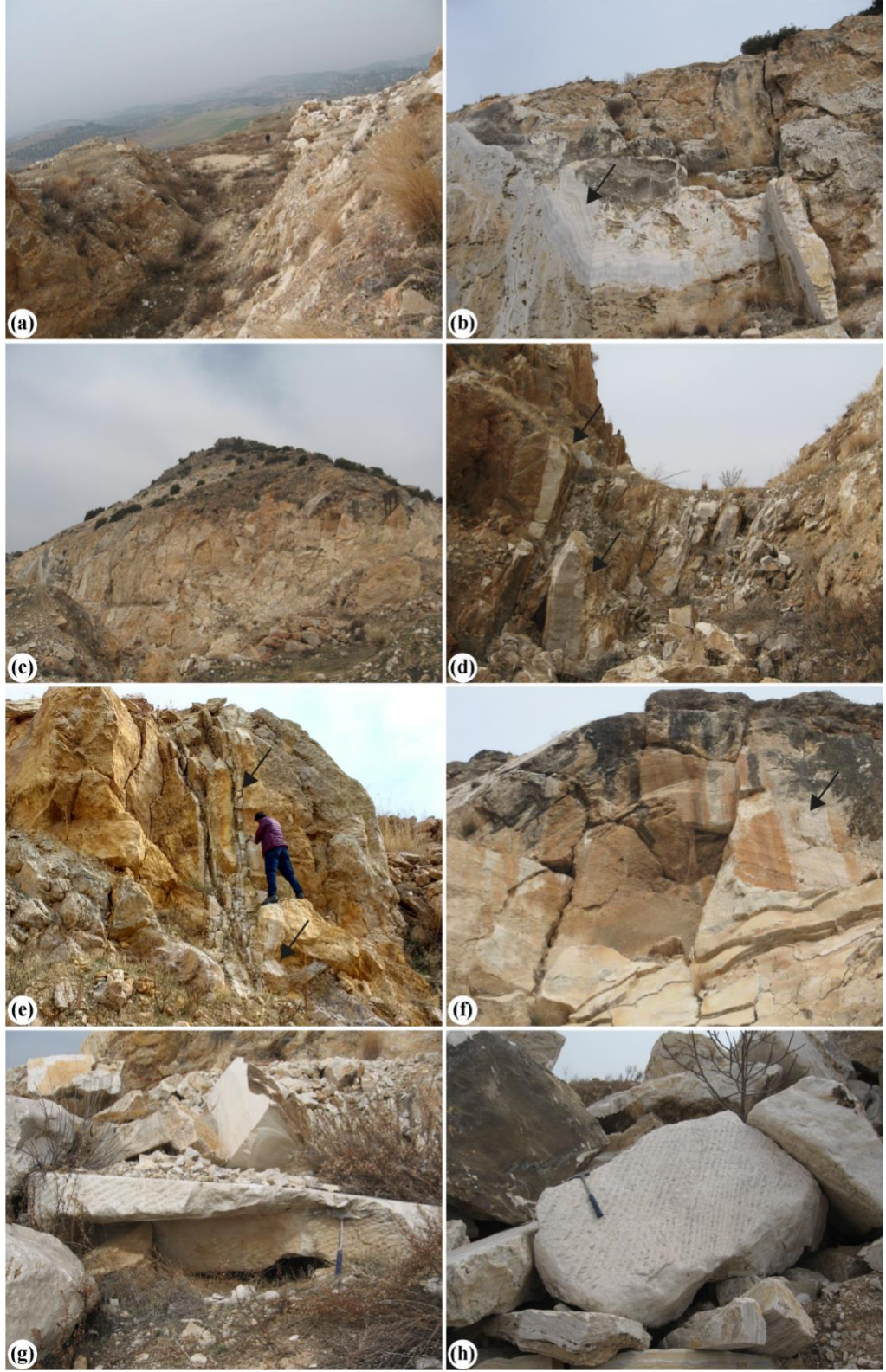
Şekil 2.9 a ve b) Düşey yönde gelişmiş bantlı traverten oluşumu, **c)** açılma çatlağı yüzeylerinde gelişmiş küresel şekilli karbonat oluşumları, **d)** bol gözenekli yapıdaki traverten oluşumları ve bantlı traverten oluşumları arasındaki ilişki, **e ve f)** bantlı travertenlerde görülen renk bantları.



Şekil 2.10 a) Gölemezli antik ocağının yerini gösteren topografik harita, **b)** antik ocakların araziye konumu ve çevresinin Google Earth görüntüsü, **c)** Gölemezli antik ocağının krokisi.

Gölemezli antik ocağına ulaşım önceki yıllarda aktif olarak çalışan traverten ocak işletmesi tarafından açılmış toprak yol ile sağlanmaktadır (Şekil 10c). Yağışlı mevsimlerde ocağa ulaşım zorluklar yaşanabilmektedir. Güncel yerleşim yerlerinden ve İl Kültür Müdürlüğü ekiplerinin gözetimden uzak olması nedeniyle antik ocağa ait işletme izlerinin büyük çoğunluğu güncel işletme tarafından tahrip edilmiştir (Şekil 2.11a, b). Tahribatın oldukça fazla olması nedeniyle ocaktan taşların nasıl çıkarıldığına dair bilgi elde edilememiştir. Bununla birlikte Gölemezli antik ocağının coğrafik konumu üretilen blokların antik yerleşimlere nasıl taşınmış olabileceği bakımından düşündürücüdür.

Gölemezli antik ocağı kuzeybatı (KB) - güneydoğu (GD) doğrultulu fay kırığı üzerinde ve yamaçta bulunmaktadır (Şekil 2.11c). Bantlı traverten oluşumları 150 m uzunluğundaki hat boyunca, birbiriyle ilişkili birden fazla kırık hattı boyunca görülmektedir (Şekil 2.11d, e). Antik ocak işletmesine ait izler yerden 20 m yüksekte görülmektedir. Bu kısımda blok, sütun çıkarmak amacıyla kesici aletler kullanılması kaynaklanan farklı yönlerde keski izleri belirgin olarak görülmektedir (Şekil 2.11f). Güncel işletmeye ait işletme atıkları içerisinde antik döneme ait keski izleri taşıyan bloklar bulunmaktadır (Şekil 2.11g, h).



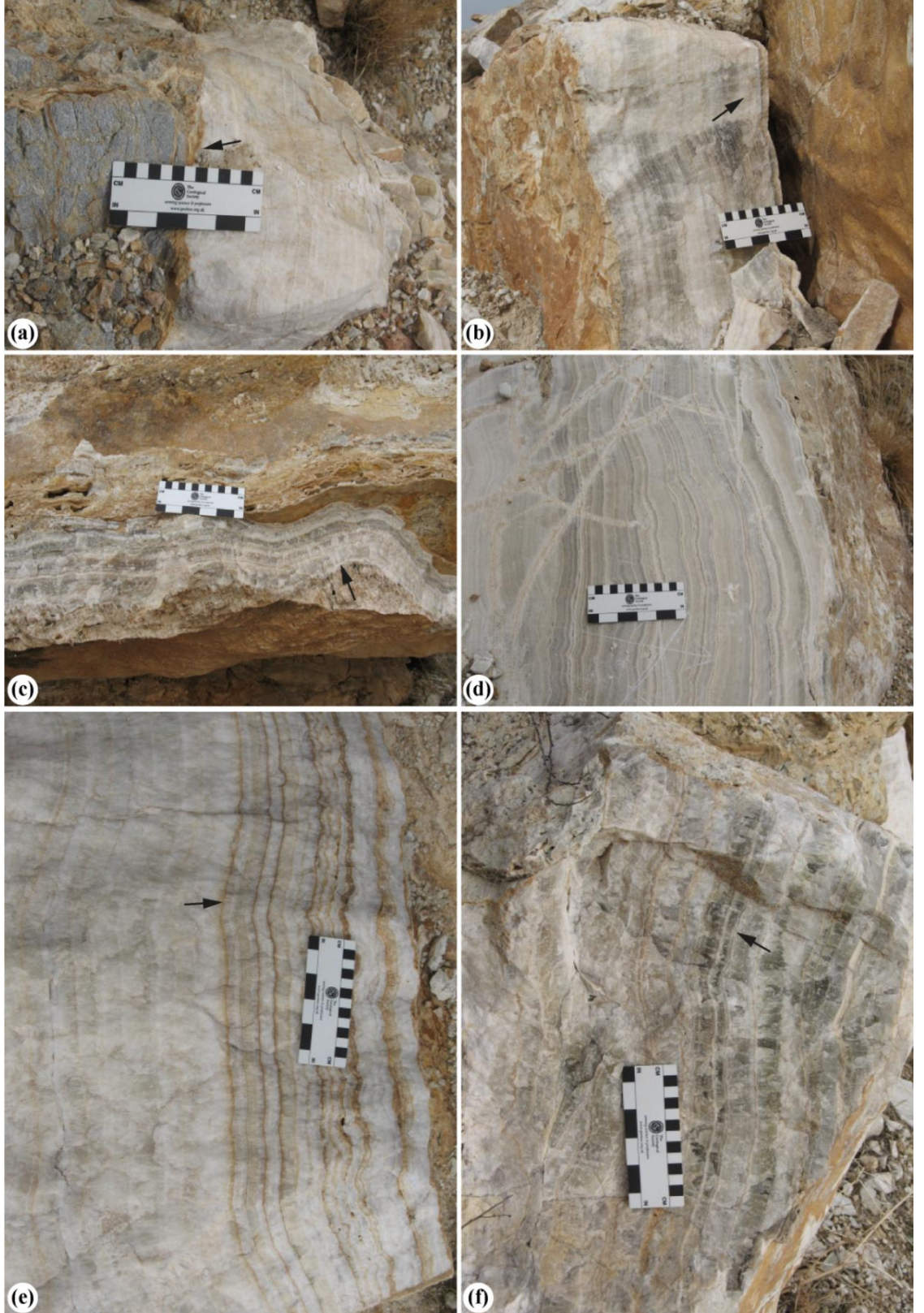
Şekil 2.11 a, b ve c) Modern işletme tarafından tahrip edilmiş Gölemezli antik ocağının genel görünüşleri, **d ve e)** mermer bileşimli metamorfikler içerisindeki kırık hatlarında gelişmiş bantlı travertenler, **f)** antik ocak işletmesine ait keski izlerinin görüldüğü yüzey, **g ve h)** güncel işletmeye ait pasalar içerisinde üzerinde keski izleri görülen bloklar.

Gölemezli antik ocağı bantlı travertenleri mermer olarak adlandırılan metamorfik kayalar içerisinde orta-kalın (30-100 cm) tabakalı yapıda ve düşey konumlu olarak görülmektedir (Şekil 2.12a, b). Bantlı travertenler genellikle beyaz, grimsi beyaz ve sarımsı beyaz renkli olup, yer yer kahverengi renkli ince damarlar içermektedir. Bantlı travertenleri oluşturan bileşenler iğnemsî kristaller şeklinde olup, kristal yüzeyleri güneş ışığı altında parlamaktadır (Şekil 2.12c). Renk bantlarının genişliği 1-3 mm arasında değişmektedir. Bantlı travertenlerin renkleri “Munsell Geological Rock-Color Chart” a göre beyaz (N9), sarımsı gri (5Y 8/1), grimsi sarı (5Y 8/4), açık yeşil (5G 7/4), soluk turuncu (10YR 8/2), grimsi turuncu (10YR 7/4), koyu sarı (5Y 6/4), koyu sarı-turuncu (10YR 6/6), koyu sarımsı kahverengi (10YR 5/4) arasında değişmektedir (Şekil 2.12d, e, f).

2.2.5 Tripolis Antik Ocakları

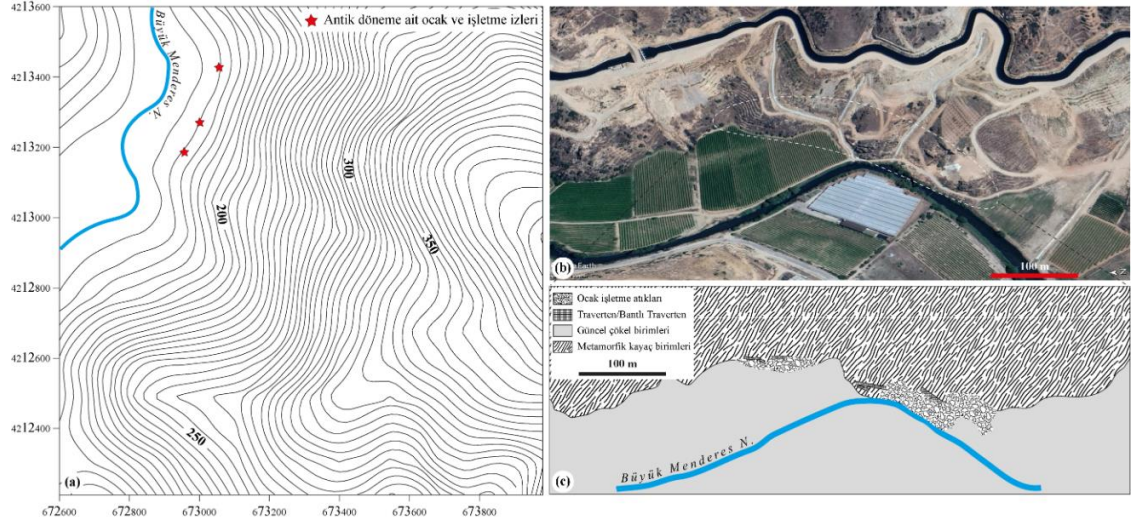
Tripolis antik ocakları, Tripolis antik yerleşiminin 2.5 km ve Yenicekent kasabasının 3 km kuzeydoğu’sunda yer almaktadır. Bölgede farklı büyüklüklerde en az 3 adet antik dönem ocak işletmesi bulunmaktadır (Şekil 2.13a). Ocaklar Büyük Menderes nehrinin kenarında olup, deniz seviyesinden yaklaşık 165 m yüksekte ve yaklaşık 1.15 hektar bir alana yayılmıştır (Şekil 2.13b). Ocaklara ulaşım oldukça kolay olup, Yenicekent kasabasından Güney ilçesine doğru giden asfalt karayolunu takip etmek gerekir. Tripolis antik ocaklarının coğrafik konumu blok üretimi ve antik yerleşimlere taşınması bakımından oldukça elverişlidir. Antik dönemde Büyük Menderes nehri vasıtasıyla İç Ege bölgesinden Ege Denizi kıyılarına kadar taşımacılık yapıldığına yönelik bilgiler arkeolojik kaynaklarda belirtilmektedir⁴¹. Antik ocaklara ait işletme izleri çoğunlukla korunmuş olmakla birlikte özellikle Tripolis antik kentine yakın olan kısımda açılmış olan traverten ocak işletmesi bu kısımlarda önemli tahribata neden olmuştur.

Tripolis antik ocakları uzunluğu yaklaşık 150 m olan, KD-GB uzanımlı fay kırığı boyunca işletilmiştir. Ocaklar mermer-şist olarak tanımlanan metamorfik birimler içerisinde bulunmaktadır (Şekil 2.13c). Bantlı traverten üretimi yapılan ocakların genişliği 5-15 m, ayna yükseklikleri 2-5 m arasında değişmektedir (Şekil 2.14a, b). Ocak aynalarında blok, sütun çıkarmak amacıyla kesici ve delici aletler kullanılması kaynaklanan farklı yönlerde keski izleri ile işletme basamakları belirgin olarak görülmektedir (Şekil 2.14c, d, e).



Şekil 2.12 a ve b) Düşey yönde gelişmiş bantlı traverten oluşumu, **c)** iğnemsî şekilli kristal yapısına sahip karbonat bileşenler, **d, e ve f)** bantlı travertenlerde görülen renk bantları.

Ana kaya kütlesi üzerinde belli aralıklarla açılmış oyuklar bulunmaktadır (Şekil 2.14f). Bu oyuklar blokları kaldırmak için kullanılan makara sistemlerini taşıyan ağaç kütüklerin yerleştirildiği yuva izleri olarak yorumlanmıştır.



Şekil 2.13 a) Tripolis ocaklarının yerini gösteren topografik harita, **b)** antik ocakların içerisinde bulunduğu KD-GB doğrultulu kırık hattı ve çevresinin Google Earth görüntüsü, **c)** Tripolis antik ocaklarının krokisi.

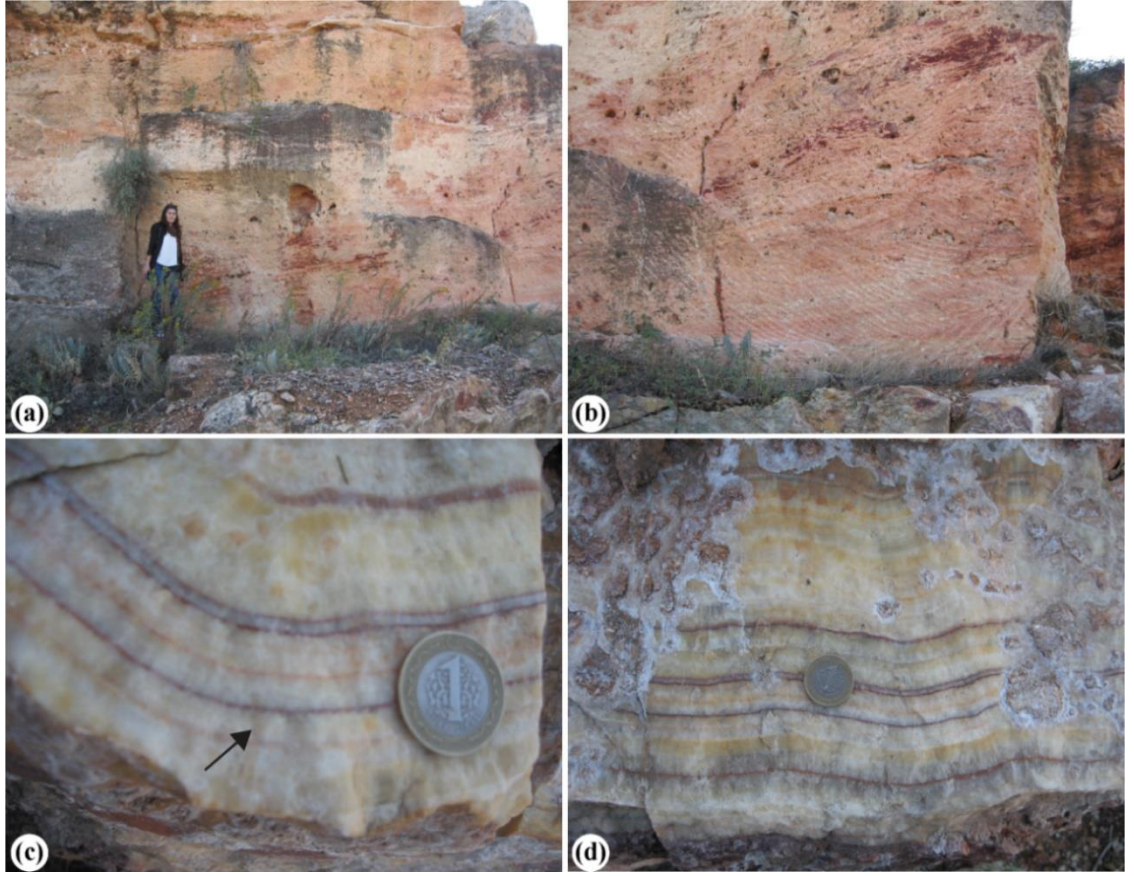
Tripolis ocaklarından çıkarılan bantlı travertenler Tripolis antik kentindeki yapılarda yaygın olarak kullanılmıştır²⁵. Bantlı travertenler orta-kalın (30-100 cm) arasında değişen tabakalı yapıda ve düşey konumlu olarak görülmektedir. Kırık ve çatlak dolgusu olarak görülen bantlı traverten oluşumlarının çevresinde kırmızımsı renkli, gözenekli traverten oluşumları görülmektedir (Şekil 2.15a, b).

Bantlı travertenler baskın olarak kırmızımsı kahve, bordo ve sarımsı kahve renkli olup, yer yer beyaz renkli ince damarlar içermektedir. Bileşenler ince kristalli olup, kristal yüzeyleri güneş ışığı altında parlamaktadır. 0.5-2 mm arasında değişen renk bantları “Munsell Geological Rock-Color Chart” a göre beyaz (N9), sarımsı gri (5Y 8/1), sarımsı kahverengi (10YR 5/4), soluk sarı-turuncu (10YR 8/6), soluk turuncu (10YR 8/2), açık kahverengi (5YR 5/6, 5YR 6/4, 5YR 5/8), koyu sarı-turuncu (10YR 6/6) ve koyu kırmızı (5R 2/6) arasında değişim göstermektedir (Şekil 2.15c, d).

²⁵ Koralay et al. 2017, 145-163; Koralay et al. 2018.



Şekil 2.14 a ve b) Tripolis antik ocaklarının genel görünüşleri, **c, d ve e)** antik dönem ocak işletmesine ait keski izlerinin görüldüğü yüzeyler ve işletme basamakları, **f)** ocaktan blokları çıkarmak için kullanılan makara sistemlerini taşıyan kare şekilli kalas yuvası.



Şekil 2.15 a ve b) Bantlı traverten oluşumlarının çevresinde görülen kırmızımsı renkli, gözenekli travertenler, **c ve d)** bantlı travertenlerde görülen renk bantları.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. MİNERO-PETROGRAFİK VE JEOKİMYASAL İNCELEMELER

3.1 Bantlı Travertenlerin Minero-Petrografik İncelemeleri

3.1.1 Optik Mikroskop İncelemeleri

Traverten/bantlı Travertenler, yüksek miktarda kalsiyum karbonat içeren yüzey ve yeraltı sularının yeryüzüne çıktığı alanlarda bünyesindeki kalsiyum karbonatın kimyasal ve/veya biyokimyasal yollarla çökmesi sonucu oluşan sedimanter kayaçlardır²⁶. Traverten/bantlı travertenler mineralojik olarak karbonat minerallerinden (çoğunlukla kalsit, daha az oranda aragonit ve dolomit) oluşmaktadır. Çoğunlukla kalsit bileşimli olan bileşenler tane büyüklüklerine göre; mikrit ($<5\mu\text{m}$), mikrosparit ($5-35\mu\text{m}$) ve sparit ($>35\mu\text{m}$) olarak adlandırılmaktadır. Mikrit bileşenler eş taneli ve öz şekilsiz görünümdeyken, mikrosparit bileşenler eş taneli ve nispeten daha öz şekillidirler. Özellikle bantlı travertenlerde yaygın olarak görülen ince-uzun kalsit kristalleri için “bıçağımsı” terimi kullanılmaktadır. Bu tür kristallerin genişliği $>10\mu\text{m}$ ve uzunluk/genişlik oranı $>6:1$ ise “sütunsu” kristal terimi kullanılabilir. İnce-uzun kalsit kristallerinde kristallerin genişliği $<10\mu\text{m}$ ise “iğnemsı” kristal terimini kullanılmaktadır⁴⁴. Traverten/bantlı travertenlerin sahip olduğu dokusal özellikler çökme anındaki fiziko-kimyasal ve biyolojik şartlar ile çökme sonrası diyajenez benzeri değişimlere bağlı olarak gelişmektedir²⁷.

Traverten/bantlı traverten bileşimli sütun ve sütun kaideleri, opus sectile, mozaik resimler, duvar ve zemin kaplamaları Lykos vadisi antik yerleşimlerinde yaygın olarak görülmektedir. Kalınlığı birkaç mm ölçeğinden cm ölçeğine kadar değişen renk bantları bu kaya türlerinin karakteristik özelliğidir. Renkli bantlar, traverten oluşumları sırasında çökme ortamındaki fiziko-kimyasal şartlardaki değişimlere işaret etmektedir. Lykos vadisinde antik dönemde işletilen bantlı traverten ocaklarının bazı makro ve mikro özellikleri Tablo 3.1’de özetlenmiştir.

²⁶ Guo and Riding 1998, 163-180; Pentecost 2005; Gandin and Capezzuoli 2014, 264-290; Teboul et al. 2016, 97-114.

Tablo 3.1 Lykos vadisi antik dönem traverten/bantlı traverten ocaklarının bazı minero-petrografik özellikleri.

Antik Ocak	Makro Özellikler		Mikro Özellikler		
	Renk Özellikleri	Renk Bantlarının Genişliği (mm)	Bileşenler	Tane Boyutu* (µm)	Dokusal Özellikler
Çukurbağ Antik Ocağı	Beyaz, sarımsı gri, açık kahverengi, sarımsı kahverengi	0.5-6	Karbonat min. (iğnemsî >sütunsu), mikrosparit, mikrit, ±Fe-oksit	116-979	Kolloform doku (kısmen balon yapısı), Mikrit bileşimli laminalı doku, Işınsal dendritik doku
Hierapolis Antik Ocakları	Sarımsı gri, sarımsı kahverengi, açık kahverengi, koyu sarı turuncu, beyaz, kahverengi	0.1-7	Karbonat min.(iğnemsî >sütunsu), Fe-oksit, mikrit, mikrosparit	160-1720	Mikrit bileşimli laminalı doku, Işınsal dendritik doku, ±Kolloform doku
Develi-Akköy Antik Ocakları	Kırmızımsı kahverengi, kahverengi, soluk kahverengi, sarımsı gri, beyaz, koyu sarı-turuncu	0.1-2	Karbonat min.(iğnemsî >sütunsu), Fe-oksit, mikrosparit, mikrit,	258-2370	Işınsal dendritik doku, Kolloform doku (balon yapısı), Mikrit bileşimli laminalı doku
Gölemezli Antik Ocağı	Beyaz, sarımsı gri, soluk turuncu, koyu sarı-turuncu, koyu sarımsı kahverengi	1-3	Karbonat min.(iğnemsî <sütunsu), mikrosparit, ±mikrit, ±Fe-oksit	465-3000	Işınsal dendritik doku, ±Mikrit bileşimli laminalı doku
Tripolis Antik Ocakları	Beyaz, sarımsı gri, sarımsı kahverengi, soluk sarı-turuncu, soluk turuncu, açık kahverengi	0.5-2	Karbonat min.(iğnemsî <sütunsu), Fe-oksit, mikrosparit, mikrit	100-1270	Işınsal dendritik doku, Mikrit bileşimli laminalı doku

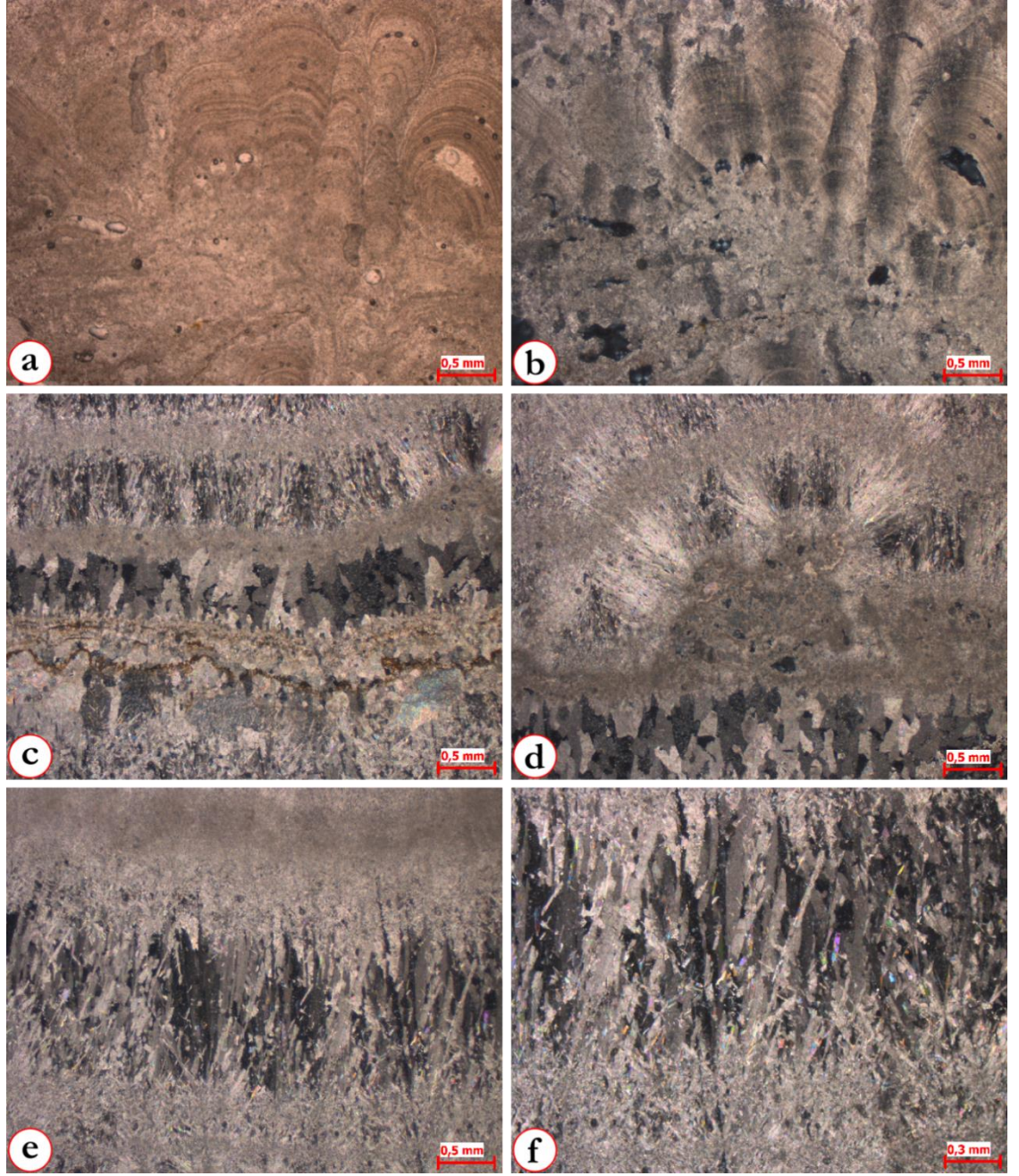
* Kalsit kristallerinin uzun eksenî boyunca elde edilen ölçüm sonuçları

Bantlı travertenlerde görülen renkli bantlar genellikle birbirine paralel olarak gelişmiş olup, renk bantları arasındaki beyaz, sarımsı beyaz renkli kısımları oluşturan iğnemsî şekilli karbonat mineralleri olup ve/veya çıplak gözle tanımlanabilmektedir. Bununla birlikte renkli bantlar arasında eliptik ve/veya daire şekilli küçük boşluklar görülmektedir. Renk bantlarına dik olacak şekilde hazırlanan ince kesitlerde bantlı travertenlerin baskın olarak iğnemsî karbonat mineralleri, mikrit ve mikrosparit bileşenler ile daha az oranda kil mineralleri ve demir oksit bileşenlerden oluştuğu belirlenmiştir (Tablo 3.1).

