



*Araştırma Makalesi - Research Article*

# Hamamtepe (Çanakkale) Kuvars Ocağında Tespit Edilen Paleo-Mikroorganizmalara Ait İksel Bulgular: Ortam Yorumlarına Katkı

## Preliminary Findings of Paleo-Microorganisms Detected in the Hamamtepe (Çanakkale) Quartz Deposit: Contribution to Environmental Interpretations

Hatice Ünal Ercan<sup>1\*</sup>, Gönenç Göcmengil<sup>2</sup>, Kübra Yayan<sup>3</sup>

*Geliş / Received: 11/06/2022*

*Revize / Revised: 23/06/2023*

*Kabul / Accepted: 24/06/2023*

### ÖZ

Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Biga Yarımadası, epitermal çözeltilerle ilişkili gelişen metalik cevherlerin yanı sıra asit-sülfat tipte akışkanlardan türetilmiş kaolin yatakları ve alkali-klorür tipte akışkanlardan türetilmiş silika çökelleri bakımından oldukça zengindir. Biga civarındaki Hamamtepe Kuvars Ocağı ve çevresindeki sinter höyükleri Etili jeotermal sistemiyle ilişkili olarak gelişmiştir. Hamamtepe Ocağı'na ait kuvarsların paleo-mikrofaunasını belirlemek ve litofasiyelerin oluşum ortamlarını tespit etmek amacıyla mineralojik ve petrografik incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmalarla kuvars mineralleri yüzeyinde bakteriyel aktivite ile ilişkili olarak gelişmiş ağsal yapılar, hifler, biyofilm kalıntıları ve küresel diatom/polen? tespit edilmiştir. Hamamtepe ve çevresinde tespit edilen paleo-mikrofaunaya ait kalıntılar bölgede meydana gelmiş olan silika çökeliminde abiyotik şartlar yanında biyotik faaliyetlerinde etkili olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, biyotik faaliyetlere bağlı silika çökelim ortamının proksimal aprona ait su çıkış kanallarının hemen yakınlardaki yamaçlarda veya kanallarda termofilik canlılar tarafından alkali-klorür tipte nötr sularda, yaklaşık olarak 60-95 °C aralığında gerçekleştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** Silika sinter, Paleo-fauna, Litofasiyes, Biga Yarımadası

### ABSTRACT

The Biga Peninsula, in northwest Türkiye, is enriched with metallic ore deposits related with epithermal systems and with kaolin and silika deposits derived from acid-sulphate and alkali-chloride fluids respectively. Hamamtepe Quartz Quarry and large sinter mounds in Biga have developed within the Etili geothermal systems. Mineralogical and petrographic studies were carried out to determine the structure of the Hamamtepe quartz and to identify the lithofacies. The network structures that developed on the surfaces of the Hamamtepe quartz sample and intertwined with these networks, hyphae, biofilm structures and spherical diatom/pollen? are identified to be resulted from the bacterial activity. These findings revealed the existence of a poorly known paleo-fauna in the region. The remains of paleo-microfauna obtained from Hamamtepe and its surroundings revealed that the silika precipitation in the

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [hunalercan@ktun.edu.tr](mailto:hunalercan@ktun.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-6775-1798>)

Kimya Teknolojisi Bölümü, Konya Teknik Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Konya, Türkiye

<sup>2</sup>İletişim: [gonenccgocmengil@istanbul.edu.tr](mailto:gonenccgocmengil@istanbul.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0002-1955-8026>)

Bilim Tarihi Bölümü, Edebiyat Fakültesi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>İletişim: [kokur@ogu.edu.tr](mailto:kokur@ogu.edu.tr) (<https://orcid.org/0000-0001-7003-6437>)

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

region was effective in biotic activities as well as abiotic conditions. Documented fossil micro-structures and remains deposited. The documented fossil microstructures and remains revealed that the silica precipitation environment due to biotic activities occurs in the water pools located on the slopes of the proximal apron right next to the water outlet channels or by the thermophilic creatures living in the channels in alkaline-chloride type neutral waters at a range of approximately 60-95 °C.

**Keywords-** *Silica Sinter, Paleo-microfauna, Lithofacies, Biga Peninsula*

## I. GİRİŞ

Türkiye'nin kuzey-batısında yer alan Biga Yarımadası Oligo-Miyosen aralığında hidrotermal çözeltilerin oldukça yaygın olduğu bir bölgedir. Bu çözeltilerin etkisi ile bölgede birçok alterasyon kuşakları meydana gelmiştir. Genel olarak bu zonlar Alp-Himalaya Dağ Kuşağı içerisinde gelişmiş olan Tetis Metalojenik Kuşağı'nın bir parçasıdır ve tüm bu kuşak metalik cevherler ve endüstriyel hammaddeler bakımından oldukça zengindir [1,2].