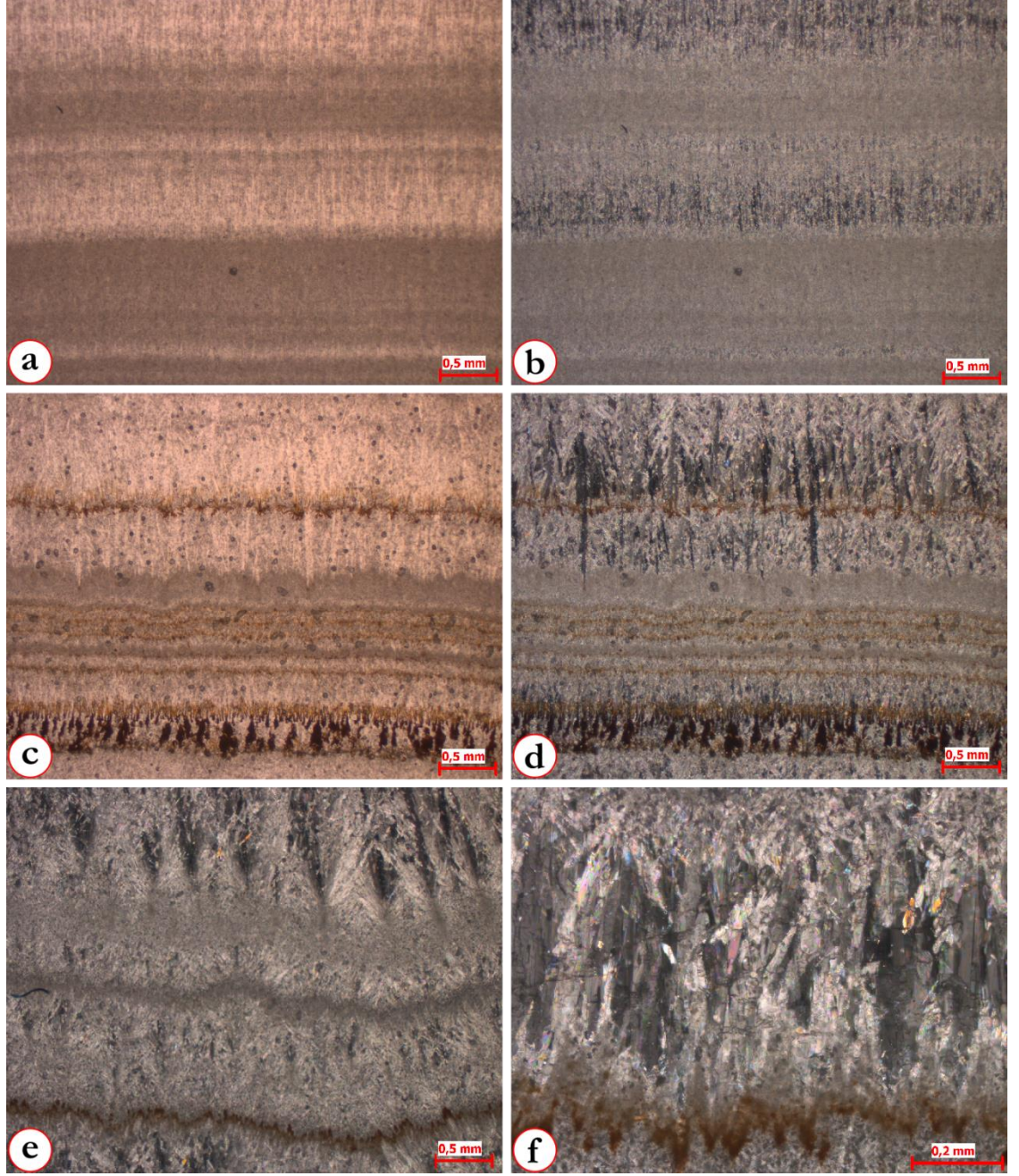
Çukurbağ antik ocağı bantlı traverten örnekleri karbonat mineralleri (iğnemsî kristaller>sütunsu kristaller), mikrosparit, mikrit ve $\pm$ Fe-oksit türü bileşenlerden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Karbonat minerallerinin boyutu 116-979 μ m arasında değişmektedir. Çukurbağ örneklerinde kolloform doku (kısmen balon yapısı gösteriyor), mikrit bileşimli laminalı doku ve ışınsal dendritik doku belirlenmiştir. Özellikle ışınsal dendritik dokuyu oluşturan karbonat mineralleri mikritik laminalar ile birbirinden ayrılmaktadır (Şekil 3.1).

İnce kesit incelemeleri sonucunda Hierapolis antik ocakları bantlı traverten örneklerinin kalsit (iğnemsî>sütunsu), Fe-oksit, mikrit ve mikrosparit bileşenlerinden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 3.2). Karbonat minerallerinin boyutu 160-1720 μ m arasında değişim göstermektedir. Hierapolis örneklerinde mikrit bileşimli laminalı doku, ışınsal dendritik doku ve $\pm$ kolloform doku belirlenmiştir. Mikrit ve karbonat mineralleri arasında kahverengi-kırmızımsı renkli Fe-oksit bileşimli ince bantlar oldukça belirgindir (Şekil 3.2).

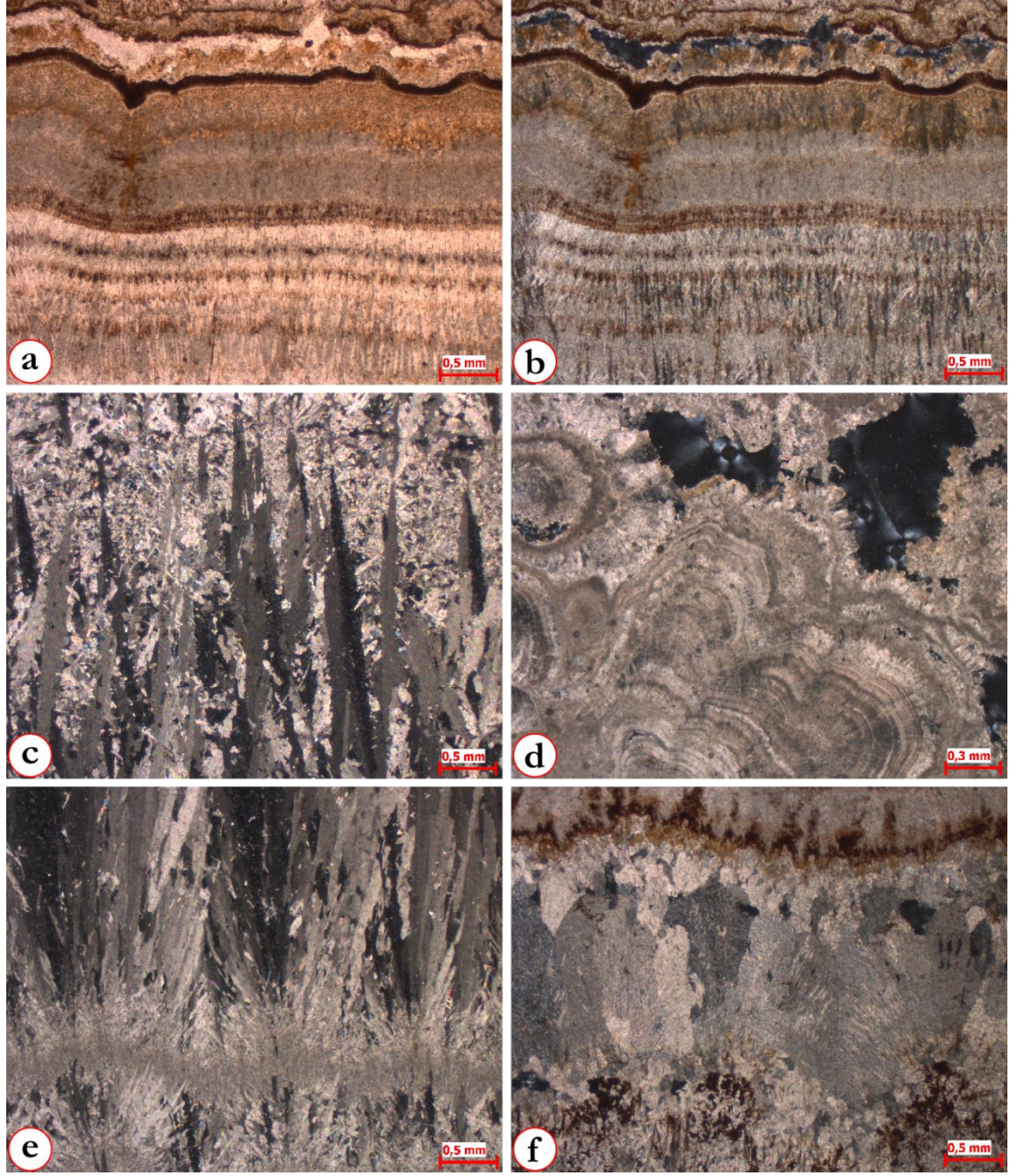
Develi-Akköy antik ocaklarına ait bantlı traverten örneklerinin karbonat mineralleri (iğnemsî kristaller > sütunsu kristaller), Fe-oksit, mikrosparit ve mikrit türü bileşenlerden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 3.3). Karbonat minerallerinin boyutları 258-2370 μ m arasında değişmektedir. Bantlı traverten örnekleri ışınsal dendritik doku, kolloform doku (balon yapısı gösteriyor) ve mikrit bileşimli laminalı dokuya sahiptir. Özellikle ışınsal dendritik dokuyu oluşturan karbonat mineralleri mikritik laminalar ile birbirinden ayrılmaktadır. Diğer önemli bir farklılık ise birbirine paralel laminalar arasında belirgin boşluklar bulunmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.1 Çukurbağ antik ocağı bantlı traverten örneklerinin mikroskop görüntüleri **a** ve **b**) bantlı traverten örneklerinde görülen kolloform doku (kısmen balon yapısı gösteriyor)[**a**) Paralel Nikol, **b**) Çapraz Nikol], **c**) mikrit bileşimli laminalar ile birbirinden ayrılmış ışınsal dendritik yapı gösteren karbonat mineralleri, **d**) mikrit laminası üzerinde gelişmiş iğnemsî karbonat mineralleri, **e** ve **f**) ışınsal dendritik yapı gösteren karbonat mineralleri.



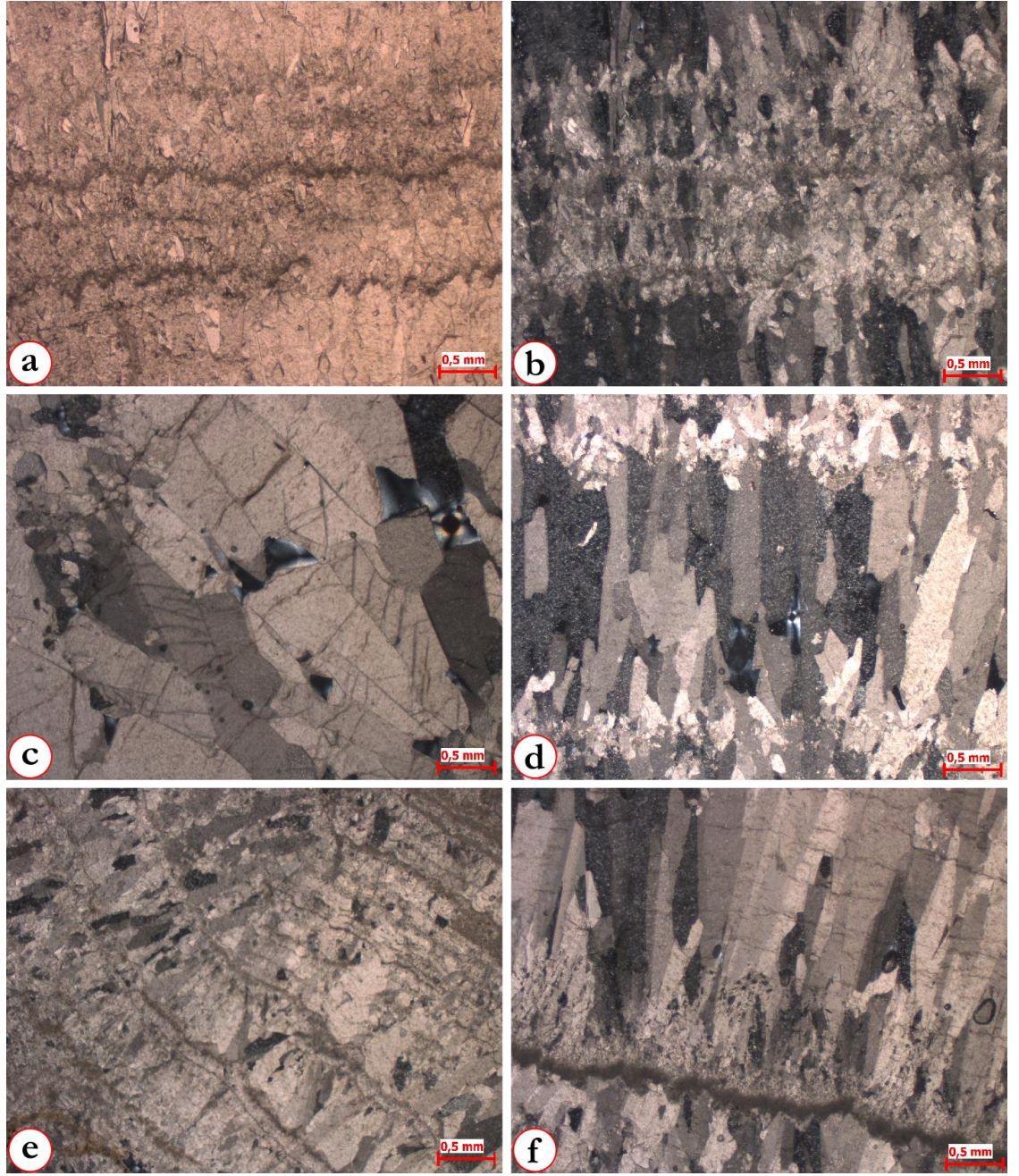
Şekil 3.2 Hierapolis antik ocakları bantlı traverten örneklerinin mikroskop görüntüleri **a** ve **b**) bantlı traverten örneklerinde mikrit bileşimli laminalı doku [**a**) Paralel Nikol, **b**) Çapraz Nikol], **c** ve **d**) mikrit bileşimli laminaları birbirinden ayıran kahverengi-kırmızı renkli Fe-oksit bantları [**c**) Paralel Nikol, **d**) Çapraz Nikol], **e**) mikrit laminası üzerinde gelişmiş iğnemsî karbonat mineralleri, **f**) ışınal dendritik yapı gösteren karbonat mineralleri.



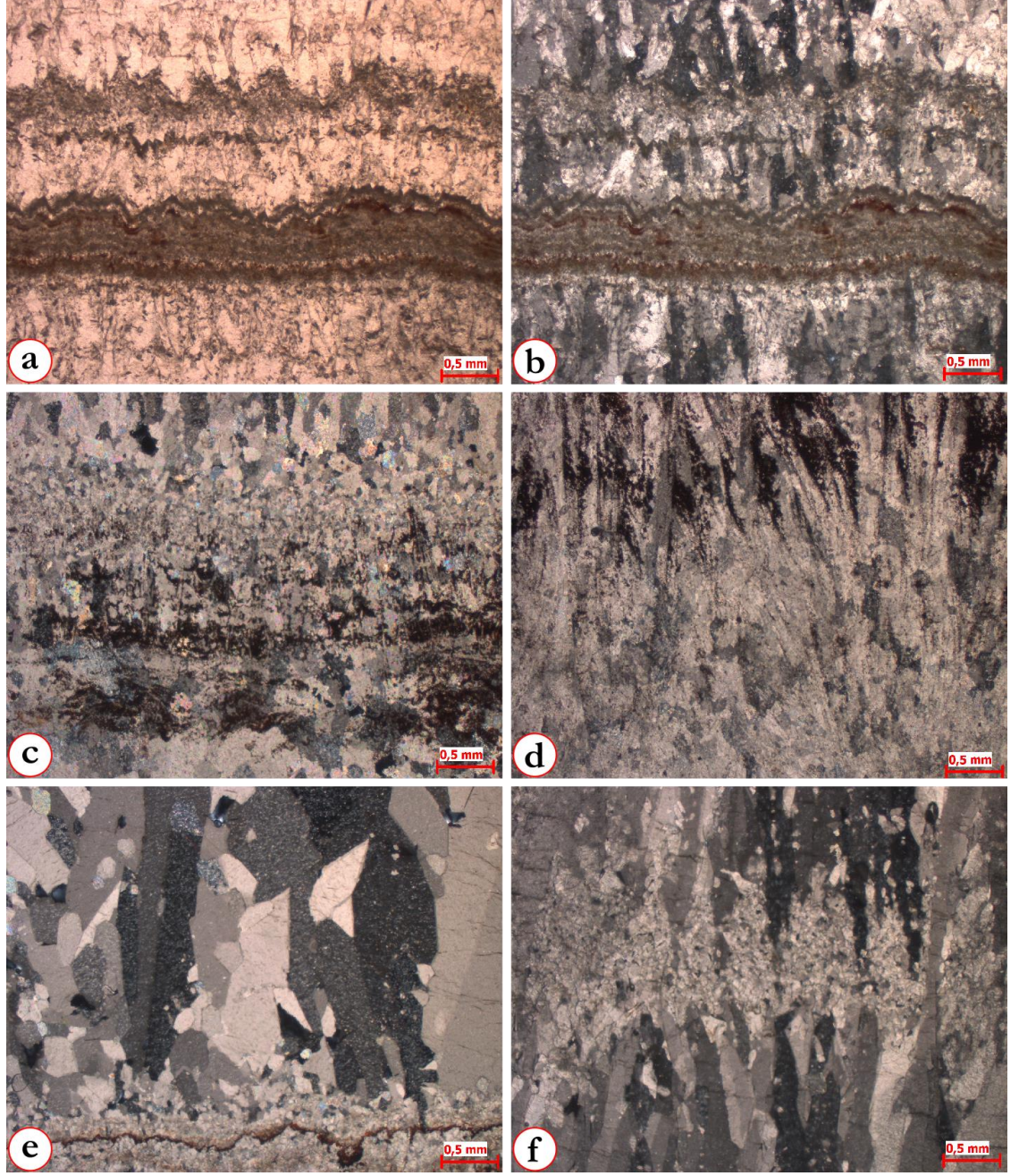
Şekil 3.3 Develi-Akköy antik ocakları bantlı traverten örneklerinin mikroskop görüntüleri **a** ve **b**) bantlı traverten örneklerinde mikrit/mikrosparit bileşimli laminalı doku ve laminaları birbirinden ayıran kahverengi-kırmızı renkli Fe-oksit bantları [**a**) Paralel Nikol, **b**) Çapraz Nikol], **c**) sütunsu karbonat mineralleri ile arasındaki boşlukları dolduran iğnemsî karbonat mineralleri ve mikrosparit, **d**) örneklerde görülen kolloform doku (balon yapısı gösteriyor), **e**) ışımsal dendritik doku, **f**) ışımsal karbonat minerallerinden oluşan bantları birbirinden ayıran kahverengi-kırmızı renkli Fe-oksit bantları.

Gölemezli antik ocağı bantlı traverten örnekleri karbonat mineralleri (iğnemsî kristaller<sütunsu kristaller), mikrosparit, $\pm$ mikrit ve $\pm$ Fe-oksit türü bileşenlerden oluşmaktadır (Şekil 3.4). Karbonat minerallerinin boyutu 465-3000 μm arasında değişmektedir. Gölemezli örneklerinde ışınsal dendritik doku, $\pm$ mikrit bileşimli laminalı doku belirlenmiştir. Gölemezli örnekleri diğer ocaklarda görülen bantlı traverten örneklerine göre daha iri kristalli yapıda ve nispeten daha saf bir mineralojik bileşime sahiptir (Şekil 3.4).

Tripolis antik ocakları bantlı traverten örnekleri karbonat mineralleri (iğnemsî>sütunsu), Fe-oksit, mikrosparit ve mikrit bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 3.5). Karbonat minerallerinin boyutu 100-1270 μm arasında değişim göstermektedir. Tripolis örneklerinde ışınsal dendritik doku ve mikrit bileşimli laminalı doku görülmektedir. Mikrit ve karbonat mineralleri arasında kahverengi-kırmızımsı renkli Fe-oksit bileşimli ince bantlar oldukça belirgindir (Şekil 3.5).

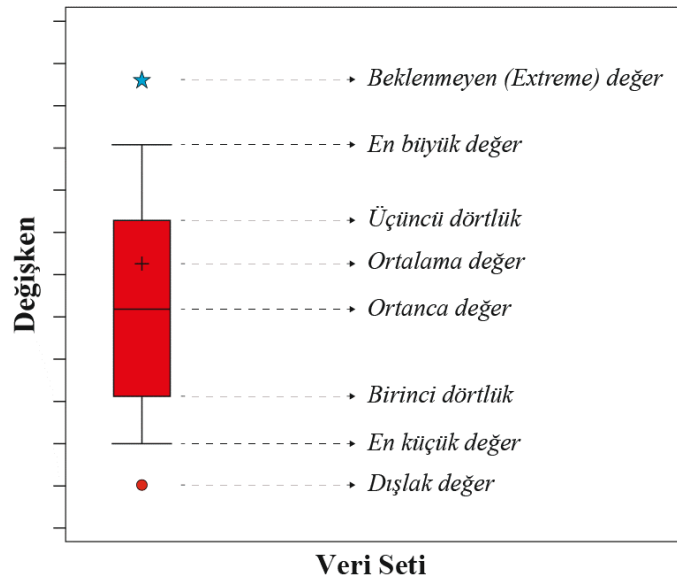


Şekil 3.4 Gölemezli antik ocağı bantlı traverten örneklerinin mikroskop görüntüleri **a** ve **b**) bantlı traverten örneklerinde mikrit/mikrospartit bileşimli laminalar ile ayrılmış ışınal dendritik karbonat mineralleri [**a**) Paralel Nikol, **b**) Çapraz Nikol], **c**) sütunsu karbonat mineralleri ve uzun eksenlerine dik gelişmiş kırıklar, **d**) sütunsu karbonat mineralleri, **e**) mikrit/mikrospartit bileşimli laminalar ile ayrılmış ışınal dendritik karbonat mineralleri, **f**) sütunsu karbonat minerallerinde görülen çatlaklar.



Şekil 3.5 Tripolis antik ocakları bantlı traverten örneklerinin mikroskop görüntüleri **a** ve **b**) bantlı traverten örneklerinde mikrit/mikrosparit bileşimli laminalı doku ve laminaları birbirinden ayıran kahverengi-kırmızı renkli Fe-oksit bantları [**a**) Paralel Nikol, **b**) Çapraz Nikol], **c** ve **d**) mikrosparit ve iğnemsî karbonat mineralleri, **e**) sütunsu karbonat minerallerinde görülen enine çatlaklar, **f**) ışınal karbonat minerallerinden oluşan seviyeleri birbirinden ayıran mikrosparit bantları.

Kutu grafikleri çok sayıda verinin ve farklı veri serileri arasındaki ilişkinin anlaşılmasını kolaylaştırmak üzere sayısal veri serilerini grafiksel biçimde görüntülemek için kullanılır. Kutu grafikleri (Box-Plot) ilk defa Amerikan istatistikçi John Tukey²⁷ tarafından 1977 yılında “*kutu ve bıyıklar grafiği*” adı altında açıklayıcı veri analiz aracı olarak geliştirilmiştir. Kutu grafikleri özellikle merkezsiz konum, yayılma, çarpıklık ve basıklık yönünden verileri özetlemek ve aykırı değerleri tanımlamak için kullanılır (Şekil 3.6).



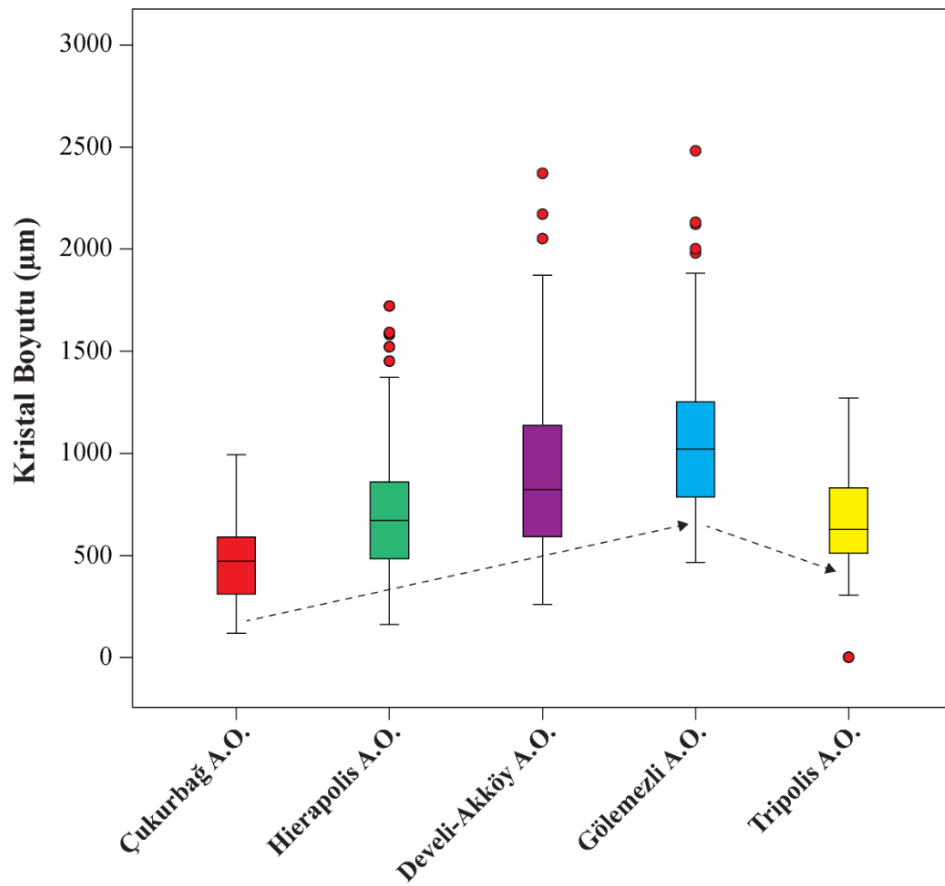
Şekil 3.6 Kutu grafiği ve taşıdığı özellikler.

Kutu grafiklerinde verilerin merkezsiz konumları kutunun içinde işaretlemiş olan ortanca çizgisi ile gösterilir. İncelenen verilerin yayılımı kutunun büyüklüğü ile yorumlanmaktadır. Kutu büyük ise verilerin geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği söylenebilir. Kutu grafiklerinde verinin çarpıklık durumu hakkında yorum yapabilmek için kutunun en küçük değer ve en büyük değere olan yakınlığına bakılır. Kutu en küçük değere yakınsa, kutu içindeki medyan noktası en küçük değere yakın olacaktır. Kutu dışında kalan çizginin yüksek kısmı (yani en büyük değere doğru olan kısmı) pozitif doğru uzunca bir kuyruk gösterecektir. Bu durum veri setinin pozitif çarpıklık gösterdiği şeklinde yorumlanmaktadır. Kutu grafiklerinde veri setinin basıklık niteliği hakkında da yorum yapılabilir. Eğer kutunun genişliği ile çizginin genişliğini birbirine yakın ise veri setinin basık olduğu söylenebilir²⁸.

²⁷ Tukey 1977.

²⁸ Akgül ve Çevik 2005, 486.

Bantlı traverten örneklerini oluşturan karbonat minerallerinin (kalsit, aragonit) kristal boyu ölçümleri mikroskop altında kristallerin uzun eksenini boyunca gerçekleştirilmiştir. Kristal boyu ölçümlerinin ocaklara göre değişimi Şekil 3.7’de verilmiştir. Lykos vadisi bantlı traverten örneklerinin karbonat minerallerinin kristal boyları çoğunlukla homojen ve sınırlı bir yayılım göstermektedir. Grafiklerde renkli kutuların en küçük değere yakın olarak konumlandıkları, kutular dışında kalan çizgilerin yüksek kısımlarının en büyük değere doğru kuyruklar oluşturduğu belirlenmiştir. Bu durumda kristal boyu ölçümlerine ait verilerin pozitif çarpıklık gösterdiği söylenebilir. Lykos vadisinin GD’sundaki ocaklardan (Çukurbağ) KB’sında bulunan ocaklara (Gölemezli) doğru kristal boyutunda belirgin bir artış olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Tripolis ocaklarına ait örneklerin kristal boyutları bu değişime aykırı bir dağılım göstermektedir (Şekil 3.7).

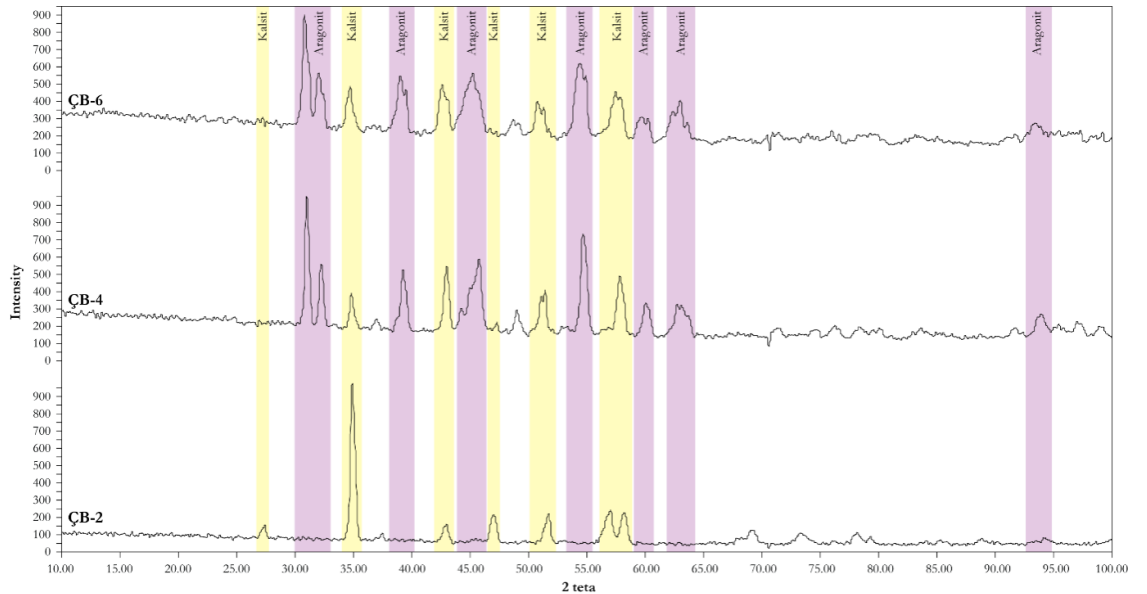


Şekil 3.7 Lykos vadisi bantlı traverten örneklerinin kristal boyu ölçümlerini gösteren kutu grafikleri.

3.1.2 X-Işınları Difraktometre (XRD) İncelemeleri

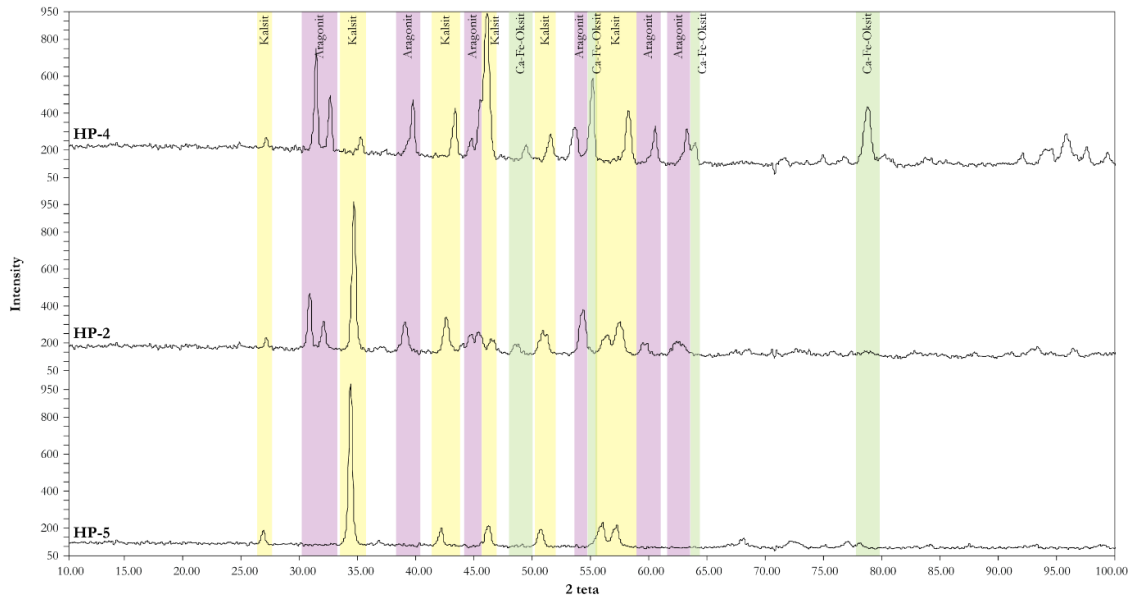
XRD içeriği bilinmeyen katı malzemeler üzerinde X-ışınları tarafından oluşturulan kırınım desenlerinden yararlanılarak malzemenin yapısı ve yapı parametreleri hakkında bilgi edinmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. XRD ölçümlerinde kırınım açısı (2θ)'nın, kırınıma uğrayan ışının şiddetine göre değişimini veren kırınım deseni elde edilir. XRD grafiği olarak tanımlanan çıktılardaki pik genişlikleri ve şiddetleri birlikte değerlendirilerek katı malzemenin kristalleşmesi hakkında bilgi edinilebilir. Optik mikroskop çalışmalarında karbonat minerallerini birbirinden ayırmak çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Optik özellikleri birbirine benzeyen ve CaCO_3 kimyasal bileşiminde olan karbonat minerallerini tanımlayabilmek için XRD ölçümleri yapılmıştır. Lykos vadisi bantlı traverten örneklerinin tüm kayaç toz XRD ölçümlerine ait grafikler şekil 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12’de verilmiştir.

Çukurbağ bantlı traverten örneklerine ait 3 adet örnek üzerinde (ÇB-2, ÇB-4, ÇB-6) XRD ölçümü alınmıştır. Örneklerde karbonat minerali olarak aragonit ve kalsit piklerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 3.8). Bununla birlikte özellikle ÇB-2 numaralı örneğin kalsit, ÇB-4 ve ÇB-6 numaralı örneklerin aragonit ve kalsit bileşimli oldukları görülmektedir.



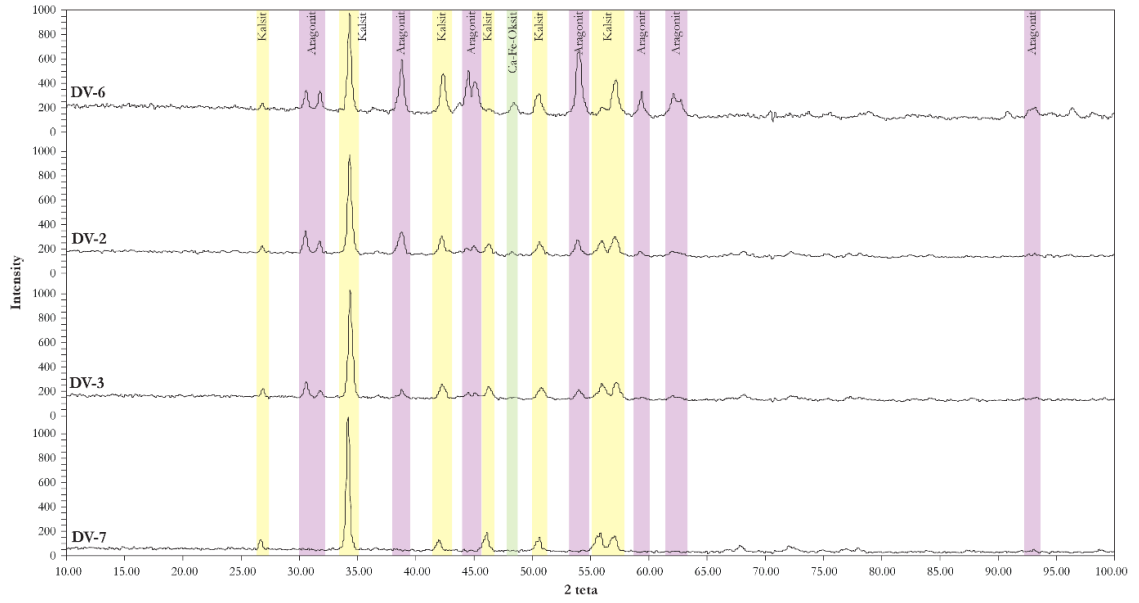
Şekil 3.8 Çukurbağ bantlı traverten örneklerine ait yorumlanmış XRD grafikleri.

Hierapolis antik ocaklarına ait 3 adet bantlı traverten örneğinin (HP-2, HP-4, HP-5) yorumlanmış XRD grafikleri şekil 3.9’da verilmiştir. Örneklerin aragonit ve kalsit türü karbonat minerallerinden oluştuğu, HP-5 numaralı örneğin kalsit, HP-2 ve HP-4 numaralı örneklerin aragonit ve kalsit bileşimli oldukları belirlenmiştir. Bununla birlikte özellikle HP-2 ve HP-5 numaralı örneklerde Ca-Fe oksit (demir karbonat?) pikinin varlığı görülmektedir. Bu tür piklerin varlığı petrografik incelemelerde değinilen mikrit ve karbonat mineralleri arasındaki kahverengi-kırmızımsı renkli Fe-oksit bileşimli ince bantlar ile açıklanabilir.



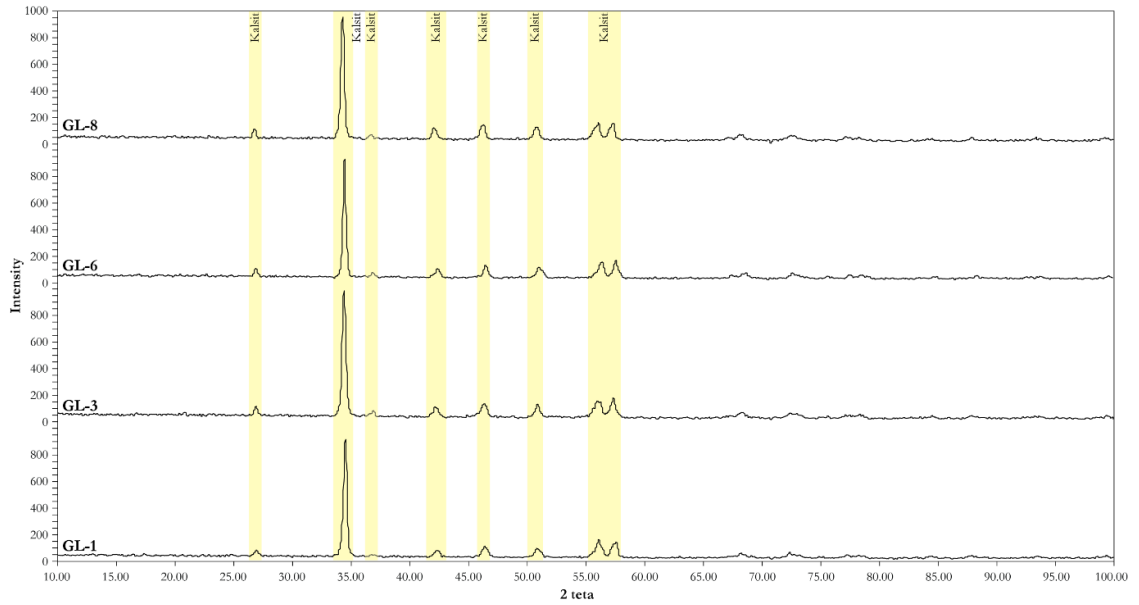
Şekil 3.9 Hierapolis bantlı traverten örneklerine ait yorumlanmış XRD grafikleri.

Develi-Akköy antik ocaklarına ait 4 adet bantlı traverten örneğinin (DV-2, DV-3, DV-6, DV-7) XRD grafikleri şekil 3.10’da verilmiştir. Örneklerin aragonit ve kalsit türü karbonat minerallerinden oluştuğu, DV-2, DV-3 ve DV-6 numaralı örneklerin aragonit ve kalsit, DV-7 numaralı örneğin kalsit bileşimli olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte özellikle DV-6 numaralı örnekte Ca-Fe oksit (demir karbonat?) pikinin varlığı görülmektedir (Şekil 3.10). Bu tür piklerin varlığı petrografik incelemelerde değinilen mikrit ve karbonat mineralleri arasındaki kahverengi-kırmızımsı renkli Fe-oksit bileşimli ince bantlar ile açıklanabilir.



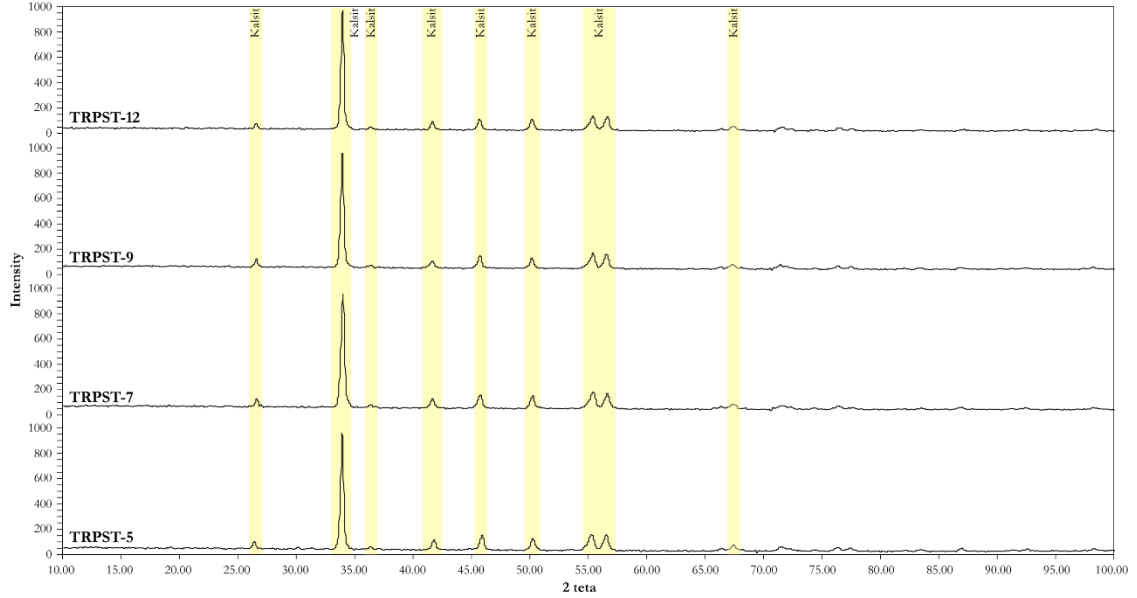
Şekil 3.10 Develi-Akköy bantlı traverten örneklerine ait yorumlanmış XRD grafikleri.

Gölemezli antik ocağına ait 4 adet bantlı traverten örneğinin (GL-1, GL-3, GL-6, GL-8) yorumlanmış XRD grafikleri şekil 3.11’de verilmiştir. Örneklerin tamamının kalsit türü karbonat minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir.



Şekil 3.11 Gölemezli bantlı traverten örneklerine ait yorumlanmış XRD grafikleri.

Tripolis bantlı traverten örneklerine ait 4 adet örnek üzerinde (TRPST-7, TRPST-7, TRPST-9, TRPST-12) XRD ölçümü alınmıştır. Örneklerde karbonat minerali olarak kalsit piklerinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Tripolis bantlı traverten örneklerine ait yorumlanmış XRD grafikleri.

XRD incelemeleri sonucunda Lykos vadisinin GD'sunda bulunan antik ocaklara (Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy) ait bantlı traverten örneklerinde karbonat minerali olarak kalsit ve aragonit birlikte görülüyorken, KB'sındaki ocaklarda (Gölemesli ve Tripolis) kalsit türü karbonat mineralleri baskın olarak görülmektedir. Ayrıca Hierapolis ve Develi-Akköy örneklerinde karbonat minerallerine ait piklerin yanında Ca-Fe oksit (demir karbonat?) pikleri belirlenmiştir.

3.1.3 Konfokal Raman Spektrometre (Confocal Raman Spectrometry-CRS) İncelemeleri

Hint asıllı fizikçi C.V. Raman, moleküllerin şiddetli bir monokromatik ışın demeti ile etkileşmesi sırasında ışık saçılması olayının meydana geldiğini, ışık saçılması sırasında saçılan ışığın büyük bir kısmının enerjisinin madde ile etkileşen ışığın enerjisine eşit olduğunu belirlemiştir. Işık saçılması sırasında meydana gelen elastik saçılma olayına *Rayleigh saçılması* denir. Elastik saçılma olayının yanı sıra saçılan ışığın çok az bir kısmı ise molekül ile etkileşmeye giren ışığın enerjisinden daha farklı enerjilerle saçılır. Bu tür elastik olmayan saçılma olayı ise *Raman saçılması* adı verilir. Elastik olmayan ve saçılan

ışının belirli bir açıdan ölçümüne dayanan spektroskopik yöntem *Raman spektroskopisi* olarak adlandırılmaktadır. Raman spektroskopisinde molekül ile etkileşen ışığın dalga boyuna göre saçılan ışığın dalga boyunda oluşan farklar ölçülür. Ölçüm sonucu elde edilen normal Raman piklerinin şiddeti veya gücü, molekülün polarizlenebilirliğine, ışın kaynağının şiddetine, ölçüm yapılan maddenin bileşimine ve bir dizi diğer faktöre karmaşık şekilde bağlıdır²⁹. Daha çok niteleyici analiz yapılan Raman spektroskopisi yönteminin en önemli avantajları incelenecek madde üzerinde herhangi bir bozucu etkisinin olmaması ve incelemelerde kullanılacak örnekler için herhangi bir örnek hazırlama gerektirmemesidir.

Optik mikroskop ve XRD incelemelerinde kullanılan bantlı traverten örnekleri az ya da çok tahribata uğramakta ve örneklerin yapısı bozulabilmektedir. Bu nedenle Lykos vadisi bantlı traverten örneklerini oluşturan karbonat mineralleri ve kahverengi-kırmızımsı renkli Fe-oksit bileşimli ince bantların mineralojik bileşimlerini belirleyebilmek için tahribatsız analiz yöntemi olan CRS ölçümleri yapılmıştır.

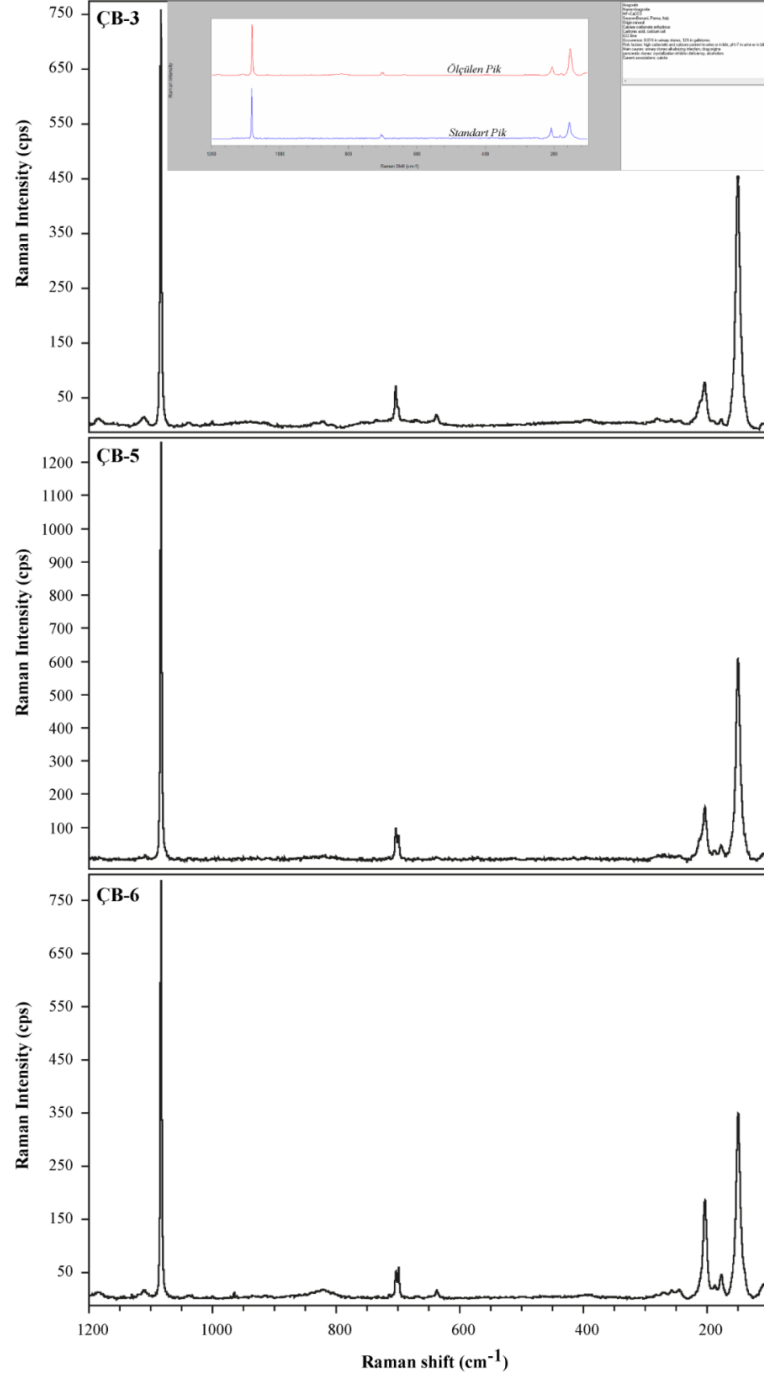
Optik mikroskop ve XRD incelemeleri sonucu belirlenen mineral bileşimleri CRS çalışmaları ile de desteklenmiştir. Çukurbağ antik ocağı bantlı traverten örnekleri içerisinde karbonat minerali olarak başlıca aragonit mineral pikleri belirlenmiştir. Aragonit bileşimli mineralin en belirgin Raman pikleri 158, 205 ve 1080 (cm⁻¹)’de görülmüştür (Şekil 3.13). Aragonit mineralinin en küçük Raman pikleri 178 ve 705 (cm⁻¹)’de olup, molekül kafesinde ötelenme salınımları (translatory oscillation) içeren CO₃ molekülünün dış titreşimleriyle ilişkilidir. 705 (cm⁻¹)’de görülen pik, CO₃ molekülünün simetrik deformasyonu ile ilişkili olup, 1080 (cm⁻¹)’de görülen pik, CO₃ molekülünün simetrik gerilmesinden kaynaklanmaktadır³⁰.

Hierapolis antik ocakları bantlı traverten örnekleri içerisinde karbonat minerali olarak başlıca aragonit mineral pikleri belirlenmiştir. Aragonit minerallerinin en şiddetli Raman pikleri 155, 208 ve 1085 (cm⁻¹)’de görülmektedir (Şekil 3.14). Aragonit mineralinin zayıf Raman pikleri 180 ve 703 (cm⁻¹)’de bulunmaktadır. Bununla birlikte petrografik incelemelerde değinilen mikrit ve karbonat mineralleri arasındaki kahverengi-kırmızımsı renkli Fe-oksit bileşimli ince bantların başlıca götit ve hematit türü Fe-oksit

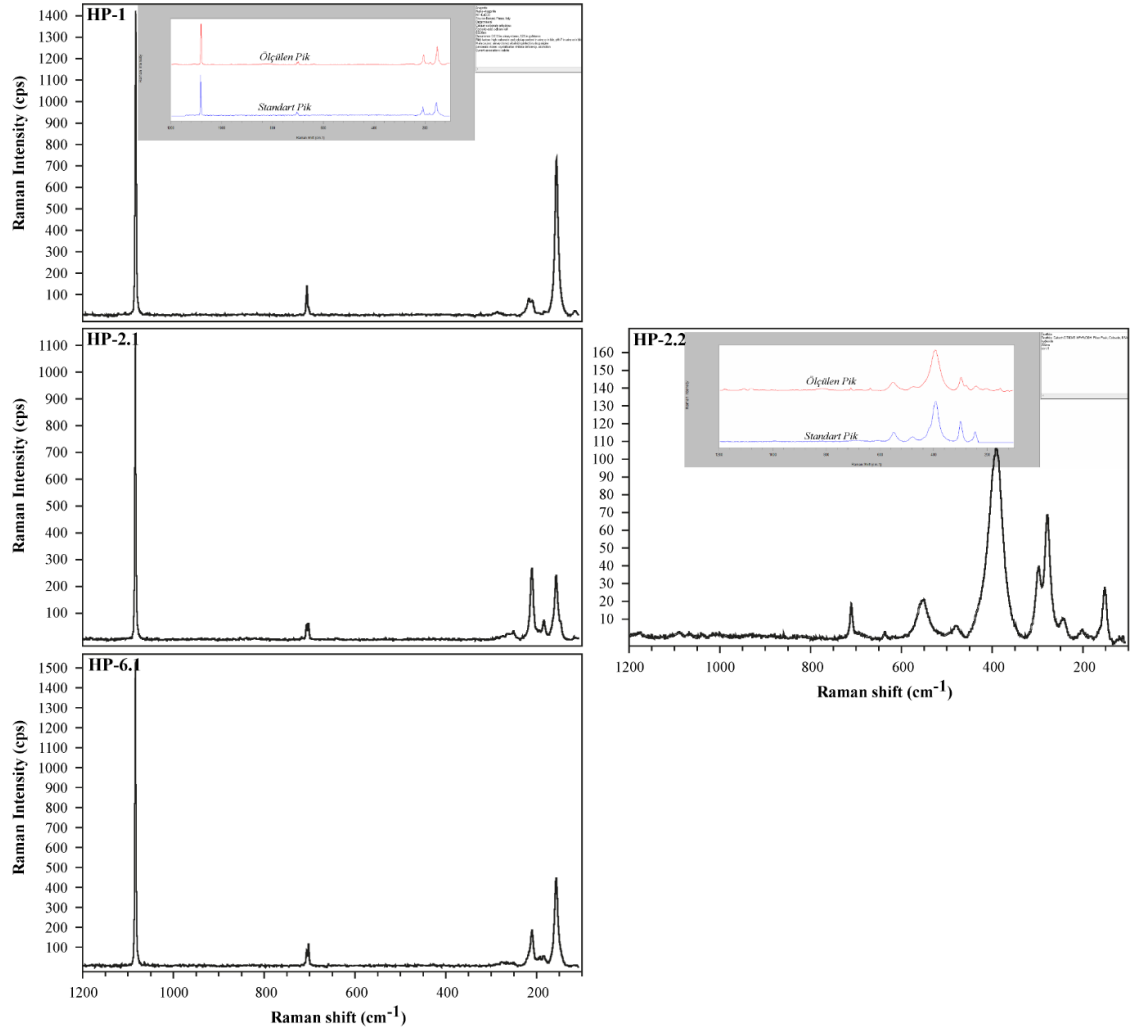
²⁹ Long 1977; McMillan 1989, 254-279; Gündüz 1999; Mayo et al. 2004; Koralay 2006, 302.

³⁰ Gunasekaran et al. 2006, 892-899; Buzgar and Apopei 2009, 97-112; Kılınçarslan 2013, 185.

minerallerden oluştuğu CRS çalışmaları sonucunda belirlenmiştir. Götüt bileşimli minerallerin en belirgin Raman pikleri 150, 280, 300 ve 385 (cm^{-1})’de görülüyorken, 205, 245, 475, 550, 640 ve 720 (cm^{-1})’de zayıf pikleri bulunmaktadır (Şekil 3.14).



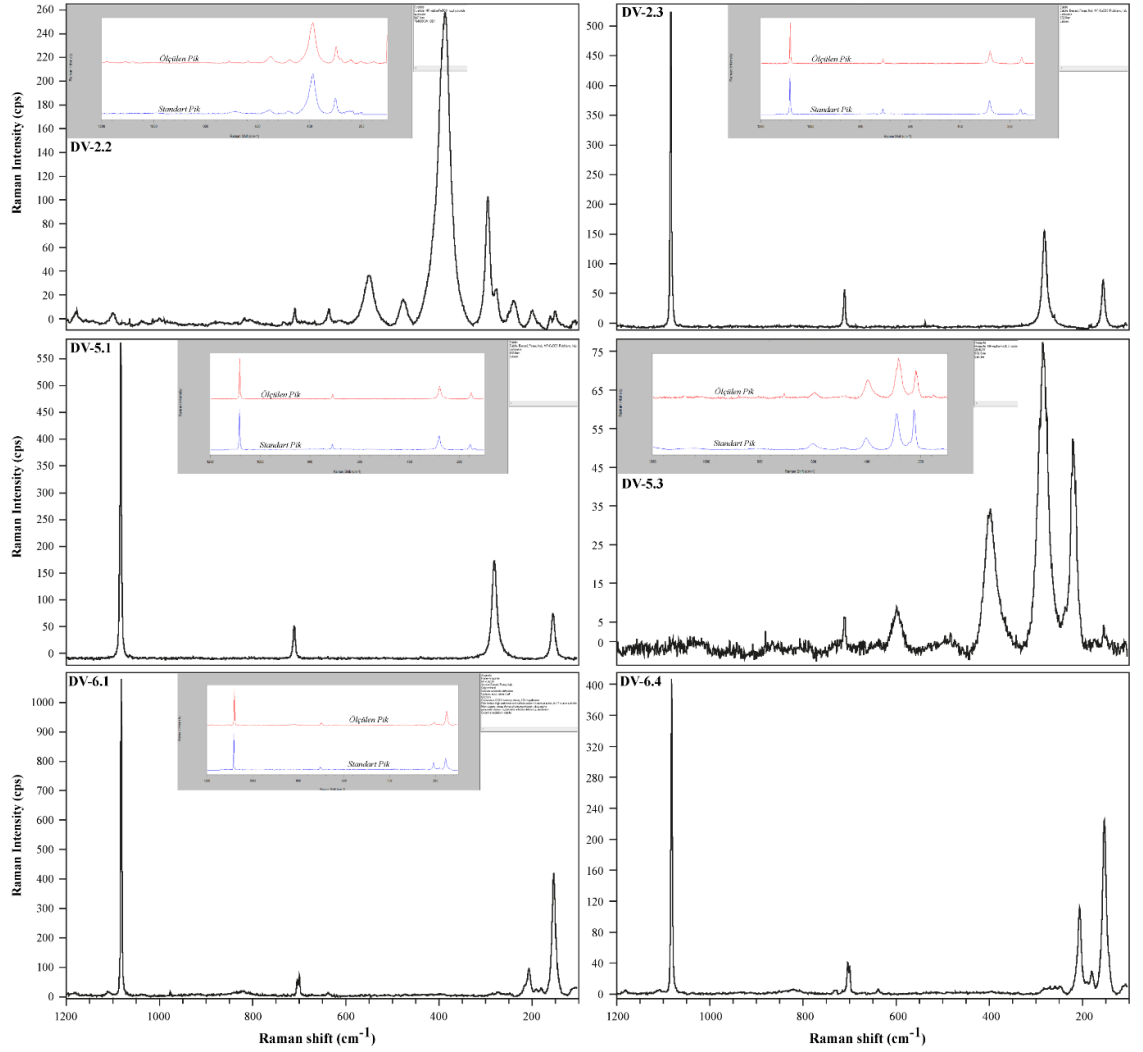
Şekil 3.13 Çukurbağ antik ocağı bantlı traverten örneklerinde görülen aragonit bileşimli karbonat minerallerine ait Raman spektrumları.



Şekil 3.14 Hierapolis antik ocakları bantlı traverten örneklerinde görülen aragonit ve götit bileşimli minerallere ait Raman spektrumları.

Develi-Akköy antik ocakları bantlı traverten örnekleri içerisinde karbonat minerali olarak başlıca aragonit ve kalsit mineral pikleri belirlenmiştir. Aragonit minerallerinin en şiddetli Raman pikleri 155, 210 ve 1075 (cm^{-1})’de görülmektedir (Şekil 3.15). Aragonit mineralinin zayıf Raman pikleri 180 ve 700 (cm^{-1})’de bulunmaktadır. Kalsit mineralinin en şiddetli Raman pikleri 280 ve 1070 (cm^{-1})’de bulunuyorken, 155 ve 720 (cm^{-1})’de görülen pikler nispeten daha zayıf Raman piklerini oluşturmaktadır. Bununla birlikte optik mikroskop incelemelerinde değinilen mikrit ve karbonat mineralleri arasındaki kahverengi-kırmızımsı renkli Fe-oksit bileşimli ince bantların başlıca götit ve hematit türü Fe-oksit minerallerden oluştuğu CRS çalışmaları sonucunda belirlenmiştir. Götit bileşimli minerallerin en belirgin Raman pikleri 150, 280, 300 ve 385 (cm^{-1})’de görülüyorken, 205, 245, 475, 550, 640 ve 720 (cm^{-1})’de zayıf pikleri bulunmaktadır. Hematit bileşimli Fe-oksit minerallerinin en şiddetli Raman pikleri 215,

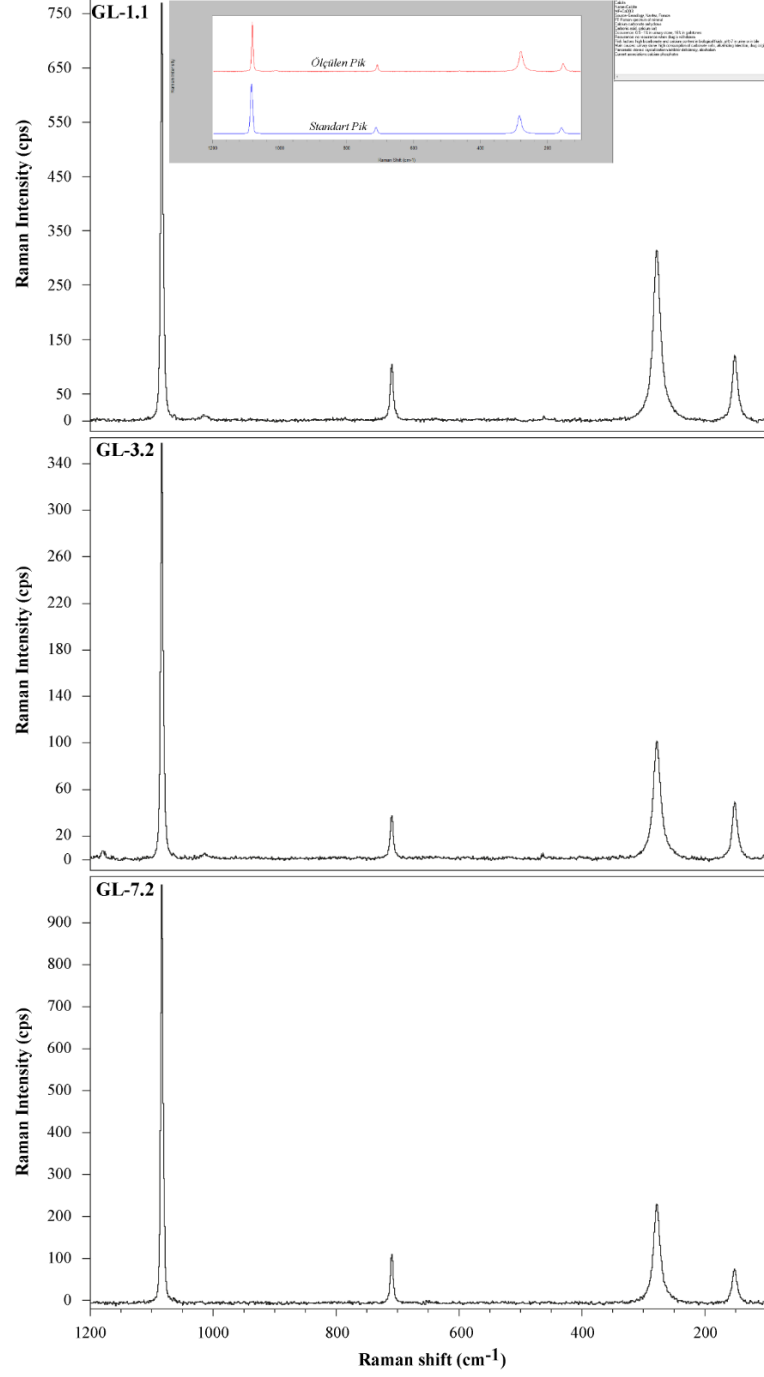
290 ve 395 (cm^{-1})’de görölüyorken, 155 ve 595 (cm^{-1})’de zayıf pikleri bulunmaktadır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Develi-Akköy antik ocakları bantlı traverten örneklerinde görülen aragonit, kalsit, götit ve hematit bileşimli minerallere ait Raman spektrumları.

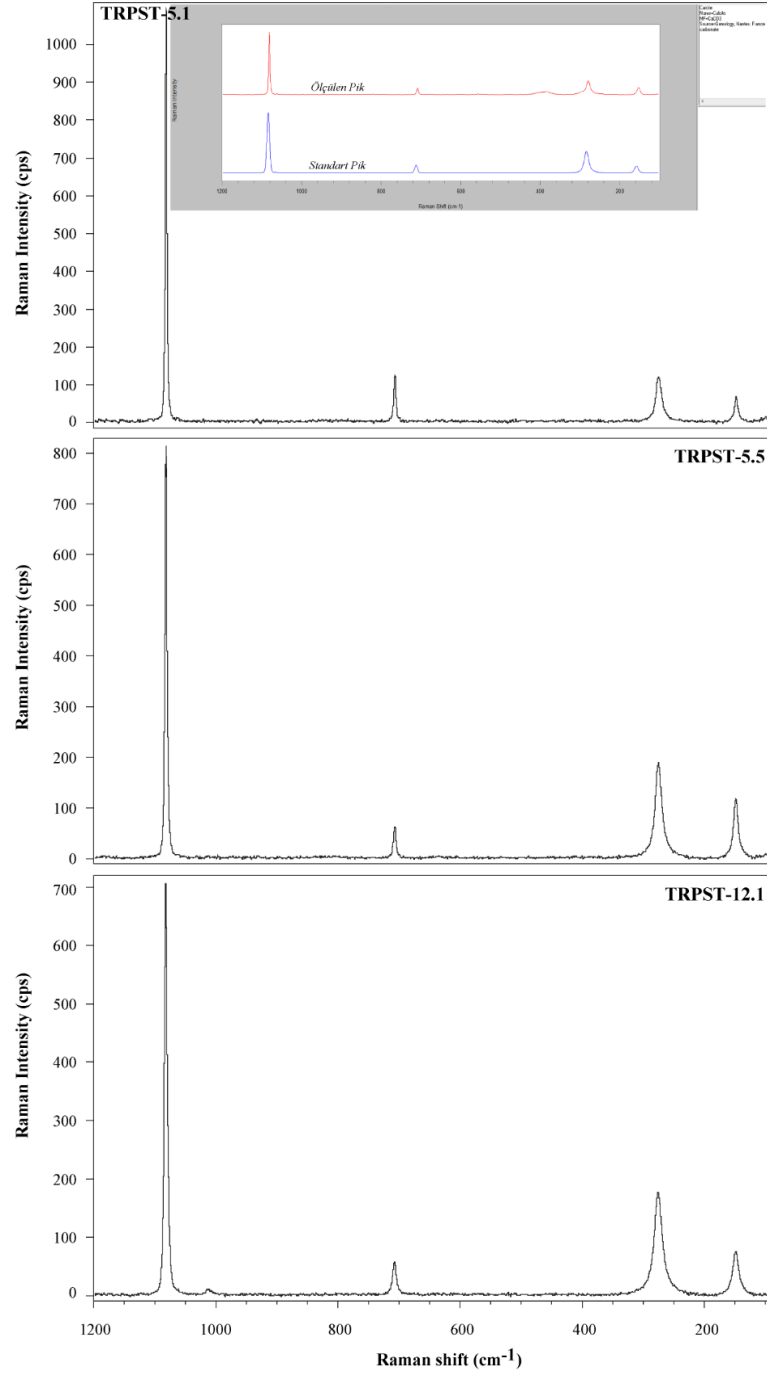
Optik mikroskop ve XRD incelemelerinde kalsit bileşimli karbonat minerallerinden oluştuğu belirlenen Gölemezli antik ocağı bantlı traverten örneklerinin mineralojik bileşimleri CRS ölçümleri ile de desteklenmiştir. Kalsit bileşimli karbonat minerallerinin en belirgin Raman pikleri 280 ve 1080 (cm^{-1})’de görülmektedir (Şekil 3.16). Kalsit mineralinin en küçük Raman piki 152 ve 718 (cm^{-1})’de olup, molekül kafesinde ötelenme salınımları (translatory oscillation) içeren CO_3 molekülünün dış titreşimleriyle ilişkilidir.