Biga Yarımadası'nda altere zonlar boyunca Au, Ag, Mo ve Cu gibi metalik cevher zenginleşmeleri ile beraberinde sıklıkla kaolin, kuvars gibi endüstriyel minerallerin oluşumu gerçekleşmiştir [1,2]. Her iki oluşumunda gelişimini sağlayan mekanizmanın, bölgedeki kırık çatlak zonlar boyunca etkili olan asit-sülfat ve alkali-klorür bileşimli hidrotermal kökenli kaynaklar olduğu iyi bilinmektedir [1-4]. Düşük sülfidasyondan yüksek sülfidasyona kadar değişen bir aralıkta gelişmiş olan bu epitermal oluşumların çoğu Oligo-Miyosen yaşlı lavlarda ve/veya piroklastik çökellerde gerçekleşmiştir [5]. Bu volkanik kayaçların gözeneklilik ve porozitesiyle ilişkili olarak değişen oranlarda alterasyon gerçekleşmiştir.

Bölgede asit-sülfat çözeltileri etkisi ile gelişen en yaygın alterasyon kaolenleşmedir. Kaolenleşmeyle ilişkili olarak kaolin grubuna ait dikit, hallosit ve kaolinit mineralleri bölgede sıklıkla işletilen endüstriyel mineraller olmuştur. Ayrıca epitermal alterasyonun son ürünü olan alkali-klorür çözeltilerin etkisi ile bölgede silika sinter çökelimleri gerçekleşmiştir [4]. [4]'de Hamamtepe Kuvars Ocağı (HKO) ve çevresinde yaptığı çalışmada alkali-klorür çözeltileri ile ilişkili olarak çökelen silika sinterlerin litofasiyes tanımlamalarını yapmıştır. Bu tanımlamalarda proksimal aprona ait litofasiyelerin varlığı tespit edilmiştir. Orta ve distal aprona ait fasiyelerin erozyon vb. nedenlerle zamanla yok olduğu belirtilmiştir. Yine bu çalışma kapsamında kuvars minerallerinin yüzeyinde çeşitli mikro organizmaların varlığını FE-SEM çalışmaları ile tespit edilmiş fakat bu fosillerin detaylı tanımlamaları ve ortam yorumlamasına olan katkısı irdelenmemiştir.

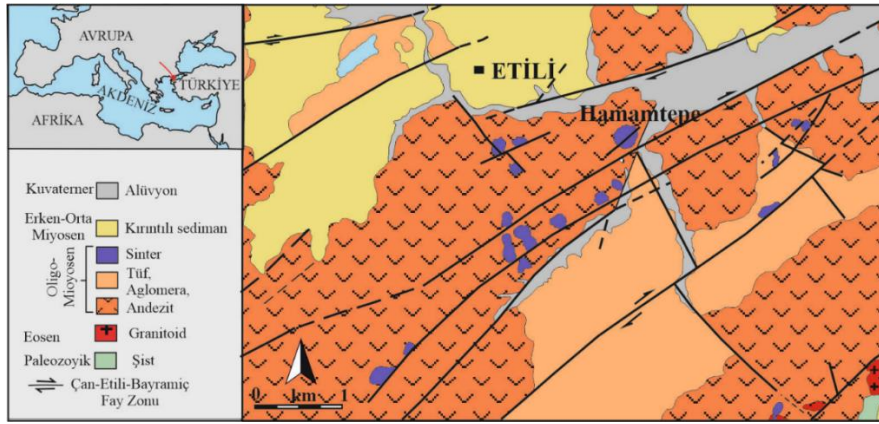
Silika sinterlerin çökelişi esnasında yüksek sıcaklık, yüksek veya düşük pH gibi aşırı koşullara uyum sağlayabilen mikroorganizmaların gelişiminin gerçekleştiği bilinmektedir [6,7]. Bu bakteriler bazen oldukça kalın biyofilmler ya da matlar şeklinde gözlenir [8-13] ve bu yapılar paleo-sinter ortamının belirlenmesinde kullanılabilir. Fosil ve güncel jeotermal sinterlerinin en iyi gözlendiği bölgeler olan Yeni Zelanda'daki Taupo Volkanik Bölgesi'nde, El Tatio, Şili'nin kaplıcalarında ve gayzerlerinde, ABD'de Yellowstone Ulusal Parkı'nda ve Kamçatka Rusya'daki Uzon Kalderası'nda silika sinterlerin çökelişi esnasında bu mikroorganizmaların varlığı gözlemlenmiştir [14-18]. Tüm bu bahsedilen sinter çökelişi alanları içerisinde gözlenen mikroorganizmalara ait güncel- veya paleo- yapılar çoğunlukla filamentler, çubuklu yapılar ve kokoidlerden oluşan termofilik mikrobiyal biyofilmlerden oluşur. Biyofilmlerin oluşumuna neden olan organizmalar, genellikle gayzerlerin sıcak su çıkışının havalandırma açıklıklarına yakın olan bölgelerinde yaşamaya uyum sağlamışlardır [19]. Silikaca zengin sıcak su çıkışının olduğu bölgeler, sıcak su çıkış kaynağından uzaklaştıkça termal gradyanla da ilişkili olarak üç temel litofasiyeye ayrılır, bunlar; 1) proksimal apron (65-100°C), 2) orta apron (45- 65°C) ve son olarak 3) distal apron (<45°C) olarak tanımlanmıştır [18-20]. Sinterlerde tespit edilen biyotik yapılar özellikle paleo-sinterlerin litofasiyelerinin tanımlanmasında ve oluşum ortamlarının belirlenmesinde kullanılabilirler. Çünkü sıcak su çıkış alanından uzaklaştıkça değişen fiziko-kimyasal şartlarla ilişkili olarak mikrobiyaya türü de değişmekte ve farklı morfolojide litofasiyes oluşumuna neden olmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Etili Bölgesi'nde varlığı tespit edilen paleo-mikrofaunanın karakterizasyonunu yapmak ve silikaların çökelişi ortamlarının yorumlanmasına katkı sağlamaktır.