718 (cm^{-1})’de görülen pik, CO_3 molekülünün simetrik deformasyonu ile ilişkili olup, 1080 (cm^{-1})’de görülen pik, CO_3 molekülünün simetrik gerilmesinden kaynaklanmaktadır³⁶.



Şekil 3.16 Gölemezli antik ocağı bantlı traverten örneklerinde görülen kalsit bileşimli minerallere ait Raman spektrumları.

Tripolis antik ocakları bantlı traverten örneklerinde karbonat minerali olarak kalsit belirlenmiştir. Kalsit minerallerinin en şiddetli Raman pikleri 280 ve 1080 (cm^{-1})’de görülmektedir (Şekil 3.17). Kalsit mineralinin en küçük Raman piki 152 ve 718 (cm^{-1})’de görülmektedir.



Şekil 3.17 Tripolis antik ocakları bantlı traverten örneklerinde görülen kalsit bileşimli minerallere ait Raman spektrumları.

Lykos vadisi antik dönem bantlı traverten ocaklarına ait örneklerin CRS incelemelerinde benzer mineral piklerinin varlığı belirlenmiştir. Örneklerde karbonat minerali olarak aragonit (Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy) ve kalsit (Develi-Akköy, Gölemezli ve Tripolis) belirlenmiştir. Bununla birlikte optik mikroskop incelemelerinde belirlenen mikrit ile karbonat mineralleri arasındaki kahverengi-kırmızımsı renkli Fe-oksit bileşimli ince bantların başlıca götit ve hematit bileşimli Fe-oksit minerallerinden oluştuğu, CRS çalışmaları sonucunda da belirlenmiştir.

3.2 Bantlı Travertenlerin Jeokimyasal İncelemeleri

Bantlı traverten örneklerinin jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla; Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarından alınan örneklerden ana oksit ve iz element analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 3.2’de verilmiştir.

3.2.1 Ana Oksit Element İncelemeleri

Lykos vadisinde belirlenen bantlı traverten ocaklarından alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına göre hazırlanan kutu grafiklerine göre SiO₂(%) içeriği bakımından Çukurbağ ve Gölemezli antik ocakları geniş yayılıma sahipken, Hierapolis, Develi-Akköy ve Tripolis antik ocaklarında daha sınırlı bir yayılım göstermektedir (Şekil 3.18). Hierapolis örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir. Bununla birlikte Çukurbağ ve Develi-Akköy bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirine yakındır. HP-3 ve TRPST-12 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değerleri oluşturmaktadır.

Al₂O₃ (%) içeriği bakımından Çukurbağ ve Gölemezli antik ocakları geniş yayılıma sahipken, Hierapolis, Develi Akköy ve Tripolis antik ocaklarında daha sınırlı bir yayılım göstermektedir. Çukurbağ örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir. Hierapolis bantlı traverten örneklerinde kutu boyutu ve kuyruk uzunluğu birbirine yakındır (Şekil 3.18). TRPST-11 numaralı bantlı traverten örneği dışlak değeri oluşturmaktadır.

Tablo 3.2 Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin ana oksit ve bazı iz element analiz sonuçları.

Antik Ocak /Örnek No		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	V	Cr	Co	Ni
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ÇUKURBAĞ	CB-1	0.042	0.014	0.1122	0.5794	0.0023	0.0318	56.55	0.00024	0.01341	0.01961	1540	2.7	1.2	0.9	1.7
	CB-2	0.045	0.014	0.2453	0.9222	0.0025	0.0408	59.52	0.00021	0.01394	0.1021	1241	2.7	12.1	1.2	1.6
	CB-3	0.031	0.0098	0.397	1.398	0.0054	0.033	51.49	0.00031	0.00189	0.2952	1784	2.3	100.3	2.1	1.9
	CB-4	0.031	0.011	0.3668	0.8931	0.0167	0.0374	56.15	0.00031	0.00335	0.3543	1994	2.4	40.1	2.4	1.9
	CB-5	0.032	0.0098	0.2652	0.651	0.0026	0.0318	52	0.00032	0.00161	0.2572	1770	2.3	12.2	1.9	4.8
	CB-6	0.033	0.011	0.4591	1.461	0.0022	0.0438	55.25	0.00025	0.00469	0.1099	2994	2.6	46.7	1.5	4.1
HİERAPOLİS	HP-1	0.039	0.012	0.153	0.5858	0.0025	0.0308	55.5	0.00029	0.01212	0.5225	1545	2.4	1.3	2.7	5.5
	HP-2	0.036	0.011	0.1937	0.5664	0.0103	0.0321	56.59	0.00039	0.00396	1.409	1434	2.4	1.4	4.4	10.2
	HP-3	0.044	0.012	0.0887	0.4376	0.0026	0.0252	57.5	0.00038	0.00894	0.5212	1074	2.4	1.3	2.6	2.2
	HP-4	0.032	0.0098	0.2222	0.5241	0.0141	0.0255	53.57	0.00032	0.00203	0.0842	1852	2.3	17.1	1.5	8.5
	HP-5	0.042	0.013	0.0984	0.5621	0.0024	0.0312	54.98	0.00021	0.01713	1.508	940	2.5	1.2	3.9	1.6
	HP-6	0.032	0.01	0.2008	0.5192	0.0025	0.0307	53.15	0.00031	0.0031	0.2145	1612	2.4	4.4	2.0	4.4
DEVELİ-AKKÖY	DV-1	0.041	0.013	0.1107	0.5766	0.0025	0.0293	53.67	0.00034	0.03469	2.011	3503	2.4	1.4	4.8	4.2
	DV-2	0.038	0.012	0.1366	0.6149	0.0053	0.0377	52.47	0.00036	0.01588	2.519	2599	2.4	1.3	5.6	2.0
	DV-3	0.038	0.011	0.0888	0.4049	0.0025	0.0243	55.86	0.00035	0.00389	0.2339	1240	2.5	2.7	1.8	4.9
	DV-4	0.042	0.013	0.1177	0.7811	0.0025	0.0237	54.2	0.00036	0.0261	2.598	974	2.4	1.3	5.3	5.1
	DV-5	0.043	0.012	0.0814	0.4317	0.0025	0.0236	56.14	0.0004	0.00636	0.8407	934	2.6	1.2	3.3	1.8
	DV-6	0.032	0.01	0.1632	0.4016	0.0036	0.0248	55.08	0.00038	0.00253	0.4604	1485	2.5	1.3	2.8	5.3
	DV-7	0.043	0.014	0.1184	0.7832	0.0025	0.0339	55.39	0.00035	0.02895	2.082	1408	2.5	3.6	4.6	6.1

Tablo 3.2 devam

Antik Ocak /Örnek No		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	V	Cr	Co	Ni
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
GÖLEMEZLİ	GL-1	0.045	0.016	0.0792	0.4666	0.0024	0.0298	54.14	0.00034	0.05289	0.1196	5031	2.2	1.2	1.3	1.5
	GL-2	0.046	0.016	0.1152	0.5029	0.0024	0.0417	54.98	0.00034	0.04776	0.03864	5723	2.4	1.2	1.0	1.7
	GL-3	0.046	0.091	0.529	1.037	0.0024	0.1341	54.38	0.01755	0.02493	0.1318	6371	3.0	2.2	1.3	1.5
	GL-4	0.045	0.049	0.1771	0.6655	0.0023	0.0395	52.38	0.00028	0.01688	0.02457	6108	2.3	9.5	0.9	1.5
	GL-5	0.046	0.017	0.594	1.455	0.0024	0.1238	55.58	0.02287	0.0199	0.1638	4759	3.3	17.7	1.5	1.6
	GL-6	0.045	0.016	0.309	0.8505	0.0024	0.0623	55.39	0.00079	0.05129	0.1428	3934	2.6	1.2	1.3	1.6
	GL-7	0.043	0.156	0.382	0.9441	0.003	0.0623	53.32	0.00272	0.1022	0.23	4940	18.3	7.7	1.5	0.8
	GL-8	0.045	0.376	0.1117	0.7398	0.0109	0.0357	54.98	0.00033	0.09268	0.05238	8883	2.6	2.1	1.1	1.5
	GL-9	0.046	0.234	0.0671	0.4286	0.0024	0.032	55	0.00037	0.04283	0.0315	9938	2.4	1.3	1.0	1.6
	GL-10	0.045	0.533	0.2001	0.8196	0.0024	0.0441	54.95	0.00016	0.05415	0.3429	5647	2.5	2.3	1.9	5.6
TRİPOLİS	TRPST-1	0.277	0.098	0.004	0.405	0.008	0.0214	50.68	0.00034	0.00509	0.12650	0.129	6.2	5.4	16.6	4.8
	TRPST-2	0.280	0.050	0.004	0.345	0.008	0.0193	47.21	0.00034	0.00438	0.16450	0.096	2.3	2.8	8.3	5.8
	TRPST-4	0.305	0.102	0.004	0.413	0.014	0.0227	50.78	0.00034	0.00712	1.16600	0.119	10.0	5.1	28.5	5.0
	TRPST-5	0.281	0.123	0.004	0.394	0.013	0.0220	51.86	0.00034	0.00883	0.88100	0.114	7.7	5.2	33.1	4.4
	TRPST-11	0.305	0.504	0.044	0.285	0.088	0.0274	51.58	0.00032	0.02417	1.00700	0.454	11.5	2.8	14.6	4.5
	TRPST-12	0.333	0.860	0.004	0.001	0.083	0.0256	52.94	0.00034	0.00857	0.50380	0.914	4.7	3.0	21.7	4.3
	TRPST-13	0.328	0.044	0.004	0.418	0.008	0.0218	53.56	0.00034	0.00378	0.12600	0.071	3.1	2.5	6.8	4.3
	TRPST-14	0.272	0.244	0.004	0.177	0.072	0.0255	51.51	0.00055	0.13180	0.35020	0.032	9.1	5.8	33.7	14.2
	TRPST-15	0.270	0.118	0.004	0.360	0.007	0.0219	54.96	0.00034	0.00834	0.20400	0.095	5.6	3.0	7.2	5.9

Tablo 3.2 devam

Antik Ocak /Örnek No		Cu	Zn	Ga	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	La	Ce	Hf	Ta	Pb	Th	U
		ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ÇUKURBAĞ	CB-1	0.6	4.0	1.3	0.3	0.2	0.8	618.9	1.4	1.9	2.1	2.5	48.5	4.2	5.8	1.4	1.9	1.3	2.7	4.1
	CB-2	0.6	5.5	1.7	0.3	0.6	1.5	684.6	1.0	2.4	2.3	2.6	37.5	4.9	5.8	4.5	2.4	2.7	2.5	3.7
	CB-3	0.8	4.2	0.4	0.6	0.3	3.5	6141.0	0.5	0.5	2.2	2.6	35.5	4.9	5.8	1.7	2.5	4.1	3.3	1.5
	CB-4	0.9	2.6	0.5	2.6	0.3	4.8	6920.0	0.5	0.5	2.4	2.6	35.1	6.9	5.8	1.8	2.9	5.3	4.6	1.3
	CB-5	0.8	3.2	0.9	0.3	0.3	3.8	5764.0	0.5	0.5	2.5	2.5	32.1	4.7	5.8	1.7	2.4	4.9	6.7	1.5
	CB-6	0.8	3.9	0.6	0.3	1.0	3.6	5976.0	0.5	0.5	2.5	2.6	32.2	4.9	5.2	1.7	2.5	2.0	4.4	1.9
HİERAPOLİS	HP-1	0.8	14.1	0.8	10.5	0.3	2.7	4724.0	0.5	0.5	2.5	2.5	27.9	6.6	5.8	1.7	2.5	3.7	5.0	1.6
	HP-2	0.7	17.0	2.8	129.0	1.7	5.2	7189.0	0.5	0.5	2.7	2.6	34.1	4.9	5.8	1.9	2.9	7.4	4.4	1.0
	HP-3	0.8	4.9	1.5	21.6	1.1	3.5	4545.0	0.5	0.5	2.2	2.6	30.2	7.1	5.8	1.5	3.1	4.4	4.6	1.3
	HP-4	0.9	4.5	1.8	0.4	2.0	5.5	8585.0	0.5	0.5	2.9	2.6	43.4	5.6	5.8	1.9	2.7	4.4	4.7	1.5
	HP-5	0.7	5.4	1.3	39.9	0.2	1.0	616.0	1.0	2.6	1.9	2.6	29.7	6.4	5.8	1.4	2.0	1.2	2.2	3.5
	HP-6	0.9	6.3	0.5	8.1	0.3	4.9	8073.0	0.5	0.5	2.4	2.6	40.4	6.7	5.8	1.9	2.8	6.8	3.5	1.5
DEVELİ-AKKÖY	DV-1	0.7	27.9	1.5	171.1	0.4	2.5	3893.0	0.5	0.5	2.1	2.6	32.8	7.7	5.8	1.6	2.4	2.5	2.8	1.3
	DV-2	0.7	18.0	2.2	227.6	0.3	4.1	5598.0	0.5	0.5	2.1	2.6	35.4	5.2	5.8	1.7	2.5	4.0	4.3	2.1
	DV-3	0.8	6.3	0.8	32.2	1.1	4.2	6272.0	0.5	0.5	2.4	2.7	25.9	5.8	5.8	1.8	2.7	5.3	3.9	1.5
	DV-4	0.7	19.3	1.6	430.4	0.3	1.4	3218.0	0.5	0.5	2.0	2.6	33.7	7.2	5.8	1.6	2.4	1.8	2.2	1.5
	DV-5	0.8	6.7	0.5	113.2	0.3	3.3	5110.0	0.5	0.5	2.1	2.6	32.7	5.8	5.2	1.7	2.6	3.6	6.7	0.8
	DV-6	0.9	6.9	0.6	70.9	1.2	5.5	8375.0	0.5	0.5	2.6	2.3	38.2	4.9	5.2	2.0	2.8	6.9	5.5	1.5
	DV-7	0.7	25.1	1.3	167.9	0.3	1.4	1669.0	0.5	2.9	2.0	2.6	17.7	4.9	5.8	1.5	2.3	1.7	1.5	3.0

Tablo 3.2 devam

	Antik Ocak /Örnek No	Cu	Zn	Ga	As	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	La	Ce	Hf	Ta	Pb	Th	U
		Ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	Ppm	Ppm	Ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
GÖLEMEZLİ	GL-1	0.6	2.6	1.2	0.8	0.2	1.0	624.5	2.0	2.8	2.1	3.2	5.5	4.8	5.8	1.2	1.9	0.8	3.6	4.1
	GL-2	0.6	2.7	0.9	0.2	0.2	0.5	790.5	1.7	1.9	2.2	2.6	8.6	5.2	5.8	1.3	2.0	0.6	3.2	4.6
	GL-3	0.6	3.0	1.5	1.5	0.2	3.7	750.9	1.9	9.3	2.7	2.4	12.4	8.0	5.8	1.3	2.0	1.2	4.1	3.8
	GL-4	0.6	2.5	0.9	0.2	0.2	0.9	715.8	0.8	0.5	2.1	2.3	7.6	6.9	5.8	1.3	1.9	0.9	2.7	3.2
	GL-5	0.8	2.4	1.9	9.4	0.2	3.5	715.8	2.3	7.9	2.7	2.9	11.2	6.9	5.2	1.4	2.0	1.0	1.8	3.9
	GL-6	0.6	3.4	1.3	11.3	0.2	1.7	592.0	1.6	0.5	2.1	3.3	7.3	5.6	5.8	1.3	2.0	1.7	2.6	4.6
	GL-7	0.6	5.1	1.7	8.6	0.2	2.3	758.3	12.1	4.4	2.0	2.2	11.3	5.6	5.8	1.4	2.3	1.8	2.0	4.7
	GL-8	0.6	3.0	1.0	1.2	0.2	0.7	1220.0	6.6	2.9	2.1	2.6	18.3	6.0	5.2	1.3	2.0	1.0	1.3	5.1
	GL-9	0.6	2.8	1.2	0.3	0.2	1.0	1296.0	0.5	2.2	2.0	2.6	17.9	4.9	5.8	1.4	1.9	1.6	2.3	3.5
	GL-10	0.6	4.4	1.7	23.9	0.2	2.6	1048.0	1.5	0.5	2.2	2.3	15.2	4.5	5.8	1.4	2.0	3.5	2.0	4.0
TRİPOLİS	TRPST-1	2.4	1.5	1.5	35.9	0.8	3.6	6198.0	1.2	29.0	3.9	3.8	18.3	7.8	11.0	6.4	5.4	3.9	2.5	11.1
	TRPST-2	2.6	1.6	1.3	7.4	0.6	4.7	7918.0	1.3	35.0	4.5	3.9	20.4	14.4	12.7	7.2	5.9	4.0	2.4	13.1
	TRPST-4	2.9	1.6	1.5	77.5	0.8	4.1	6558.0	1.2	27.0	3.9	3.8	14.6	12.3	15.3	6.5	5.4	3.4	2.1	10.0
	TRPST-5	2.9	1.9	1.4	82.5	0.8	4.2	6817.0	1.2	31.0	4.3	3.6	22.9	9.3	10.0	6.9	5.5	4.2	2.0	9.9
	TRPST-11	1.9	1.2	0.8	6.3	0.6	1.7	1116.0	0.9	12.0	4.1	3.9	5.8	7.9	11.7	5.0	3.5	1.6	1.4	11.0
	TRPST-12	1.8	1.1	1.7	65.5	0.6	2.3	1756.0	0.8	14.0	4.0	3.9	43.8	7.7	23.4	5.4	4.1	1.4	1.3	11.0
	TRPST-13	1.8	1.3	2.3	0.4	0.6	2.7	4449.0	1.0	35.0	4.1	3.8	17.6	14.6	10.0	5.6	4.7	3.2	1.7	10.0
	TRPST-14	1.7	1.0	1.3	68.3	0.5	1.2	1435.0	0.8	20.6	3.4	3.6	58.5	7.5	10.0	5.1	4.5	2.2	1.3	10.1
	TRPST-15	2.7	1.6	2.3	1.0	1.2	7.1	9509.0	1.4	30.0	4.1	3.9	29.6	13.3	15.2	7.5	5.6	6.3	1.7	10.0

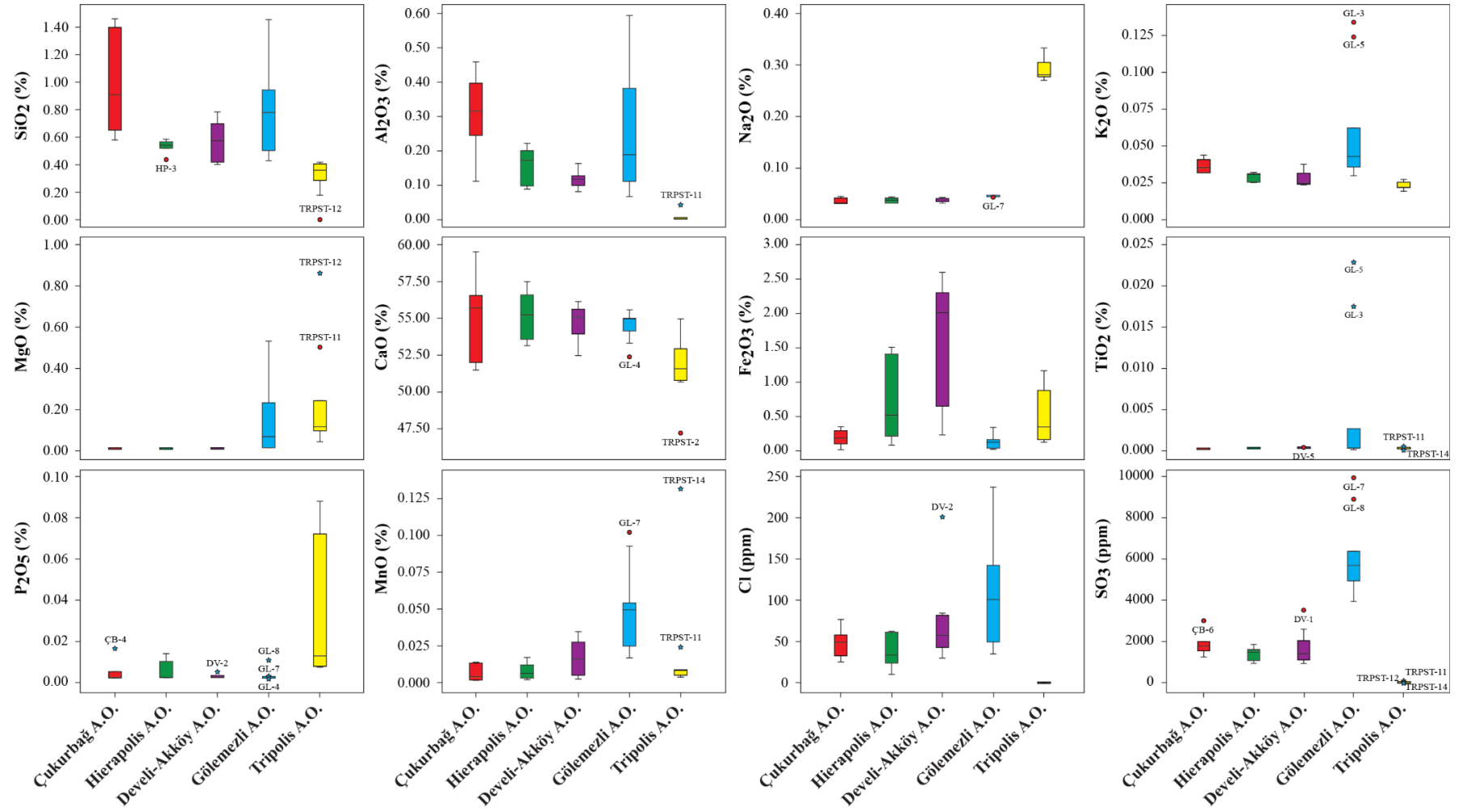
Na_2O (%) içeriği bakımından Tripolis örnekleri (nispeten geniş yayılım) dışında tüm ocaklar sınırlı yayılıma sahiptir (Şekil 3.18). Hierapolis örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir. Tüm ocak örneklerinde kutu boyutu ve kuyruk uzunluğu birbirinden farklıdır. GL-7 numaralı bantlı traverten örneği dışlak değeri oluşturmaktadır.

K_2O (%) içeriği bakımından Gölemezli örnekleri (geniş yayılım) dışında tüm ocaklar sınırlı yayılıma sahiptir (Şekil 3.18). Çukurbağ örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir. Tripolis örnekleri (kutü boyutu ve kuyruk uzunlukları birbirine yakın) dışındaki tüm ocak örneklerinde kutu boyutu ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. GL-3 ve GL-5 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

MgO (%) içeriği bakımından Gölemezli ve Tripolis örnekleri (geniş yayılım) dışında tüm ocaklar sınırlı yayılıma sahiptir. Tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir (Şekil 3.18). Bununla birlikte tüm ocak örneklerinde kutu boyutu ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. TRPST-11 ve TRPST-12 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

CaO (%) içeriği bakımından Çukurbağ, Hierapolis ve Tripolis bantlı traverten örnekleri geniş yayılıma sahipken, Develi Akköy ve Gölemezli bantlı traverten örnekleri daha sınırlı bir yayılım göstermektedir (Şekil 3.18). Hierapolis örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir. Bununla birlikte Hierapolis ve Gölemezli bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirine yakın iken, diğer ocaklarda birbirinden farklıdır. GL-4 ve TRPST-2 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

Fe_2O_3 (%) içeriği bakımından Çukurbağ ve Gölemezli örnekleri sınırlı yayılıma sahipken, Hierapolis, Develi Akköy ve Tripolis örnekleri geniş yayılım göstermektedir. Fe_2O_3 (%) içeriklerine göre tüm bantlı traverten örnekleri asimetric dağılım göstermektedir. Bununla birlikte Çukurbağ ve Hierapolis bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirine yakındır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18 Lykos Vadisi banthı traverten örneklerinin bazı ana oksit element içerikleri gösteren kutu grafikleri.

TiO₂ (%) içeriği bakımından Gölemezli örnekleri geniş yayılıma sahipken, diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri oldukça sınırlı yayılım göstermektedir. TiO₂ (%) içeriklerine göre tüm bantlı traverten örnekleri asimetrik dağılım göstermektedir. Bununla birlikte tüm bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır (Şekil 3.18). DV-5, GL-3, GL-5, TRPST-11 ve TRPST-15 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

P₂O₅ (%) içeriği bakımından Tripolis örnekleri geniş yayılıma sahipken, diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri sınırlı yayılım göstermektedir. P₂O₅ (%) içeriklerine göre tüm bantlı traverten örnekleri asimetrik dağılım göstermektedir. Bununla birlikte tüm bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır (Şekil 3.18). ÇB-4, DV-2, GL-4, GL-7 ve GL-8 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

MnO (%) içeriği bakımından Develi-Akköy ve Gölemezli bantlı traverten örnekleri geniş yayılıma sahipken, Çukurbağ, Hierapolis ve Tripolis bantlı traverten örnekleri sınırlı yayılım göstermektedir (Şekil 3.18). Develi-Akköy örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir. Bununla birlikte Develi-Akköy bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirine yakın iken, diğer ocaklarda birbirinden farklıdır. GL-7, TRPST-11 ve TRPST-14 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

Cl (ppm) içeriği bakımından Gölemezli bantlı traverten örnekleri geniş yayılıma sahipken, Tripolis bantlı traverten örnekleri oldukça sınırlı yayılım göstermektedir (Şekil 3.18). Gölemezli örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir. Bununla birlikte tüm bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. DV-2 numaralı bantlı traverten örneği dışlak değeri oluşturmaktadır.

SO₃ (ppm) içeriği bakımından Gölemezli bantlı traverten örnekleri nispeten geniş yayılıma sahipken, Tripolis bantlı traverten örnekleri oldukça sınırlı yayılım göstermektedir (Şekil 3.18). Çukurbağ ve Gölemezli örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir. Bununla

birlikte Hierapolis örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. ÇB-6, DV-1, GL-7, GL-8, TRPST-11, TRPST-12 ve TRPST-14 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değerleri oluşturmaktadır.

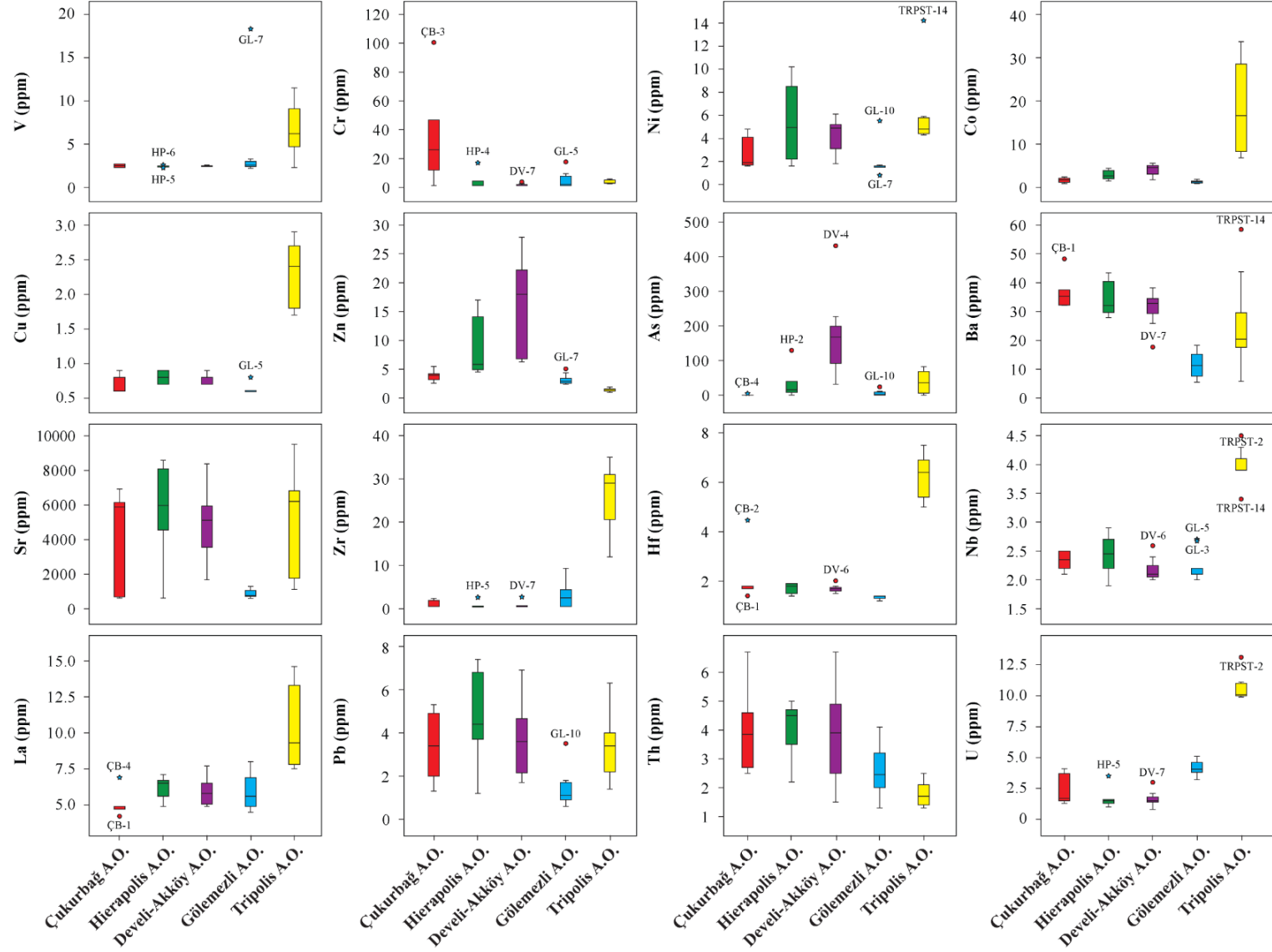
3.2.2 İz Element İncelemeleri

V (ppm) içeriği bakımından Tripolis bantlı traverten örnekleri nispeten geniş yayılıma sahipken, diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri oldukça sınırlı yayılım göstermektedir (Şekil 3.19). Bununla birlikte tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir. Gölemezli örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. HP-5, HP-6 ve GL-7 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değerleri oluşturmaktadır.

Cr (ppm) içeriği bakımından Çukurbağ bantlı traverten örnekleri nispeten geniş yayılıma sahipken, diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri sınırlı yayılım göstermektedir. Tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermekte olup, kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. ÇB-3, HP-4, DV-7 ve GL-5 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değerleri oluşturmaktadır (Şekil 3.19).

Ni (ppm) içeriği bakımından Gölemezli örnekleri haricinde diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri nispeten geniş yayılım göstermektedir. Bununla birlikte tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir (Şekil 3.19). Gölemezli örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. GL-7, GL-10 ve TRPST-14 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değerleri oluşturmaktadır.

Co (ppm) içeriği bakımından Tripolis örnekleri (geniş yayılım) haricinde diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri sınırlı yayılım göstermektedir. Tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir (Şekil 3.19). Çukurbağ ve Hierapolis örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır.



Şekil 3.19 Lykos Vadisi banthı traverten örneklerinin bazı iz element içerikleri gösteren kutu grafikleri.

Cu (ppm) içeriği bakımından Tripolis örnekleri (geniş yayılım) haricinde diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri sınırlı yayılım göstermektedir. Hierapolis örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir (Şekil 3.19). Hierapolis örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. GL-5 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

Zn (ppm) içeriği bakımından Hierapolis ve Develi-Akköy örnekleri haricinde diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri oldukça sınırlı yayılım göstermektedir. Bununla birlikte tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir (Şekil 3.19). Tripolis örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirine yakın iken diğer ocaklarda farklılık görölmektedir. GL-7 numaralı bantlı traverten örneği dışlak değeri oluşturmaktadır.

As (ppm) içeriği bakımından Çukurbağ ve Gölemezli ocaklarına ait bantlı traverten örnekleri oldukça sınırlı yayılıma sahipken, Hierapolis, Develi-Akköy ve Tripolis bantlı traverten örnekleri nispeten geniş yayılım göstermektedir (Şekil 3.19). Tripolis örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir. Bununla birlikte Çukurbağ ve Gölemezli örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. ÇB-4, HP-2, DV-4 ve GL-10 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

Ba (ppm) içeriği bakımından ocaklara ait bantlı traverten örnekleri benzer dağılımlar göstermektedir (Şekil 3.19). Gölemezli örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir. Bununla birlikte Çukurbağ örnekleri haricinde tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklılık göstermektedir. ÇB-1, DV-7 ve TRPST-14 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

Sr (ppm) içeriği bakımından Gölemezli örnekleri haricinde diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri oldukça geniş yayılım göstermektedir. Bununla birlikte tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir (Şekil 3.19). Tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklılık göstermektedir.

Zr (ppm) içeriği bakımından Tripolis bantlı traverten örnekleri oldukça geniş yayılıma sahipken, Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy ve Gölemezli bantlı traverten örnekleri nispeten sınırlı yayılım göstermektedir (Şekil 3.19). Gölemezli örnekleri (simetric dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir. Bununla birlikte Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. HP-5 ve DV-7 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

Hf (ppm) içeriği bakımından Tripolis bantlı traverten örnekleri nispeten geniş yayılıma sahipken, Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy ve Gölemezli bantlı traverten örnekleri sınırlı yayılım göstermektedir (Şekil 3.19). Tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir. Bununla birlikte Çukurbağ örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. ÇB-1, ÇB-2 ve DV-6 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

Nb (ppm) içeriği bakımından Tripolis bantlı traverten örnekleri yüksek değere sahipken, Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy ve Gölemezli bantlı traverten örnekleri nispeten düşük ve benzer değere sahiptir (Şekil 3.19). Çukurbağ ve Hierapolis örnekleri (simetric dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir. Bununla birlikte tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. DV-6, GL-3, GL-5, TRPST-2 ve TRPST-14 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değeri oluşturmaktadır.

La (ppm) içeriği bakımından Tripolis bantlı traverten örnekleri geniş dağılım aralığına sahipken, Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy ve Gölemezli bantlı traverten örnekleri nispeten düşük ve sınırlı dağılım aralıklarına sahiptirler (Şekil 3.19). Develi-Akköy örnekleri (simetrik dağılım) dışında tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir. Bununla birlikte Çukurbağ örnekleri haricinde tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. ÇB-1 ve ÇB-4 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değerleri oluşturmaktadır.

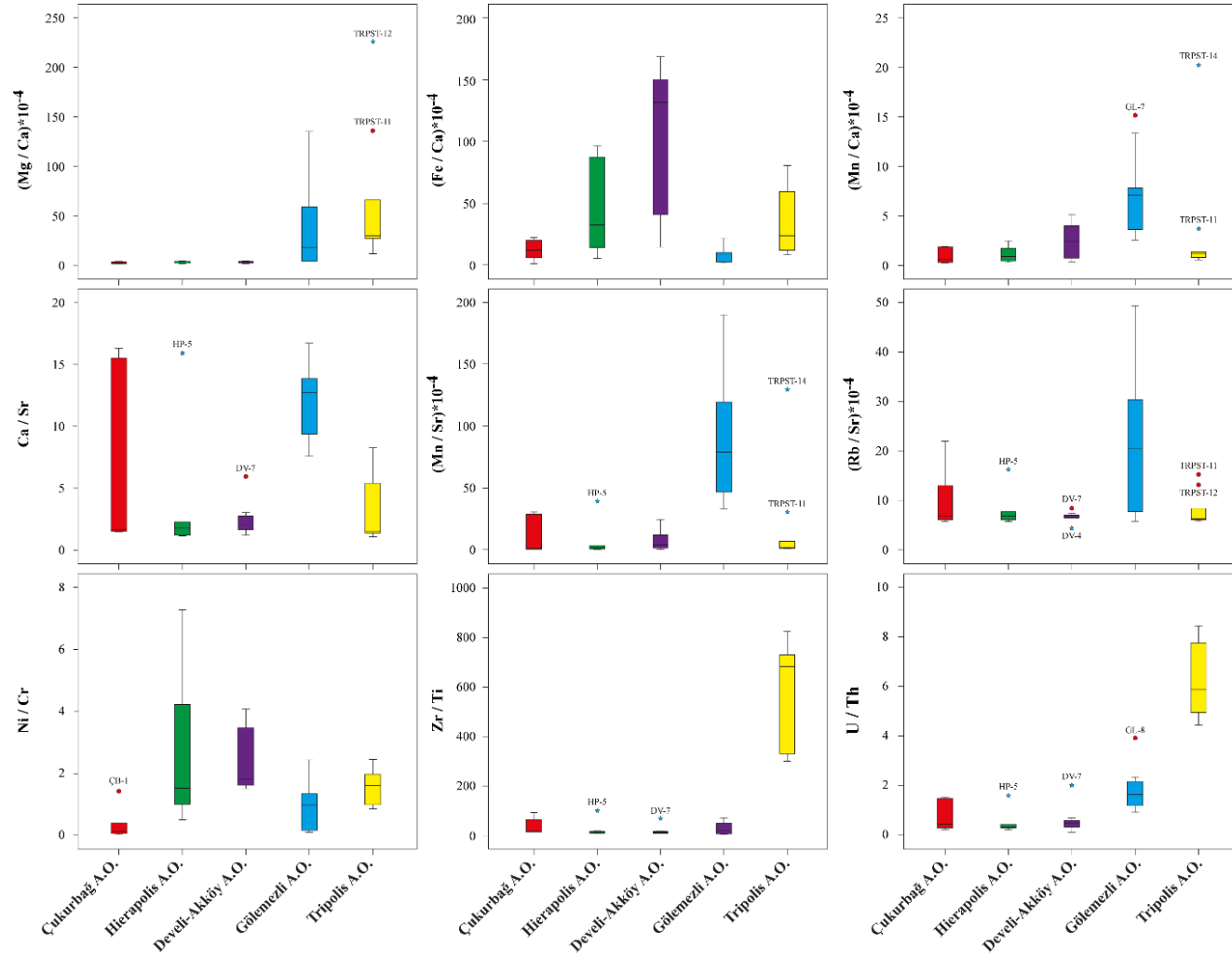
Pb (ppm) içeriği bakımından Gölemezli örnekleri haricinde diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri oldukça geniş dağılım aralıklarına sahiptir. Bununla birlikte Çukurbağ örnekleri haricinde diğer tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir (Şekil 3.19). Tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklılık göstermektedir. GL-10 numaralı bantlı traverten örneği dışlak değeri oluşturmaktadır.

Th (ppm) içeriği bakımından Tripolis örnekleri haricinde diğer ocaklara ait bantlı traverten örnekleri nispeten geniş dağılım aralıklarına sahiptir (Şekil 3.19). Bununla birlikte Tripolis örnekleri (simetrik dağılım) haricinde diğer tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir. Tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklılık göstermektedir.

U (ppm) içeriği bakımından Tripolis bantlı traverten örnekleri yüksek değerlere sahipken, Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy ve Gölemezli bantlı traverten örnekleri nispeten düşük ve benzer değerlere sahiptir (Şekil 3.19). Tüm ocakların kimyasal analiz sonuçları asimetrik dağılım göstermektedir. Bununla birlikte Tripolis örnekleri dışında tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. HP-5, DV-7 ve TRPST-2 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değerleri oluşturmaktadır.

Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin kimyasal bileşim bakımından benzerlik veya farklılıklarını belirleyebilmek için bazı element oranları hesaplanmıştır. Bantlı traverten örneklerinin (Mg/Ca)*10⁻⁴ oranları Çukurbağ örneklerinde 2.6-3.4, Hierapolis örneklerinde 2.5-3.3, Develi-Akköy örneklerinde 2.5-3.5, Gölemezli örneklerinde 4.0-135.0 ve Tripolis örneklerinde 11.5-226.0 arasında değişim göstermektedir. (Fe/Ca)*10⁻⁴ oranları Çukurbağ örneklerinde 1.2-22.2, Hierapolis örneklerinde 5.5-96.3, Develi-Akköy örneklerinde 14.7-168.6, Gölemezli örneklerinde 1.6-21.9 ve Tripolis örneklerinde 8.3-80.6 arasında değişim göstermektedir. (Mn/Ca)*10⁻⁴ oranları Çukurbağ örneklerinde 0.2-1.9, Hierapolis örneklerinde 0.3-2.5, Develi-Akköy örneklerinde 0.4-5.1, Gölemezli örneklerinde 2.5-15.2 ve Tripolis örneklerinde 0.6-20.2 arasında değişmektedir. Ca/Sr oranları Çukurbağ örneklerinde 1.45-16.29, Hierapolis örneklerinde 1.11-15.92, Develi-Akköy örneklerinde 1.17-5.92, Gölemezli örneklerinde 7.57-16.68 ve Tripolis örneklerinde 1.03-8.24 arasında değişim göstermektedir. (Mn/Sr)*10⁻⁴ oranları Çukurbağ örneklerinde 0.4-30.5, Hierapolis örneklerinde 0.3-39.2, Develi-Akköy örneklerinde 0.4-24.5, Gölemezli örneklerinde 33.2-190.0 ve Tripolis örneklerinde 0.8-129.5 arasında değişmektedir. (Rb/Sr)*10⁻⁴ oranları Çukurbağ örneklerinde 5.7-21.9, Hierapolis örneklerinde 5.7-16.2, Develi-Akköy örneklerinde 4.4-8.4, Gölemezli örneklerinde 5.7-49.3 ve Tripolis örneklerinde 5.8-15.2 arasında değişim göstermektedir. Ni/Cr oranları Çukurbağ örneklerinde 0.20-1.42, Hierapolis örneklerinde 0.50-7.29, Develi-Akköy örneklerinde 1.50-4.08, Gölemezli örneklerinde 0.90-2.43 ve Tripolis örneklerinde 0.85-2.45 arasında değişmektedir. Zr/Ti oranları Çukurbağ örneklerinde 12.48-91.27, Hierapolis örneklerinde 10.24-98.88, Develi-Akköy örneklerinde 9.98-66.17, Gölemezli örneklerinde 2.76-70.18 ve Tripolis örneklerinde 299.13-822.14 arasında değişim göstermektedir. Son olarak U/Th oranları Çukurbağ örneklerinde 0.22-1.52, Hierapolis örneklerinde 0.23-1.59, Develi-Akköy örneklerinde 0.12-2.00, Gölemezli örneklerinde 0.93-3.92 ve Tripolis örneklerinde 4.44-8.46 arasında değişmektedir (Şekil 3.20).

Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin kimyasal bileşim bakımından sahip olduğu benzerlik ve farklılıklar bulundukları bölgelerdeki temel kaya litolojilerindeki farklılıklar ile ilişkilendirilebilir. Bu bakış açısıyla Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy antik ocaklarının bulunduğu alanlardaki temel litolojinin, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarının bulunduğu bölgelerdeki temel litolojilerden farklı olduğunu ve bu farklılığın bantlı traverten örneklerinin element oranlarına yansıdığını söyleyebiliriz.



Şekil 3.20 Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin bazı element oranlarını gösteren kutu grafikleri.

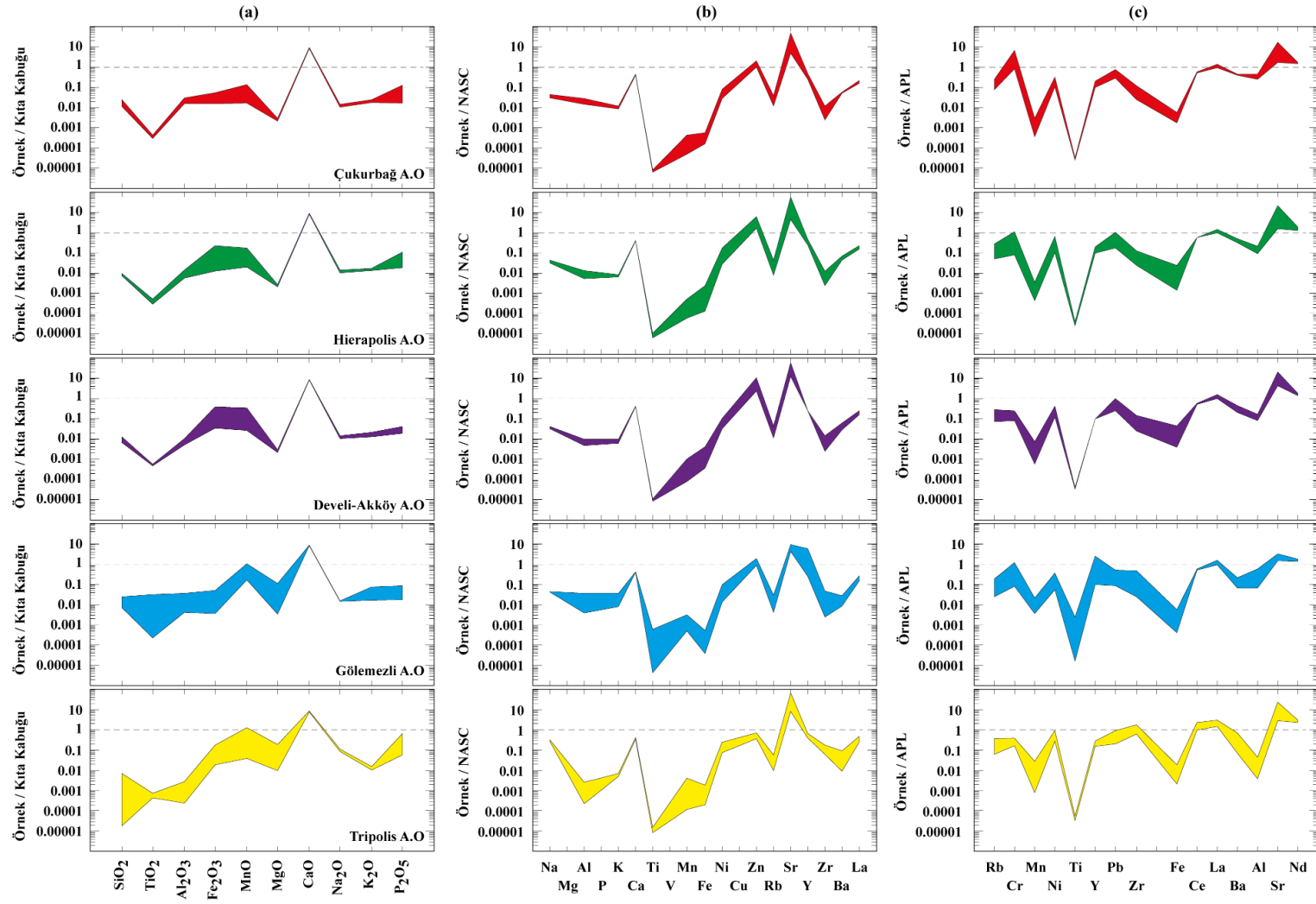
Lykos Vadisi antik ocaklarından alınan bantlı traverten örneklerinin Kıta Kabuğu (Continental Crust-CC)³¹ ana oksit element değerlerine göre normalleştirilmiş çoklu element dağılım diyagramında, CaO haricinden SiO₂'den P₂O₅'e kadar olan bütün elementlerde CC değerlerine oranla önemli bir fakirleşme gözlenmektedir. CaO dışındaki ana oksit elementler bakımından CC'ye oranla 10-1000 kat tüketilme görülürken, CaO elementi bakımından 10 kat zenginleşme görülmektedir (Şekil 3.21a). Aynı diyagramda Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy bantlı traverten örnekleri benzer dağılım desenleri izleniyorken, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarına ait bantlı traverten örnekleri hem kendi aralarında hem de diğer ocak örneklerine göre kısmen farklı dağılım desenleri göstermektedir. Antik ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin Kuzey Amerika Şeyl Bileşimine (North American Shale Composition-NASC)³² göre normalleştirilmiş olan çoklu element değişim diyagramlarında, Zn ve Sr dışındaki iz elementlerde NASC'ye göre 5 ile 100000 kat arasında bir tüketilme gözlenirken, Zn elementinde NASC çizgisine yakın, Sr elementinde NASC bileşimine göre 10 kat zenginleşme gözlenmektedir (Şekil 3.21b). Bu diyagramlarda özellikle Al, Ti, Fe, Rb ve Ba elementlerinde NASC'ye oranla oldukça belirgin miktarda tüketilmişlik görülmektedir. Bununla birlikte, Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy bantlı traverten örnekleri benzer dağılım desenlerine sahipken, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarına ait bantlı traverten örnekleri hem kendi aralarında hem de diğer ocak örneklerine göre kısmen farklı dağılım desenleri göstermektedir.

Bantlı traverten örneklerinin, Ortalama Fanerozoik Kireçtaşlarına (Average Phanerozoic Limestone-APL)³³ göre normalleştirilmiş olduğu çoklu element dağılım diyagramında, Cr, Ni, Pb, Ce, La, Sr ve Nd haricindeki elementlerde APL'ye oranla 10 ile 10000 kata kadar tüketilmeler görülmektedir. Ni, Pb, La ve Ce elementleri APL çizgisinde veya hafif düşük değer dağılımlara sahipken, Cr, Sr ve Nd elementlerinde APL değerlerine göre 10 kata kadar zenginleşme görülmektedir (Şekil 3.21c). Aynı diyagramlarda, Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy bantlı traverten örnekleri benzer dağılım desenleri gösteriyorken, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarına ait bantlı traverten örnekleri hem kendi aralarında hem de diğer ocak örneklerine göre kısmen farklı dağılım desenleri göstermektedir.

³¹ Rudnic and Gao 2004.

³² Gromet et al. 1984, 2469-2482.

³³ Condie et al. 1991, 37-47.



Şekil 3.21 Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin a) Kıta Kabuğu, b) NAC ve c) APL değerlerine göre normalize edilmiş olduğu çoklu element dağılım diyagramları.

Yerkabuğunda alansal olarak en fazla yayılıma sahip sedimanter kayaçlar içerisindeki traverten/bantlı travertenlerin kimyasal bileşimleri ve C-O izotop oranları, temeli oluşturan kaya türlerinin petrografik ve kimyasal bileşimi, kaynak suyunun kimyasal bileşimi, sıcaklığı, basıncı ile CO₂ salınım hızı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Traverten/Bantlı traverten oluşumlarında aktif rol oynayan sıvılar kökenine göre “termojenik” ve “meteojenik” olarak sınıflandırılmaktadır³⁴. Meteojenik travertenler atmosferik suların yeraltına süzülürken karbonatça zenginleşmeleri ve sonrasında ortam şartlarındaki değişimlere bağlı olarak bünyesindeki karbonat bileşiklerini çökeltmesi sonucu oluşmaktadır. Termojenik travertenler ise karbonatça zenginleşmiş termal (jeotermal) kökenli ve/veya derin dolaşımli suların yüzeye çıktıkları yerde bünyesindeki karbonat bileşiklerini çökeltmeleri sonucunda oluşmaktadır.³⁵

Meteojenik ve termojenik travertenler, bazı element içerikleri bakımından farklılıklar göstermektedir. Örneğin, meteojenik travertenlerin Al içerikleri %0.01-1.5 arasında değişirken, termojenik travertenlerin Al içerikleri %0.04-0.8 arasında değişmektedir. Meteojenik travertenlerin Fe ve Mn içerikleri %0.16 ve 0.012 iken, termojenik travertenlerde bu değerler sırasıyla %0.26 ve 0.091’dir. Düşük Al, yüksek Fe ve Mn içerikleri traverten/bantlı travertenlerin termojenik kökenli olduklarına işaret etmektedir. Lykos vadisi bantlı traverten örnekleriyle meteojenik ve termojenik kökenli travertenlerin bazı element içeriklerinin karşılaştırması Tablo 3.3’de verilmiştir. Karşılaştırması yapılan element içerikleri bakımından Lykos Vadisi bantlı traverten oluşumlarının büyük çoğunlukla termojenik kökenli bantlı travertenler ile benzerlik gösterdikleri belirlenmiştir.

İncelenen bantlı traverten örneklerinde dikkati çeken bir diğer nokta Sr içeriklerinde karşımıza çıkmaktadır. Birçok çalışmada, travertenlerin mineralojik bileşimi ile Sr içerikleri arasında yakın ilişkinin varlığına işaret edilmiştir⁴¹. Kalsit minerallerinden oluşan meteojenik travertenlerde Sr içerikleri, 20 ile 200 ppm arasında değişirken, aragonit içeren termojenik travertenlerin Sr içeriği 9500 ppm’e kadar ulaşabilmektedir. Lykos Vadisi bantlı traverten oluşumlarında Sr içerikleri 592 - 9509

³⁴ Guo and Riding 1998, 163-180; Pentecost 2005.

³⁵ Guo and Riding 1998, 163-180; Pentecost 2005; Teboul et al. 2016, 97-114; Kele et al. 2011, 191-212; Tarrach et al. 2014, 99-167.

ppm arasında değişim göstermektedir. Mineralojik bileşimlerin belirlendiği XRD ve CRS inceleme sonuçlarına göre, Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin büyük çoğunlukla kalsit bileşimli oldukları, daha az miktarda aragonit içerdikleri belirlenmiştir. Bu durumda Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin yüksek Sr içeriği nasıl açıklanabilir? Literatürde travertenlerin yüksek Sr içerikleri; başlangıçta karbonat minerallerinin aragonit (ortorombik CaCO_3) bileşimli olarak çökeldiği daha sonrasında ortam şartlarının değişmesiyle birlikte kalsit mineralleriyle (hekzagonal CaCO_3) yer değiştirmesiyle açıklanmaktadır³⁶.

Tablo 3.3 Meteojenik ve Termojenik kökenli travertenler ile Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin bazı element içeriklerinin karşılaştırması.

Element	Al (%)	Ni (ppm)	Sr (ppm)	U (ppm)	Zn (ppm)
Meteojenik*	0.01-1.5	4-116	9->2930	0.4-0.7	4-680
Termojenik*	0.04-0.8	<1-15	20-14000	<1->500	5-98
Çukurbağ A.O.	0.013-0.24	1.6-4.8	685-6920	1.3-3.7	2.6-5.5
Hierapolis A.O.	0.047-0.12	1.6-10.2	616-8585	1.0-3.5	4.5-17.0
Develi-Akköy A.O.	0.043-0.086	1.8-6.1	1669-8375	0.8-3.0	6.3-27.9
Gölemezli A.O.	0.036-0.032	0.8-5.6	592-1296	3.2-5.1	2.4-5.1
Tripolis A.O.	0.0020-0.023	4.3-14.2	1116-9509	9.9-13.1	1.0-1.9

* *Pentecost 2005'den alınmıştır.*

³⁶ Barbieri et al. 2002a, 403-414.

3.2.3. Analiz Sonuçlarının Ayırışım Fonksiyonu Analizi ile Değerlendirilmesi

Bir Ayırışım Fonksiyonu Analizi'nde temel amaç, bir grup içerisindeki aralık değişkenlerinin doğrusal bir kombinasyonuna dayanarak grup üyeliğini öngörmektir. Analiz, hem grup üyeliğinin hem de aralık değişkenlerinin değerlerinin bulunduğu bir gözlem grubuyla başlar. Analiz son sonucu, sadece aralık değişkenleri bulunduğu grup üyeliğinin tahmin edilmesine izin veren bir modeldir. Ayırışım Fonksiyonu Analizi'nin başlıca iki yararı vardır. Bunlar; **i)** grupları birbirinden ayırmayı sağlayan fonksiyonları bulmak ve **ii)** hesaplanan fonksiyonlar aracılığıyla yeni gözlenen bir birimi sınıflama hatası minimum olacak biçimde gruptan herhangi birine atamaktır³⁷. Bantlı traverten örneklerinin analiz sonuçlarının benzer olması, farklı ocaklardaki bantlı travertenlerin ayırışım kimyasal analiz sonuçlarına dayanarak bir ayırışım yapılabilmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle farklı ocaklardan alınan bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına Ayırışım Fonksiyonu Analizi uygulanmış, element içeriklerine göre bir ayırışım yapıp? yapılamayacağı? değerlendirilmiştir. Ayırışım Fonksiyonu Analizi uygulanacak bantlı traverten örnekleri farklı ocaklardan alındığı için non-parametrik ve homojen olmayan veriler olduğu kabul edilmiştir. Bantlı traverten örneklerinin Ayırışım Fonksiyonu Analizi için SPSS yazılımı içerisindeki non-parametrik testlerden çoklu bağımsız değişken grupları için Kruskal Wallis H testi uygulanmıştır. Kruskal Wallis H testine ait sonuçlar Tablo 3.4'de verilmiştir.

Uygulanan test sonuçlarının anlamlı bir fark ifade etmesi ve güven aralığının %95 olması için p değerlerinin 0.05'ten küçük olması istenmektedir. Bu kabule dayanarak; örnekleri kimyasal analiz sonuçları içerisindeki 44 element'in 3 tanesi (Ga, Rb, I) dışında, 41 tanesi (Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, SO₃, Cl, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Hf, Ta, W, Hg, Pb, Th, U) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Tablo 3.4).

Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarından toplanan bantlı traverten örneklerinin kimyasal analiz verileri ile hazırlanan Ayırışım Fonksiyonu Analizi eigen değerleri, % varyans, % kümülatif eigen değeri ve kanonik korelasyon katsayıları Tablo 3.5'de verilmiştir.

³⁷ Kılınçarslan 2013, 185; Özdamar 2004; Koralay ve Koralay 2018; Atakan ve Karabulut 2003, 53-63.

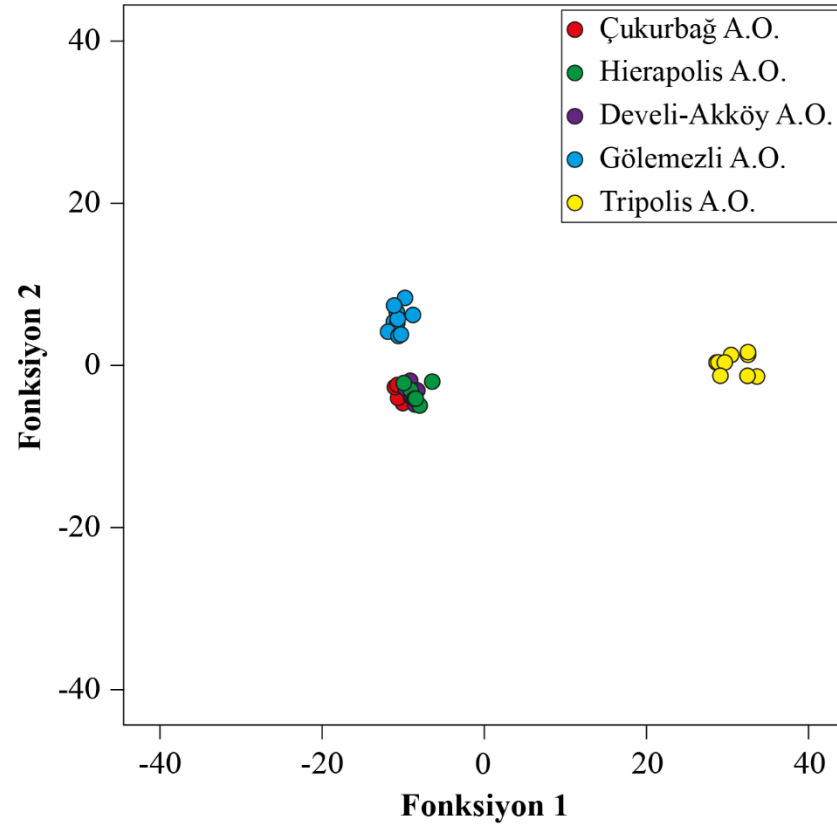
Tablo 3.4 Lykos Vadisi Bantlı Traverten örneklerinin Kruskal Wallis H test sonuçları.

Element	Ki-Kare	p	Element	Ki-Kare	P	Element	Ki-Kare	P
Na ₂ O	30.506	0.000	Ni	18.462	0.001	Sn	36.283	0.000
MgO	28.585	0.000	Cu	28.413	0.000	Sb	16.050	0.003
Al ₂ O ₃	24.328	0.000	Zn	32.369	0.000	I	9.142	0.058
SiO ₂	24.212	0.000	Ga	5.267	0.261	Cs	22.319	0.000
P ₂ O ₅	18.079	0.001	As	22.164	0.000	Ba	20.937	0.000
K ₂ O	25.874	0.000	Se	22.030	0.000	La	21.466	0.000
CaO	13.896	0.008	Br	19.205	0.001	Ce	27.554	0.000
TiO ₂	13.255	0.010	Rb	8.517	0.074	Hf	30.659	0.000
MnO	17.945	0.001	Sr	14.774	0.005	Ta	29.417	0.000
Fe ₂ O ₃	17.991	0.001	Y	23.967	0.000	W	11.819	0.019
SO ₃	31.801	0.000	Zr	26.360	0.000	Hg	25.925	0.000
Cl	24.872	0.000	Nb	22.761	0.000	Pb	15.439	0.004
V	12.766	0.012	Mo	36.140	0.000	Th	17.710	0.001
Cr	10.788	0.029	Ag	28.985	0.000	U	30.058	0.000
Co	30.864	0.000	Cd	31.359	0.000			

Tablo 3.5 Bantlı traverten örneklerinin Ayırışım Fonksiyonu Analizi'nin eigen değerleri, %varyans, % kümülatif eigen değerleri ve kanonikal korelasyon sonuçları.

Fonksiyon	Eigen Değeri	% Varyans	% Kümülatif Eigen Değeri	Kanonikal Korelasyon
1	340.515	94.9	94.9	0.999
2	16.044	4.5	99.3	0.970
3	2.287	0.6	100.0	0.834
4	0.141	-	100.0	0.351

Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin Ayırışım Fonksiyonu Analizi sonucunda elde edilen fonksiyonlardan en yüksek kanonikal korelasyon değerine sahip olan ilk ikisine göre analiz grafiği hazırlanmıştır (Şekil 3.22). Grafikte görüldüğü gibi Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy bantlı traverten örneklerinin birbirine çok yakın dağılımlar gösterdikleri, buna karşın Gölemezli ve Tripolis bantlı traverten örneklerinin farklı alanlarda kümelenedikleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre birbirine yakın lokasyonlardan alınan bantlı traverten örneklerinin kimyasal bileşimlerine göre çok büyük farklılıklar göstermedikleri söylenebilir.



Şekil 3.22 Lykos Vadisi Banlı Traverten örneklerinin Ayrışım Fonksiyonu Analizi diyagramındaki konumları.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. C-O DURAYLI İZOTOP İNCELEMELERİ VE U-Th SERİSİ YAŞLANDIRMA ÇALIŞMALARI

4.1 Lykos Vadisi Bantlı Travertenlerinin C-O İzotop Bileşimleri

Bir kimyasal elementin bütün özelliklerini taşıyan en küçük parçacığına atom adı verilmektedir. Atomlar gözle görülmesi imkânsız, çok küçük bir parçacıklardır. Bir atomda, çekirdeği saran negatif yüklü bir elektron bulutu vardır. Çekirdek ise pozitif yüklü protonlar ve yüksüz nötronlardan oluşmaktadır. Bir atom, sahip olduğu proton ve nötron sayısına göre sınıflandırılır. Atomun sahip olduğu proton sayısı kimyasal elementi tanımlarken, nötron sayısı da bu elementin izotopunu tanımlamaktadır. Kimyasal bir elementin proton sayıları aynı, nötron sayıları farklı atomlarına izotop adı verilmektedir. İzotop atomların kimyasal özellikleri aynı, fiziksel özellikleri farklıdır. İzotop atomların bir kısmı zamana bağlı olarak başka atom çekirdeklerine dönüşebilirler. Farklı bir ifade ile bazı izotop atomlar yarılanma ömrü olarak adlandırılan ve belirli bir zaman dilimi içinde radyoaktif bozuşma geçirerek başka bir elementin bir izotopuna (^{87}Rb 'un ^{86}Sr 'ya; ^{147}Sm 'nin ^{144}Nd 'a dönüşmesi gibi). “Duraysız” (Radyojenik veya Radyoaktif) izotoplar olarak adlandırılan bu izotoplar jeolojik birimleri yaşlandırma ve petrojenez çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Fiziko-kimyasal süreçlere bağlı olarak bulundukları ortamdaki oranları değişmesine rağmen, zaman içerisinde kimyasal bileşimlerinde herhangi bir değişiklik göstermeyen izotoplara da “Duraylı” izotoplar denir. Kısaca duraylı izotoplar, radyoaktif bozuşma göstermeyen izotoplar ve zamana bağlı olarak değişime uğramadıklarından, herhangi bir jeolojik olayın gelişiminde yol gösterici olarak kullanılabilirler³⁸. Jeolojik bir örnek olması bakımından travertenlerin oluşumunda rol oynayan suların ne çeşit bir kökene sahip olduğu, meteorik mi? jeotermal mi yoksa deniz suyu mu? olduğu duraylı izotop çalışmalarıyla belirlenebilir. Jeolojik olayların aydınlatılmasında kullanılan bazı duraylı izotoplar ve doğada bulunma oranları Tablo 4.1’de verilmiştir.

³⁸ Faure 2001; Rollinson 1993; Mutlu 2017; Reiners et al. 2018.

Tablo 4.1 Bazı duraylı izotopların % bolluk oranları, referans materyalleri ve kullanım alanları³⁹.

Element	Duraylı İzotop	% Bolluk Oranı	Referans Materyal	Kullanıldığı Alanlar
Hidrojen	¹ H ² D	99.98 0.015	V-SMOW	Suların kökeni (meteorik, magmatik vb.), Kayaç-Akışkan etkileşimleri, Jeotermal araştırmalar, Fosil yakıtların jeokimyasal incelemeleri
Helyum	³ He ⁴ He	0.000137 99.99	Atmosferik He	Yeraltı sularının yaşlandırılması, Yeraltı sularının akış oranları, Su kirliliğinin izlenmesi, Hidrotermal süreçlerin modellenmesi, Maden yatakları ve magmatik petrojenez çalışmaları
Bor	¹⁰ B ¹¹ B	19.9 80.1	NBS	Denizel ortam ve fiziko-kimyasal şartlarını belirlenmesi, Çökelme ortamları ve cevher oluşumlarının modellenmesi, Yeraltı su kirliliği çalışmaları
Karbon	¹² C ¹³ C	98.93 1.07	V-PDB	Paleoiklim çalışmaları, Jeotermal modelleme çalışmaları, Fosil yakıtların jeokimyasal incelemeleri, Antik dönem mermerlerinin kaynak alan araştırmaları
Nitrojen	¹⁴ N ¹⁵ N	99.63 0.368	Atmosferik N	Bio-jeokimyasal modelleme çalışmaları, Çevre jeokimyası araştırmaları, Fosil yakıtların jeokimyasal incelemeleri
Oksijen	¹⁶ O ¹⁸ O	99.757 0.204	VSMOW; VPDB	Paleoiklim çalışmaları, Jeotermal modelleme çalışmaları, Fosil yakıtların jeokimyasal incelemeleri, Antik dönem mermerlerinin kaynak alan araştırmaları, Maden yatakları ve magmatik petrojenez çalışmaları

***V-SMOW** : Vienna Standart Mean Ocean Water, **NBS** : Boric Acid SRM951, **V-PDB** : Vienna Pee Dee Belemnite

Duraylı izotop (H, C, N, O ve S) bileşimleri δ simgesi ile ifade edilir ve sonuçlar ‰ olarak verilir. Bunun nedeni doğada ağır duraylı izotopların (²H, ¹³C, ¹⁸O, ¹⁵N, ³⁴S) hafif duraylı izotoplara (¹H, ¹²C, ¹⁶O, ¹⁴N, ³²S) oranı oldukça küçük değerler çıkmasıdır (¹⁸O/¹⁶O oranı $0.200/99.762 = 0.002$; ¹³C/¹²C oranı $1.11/98.89 = 0.011$). Küçük oranlardaki farklılıkları belirlemek zor olduğundan ve küçük değerlerin daha kullanılabilir rakamsal değerler ifade edebilmesi için izotop bileşimleri bin (1000) ile

³⁹ Faure 2001; Mutlu 2017; Reiners et al. 2018; Baykara 2014, 180.

çarpılır⁴⁴. Bu tez çalışması kapsamında duraylı izotop olarak karbon (C) ve oksijen (O) izotop analizleri yapılmış olup, aşağıda bu iki duraylı izotop hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

4.1.1 Karbon İzotopu

Karbon (C) elementinin ¹²C, ¹³C ve ¹⁴C olmak üzere üç adet izotopu bulunmaktadır. Bu izotoplardan ¹²C (bolluk oranı %98.89) ve ¹³C (bolluk oranı %1.11) izotopları radyojenik (duraylı), ¹⁴C izotopu radyoaktif tir. ¹³C ve ¹²C duraylı izotopları yerküredeki bitki örtüsü, su kaynakları ve atmosferde doğal ve yaygın olarak bulunurken, ¹⁴C izotopu ise çok küçük bir miktarlarda bulunmaktadır. ¹⁴C izotopu atmosfer-uzaydaki kozmik radyasyonla oluşan termal nötronlar tarafından üretilir ve canlı/biyolojik materyaller tarafından soğurularak toprağa aktarılır. C izotopları yerkürede su döngüsü (hidrojeoloji) ve iklim değişimleri (paleoiklim) sırasında meydana gelen değişimleri belirlemek için kullanılır. ¹³C/¹²C'ye oranının ölçümü, bir laboratuvar standardına göre binde bir (per mille) oranıyla raporlanır. Standart örnek olarak V-SMOW (Vienna Standart Mean Ocean Water) veya V-PDB (Vienna Pee Dee Belemnite) referans değerleri kullanılır⁴⁰.

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{‰}} = \left(\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{örnek}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{standart}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{standart}}} \right) \times 10^3$$

Yerkürede bazı su kaynakları ve kayaç litolojileri için belirlenen $\delta^{13}\text{C}$ değerleri; deniz suyu için ‰(-0.8)-2.2; diğer su kaynakları (deniz suyu haricinde) için ‰(-37.1)-37.5; magmatik-metamorfik kayaçlar için ‰(-11.9)-24.8; denizel karbonatlar için ‰(-6)-6; diğer karbonat kayaçları (gölsel kireçtaşları, traverten, tufa, mağara çökelleri) için ‰(-64.5)-(-21.1); kömür-ham petrol için ‰(-44)-16.8 ve karasal bitkiler için ‰(-35)-(-21) arasında değişim göstermektedir⁴¹.

⁴⁰ Faure 2001; Rollinson 1993; Mutlu 2017.

⁴¹ Mutlu 2017; Coplen and Shrestha 2016, 1203-1224.

4.1.2 Oksijen İzotopu

Doğada gaz halinde bulunan oksijen (O_2) canlı yaşamı ve atmosfer sistemi üzerinde kilit öneme sahip bir elementtir. Çoğunluğu fotosentez yapan bitkiler tarafından üretilen oksijen, su buharı olarak (H_2O_v) ve/veya su molekülünün (H_2O) bir parçası olarak deniz, göl ve donmuş halde buzullarda da bulunur. Dünyamızın oksijen kaynakları kendi aralarında sürekli etkileşim halindedirler. Oksijen elementinin ^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O olmak üzere duraylı üç izotopu bulunmaktadır. Bu izotoplar bolluk oranlarına göre ^{16}O (%99.76), ^{18}O (%0.20) ve ^{17}O (%0.037) olarak sıralanmaktadır⁴². ^{17}O izotopu doğada çok düşük miktarda olması nedeniyle jeolojik çalışmalar için kullanılmaz. Oksijen izotopları su çevirimleri, paleoiklim, ozon ve karbondioksit gibi atmosferik gazlardaki değişimleri izlemek için kullanılır. $^{18}O/^{16}O$ 'ya oranının ölçümü, bir laboratuvar standardına göre binde bir (per mille) oranıyla raporlanır. Referans olarak V-SMOW (Vienna standart Mean Ocean Water) veya V-PDB (Vienna PeeDee Belemnite) standartları kullanılır. Bu referanslardan V-SMOW su çevirimleri, ozon ve karbondioksit gibi atmosferik gazlardaki değişimleri izleme çalışmalarında kullanılırken, V-PDB paleoiklim çalışmalarında kullanılmaktadır.

$$\delta^{18}O\text{‰} = \left(\frac{(^{18}O/^{16}O)_{\text{örnek}} - (^{18}O/^{16}O)_{\text{standart}}}{(^{18}O/^{16}O)_{\text{standart}}} \right) \times 10^3$$

Yerkürede bazı su kaynakları ve kayaç litolojileri için belirlenen $\delta^{18}O$ değerleri; deniz suyu için ‰(-1)-0.6; diğer su kaynakları (deniz suyu haricinde) için ‰(-62.8)-31.3; magmatik kayaçlar için ‰(-1.3)-7.7; denizel karbonatlar için ‰26-34; diğer karbonat kayaçları (gölsel kireçtaşları, traverten, tufa, mağara çökelleri) için ‰(-20.5)-36.4; silikat mineralleri için ‰(-16.2)-34.9; sülfat mineralleri için ‰(-10)-31.2 ve karasal bitkiler için ‰(-4.3)-37 arasında değişim göstermektedir⁴³.

Kayaç/mineral/cevher/su gibi jeolojik malzemelerin C ve O izotoplarındaki farklılaşmalar bu malzemelerin meydana geldiği ortamlardaki fiziko-kimyasal süreçler ile yakından ilişkilidir. Örneğin görünüşleri itibarıyla birbirinin benzeri ancak kökenleri farklı ve/veya kökenleri aynı fakat dış görünüşleri farklı olan jeolojik malzemelerin duraylı izotop bileşimleri birbirinden farklı olabilmektedir. Özellikle antik döneme ait

⁴² Faure 2001; Mutlu 2017.

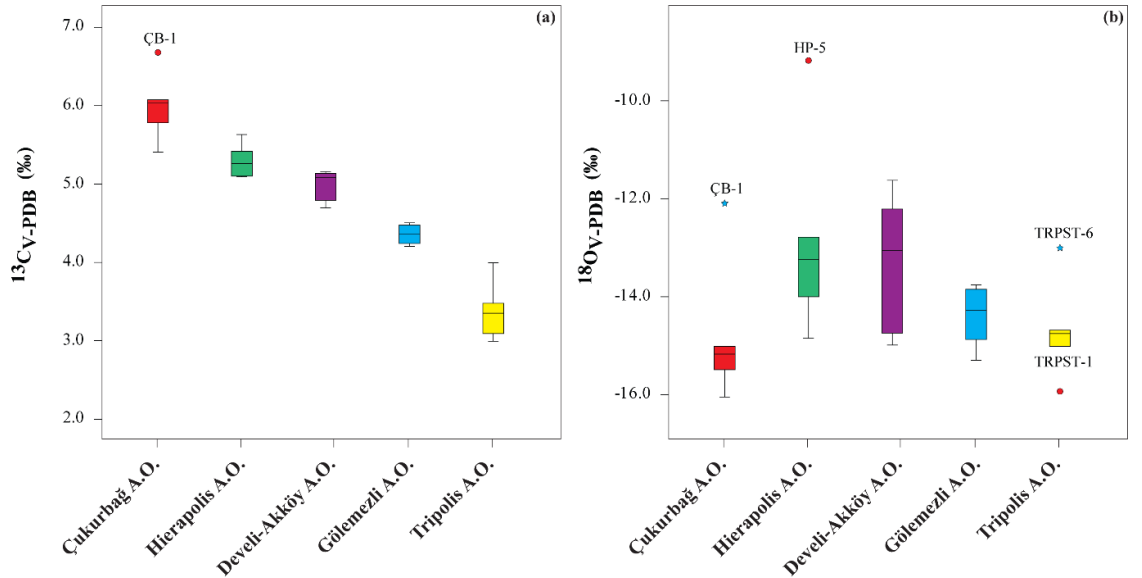
⁴³ Faure 2001; Rollinson 1993; Mutlu 2017; Coplen and Shrestha 2016, 1203-1224.

mermerlerin kaynak alan belirleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bu bilimsel dayanak, dış görünüş itibarı ile birbirine benzeyen Lykos vadisi bantlı traverten örnekleri içinde kullanılmıştır. Bantlı traverten örneklerinin C ve O duraylı izotop bileşimleri arasında farklılık/benzerlikleri belirlemek amacıyla; her bir antik ocaktan toplam 26 adet bantlı traverten örneğinin C ve O izotop analizleri yapılmıştır. Antik ocaklara ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ analiz sonuçlar Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2 Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerine ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ analiz sonuçları.

Antik Ocak	Örnek No	$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}$ (‰)
Çukurbağ Antik Ocağı	CB-1	6.68	-12.09
	CB-3	5.78	-15.49
	CB-4	6.08	-15.17
	CB-5	5.41	-16.05
	CB-6	6.04	-15.01
Hierapolis Antik Ocağı	HP-1	5.09	-13.24
	HP-3	5.63	-12.78
	HP-4	5.10	-14.00
	HP-5	5.42	-9.18
	HP-6	5.26	-14.85
Develi-Akköy Antik Ocağı	DV-1	4.69	-12.21
	DV-2	4.79	-13.05
	DV-4	5.09	-11.62
	DV-5	5.14	-14.74
	DV-6	5.16	-14.98
Gölemezli Antik Ocağı	GL-1	4.21	-14.87
	GL-3	4.28	-14.51
	GL-4	4.24	-15.30
	GL-6	4.51	-14.03
	GL-7	4.44	-13.76
	GL-9	4.48	-13.85
Tripolis Antik Ocağı	TRPST-1	3.09	-15.93
	TRPST-4	3.35	-14.75
	TRPST-6	4.00	-13.01
	TRPST-11	2.99	-15.01
	TRPST-15	3.48	-14.68

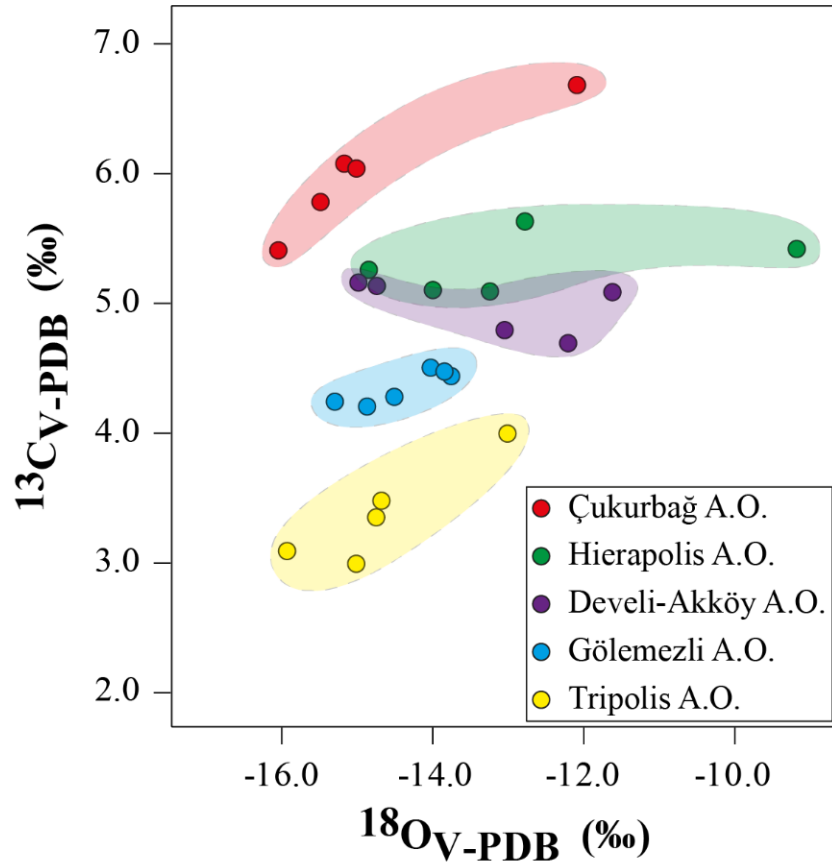
Lykos Vadisi Bantlı Traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotop içerikleri, Çukurbağ örneklerinde $\text{‰}5.41\text{-}6.68$; Hierapolis örneklerinde $\text{‰}5.09\text{-}5.63$; Develi-Akköy örneklerinde $\text{‰}4.69\text{-}5.16$; Gölemezli örneklerinde $\text{‰}4.21\text{-}4.51$ ve Tripolis örneklerinde $\text{‰}2.99\text{-}3.99$ arasında değişmektedir (Şekil 4.1a). $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotop içerikleri bakımından Lykos Vadisi bantlı traverten örnekleri sınırlı yayılım göstermektedir. Bununla birlikte Hierapolis ve Gölemezli örnekleri haricinde diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotop analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir (Şekil 4.1a). Gölemezli örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. ÇB-1 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değerleri oluşturmaktadır. $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotop bileşimleri bakımından Lykos Vadisi Bantlı traverten örnekleri daha fazla ^{13}C içeren örnekler olup, pozitif $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ değerlerine sahiptirler. Şekil 4.1a’da dikkat edilmesi gereken diğer bir husus Lykos Vadisinin GD’sunda yer alan ocaklara (Çukurbağ, Hierapolis ve Develi Akköy antik ocakları) ait bantlı traverten örnekleri $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotop içerikleri, Lykos Vadisi KB’sında bulunan ocaklara (Gölemezli ve Tripolis) ait bantlı traverten örnekleri $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotop içeriklerine göre daha yüksek değerlerdedir.



Şekil 4.1 Lykos Vadisi Bantlı traverten örneklerinin **a)** $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotopu, **b)** $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$ izotopu değerlerine ait kutu grafikleri.

Bantlı traverten örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$ izotop bileşimleri Çukurbağ’da $\text{‰}(-16.05)\text{-}(-12.09)$; Hierapolis’de, $\text{‰}(-14.85)\text{-}(-9.18)$; Develi-Akköy’de, $\text{‰}(-14.98)\text{-}(-11.62)$; Gölemezli’de, $\text{‰}(-15.29)\text{-}(-13.76)$ ve Tripolis’de $\text{‰}(-15.93)\text{-}(-13.01)$ arasında

değişmektedir (Şekil 4.1b). $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$ izotop içerikleri bakımından sadece Develi-Akköy bantlı traverten örnekleri geniş yayılım göstermektedir. Bununla birlikte tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$ izotop analiz sonuçları asimetric dağılım göstermektedir (Şekil 4.1b). Tripolis örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. ÇB-1, HP-5, TRPST-1 ve TRPST-6 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değerleri oluşturmaktadır. $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$ izotop bileşimleri bakımından Lykos Vadisi Bantlı traverten örnekleri daha az ^{18}O içeren örnekler olup, negatif $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$ değerlerine sahiptirler. $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$ izotop diyagramında Hierapolis ve Develi-Akköy antik ocaklarına ait örneklerin benzer C ve O izotop değerlerine sahip olduğu ve yatay yönde kümelenme gösterdikleri belirlenmiştir (Şekil 4.2). Çukurbağ, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarına ait örneklerin birbirlerine göre farklı alanlarda kümelandikleri görülmektedir. Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre belirlenen farklılıklar duraylı izotop sonuçlarında da belirlenmiştir.



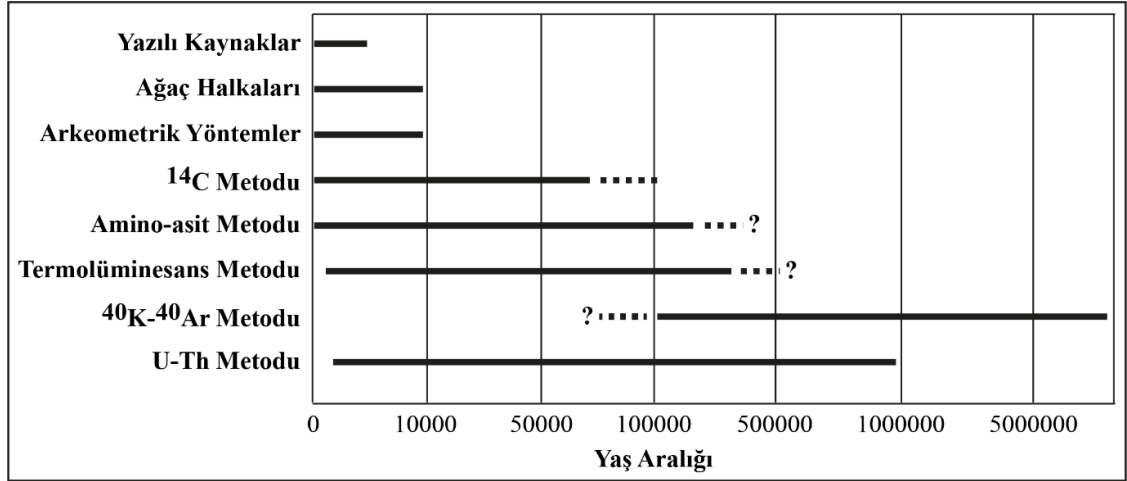
Şekil 4.2 $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$ izotop diyagramında Lykos Vadisi antik ocaklarına ait bantlı traverten örneklerinin konumu.

4.2 Lykos Vadisi Bantlı Traverten Örneklerinin U-Th Serisi İzotop Bileşimleri ve Jeolojik Oluşum Yaşları

Uranyum (U) ve Toryum (Th) elementlerinin radyoaktif bozunmaları ve bu bozunmalar sonucu yaymış oldukları radyasyon olayları 100 yılı aşkın bir süredir çalışılan bir konudur. Özellikle 1970'lerden günümüze jeolojik olayların ve/veya arkeolojik buluntuların yaşlandırılmasında U-Th bozunma serileri yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Jeolojik/Arkeolojik örneklerin yaşlandırılmasında kullanılan bazı yöntemler ve kullanıldığı yaş aralıkları şekil 4.3'de görülmektedir. Bu şekle göre her yöntemde yüksek hassasiyetle ve sağlıklı ölçüm alınabildiği yaş aralıkları bulunmaktadır. Örneğin yazılı kaynaklar 5000 yıl öncesine kadar güvenilir veriler sağlarken, ^{14}C metodu yaklaşık 50000 yıl, ^{40}K - ^{40}Ar yöntemi 1000000 yaşlı ve volkanik kayaç/kil örneklerinde başarılı sonuçlar vermektedir. U-Th yöntemi ise günümüzden 1000000 yıl öncesi jeolojik olayları/arkeolojik buluntuları sağlıklı bir şekilde yaşlandırmak için kullanılan alternatif yöntemdir. U-Th yaşlandırma tekniği, bir alfa parçacığının salınımı yoluyla ^{234}U 'ün ^{230}Th 'a bozunması sonucu ortaya çıkan ürünlerinin kütle spektrometresi ile ölçülmesi esasına dayanmaktadır⁴⁴. ^{234}U 'ün ^{230}Th 'a bozunması, ^{238}U 'den başlayan ve ^{206}Pb 'da biten çok daha uzun bozunma serisinin bir parçasıdır. U-Th yaşlandırması için, örneğin oluşumu sırasında $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ başlangıç oranı bilinmeli veya hesaplanmalıdır. Yöntem, örnek içerisindeki ^{230}Th veya ^{234}U 'un değiştirmedikini kabul etmektedir. U suda çözünebilen, Th ise suda çözünemeyen bir element'tir. Bu nedenle bir miktar U atmosferik sular ile birlikte yeraltındaki kırık/çatlak/boşluklara süzülür ve burada karbonat mineralleri (kalsit/dolomit/aragonit vb) ile birlikte çöker. Th ise ideal şartlar altında ortamda bulunmaz. U sularda kalsiyum ile çözünme yeteneğine sahiptir ve kolayca anyon bileşikleri oluşturabilir. Bununla birlikte, Th çözeltide hızla hidrolize edilir ve kil mineralleri üzerinde tutulur. U-serisi tarihlendirme yönteminde kabul edilen temel hipotez, CaCO_3 'ün kimyasal veya biyolojik çökmesi sırasında, aynı zamanda U'nun çökeldiği ve karbonat kristalleri arasında korunduğu, fakat bunun aksine, Th'nin CaCO_3 ile birlikte çökmediğidir. Bu özel durum sayesinde, yarılanma ömürleri bilinen ^{230}Th , ^{234}U ve ^{238}U radyoaktif izotopların ölçülmesiyle birlikte oluşan çökellerinin kaç yıl önce meydana geldiği hesaplanabilmektedir⁴⁵.

⁴⁴ Smart 1991, 45-83; Shen et al. 2002, 165-178; Edwards et al. 2003, 363-405; Shen et al. 2012, 71-86.

⁴⁵ Reiners et al. 2018; Baykara 2014, 180; Smart 1991, 45-83; Edwards et al. 2003, 363-405.



Şekil 4.3 Jeolojik/Arkeolojik malzemelerin yaşlandırılması için kullanılan bazı yöntemler ve karşılaştırmaları (<https://www3.nd.edu/~nsl/Lectures/phys10262/art-chap3-8.pdf>).

Türkiye'nin en önemli ve en büyük jeotermal alanlarından biri olan Denizli Havzası (Lykos Vadisi) sismik olarak hala aktiftir. Lykos Vadisinde traverten oluşumları M.S 10'dan (374000 yıl) günümüze kadar süreklidir⁴⁶. Bu çalışmada farklı ocaklardan alınmış 34 adet bantlı traverten örneği yaşlandırılmıştır (Tablo 4.3).

Bantlı traverten örneklerinin ölçülen $\delta^{234}\text{U}$ (ppb) izotop bileşimleri Çukurbağ'da 401.2 ile 441.3; Hierapolis'de, 159.2 ile 191.6; Develi-Akköy'de, 186.3 ile 206.0; Gölemezli'de, 35.1 ile 69.6 ve Tripolis'de 57.9 ile 218.2 arasında değişmektedir (Şekil 4.4a). Ölçülen $\delta^{234}\text{U}$ (ppb) izotop içerikleri bakımından sadece Tripolis bantlı traverten örnekleri geniş yayılım göstermektedir. Bununla birlikte Çukurbağ ocağı haricinde diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinin $\delta^{234}\text{U}$ (ppb) izotop içerikleri asimetric dağılım göstermektedir (Şekil 4.4a). Gölemezli örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirinden farklıdır. GL-7, GL-8 ve GL-9 numaralı bantlı traverten örnekleri $\delta^{234}\text{U}$ (ppb) izotop içerikleri bakımından dışlak değerleri oluşturmaktadır.

⁴⁶ Özkul et al. 2013, 179-204.

Tablo 4.3 Lykos Vadisi Bantlı Traverten örneklerinin U-Th izotop bileşimleri ve yaşları

Örnek No	²³⁸ U ppb ^a	²³² Th Ppt	δ ²³⁴ U measured ^a	[²³⁰ Th/ ²³⁸ U] activity ^c	²³⁰ Th/ ²³² Th atomic (x 10 ⁻⁶)	Age (kyr ago) Uncorrected	Age (kyr ago) corrected ^{c,d}	Age (kyr BP) relative to 1950 AD	δ ²³⁴ U _{initial} corrected ^b
ÇB-1	17.148 ± 0.043	2514.6 ± 6.0	401.2 ± 5.2	0.4456 ± 0.0068	50.1 ± 0.8	40.94 ± 0.77	38.2 ± 1.6	38.2 ± 1.6	446.9 ± 6.1
ÇB-2	8.315 ± 0.015	151.8 ± 4.1	405.8 ± 5.4	0.8260 ± 0.0078	746 ± 21	91.5 ± 1.4	91.1 ± 1.4	91.1 ± 1.4	524.9 ± 7.3
ÇB-3	86.17 ± 0.13	54.2 ± 2.9	427.1 ± 2.4	0.3006 ± 0.0012	7884 ± 418	25.48 ± 0.12	25.47 ± 0.12	25.41 ± 0.12	458.9 ± 2.6
ÇB-4	80.717 ± 0.088	45.79 ± 0.68	441.3 ± 1.9	0.3046 ± 0.0012	8852 ± 136	25.57 ± 0.11	25.56 ± 0.11	25.50 ± 0.11	474.3 ± 2.0
ÇB-5	77.33 ± 0.15	165.6 ± 3.3	434.6 ± 3.0	0.3110 ± 0.0018	2395 ± 50	26.31 ± 0.18	26.27 ± 0.18	26.21 ± 0.18	468.0 ± 3.3
ÇB-6	77.18 ± 0.10	18.0 ± 3.3	415.7 ± 2.0	0.2843 ± 0.0014	20063 ± 3691	24.18 ± 0.13	24.17 ± 0.13	24.11 ± 0.13	445.1 ± 2.2
HP-1	416.11 ± 0.67	681.4 ± 3.9	181.1 ± 1.9	0.4761 ± 0.0012	4793 ± 29	55.43 ± 0.22	55.39 ± 0.22	55.33 ± 0.22	211.7 ± 2.3
HP-2	437.83 ± 0.64	1224.4 ± 4.1	175.1 ± 1.7	0.4722 ± 0.0013	2784 ± 11	55.23 ± 0.22	55.17 ± 0.22	55.10 ± 0.22	204.6 ± 2.0
HP-3	473.37 ± 0.92	115.9 ± 8.4	164.8 ± 2.2	0.538 ± 0.016	36212 ± 2829	66.4 ± 2.6	66.4 ± 2.6	66.3 ± 2.6	198.7 ± 3.1
HP-4	268.13 ± 0.26	106.6 ± 5.6	191.6 ± 1.3	0.942 ± 0.013	39036 ± 2139	158.4 ± 4.8	158.4 ± 4.8	158.3 ± 4.8	299.6 ± 4.7
HP-5	938.62 ± 0.92	38419 ± 101	159.2 ± 1.3	0.5242 ± 0.0043	211.1 ± 1.8	64.57 ± 0.72	63.65 ± 0.85	63.59 ± 0.85	190.5 ± 1.7
HP-6	461.98 ± 0.50	1488.9 ± 3.7	177.4 ± 1.3	0.4740 ± 0.0014	2424.8 ± 9	55.35 ± 0.23	55.28 ± 0.23	55.21 ± 0.23	207.3 ± 1.6
DV-1	443.02 ± 0.59	304.1 ± 3.6	200.4 ± 1.7	0.4976 ± 0.0011	11952 ± 141	57.40 ± 0.19	57.38 ± 0.19	57.32 ± 0.19	235.6 ± 2.0
DV-2	366.85 ± 0.49	46.5 ± 3.1	187.9 ± 1.6	0.4812 ± 0.0011	62549 ± 4104	55.75 ± 0.19	55.75 ± 0.19	55.68 ± 0.19	219.9 ± 1.9
DV-3	238.71 ± 0.33	293.0 ± 3.8	206.0 ± 1.6	0.6101 ± 0.0016	8196 ± 108	75.01 ± 0.32	74.99 ± 0.32	74.92 ± 0.32	254.5 ± 2.0
DV-4	309.77 ± 0.46	37.4 ± 2.4	195.9 ± 1.8	0.5071 ± 0.0014	69313 ± 4382	59.13 ± 0.24	59.13 ± 0.24	59.06 ± 0.24	231.5 ± 2.1
DV-5	220.97 ± 0.39	29.09 ± 0.69	195.5 ± 2.0	0.5386 ± 0.0017	67454 ± 1614	64.05 ± 0.31	64.05 ± 0.31	63.98 ± 0.31	234.2 ± 2.4
DV-6	350.98 ± 0.43	279.8 ± 2.8	191.4 ± 1.5	0.4971 ± 0.0011	10281 ± 103	57.92 ± 0.20	57.90 ± 0.20	57.84 ± 0.20	225.4 ± 1.8
DV-7	288.83 ± 0.46	183.2 ± 3.7	186.3 ± 2.0	0.4799 ± 0.0013	12474 ± 251	55.67 ± 0.23	55.66 ± 0.23	55.59 ± 0.23	218.0 ± 2.4

Analytical errors are 2s of the mean

^a[²³⁸U] = [²³⁵U] x 137.818 (±0.65‰) (Hiess et al., 2012); $d^{234}\text{U} = ([^{234}\text{U}/^{238}\text{U}]_{\text{activity}} - 1) \times 1000$.

^b $d^{234}\text{U}_{\text{initial corrected}}$ was calculated based on ²³⁰Th age (T), i.e., $d^{234}\text{U}_{\text{initial}} = d^{234}\text{U}_{\text{measured}} \times e^{(234 \times T)}$, and T is corrected age.

^c $[^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}]_{\text{activity}} = 1 - e^{-\lambda_{230}T} + (d^{234}\text{U}_{\text{measured}}/1000)[\lambda_{230}/(\lambda_{230} - \lambda_{234})](1 - e^{-(\lambda_{230} - \lambda_{234})T})$, where T is the age.

Decay constants are $9.1705 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ for ²³⁰Th, $2.8221 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ for ²³⁴U (Cheng et al., 2013), and $1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ for ²³⁸U (Jaffey et al., 1971).

^dAge corrections, relative to chemistry date on June 17th/20th, 2017, were calculated using an estimated atomic ²³⁰Th/²³²Th ratio of $4 (\pm 2) \times 10^{-6}$.

Those are the values for a material at secular equilibrium, with the crustal ²³²Th/²³⁸U value of 3.8. The errors are arbitrarily assumed to be 50%.

Tablo 4.3 devam

Örnek No	²³⁸ U	²³² Th	δ ²³⁴ U	[²³⁰ Th/ ²³⁸ U]	²³⁰ Th/ ²³² Th	Age (kyr ago)	Age (kyr ago)	Age (kyr BP)	δ ²³⁴ U _{initial}
	ppb ^a	Ppt	measured ^a	activity ^c	atomic (x 10 ⁻⁶)	Uncorrected	corrected ^{c,d}	relative to 1950 AD	corrected ^b
GL-7	472.84 ± 0.64	25314 ± 245	69.6 ± 1.7	1.025 ± 0.013	315.6 ± 4.9	304 ± 20	303 ± 20	303 ± 20	164 ± 11
GL-8	339.16 ± 0.32	2159.3 ± 5.2	35.1 ± 1.3	1.0229 ± 0.0029	2649.0 ± 9.5	407 ± 14	406 ± 14	406 ± 14	110.6 ± 6.2
GL-9	361.94 ± 0.36	3569.8 ± 9.4	37.2 ± 1.3	1.0261 ± 0.0033	1715.4 ± 7.0	408 ± 16	408 ± 15	408 ± 15	117.7 ± 6.9
GL-10	494.83 ± 0.47	22423 ± 169	62.5 ± 1.2	1.045 ± 0.010	380.1 ± 4.6	361 ± 26	360 ± 26	360 ± 26	173 ± 15
GL-1	630.35 ± 0.87	12212 ± 61	60.9 ± 1.4	1.0314 ± 0.0064	877.8 ± 6.9	335 ± 14	335 ± 14	335 ± 14	156.8 ± 7.5
GL-2	461.73 ± 0.55	3951.4 ± 9.3	63.2 ± 1.9	1.0441 ± 0.0034	2011.6 ± 7.7	357 ± 10	357 ± 10	357 ± 10	173.1 ± 7.5
GL-3	561.99 ± 0.62	501.2 ± 3.3	61.6 ± 1.4	1.0410 ± 0.0020	19246 ± 130	354.7 ± 6.5	354.7 ± 6.5	354.6 ± 6.5	167.6 ± 5.0
GL-4	385.74 ± 0.40	595.6 ± 3.3	64.7 ± 1.7	1.0415 ± 0.0021	11121 ± 65	346.7 ± 6.6	346.7 ± 6.6	346.6 ± 6.6	172.1 ± 5.5
GL-5	532.46 ± 0.56	22237 ± 165	62.8 ± 1.5	1.029 ± 0.010	406.4 ± 4.8	327 ± 18	326 ± 18	326 ± 18	157.6 ± 9.8
GL-6	673.52 ± 0.94	40288 ± 497	61.5 ± 1.9	1.020 ± 0.015	281.1 ± 5.3	312 ± 25	311 ± 25	311 ± 25	148 ± 13
TRPST1	618.46 ± 0.64	8.1 ± 9.3	57.9 ± 1.1	1.0832 ± 0.0024	1365237 ± 1561462	>800.000 -	- -	- -	- -
TRPST4	1146.2 ± 1.4	2.7 ± 9.2	55.3 ± 1.3	1.0313 ± 0.0030	7240426 ± 24638961	351.013 ± 8128	351.013 ± 8128	- -	149.0 ± 5.0
TRPST6	154.22 ± 0.41	4045 ± 15	208.9 ± 4.2	0.5465 ± 0.0037	343.6 ± 2.5	64.282 ± 664	63.725 ± 716	- -	250.1 ± 5.0
TRPST10	6.181 ± 0.024	386 ± 13	158 ± 25	0.471 ± 0.011	124.3 ± 5	56.131 ± 2374	54.728 ± 2426	- -	185 ± 29
TRPST11	119.97 ± 0.31	384.2 ± 7.4	218.2 ± 3.6	0.02396 ± 0.00052	123.4 ± 3.6	2.165 ± 48	2.096 ± 59	- -	219.5 ± 3.6

Analytical errors are 2s of the mean

^a[²³⁸U] = [²³⁵U] x 137.818 (±0.65‰) (Hiess et al., 2012); $d^{234}\text{U} = ([^{234}\text{U}/^{238}\text{U}]_{\text{activity}} - 1) \times 1000$.

^b $d^{234}\text{U}_{\text{initial}}$ corrected was calculated based on ²³⁰Th age (T), i.e., $d^{234}\text{U}_{\text{initial}} = d^{234}\text{U}_{\text{measured}} \times e^{(\lambda_{234} - \lambda_{230})T}$, and T is corrected age.

^c $[^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}]_{\text{activity}} = 1 - e^{-\lambda_{230}T} + (d^{234}\text{U}_{\text{measured}}/1000)[\lambda_{230}/(\lambda_{230} - \lambda_{234})](1 - e^{-(\lambda_{230} - \lambda_{234})T})$, where T is the age.

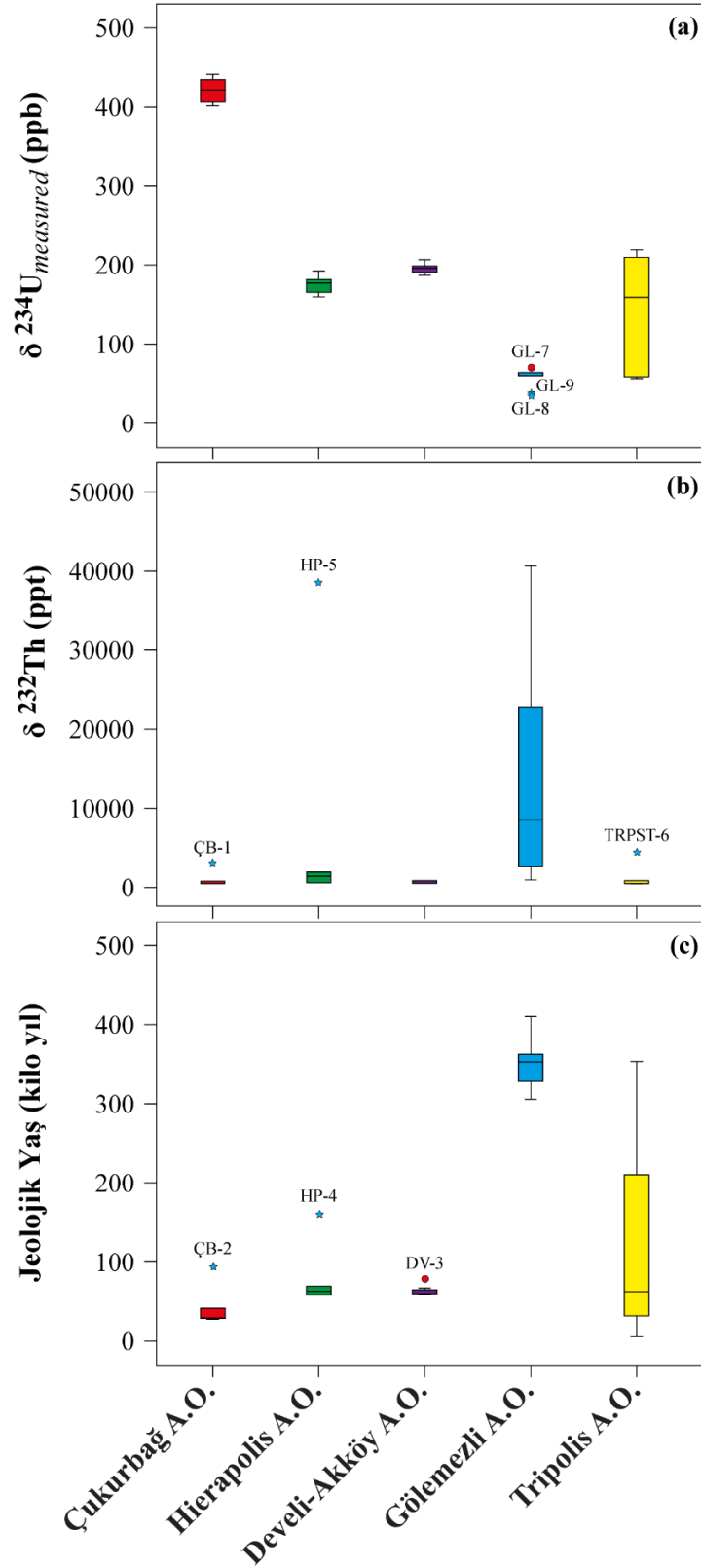
Decay constants are $9.1705 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ for ²³⁰Th, $2.8221 \times 10^{-6} \text{ yr}^{-1}$ for ²³⁴U (Cheng et al., 2013), and $1.55125 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$ for ²³⁸U (Jaffey et al., 1971).

^dAge corrections, relative to chemistry date on June 17th/20th, 2017, were calculated using an estimated atomic ²³⁰Th/²³²Th ratio of $4 (\pm 2) \times 10^{-6}$.

Those are the values for a material at secular equilibrium, with the crustal ²³²Th/²³⁸U value of 3.8. The errors are arbitrarily assumed to be 50%.

$\delta^{232}\text{Th}$ (ppt) izotop içerikleri Çukurbağ örneklerinde 54.2-2514.6; Hierapolis örneklerinde 106.6-38419.0; Develi-Akköy örneklerinde 29.1-304.1; Gölemezli örneklerinde, 501.2-40288 ve Tripolis örneklerinde 2.7-4045.0 arasında değişmektedir (Şekil 4.4b). Gölemezli örnekleri haricinde $\delta^{232}\text{Th}$ (ppt) izotop içerikleri bakımından Lykos Vadisi bantlı traverten örnekleri sınırlı yayılım göstermektedir. Bununla birlikte tüm ocaklara örnekler $\delta^{232}\text{Th}$ (ppt) izotop analiz sonuçları bakımından asimetric dağılım göstermektedir (Şekil 4.4b). Gölemezli örnekleri haricinde, diğer ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kutu boyutları ve kuyruk uzunlukları birbirine eşittir. ÇB-1, HP-5 ve TRPST-6 numaralı bantlı traverten örnekleri dışlak değerleri oluşturmaktadır. Ayrıca Çukurbağ, Hierapolis, Develi Akköy ve Tripolis antik ocaklarına ait bantlı traverten örneklerinin $\delta^{232}\text{Th}$ (ppt) izotop sonuçları birbirine benzer değerlerdedir.

Lykos Vadisi bantlı traverten ocaklarının U-Th serisi izotop sonuçlarına göre belirlenen jeolojik oluşum yaşları Çukurbağ örneklerinde 24.11 ± 0.13 - 91.1 ± 1.4 kilo yıl arasında değişirken; Hierapolis örneklerinde 55.10 ± 0.22 - 158.3 ± 4.8 kilo yıl; Develi-Akköy örneklerinde 55.59 ± 0.23 - 74.92 ± 0.32 kilo yıl; Gölemezli örneklerinde, 303.0 ± 20 - 408.0 ± 15 kilo yıl ve Tripolis örneklerinde 2.09 ± 59 - 351.01 ± 8.12 kilo yıl arasında değişmektedir (Şekil 4.4c). Tripolis örnekleri haricinde jeolojik oluşum yaşı bakımından Lykos Vadisi bantlı traverten örnekleri sınırlı yayılım göstermektedir. Gölemezli örnekleri bölgedeki en yaşlı bantlı traverten oluşumlarını temsil etmekte olup, ÇB-2, HP-4 ve DV-3 numaralı bantlı traverten örnekleri jeolojik yaş bakımından dışlak değerleri oluşturmaktadır. Ayrıca Çukurbağ, Hierapolis ve Develi Akköy antik ocaklarına ait bantlı traverten örneklerinin birbirine yakın jeolojik yaşlara sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.4c).



Şekil 4.4 Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin **a)** Ölçülen $\delta^{234}\text{U}$ (ppb) izotop bileşimleri, **b)** $\delta^{232}\text{Th}$ (ppt) izotop içerikleri ve **c)** U-Th serisi izotop sonuçlarına göre belirlenen jeolojik oluşum yaşları.

SONUÇLAR

Lykos Vadisi tarihi coğrafi özellikleri, jeopolitik konumu ve elverişli iklim şartlarından dolayı erken dönemlerden itibaren yerleşim görmüştür. M.Ö. 5500 Kalkolitik dönemden itibaren en eski yerleşimler; Beylerbeyi Höyük, Kumkısık Höyük ve Colossae Höyük'tür. Hellenistik Dönem yerleşmeleri; Laodikeia, Attuda (Sarayköy-Hisarköy), Trapezopolis (Babadağ-Bekirler köyü), Karura (Sarayköy-Tekkeköy), Tripolis (Yenicekent), Hierapolis (Pamukkale), Kolossai antik kentleri olarak sayılabilir. Mermer ve doğal taş kaynakları bakımından zengin denilebilecek bir jeolojik yapıya sahip Lykos vadisinde antik dönem yerleşimlerine ait yapılarda çoğunlukla mermer, traverten/bantlı traverten bileşimli yapıtaşlarının yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında Lykos vadisinde belirlenen antik traverten/bantlı traverten ocaklarına ait örneklerin detaylı minero-petrografik, jeokimyasal özellikleri ile C-O duraylı izotop bileşimleri belirlenmiştir. Bununla birlikte örneklerin U-Th serisi izotop bileşimlerinden yararlanılarak bu ocakların jeolojik oluşum yaşları ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Bantlı traverten oluşumları (Tripolis antik ocağı hariç) Lykos vadisini kuzeyden sınırlayan ana fay zonuna paralel olarak gelişmiş D-B, KB-GD uzanımlı açılma çatlakları (Gölemezli antik ocağı hariç) içerisinde bulunmaktadır. Bantlı traverten oluşumları düşey konumlu olup, tipik olarak beyaz, grimsi beyaz, sarımsı beyaz, sarımsı kahverengi, kahverengi, kırmızı, kırmızımsı bordo renk ar dalanması gösterirler. Hierapolis, Develi-Akköy ve Tripolis örneklerinde sarımsı beyaz, sarımsı kahverengi, kahverengi, kırmızı, kırmızımsı bordo renk ar dalanması baskın olarak görülürken, Çukurbağ ve Gölemezli örneklerinde beyaz, grimsi beyaz, sarımsı beyaz renk renk ar dalanması karakteristiktir.

2. İncelenen antik dönem bantlı traverten ocaklarının aynalarında blok, sütun çıkarmak amacıyla kesici ve delici aletler kullanılmasından kaynaklanan farklı yönlerde keski izleri ile işletme basamakları belirgin olarak görülmektedir. Antik dönem ocaklarının üst kesimlerinde ve ana kaya kütlesi üzerinde belli aralıklarla açılmış, † şekilli (Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy ocakları) ve/veya ocak aynalarında belli aralıklarla açılmış □ şekilli (Çukurbağ, Develi-Akköy, Tripolis ocakları) oyuklar bulunmaktadır. Bu yapılar blokları kaldırmak için kullanılan makara sistemlerinin

bağlandığı ağaç kütüklerin yerleştirildiği yuva izleri olarak yorumlanmıştır. Bununla birlikte ocakların içerisinde veya hemen yakınındaki işletme atıklarının içerisinde tamamlanmamış silindir, dikdörtgen şekilli blok parçaları bulunmaktadır.

3. Arkeoloji literatüründe “Alabastro fiorito”, “Alabastro listato” ve “Alabastro rossa” olarak adlandırılan bantlı traverten örnekleri mineralojik olarak karbonat mineralleri (iğnemsî, sütunsu şekilli kalsit>aragonit)(Çukurbağ, Hierapolis, Develi-Akköy örneklerinde kalsit $\pm$ aragonit; Gölemezli ve Tripolis örnekleri kalsit bileşimlidir) ve daha az miktarda Ca-Fe-oksit (Hierapolis ve Develi-Akköy örnekleri), mikrosparit, mikrit’ten oluşmaktadır. Lykos vadisinin GD’sundaki ocaklardan (Çukurbağ için 116-979 μm ; Hierapolis için 160-1720 μm ; Develi-Akköy için 258-2370 μm) KB’sında bulunan ocaklara (Gölemezli için 465-3000 μm) doğru kristal boyutunda belirgin bir artış gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte Tripolis ocaklarına ait örneklerin kristal boyutları (100-1270 μm) Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy ocaklarına benzerlik göstermektedir. Tüm ocaklara ait bantlı traverten örneklerinde kolloform (balon yapısı), ışınsal dentritik ve mikritik lamine dokü görülmektedir. Optik mikroskop çalışmaları ile elde edilen sonuçlar XRD (X-Ray Difraktometre) ve Konfokal Raman Spektrometre çalışmalarıyla da desteklenmiştir. Ayrıca optik mikroskop çalışmalarında belirlenen mikrit ve karbonat mineralleri arasındaki kahverengi-kırmızı renkli Fe-oksit bileşimli ince bantların götit ve hematit bileşimli Fe-oksit minerallerinden oluştuğu CRS incelemeleriyle ortaya çıkarılmıştır.

4. Mono mineralli kayaç örnekleri olan kireçtaşı, mermer, traverten/bantlı traverten türü kayaçların jeokimyasal bileşimlerinde çok farklı sonuçlar beklenmemektedir. Ancak göstermiş oldukları küçük farklılıklar kendilerini meydana getiren suların kimyasal bileşimi, suyun içerisinden geçtiği temel kayaçların farklı litolojilerde olması gibi özelliklerle ilişkilendirilebilir. Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre hazırlanan Ayrışım Fonksiyonu Analizi grafiğinde Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy bantlı traverten örneklerinin birbirine çok yakın dağılımlar gösterdikleri, buna karşın Gölemezli ve Tripolis bantlı traverten örneklerinin farklı alanlarda kümelenedikleri belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy antik ocaklarının bulunduğu alanlardaki temel litolojinin, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarının bulunduğu bölgelerdeki temel litolojilerden farklı olduğunu ve bu farklılığın

bantlı traverten örneklerinin kimyasal bileşimlerine ve bazı element oranlarına yansıdığını söyleyebiliriz.

5. Lykos Vadisi bantlı traverten örnekleri içerisinde $(\text{Mg}/\text{Ca}) \cdot 10^{-4}$ oranı bakımından Gölemezli (4-135) ve Tripolis (11.5-226) örneklerinin; $(\text{Fe}/\text{Ca}) \cdot 10^{-4}$ oranı bakımından Hierapolis (5.5-96.3), Develi-Akköy (14.7-168.6) ve Tripolis (8.3-80.6) örneklerinin; $(\text{Mn}/\text{Ca}) \cdot 10^{-4}$ oranı bakımından Gölemezli (2.5-15.2) örneklerinin; Ca/Sr oranı bakımından Çukurbağ (1.45-16.29), Gölemezli (7.57-16.68) ve Tripolis (1.03-8.24) örneklerinin; $(\text{Mn}/\text{Sr}) \cdot 10^{-4}$ oranı bakımından Gölemezli (33.2-190) örneklerinin; $(\text{Rb}/\text{Sr}) \cdot 10^{-4}$ oranı bakımından Çukurbağ (5.7-21.9) ve Gölemezli (5.7-49.3) örneklerinin; sırasıyla Zr/Ti ve U/Th oranları bakımından Tripolis (299.13-822.14), (4.44-8.46) örneklerinin belirgin farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir.

6. Lykos vadisi bantlı traverten örneklerinin Kıta Kabuğuna (CC) göre normalleştirilmiş çoklu element dağılım diyagramında, ana oksit elementler bakımından (CaO hariç) CC'ye oranla 10-1000 kat tüketilme, CaO elementi bakımından 10 kat zenginleşme gösterdikleri belirlenmiştir. İncelenen örnekler Kuzey Amerika Şeyl Bileşimine (NASC) göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramında, iz elementler (Zn ve Sr hariç) bakımından NASC'ye göre 5 ile 100000 kat arasında tüketilme, Zn ve Sr elementleri bakımından NASC bileşimine göre 1-10 kat zenginleşme göstermektedirler. Özellikle Al, Ti, Fe, Rb ve Ba elementleri bakımından Lykos vadisi bantlı traverten örnekleri NASC'ye oranla oldukça belirgin tüketilmişlik göstermektedir. Ortalama Fanerozoik Kireçtaşlarına (APL) göre normalleştirilmiş çoklu element dağılım diyagramında, Cr, Ni, Pb, Ce, La, Sr ve Nd haricindeki elementler bakımından bantlı traverten örneklerinin APL'ye oranla 10 ile 10000 kat'a kadar tüketilme gösterdiği belirlenmiştir. Örneklerin Ni, Pb, La ve Ce element içerikleri APL çizgisinde veya hafif düşük değerlerde iken, Cr, Sr ve Nd element içerikleri bakımından APL değerlerine göre 10 kat'a kadar zenginleşme göstermektedir.

7. CC, NASC ve APL'ye göre normalize edilmiş çoklu element değişim diyagramlarında Çukurbağ, Hierapolis ve Develi-Akköy bantlı traverten örneklerinin benzer dağılım desenleri gösterdiği, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarına ait bantlı traverten örnekleri hem kendi aralarında hem de diğer ocak örneklerine göre kısmen farklı dağılım desenleri gösterdikleri belirlenmiştir.

8. Bantlı Travertenler, oluşumlarında önemli rol oynayan sıvıların kökenine göre “meteojenik” ve “termojenik” olarak ikiye ayrılmaktadır. Meteojenik ve termojenik travertenler, bazı element içerikleri (Al, Ni, Sr, U, Zn gibi) bakımından farklılıklar göstermektedir. Düşük Al, yüksek Fe ve Mn içerikleri traverten/bantlı travertenlerin termojenik kökenli olduklarına işaret etmektedir. Lykos vadisi bantlı traverten örneklerinin Al, Fe, Mn, Ni, U ve Zn element içeriklerinin termojenik kökenli bantlı travertenlerle benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte literatürde meteojenik travertenler için Sr içeriğinin 20-200 ppm, aragonit içeren termojenik travertenler için Sr içeriğinin 9500 ppm’e kadar ulaşabildiği ifade edilmektedir. Lykos vadisi bantlı traverten örneklerinin Sr içeriklerinin Çukurbağ örneklerinde 618.9-6920 ppm, Hierapolis örneklerinde 616-8585 ppm, Develi-Akköy örneklerinde 1669-8375 ppm, Gölemezli örneklerinde 592-1269 ppm ve Tripolis örneklerinde 1116-9509 ppm arasında değişim gösterdiği ve bu değerlerin termojenik kökene işaret ettiği belirlenmiştir.

9. $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotop içerikleri bakımından Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin sınırlı yayılım gösterdikleri ve pozitif $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. Örneklerin $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotop içerikleri Çukurbağ örneklerinde $\text{‰}5.41-6.68$; Hierapolis örneklerinde $\text{‰}5.09-5.63$; Develi-Akköy örneklerinde $\text{‰}4.69-5.16$; Gölemezli örneklerinde, $\text{‰}4.21-4.51$ ve Tripolis örneklerinde $\text{‰}2.99-3.99$ arasında değişmektedir. Bununla birlikte Lykos vadisinin GD’sundaki ocakların (Çukurbağ, Hierapolis ve Develi Akköy) $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotop içeriklerinin, Lykos Vadisi KB’sındaki ocakların (Gölemezli ve Tripolis) $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}(\text{‰})$ izotop içeriklerine göre daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

10. Bantlı traverten örneklerinin $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$ izotop bileşimlerinin Çukurbağ’da $\text{‰}(-16.05)-(-12.09)$; Hierapolis’de, $\text{‰}(-14.85)-(-9.18)$; Develi-Akköy’de, $\text{‰}(-14.98)-(-11.62)$; Gölemezli’de, $\text{‰}(-15.29)-(-13.76)$ ve Tripolis’de $\text{‰}(-15.93)-(-13.01)$ arasında değiştiği belirlenmiştir. $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}(\text{‰})$ izotop bileşimleri bakımından Lykos Vadisi Bantlı traverten örnekleri daha az ^{18}O içeren örnekler olup, negatif $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ değerlerine sahiptirler.

11. $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ izotop diyagramında Hierapolis ve Develi-Akköy antik ocaklarına ait örneklerin benzer C ve O izotop değerlerine sahip olduğu ve yatay yönde kümelenme gösterdikleri, Çukurbağ, Gölemezli ve Tripolis antik ocaklarına ait örneklerin farklı izotop bileşimine sahip oldukları ve birbirlerine göre farklı alanlarda kümelendikleri belirlenmiştir.

12. Bantlı traverten örneklerinin ölçülen $\delta^{234}\text{U}$ (ppb) izotop bileşimlerinin Çukurbağ'da 401.2-441.3; Hierapolis'de, 159.2-191.6; Develi-Akköy'de, 186.3-206; Gölemezli'de, 35.1-69.6 ve Tripolis'de 57.9-218.2 arasında değiştiği, benzer şekilde $\delta^{232}\text{Th}$ (ppt) izotop içeriklerinin Çukurbağ örneklerinde 54.2-2514.6; Hierapolis örneklerinde 106.6-38419; Develi-Akköy örneklerinde 29.1-304.1; Gölemezli örneklerinde, 501.2-40288 ve Tripolis örneklerinde 2.7-4045 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bununla birlikte $\delta^{234}\text{U}$ (ppb) ve $\delta^{232}\text{Th}$ (ppt) izotop değerleri bakımından Gölemezli ve Tripolis örneklerinin diğer ocaklara göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. U-Th serisi izotop yaşlandırma sonuçlarına göre Çukurbağ örneklerinin jeolojik oluşum yaşının 24.11 ± 0.13 - 91.1 ± 1.4 kilo yıl; Hierapolis örneklerinin 55.10 ± 0.22 - 158.3 ± 4.8 kilo yıl; Develi-Akköy örneklerinin 55.59 ± 0.23 - 74.92 ± 0.32 kilo yıl; Gölemezli örneklerinin 303.0 ± 20 - 408.0 ± 15 kilo yıl ve Tripolis örneklerinin 2.09 ± 59 - 351.01 ± 8.12 kilo yıl arasında değiştiği belirlenmiştir.

KISALTMALAR

XRD	: X-Işınları Difraktometre
CRS	: Confocal Raman Spektrometer
XRF	: X-Işınları Floresans
CR-IRMS	: Sürekli Akış–İzotop Oranı Kütle Spektroskopisi
GPS	: Global Position System
PEDXRF	: Polarized Energy Dispersive XRF
YEBİM	: Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi
HISPEC	: High-Precision Mass Spectrometry and Environment Change
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CC	: Kıta Kabuğu
NASC	: Kuzey Afrika Şeyl Bileşimi
APL	: Ortalama Fonerozoyik Kireçtaşları
V-SMOW	: Vienna Standart Mean Ocean Water
V-PDB	: Vienna Pee Dee Belemnite
C	: Carbon
U	: Uranyum
Th	: Toryum
O	: Oksijen
GL	: Gölemezli
ÇB	: Çukurbağ
HP	: Hierapolis
DV	: Develi-Akköy
TRPST	: Tripolis

KAYNAKÇA

A. ANTİK KAYNAKLAR

Strabon 2000 Geographika, Antik Anadolu Coğrafyası (Kitap: XII-XIII-XIV), Çev. :A. Pekman, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.

B. MODERN KAYNAKLAR

Akgül ve Çevik 2005 A. Akgül ve O. Çevik, *İstaiksel Analiz Teknikleri "SPSS'te İşletme Yönetimi Uygulamaları*, Ankara.

Alçıçek 2007 H. Alçıçek, *Denizli Havzası (Sarayköy-Buldan Bölgesi, GB Türkiye) Neojen Çökellerinin Sedimentolojik İncelenmesi*, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.

Alçıçek et al. 2007 H. Alçıçek - B. Varol - M. Özkul, "Sedimentary Facies, Depositional Environments and Palaeogeographic Evolution of the Neogene Denizli Basin of SW Anatolia Turkey." *Sedimentary Geology* 202:596-637.

Antonelli et al. 2003 F. Antonelli - G. Gentili - A. Renzulli - M.L. Amadori, "Provenance of the Ornamental Stones Used in the Baroque Church of S. Pietro in Valle (Fano, Central Italy) and Commentary on Their State of Conservation." *Journal of Cultural Heritage* 4:299-312

Antonelli et al. 2010 F. Antonelli - L.Lazzarini - S. Cancelliere - D. Dessandier, "On the White and Coloured Marbles of the Roman Town of Cuicul (Djemila, Algeria)." *Archaeometry* 52:575-596.

Atakan ve Karabulut 2003 C. Atakan ve İ. Karabulut, "Derinliğe Dayalı Diskriminasyon." *S.Ü. Fen-Ed. Fak. Fen Derg.* 22,53-63.

Barbieri et al. 2002a M. Barbieri - C. Lilyquist - G. Testa, "Provenancing Egyptian and Minoan Calcitic-Alabaster Artifacts Through 87Sr/86Sr Isotopic Ratios and Petrography." *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone-ASMOSIA VI, Proceedings of the Sixth international Conference of Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity.* ed. by L. Lazzarini, June 15-18, 2000, 403-414.

Barbieri et al. 2002b M. Barbieri - G. Testa - D. Merola - Y. Polychronakis - V. Simitzis, "Comparative Strontium Isotope Analysis and Petrography of Egyptian and Cretan Limestone and Calcite-Alabaster." *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone-ASMOSIA VI, Proceedings of the Sixth International Conference of Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity.* ed. by L. Lazzarini, June 15-18, 2000, 415-425.

- Barker et al. 2018 S. Barker - S. Perna and I.M. Villa, "Ancient Alabaster, New Provenance Methods and Quarry Data." *Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity - ASMOSIA XII*, İzmir, October 8-14, Abstract Book, 46.
- Baykara 2014 M.O. Baykara, Investigations on staligmites whih is scheduled to be taken from different three caves: Paleoclimate studies. *PhD Thesis*, Pamukkale University, 180s., Denizli.
- Bozcu 2009 M. Bozcu, "Geology of Neogene basins of Buldan Sarıcaova region and their importance in Western Anatolia neotectonics." *International Journal of Earth Sciences* 99(4):851-861.
- Brilli et al. 2005 M. Brilli - G. Cavazzini - B. Turi, "New Data of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratio in Classical Marble: An Initial Database for Marble Provenance Determination." *Journal of Archeological Science* 32:1543-1551.
- Brilli et al. 2017 M. Brilli - F. Giustini - P.M. Barone - A. Fayek - G. Scardozzi, "Characterizing the Alabastro Listato or Fiorito of Hierapolis in Phrygia: A Simple Method to Identify its Provenance Using Carbon Stable Isotopes." *Archaeometry* 60:403-418.
- Brogi et al. 2016 A. Brogi - M.C. Alçiçek - C. Ç. Yalçiner - E. Capezzuoli - D. Liotta - M. Meccheri - V. Rimondi - G. Ruggieri - A. Gandin - C. Boschi - A. Büyüksaraç - H. Alçiçek - A. Bülbül - M.O. Baykara - C.C. Shen, "Hyrothermal Fluids Circulation and Travertine Deposition in an Active Tectonic Setting: Insights from the Kamara Geothermal Area (Western Anatolia, Turkey)." *Tectonophysics* 680:211-232.
- Bruno 2002 M. Bruno "Alabaster Quarries Near Hierapolis, Turkey." In *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone- ASMOSIA VI, Proceedings of the Sixth International Conference of Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity.* ed. by L. Lazzarini, June 15-18, 2000, 19-24.
- Buzgar et al. 2009 N. Buzgar - A.I. Apopei, "The Raman study on certain carbonates. Analele Stiintifice ale Universitatii." *Al. I. Cuza - Iasi*, Tome 55(2):97-112.
- Bülbül 2000 A. Bülbül, "Kamara ve Çizmeli (Yenice- Buldan) Sıcak ve Mineralli Sularının Hidrojeolojisi." *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, 98s., Denizli.
- Candan et al. 2011 O. Candan - O.E. Koralay - C. Akal - O. Kaya - R. Oberhänsli - O.Ö. Dora - N. Konak - F. Chen, "Supra-Pan-African Uncorformity Between Core and Cover Series of the Menderes Massif/Turkey and its Geological Implications." *Precambrian Research* 184:1-23.
- Chatziconstantinou and Poupaki 2002 A. Chatziconstantinou - E. Poupaki, "The Extraction of Travertine in Antiquity on the Island of Cos, Dodecanese, Greece." *Meditarranean Archeology and Archaeometry* 2(2):59-68.

- Cheng et al. 2013 H. Cheng - R.L. Edwards - C.C. Shen - V J. Polyak - Y. Asmerom - J. Woodhead - J. Hellstrom et al., "Improvements in ^{230}Th Dating, ^{230}Th and ^{234}U Half-Life Values and U-Th Isotopic Measurements by Multi-Collector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry." *Earth and Planetary Science Letters* 371-372:82-91.
- Condie et al. 1991 K.C. Condie - M. Wilks - D.M. Rosen - V. Zlobin, "Geochemistry of Metasediments from the Precambrian Hapschan Series, Eastern Anabar Shield, Siberia." *Precambrian Research* 50:37-47.
- Coplen and Shrestha 2016 T.B. Coplen - Y. Shrestha, "Isotope-abundance variations and atomic weights of selected elements: 2016 (UIPAC Technical Report)." *Pure Appl. Chem.* 88(12):1203-1224.
- Çolak and Lazzarini 2002 M. Çolak - L. Lazzarini, "Quarries and Characterisation of a Hitherto Unknown Alabaster and Marble from Thyatira (Akhisar, Turkey)." In *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone- ASMOSIA VI, Proceedings of the Sixth International Conference of Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity.* Venice, Ed. by L. Lazzarini, June 15-18, 2000, 35-40.
- De Filippis et al. 2012 L. De Filippis - C. Faccenna - A. Billi - E. Anzalone - M. Brilli - M. Özkul - M. Soligo - P. Tuccimei - I. Villa, "Growth of Fissure Ridge Travertines from Geothermal Springs of Denizli Basin, Western Turkey." *Geological Society of America Bulletin* 124:1629-1645.
- Demirkıran ve Çalapkulu 2001 Z. Demirkıran - F. Çalapkulu, "Kaklık-Kocabaş (Denizli) Travertenlerinin Litolojik, Morfolojik Özellikleri ve Sınıflaması" Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2001) 3-5 Mayıs 2001 - Afyon. Bildiriler Kitabı 17-31.
- Duman 2013 B. Duman, "Son Arkeolojik Araştırmalar ve Yeni Bulgular Işığında Tripolis ad Maeaundrum." *Cedrus* 1:179-200.
- Edwards et al. 2003 R.L. Edwards - C.D. Gallup - H. Cheng, "Uranium-series Dating of Marine and Lacustrine Carbonates." in *Uranium-Series Geochemistry. Mineralogical Society of America* 52:363-405.
- Erten 2013 H. Erten, Denizli Karasal Neojen - Kuvaterner Havzasının (Güneybatı Türkiye) Küçük Memeli Fosilleri ile Biyokronolojik İncelemesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, *Doktora Tezi*.
- Faure 2001 G. Faure, *Origin of Igneous Rocks*, Springer Verlag, Berlin-Germany.
- Gandin and Capezzuoli 2014 A. Gandin - E. Capezzuoli, "Travertine: Distinctive Depositional Fabrics of Carbonates from Thermal Spring Systems." *Sedimentology* 61:264-290.
- Gökgöz 1998 A. Gökgöz, "Geochemistry of the Kızıldere - Tekkehamam - Buldan - Pamukkale geothermal fields." *United Nations University, Geothermal Training Programme Reports*, Reykjavik - Iceland, 115-156.

- Gromet et al. 1984 L.P. Gromet - R.F. Dymek - L.A. Haskin - R.L. Korotev, "The North American shale composite: Its compilation, major and trace element characteristics." *Geochimica Cosmochimica Acta* 48:2469-2482.
- Gunasekaran et al. 2006 S. Gunasekaran - G. Anbalagan - S. Pandi, "Raman and infrared spectra of carbonates of calcite structure." *Journal of Raman Spectroscopy* 37:892-899.
- Guo and Riding 1998 L. Guo - R. Riding, "Hot- spring Travertine Facies and Sequences, Late Pleistocene Rapolana Terme, Italy." *Sedimentology* 45:163-180.
- Gündoğan et al. 2008 İ. Gündoğan - C. Helvacı - H. Sözbilir, "Gypsiferous carbonates at Honaz Dağı (Denizli): First documentation of Triassic gypsum in Western Turkey and Its tectonic significance." *Journal off Asian Earth Sciences* 32:49-65.
- Gündüz 1999 T. Gündüz, *İnstrümental Analiz*, Gazi Büro Kitapevi, Ankara.
- Hancock et al. 2000 P.L. Hancock - R.M.L. Chalmers - E. Altunel - Z. Çakır - A. Becher-Hancock, "Creation And Destruction of Treavertine Monumental Stone by Earthquake Faulting at Hierapolis, Turkey." *The Archeology of Geological Catastrophes, Geological Society, Special Publications* 171:1-14.
- Harrell et al. 2007 J.A. Harrell - M.A.T.M. Broekmans - D.I. Godref-Smith, "The Origin, Destruction and Restoration of Colour in Egyptian Travertine." *Archeometry* 49:421-436.
- Hermann et al. 2012 J. Hermann Van den Hoek - R.H. Tykot, "Alabastro a pecorella, Aïn Tekbalet, and Bou Hanifia, Algeria: A Preliminary Report." In *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone - ASMOSIA IX, Proceedings of Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity.* Eds. by A. Gutiérrez Garcia - Moreno, P. Lapunte Mercadak - I. Rodà de Llanza, Tarragona, 2009, 463-470.
- Hiess et al. 2012 J. Hiess - D.J. Condon - N. McLean - S.R. Noble, "²³⁸U/²³⁵U Systematics in Terrestrial Uranium - Bearing Minerals." *Science* 335:1610-1614.
- Jaffey et al. 1971 A.H. Jaffey - K.F. Flynn - L.E. Glendenin - W.T. Bentley - A.M. Essling, "Precision Measurement of Half-Lives and Specific Activities of ²³⁵U and ²³⁸U." *Physical Review C* 4(5):1889-1906.
- Kele et al. 2011 S. Kele - M. Özkul - A. Gökgöz - I. Fözizs - M.O. Baykara - M.C. Alçıçek - T. Németh, "Stable Isotope Geochemical and Facies Study of Pamukkale Travertines: New Evidences of Low-Temperature Non - Equilibrium Calcite- Water Fractionation." *Sedimentary Geology* 238:191-212.
- Kılınçarslan 2013 S. Kılınçarslan, "Laodikeia (Denizli-GB Türkiye) Antik Kenti Tapınak-A (Sebasteion) Yapısında Kullanılan Mermerlerin Minerolojik Petrografik Jeokimyasal Özellikleri ve Kaynak Alanlarının Belirlenmesi." Pamukkale Üniversitesi, Denizli, *Yüksek Lisans Tezi*.

- Klein and Hurlbut 1993 C. Klein - S. Hurlbut, *Manual of Mineralogy*, New York: John Wiley.
- Konak et al. 1987 N. Konak - N. Akdeniz - E.M. Özürk, "Geology of the south of Menderes Massif." Guide Book for the Field Excursion Along Western Anatolia, IGCP Project no:5, 42-53.
- Koralay 2006 T. Koralay, "İncesu İğnimbiritinin (Kayseri) Jeolojisi, Petrolojisi ve Ayırtma Özellikleri.", Ankara Üniversitesi, Ankara, *Doktora Tezi*.
- Koralay et al. 2007 O.E. Koralay - O.Ö. Dora - M. Satır - R. Oberhänsli - F. Chen, "Menderes Masifi'ndeki Pan-African ve Triyas yaşlı meta magmatik kayaların jeolojisi ve jeokronolojisi, Batı Anadolu, Türkiye." Menderes Masifi Kolokiyumu, İzmir, 18-24.
- Koralay et al. 2014 T. Koralay - Y.K. Kadioğlu - K. Deniz - B. Duman, "Provenance of banded travertine from Tripolis antique city (Yenicekent/Buldan-Denizli) based on the minero-petrographic and geochemical characterization." *The 20th Annual Meeting of EAA Abstract Book*, 485, İstanbul.
- Koralay 2017 T. Koralay, "Tripolis Antik Kenti (Yenicekent/Buldan-Denizli) Yapılarında Kullanılan Kayaçların Minero-Petrografik Özellikleri." Tripolis Araştırmaları, ed. B. Duman 145-163. Ege Yayınları-İstanbul.
- Koralay et al. 2017 T. Koralay - B. Duman - K. Deniz - Y.K. Kadioğlu, "The Provenance of Banded Travertine from the Ancient City of Tripolis (Yenice/Buldan-Denizli) Based on Minero- Petrographic and Geochemical Characterization." in *Landscape and History in the Lykos Valley*, Ed. by C. Şimşek and F. D'Andria, 143-160.
- Koralay ve Koralay 2018 D.B. Koralay ve T. Koralay, "*Denizli Güneydoğusundaki (Honaz/GB Türkiye) Organik Maddece Zengin Kayaçların Jeokimyası ve Organik Petrografik Özelliklerinin İncelenmesi.*" Tübitak Proje No: 114Y668.
- Koralay et al. 2018 T. Koralay - M.O. Baykara - K. Deniz - Y.K. Kadioğlu - B. Duman - C.C. Shen, "A Multi - Isotope Investigations for Scientific Characterization and Provenance Implication of Banded Travertine from Tripolis Antique City (Denizli-Turkey)." *Environmental Archeology* DOI:10.1080/146141032018.1498164.
- Long 1977 D.A. Long, *Raman Spectroscopy*, New York: McGraw-Hill.
- Mayo et al. 2004 D.W. Mayo - F.A. Miller - R.W. Hannah, *Course Notes on the Interpretation of Infrared and Raman Spectra*, New Jersey: John Wiley.
- McMillan 1989 P.F. McMillan, "Raman Spectroscopy in Mineralogy and Geochemistry." *Earth and Planetary Science Letters* 17:255-279.
- Mutlu 2017 H. Mutlu, "*Jeokimya: İlke ve Uygulamalar.*" MTA Eğitim Serisi - 48, 597s.

- Oberhänsli et al. 1997 R. Oberhänsli - O. Candan - O.Ö. Dora - S. Dürr, “Eclogites within the Menderes Massif / Western Turkey.” *Lithos* 41:135-150.
- Okay 1989 A.İ. Okay, “Denizli’nin güneyinde Menderes Masifi ve Likya Naplarının jeolojisi.” *MTA Dergisi* 109:45-58.
- Özdamar 2004 K. Özdamar, “*Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi I.*” Eskişehir: Kaan Kitabevi.
- Özkaymak 2015 Ç. Özkaymak, “Tectonic analysis of the Honaz Fault (Western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications.” *Geodinamica Acta* 27(2-3):110-129.
- Özkul vd. 2002 M. Özkul - B. Varol - M.C. Alçiçek, “Denizli Travertenlerinin Petrografik Özellikleri ve Depolanma Ortamları.” *MTA Dergisi* 125:13-29.
- Özkul et al. 2010 M. Özkul - S. Kele - A. Gökgöz - M.O. Baykara - I. Fórizs, “Geochemistry of banded travertines and considerations on their origins: A case study from the Denizli Basin (Western, Anatolia, Turkey).” *IVth National Geochemistry Symposium Abstract Book*, Elazığ, Turkey, 117-118.
- Özkul 2010 M. Özkul, “Denizli Havzası’nın Antik Traverten Ocakları” *Uluslararası Jeolojik Koruma Sempozyumu 15-19 Eylül*, Elazığ, Turkey.
- Özkul et al. 2013 M. Özkul - S. Kele - A. Gökgöz - C. Shen - B. Jones - M.O. Baykara - I. Fórizs - T. Németh - Y.W. Chang - M.C. Alçiçek, “Comparision of the Quaternary Travertine Sites in the Denizli Extensional Basin Based on Their Depositional and Geochemical Data.” *Sedimentary Geology* 294:179-204.
- Pentecost 2005 A. Pentecost, *Travertine*, Heidelberg, Berlin: Springer Verlag.
- Reiners 2018 P.W. Reiners - R.W. Carlson - P.R. Renne - K.M. Cooper - D.E. Granger - N.M. McLean - B. Schoene, *Geochronology and Thermochronology*, John Wiley & Sons.
- Rollinson 1993 H.R. Rollinson, *Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation*, John Wiley & Sons Inc. New York.
- Rudnic and Gao 2004 R.L. Rudnic - S. Gao, “Composition of the Continental Crust.” in *Treatise on Geochemistry, The Crust.*” Ed. by R.L. Rudnic, 1-64. Pergamon: Elsevier.
- Scardozzi 2012 G. Scardozzi, “Ancient Marble and Alabaster Quarries Near Hierapolis in Phrygia (Turkey): New Data from Archeological Surveys.” in *Interdisciplinary Studies on Ancient Stone- ASMOSIA IX, Proceedings of the IX International Conference of Association for the Study of Marble and Other Stones in Antiquity.*” Eds. by A. Gutiérrez Garcia - Moreno, P. Lapuente Mercadal, I. Rodà de Llanza, 573-584.

- Scardozzi 2017 G. Scardozzi, "The Alabaster Quarries of Hierapolis." in *Ancient Quarries and Building Sites in Asia Minor Research on Hierapolis in Phrygia and Other Cities in South-Western Anatolia: Archaeology, Archaeometry, Conservation.* Eds. by T. Ismaelli and G. Scardozzi, Bari/Italy, 141-165.
- Shen et al. 2002 C.C. Shen - R.L. Edwards - H.Cheng - J.A. Dorale - R.B. Thomas- S. B. Moran- S. E. Weinstein- H. N. Edmons, "Uranium and Thorium Isotopic and Concentration Measurements by Magnetic Sector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry." *Chemical Geology* 185 (3): 165-178.
- Shen et al. 2003 C.C. Shen - H. Cheng - R.L. Edwards - S.B. Moran - H.N. Edmonds - J.A. Hoff - R.B. Thomas, "Measurement of Attogram Quantities of ^{231}Pa in Dissolved and Particulate Fractions of Seawater by Isotope Dilution Thermal Ionization Mass Spectroscopy." *Analytical Chemistry* 75 (5): 1075-1079.
- Shen et al. 2008 C.C. Shen - K.S. Li - K. Sieh - D. Natawidjaja - H. Cheng - X. Wang - R.L. Edwards et al., "Variation of Initial $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ and Limits of High Precision U-Th Dating of Shallow- Water Corals." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72 (17): 4201-4223.
- Shen et al. 2012 C.C. Shen - C. Wu - H. Cheng - R.L. Edwards - Y.T. Hsieh - S. Gallet - C.C. Chang et al., "High-Precision and High-Resolution Carbonate ^{230}Th Dating by MC-ICP-MS with SEM Protocols." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 99:71-86.
- Smart 1991 P.L. Smart, "Uranium Series Dating" in *Quaternary Dating Methods: A User's Guide*, Eds. by P.L. Smart - P.D. Frances, Quaternary Research Association, Technical Guide 4:45-83. Cambridge:Wiley.
- Sun 1990 S. Sun, "Geology and Lignite Potential Between Denizli and Uşak." General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) Report, No:9985, Ankara, Turkey.
- Sözbilir 1995 H. Sözbilir, "Stratigraphy and Provenance of the Paleocene - Eocene Alakkaya Basin in the Denizli Province. Southwestern Turkey." *IESCA* 309-329.
- Sözbilir 2002 H. Sözbilir, "Revised Stratigraphy and Facies Analysis of Palaeocene-Eocene Supra- allochthonous Sediments (Denizli, SW Turkey) and Their Tectonic Significance." *Turkish Journal of Earth Sciences*, 11, 87-112.
- Şengün et al. 2006 F. Şengün - O. Candan - Ö. Dora - O. E. Koralay, " Petrography and geochemistry of paragneisses in the Çine submassif of the Menderes Massif, western Anatolia." *Turkish Journal of Earth Sciences* 15:321-342.
- Şimşek 2007 C. Şimşek, *Laodikeia (Laodicea ad Lycum)*, Ege Yayınları - İstanbul.
- Şimşek 2013 C. Şimşek, *Laodikeia (Laodicea ad Lycum)*, *Laodikeia Çalışmaları* 2, Ed. C. Şimşek, Ege Yayınları - İstanbul.

- Şimşek 1984 Ş. Şimşek, "Geology and Geothermal Energy Potential of the Denizli-Kızıldere-Tekkehamam-Tosunlar-Buldan-Yenice Area." *General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA) Report*, No:7846, Ankara.
- Tarrah et al. 2014 J.Tarrah - Z. Aedpour - S.M. Mirhosseini, "Determination of Travertine Outcrop Types in Tazerj (Northern Hormozgan) Using Mineralogical and Geochemical Data." *Iranian Journal of Earth Sciences* 6:99-107.
- Teboul et al. 2016 P.A. Teboul - C. Durlet - E.C. Gaucher - A. Virgone - J.P. Girard J. Curie - B. Lopez - G.F. Camoin, "Origins of Elements Building Travertine and Tufa: New Perspectives Provided by Isotopic and Geochemical Tracers." *Sedimentary Geology* 334:97-114.
- Testa and Lilyquist 2006 G. Testa - C. Lilyquist, "Strontium isotopes as a promising tool to determine calcite-alabaster provenance." in *Proceedings of the 10th International Cretological Congress (Khania, 1-8 October 2006)*, A3, Khania, 2011, 323336.
- Tukey 1977 J.W. Tukey, *Exploratory Data Analysis (First Edition)*, Reading, Mass: Addison Wesley Publishing Co.
- Westeway 1993 R. Westeway, "Neogene evolution of the Denizli region of Western Turkey." *Journal of Structural Geology* 15:37-53.
- Yılmaz vd. 1998 Y. Yılmaz - S.C. Genç - Ö.F. Gürer - Z. Karacık - Ş. Altunkaynak - M. Bozcu - K. Yılmaz - A. Elmas, "Ege Denizi ve Ege Bölgesinin Jeolojisi ve Evrimi." *Türkiye Denizlerinin ve yakın çevresinin Jeolojisi*, Editör N. Görür, İstanbul, 210-236.

A. İNTERNET KAYNAKLARI

<http://www.pamukkale.gov.tr/tr/antik-kentler/pamukkale-hierapolis>

<http://www.kulturvarliklari.gov.tr/TR,44432/pamukkale-hierapolis-denizli.html>

<http://www.pamukkale.gov.tr/tr/Antik-Kentler/Colossae-Antik-Kenti>

<http://www.pamukkale.gov.tr/tr/Antik-Kentler/Tripolis-Antik-Kenti>

<https://www3.nd.edu/~nsl/Lectures/phys10262/art-chap3-8.pdf>

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1	Antik ocaklardan alınan örnek sayıları ve uygulanan analiz yöntemleri.	4
Tablo 2.1	Oniks, alabaster ve bantlı traverten türü mineral/kayaların bazı fiziksel özelliklerinin karşılaştırması (Klein and Hurlbut 1993).	22
Tablo 3.1	Lykos vadisi antik traverten/bantlı traverten ocaklarının bazı minero-petrografik özellikleri.	43
Tablo 3.2	Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin ana oksit ve bazı iz element analiz sonuçları.	64
Tablo 3.3	Meteojenik ve Termojenik kökenli travertenlerle Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin bazı element içeriklerinin karşılaştırması.	81
Tablo 3.4	Lykos Vadisi Bantlı Traverten örneklerinin Kruskall Wallis H test sonuçları	83
Tablo 3.5	Bantlı traverten örneklerinin Ayrışım Fonksiyonu Analizi'nin eigen değerleri, %varyans, % kümülatif eigen değerleri ve kanonikal korelasyon sonuçları	83
Tablo 4.1	Bazı duraylı izotopların % bolluk oranları, referans materyalleri ve kullanım alanları (Baykara 2014, 180).	86
Tablo 4.2	Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerine ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ analiz sonuçları	89
Tablo 4.3	Lykos Vadisi Bantlı Traverten örneklerinin U-Th izotop bileşimleri ve yaşları	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 1.1	İnceleme alanlarını gösteren yerbulduru haritası	6
Şekil 1.2	Lykos vadisi ve çevresinin jeoloji haritası (Şimşek 1984, 145-162).	10
Şekil 2.1	a) Çukurbağ ocağını yerini gösteren topografik harita, b) Antik ocağın içerisinde bulunduğu açılma çatlağı ve çevresinin Google Earth görüntüsü, c) Çukurbağ antik ocağının krokisi	23
Şekil 2.2	a) Antik ocağın içerisinde bulunduğu D-B uzanımlı açılma çatlağının genel görünümü, b) ocak genişliği ve ayna yüksekliği, c) ocak girişi, d) ocak aynasında görülen keski izleri, e) ocak içerisindeki işletme basamakları, f) blok/sütunları kaldırmak amacıyla açılmış kare şekilli oyuklar ve keski izleri, g ve h) ocak atıkları içerisindeki bitirilmemiş dikdörtgen ve silindir şekilli bloklar.	25
Şekil 2.3	a ve b) Açılma çatlağı içerisinde düşey yönde gelişmiş ince-orta tabakalı bantlı traverten oluşumları, c ve d) bantlı travertenler içerisindeki kahverengi renk bantları, e ve f) bantlı travertenlerde görülen renk bantları.	26
Şekil 2.4	a) Hierapolis ocaklarının yerini gösteren topografik harita, b) antik ocakların içerisinde bulunduğu açılma çatlakları ve çevresinin Google Earth görüntüsü, c) Hierapolis antik ocaklarının krokisi.	27
Şekil 2.5	a) Antik ocakların içerisinde bulunduğu D-B uzanımlı açılma çatlaklarından birinin genel görünümü, b) ocak genişliği ve ayna yüksekliği, c) nispeten daha küçük ölçekli ocağın genel görünüşü, d) ocak aynasında görülen keski izleri, e ve f) ocak içerisindeki blok/sütunları kaldırmak amacıyla açılmış oyuklar, g) ocak içerisinde bitirilmemiş silindir şekilli blok, h) ocak atıkları içerisindeki dikdörtgen şekilli blok.	28
Şekil 2.6	a) Düşey yönde gelişmiş ince-orta tabakalı bantlı traverten oluşumu, b) bantlı traverten oluşumlarının yakından görünümü, c ve d) bol gözenekli yapıdaki traverten oluşumları, e) açılma çatlağı yüzeylerinde gelişmiş küremsi şekilli karbonat oluşumları, f) breşik yapı gösteren bantlı traverten, g ve h) bantlı travertenlerde görülen renk bantları.	30
Şekil 2.7	a) Develi-Akköy ocaklarının yerini gösteren topografik harita, b) antik ocakların içerisinde bulunduğu açılma çatlağı ve çevresinin Google Earth görüntüsü, c) Develi-Akköy antik ocaklarının krokisi.	31

Şekil 2.8	a) Antik ocakların içerisinde bulunduğu KB-GD uzanımlı açılma çatlağı, b) Açılma çatlağının genişliği ve ayna yüksekliği ile modern işletme tarafından yapılan tahribatın genel görünümü, c, d ve e) Açılma çatlağı duvarlarında görülen keski izleri ve işletme basamakları, f) ocak içerisindeki blok/sütunları kaldırmak amacıyla açılmış oyuklar, g ve h) açılma çatlağı çevresindeki işletme atıkları içerisindeki bitirilmemiş silindir şekilli bloklar	32
Şekil 2.9	a ve b) Düşey yönde gelişmiş bantlı traverten oluşumu, c) Açılma çatlağı yüzeylerinde gelişmiş küremsi şekilli karbonat oluşumları, d) Bol gözenekli yapıdaki traverten oluşumları ve bantlı traverten oluşumları arasındaki ilişki, e ve f) Bantlı travertenlerde görülen renk bantları	33
Şekil 2.10	a) Gölemezli antik ocağının yerini gösteren topografik harita, b) Antik ocakların arazideki konumu ve çevresinin Google Earth görüntüsü, c) Gölemezli antik ocağının krokisi	35
Şekil 2.11	a, b ve c) Modern işletme tarafından tahrip edilmiş Gölemezli antik ocağının genel görünümleri, d ve e) Mermer bileşimli metamorfikler içerisindeki kırık hatlarında gelişmiş bantlı travertenler, f) Antik ocak işletmesine ait keski izlerinin görüldüğü yüzey, g ve h) Güncel işletmeye ait pasalar içerisinde üzerinde keski izleri görülen bloklar	36
Şekil 2.12	a ve b) Düşey yönde gelişmiş bantlı traverten oluşumu, c) İğnemsî şekilli kristal yapısına sahip karbonat bileşenler, d, e ve f) Bantlı travertenlerde görülen renk bantları	38
Şekil 2.13	a) Tripolis ocaklarının yerini gösteren topografik harita, b) Antik ocakların içerisinde bulunduğu KD-GB doğrultulu kırık hattı ve çevresinin Google Earth görüntüsü, c) Tripolis antik ocaklarının krokisi	39
Şekil 2.14	a ve b) Tripolis antik ocaklarının genel görünümleri, c, d ve e) Antik dönem ocak işletmesine ait keski izlerinin görüldüğü yüzeyler ve işletme basamakları, f) Ocaktan blokları çıkarmak için kullanılan makara sistemlerini taşıyan kare şekilli kalas yuvası	40
Şekil 2.15	a ve b) Bantlı traverten oluşumlarının çevresinde görülen kırmızımsı renkli, gözenekli travertenler, c ve d) Bantlı travertenlerde görülen renk bantları	41
Şekil 3.1	Çukurbağ antik ocağı bantlı traverten örneklerinin mikroskop görüntüleri a ve b) Bantlı traverten örneklerinde görülen kolloform doku (kısmen balon yapısı gösteriyor)[a) Paralel Nikol, b): Çapraz Nikol], c) Mikrit bileşimli laminalar ile birbirinden ayrılmış ışınal dendritik yapı gösteren karbonat mineralleri, d) Mikrit laminası üzerinde gelişmiş iğnemsî karbonat mineralleri, e ve f) Işınal dendritik yapı gösteren karbonat mineralleri	45

Şekil 3.2	Hierapolis antik ocakları bantlı traverten örneklerinin mikroskop görüntüleri a ve b) Bantlı traverten örneklerinde mikrit bileşimli laminalı doku [a) Paralel Nikol, b): Çapraz Nikol], c ve d) Mikrit bileşimli laminaları birbirinden ayıran kahverengi-kırmızı renkli Fe-oksit bantları [c) Paralel Nikol, d): Çapraz Nikol], e) Mikrit laminası üzerinde gelişmiş iğnemsî karbonat mineralleri, f) Işınsal dendritik yapı gösteren karbonat mineralleri	46
Şekil 3.3	Develi-Akköy antik ocakları bantlı traverten örneklerinin mikroskop görüntüleri a ve b) Bantlı traverten örneklerinde mikrit/mikrospartit bileşimli laminalı doku ve laminaları birbirinden ayıran kahverengi-kırmızı renkli Fe-oksit bantları [a) Paralel Nikol, b): Çapraz Nikol], c) Sütunsu karbonat mineralleri ile arasındaki boşlukları dolduran iğnemsî karbonat mineralleri ve mikrospartit, d) Örneklerde görülen kolloform doku (balon yapısı gösteriyor), e) ışınsal dendritik doku, f) Işınsal karbonat minerallerinden oluşan bantları birbirinden ayıran kahverengi-kırmızı renkli Fe-oksit bantları	47
Şekil 3.4	Gölemezli antik ocağı bantlı traverten örneklerinin mikroskop görüntüleri a ve b) Bantlı traverten örneklerinde mikrit/mikrospartit bileşimli laminalar ile ayrılmış ışınsal dendritik karbonat mineralleri [a) Paralel Nikol, b): Çapraz Nikol], c) sütunsu karbonat mineralleri ve uzun eksenlerine dik gelişmiş kırıklar, d) Sütunsu karbonat mineralleri, e) Mikrit/mikrospartit bileşimli laminalar ile ayrılmış ışınsal dendritik karbonat mineralleri, f) Sütunsu karbonat minerallerinde görülen çatlaklar	49
Şekil 3.5	Tripolis antik ocakları bantlı traverten örneklerinin mikroskop görüntüleri a ve b) Bantlı traverten örneklerinde mikrit/mikrospartit bileşimli laminalı doku ve laminaları birbirinden ayıran kahverengi-kırmızı renkli Fe-oksit bantları [a) Paralel Nikol, b) Çapraz Nikol], c ve d) Mikrospartit ve iğnemsî karbonat mineralleri, e) Sütunsu karbonat minerallerinde görülen enine çatlaklar, f) Işınsal karbonat minerallerinden oluşan seviyeleri birbirinden ayıran mikrospartit bantları	50
Şekil 3.6	Kutu grafiği ve taşıdığı özellikler	51
Şekil 3.7	Lykos vadisi bantlı traverten örneklerinin kristal boyu ölçümelerini gösteren kutu grafikleri	52
Şekil 3.8	Çukurbağ bantlı traverten örneklerine ait yorumlanmış XRD grafikleri	53
Şekil 3.9	Hierapolis bantlı traverten örneklerine ait yorumlanmış XRD grafikleri	54
Şekil 3.10	Develi-Akköy bantlı traverten örneklerine ait yorumlanmış XRD grafikler	55

Şekil 3.11	Gölemezli bantlı traverten örneklerine ait yorumlanmış XRD grafikleri	55
Şekil 3.12	Tripolis bantlı traverten örneklerine ait yorumlanmış XRD grafikleri	56
Şekil 3.13	Çukurbağ antik ocağı bantlı traverten örneklerinde görülen aragonit bileşimli karbonat minerallerine ait Raman spektrumları	58
Şekil 3.14	Hierapolis antik ocakları bantlı traverten örneklerinde görülen aragonit ve götit bileşimli minerallere ait Raman spektrumları	59
Şekil 3.15	Develi-Akköy antik ocakları bantlı traverten örneklerinde görülen aragonit, kalsit, götit ve hematit bileşimli minerallere ait Raman spektrumları	60
Şekil 3.16	Gölemezli antik ocağı bantlı traverten örneklerinde görülen kalsit bileşimli minerallere ait Raman spektrumları	61
Şekil 3.17	Tripolis antik ocakları bantlı traverten örneklerinde görülen kalsit bileşimli minerallere ait Raman spektrumları	62
Şekil 3.18	Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin bazı ana oksit element içerikleri gösteren kutu grafikleri	69
Şekil 3.19	Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin bazı iz element içerikleri gösteren kutu grafikleri	72
Şekil 3.20	Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin bazı element oranlarını gösteren kutu grafikleri	77
Şekil 3.21	Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin a) Kıta Kabuğu (Rudnic and Gao 2004) b) NASC (Gromet et al., 1984) ve c) APL (Condie et al., 1991) değerlerine göre normalleştirilmiş olduğu çoklu element dağılım diyagramları	79
Şekil 3.22	Lykos Vadisi Bantlı Traverten örneklerinin Ayrışım Fonksiyonu Analizi diyagramındaki konumları	84
Şekil 4.1	Lykos Vadisi Bantlı traverten örneklerinin a) $\delta^{13}\text{C}$ (‰) izotopu, b) $\delta^{18}\text{O}$ (‰) izotopu değerlerine ait kutu grafikleri	90
Şekil 4.2	$\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ izotop diyagramında Lykos Vadisi antik ocaklarına ait bantlı traverten örneklerinin konumu	91
Şekil 4.3	Jeolojik/Arkeolojik malzemelerin yaşlandırılması için kullanılan bazı yöntemler ve karşılaştırmaları	93
Şekil 4.4	Lykos Vadisi bantlı traverten örneklerinin a) Ölçülen $\delta^{234}\text{U}$ (ppb) izotop bileşimleri, b) $\delta^{232}\text{Th}$ (ppt) izotop içerikleri ve c) U-Th serisi izotop sonuçlarına göre belirlenen jeolojik oluşum yaşları	97

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nergiz İMRE
Doğum Yeri ve Tarihi : 20.12.1987 - ESKİŞEHİR
Ev Adresi : Gökmeşdan Mah. Menekşelik Sk.
Doğuş Apt. 49/2 - Eskişehir
Tel : 0541 595 00 74
e-posta : nergisimre@gmail.com



EĞİTİM

- Yunus Emre Lisesi- (2004)
- Anadolu Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Arkeoloji Bölümü (2009)
- Pamukkale Üniversitesi Arkeoloji Enstitüsü Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü (2013-...)
- Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Klasik Arkeoloji Bölümü (2015-...)
- M.E.B Bursiyesi- Kültür ve Turizm Bakanlığı- Kültürel Miras yönetimi (2016-...)

KAZILAR

-Laodikeia Antik Kenti (Denizli) kazısı - stajyer - saha çalışması mimari çizim(2007 yaz dönemi)
-Kıbyra Antik Kenti (Burdur) kazısı - stajyer - seramik çizimi (2008 yaz dönemi)
-Kurtarma kazısı (Şanlıurfa-Birecik) Hellenistik - Roma dönemi seramikleri çizimi (2014)

SERTİFİKALAR

Bilgisayarlı Muhasebe (ETA-VOLVOX)
AutoCAD
YES-DİL eğitim sertifikası