## II. BÖLGE JEOLJİSİ

Biga Yarımadası, Anadolu'nun kuzeybatısında yer almakta olup, jeolojik olarak Eosen döneminden önce bir araya gelmiş yaşlı kıtasal birliklerin ve farklı yaştaki kenet zonlarının bir arada olduğu bir alan olarak tanımlanmaktadır [21-24]. Biga Yarımadası ve içerisinde bulunduğu Marmara Bölgesi büyük bir ada sistemi olarak Avrupa ile Anadolu/Ön Asya bölgelerindeki Senozoik yaşlı paleofauna ve canlı geçişlerine ev sahipliği yapmış önemli bir alan olarak öne çıkmaktadır [25]. Çok dinamik bir jeolojik geçmişe sahip bölge Senozoik boyunca yoğun magmatik aktivite ve tektonik deformasyonları da bünyesinde barındırmaktadır. Bölgedeki Senozoik magmatizma, kalk-alkalen ve hafif alkali özellikler sunarak Eosen dönemi boyunca etkin bir şekilde bölgede gözlenmektedir [26,27]. Bu dönemdeki magmatizma hem su-altında ya da sığ denizel ortamda gelişen,

volkanik ve piroklastik birimlerce hem de granitoidlerce temsil edilir [26-28]. Oligo-Miyosen ve geç Miyosen dönemlerinde bölgedeki magmatizma farklı aralıklarla ve kesikli bir şekilde devam etmiştir [29-31]. Magmatik birimler, andezitler, bazalt, tüf, aglomera ve benzeri türdeki kayaların birikimi ve tipik dalma-batma sonucu gelişen magmatik birimlere özgü, ağır nadir toprak elementlerinin az miktarda olduğu (Nb-Ta ve Hf-Zr'un fakir olduğu) ve hafif nadir toprak elementlerce zenginleşmiş bir karakter sunmaktadır. Bu dönemden sonra olasılıkla kıta kabuğunun incelmeye ve astenosferik alanların da ergimeye katılması ile daha alkali karakterli magmatik birimler de gelişmeye başlamıştır [5]. Senozoyik dönemi boyunca Helenik yayın dalma batması ile kontrol edilen Ege bölgesi ve Batı Anadolu tektoniği, genel olarak magmatik birimlerin öncelikle yay ekseninde sonrasında ise yay ardı-havza tektonizması ile şekillenmiştir [32]. Kuzey Anadolu Fayı'nın güney kolunun geçtiği bölgedeki çok fazlı eski deformasyon fazları da gözlenmiştir [22]. Kuzey Anadolu Fayı'nın bölgedeki gelişimi sırasında bu eski zayıflık zonlarını kullanarak ilerlediği önerilmektedir [33]. Geç Miyosen ve sonrasındaki dönemlerde Anadolu'nun tektoniğini yöneten önemli unsurlardan olan Kuzey Anadolu Fayı'na verev olarak gelişmiş olan KD-GB uzanımlı "en-echelon" fay sistemlerinin, bölgede farklı magmatik fazlarda, farklı magmatik-hidrotermal sistemlerin yüzeye ulaşmasına ve killeşme, sinterleşme ve silisifiye olma süreçlerine yardımcı olduğunu göstermektedir [4]. Miyosen boyunca farklı dönemlerde gerçekleştiği gözlenen bu hidrotermal alterasyon olayları sonucunda kil yatakları ve cevherce zengin sistemlerin gelişmesinin yanı sıra, bu sıcak sistemlerde yer alan paleo-mikrofaunanın da izlerinin belgelendiği nadir alanlar tespit edilmiştir. Bu paleo-mikrofaunal birlikler özellikle Çanakkale ili ve çevresinde silika sinterlerin yayılım gösterdiği bölgelerde tespit edilmiş olup, bu sinterlerin morfolojik özelliklerine göre litofasiyes tanımlamaları yapılmıştır [4].



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru ve jeolojik haritası [4,34,35].

### III. METOT

Mineralojik ve mikrofosil incelemeleri için gerekli temsili on kuvars numunesi Hamamtepe ocağına ait açık ocaktan ve bu ocağın etrafında bulunan silika höyüklerinden toplanmıştır.

Numunelere ait mineralojik ve petrografik özelliklerin ortaya konulması için örnekler MTA ince kesit laboratuvarında hazırlanmıştır. İnce kesit haline gelen örnekler Leica DM4500P model polarizasyon mikroskobu tek ve çapraz ışık altında incelenmiştir. Örneklerin mineralojik bileşimlerini belirleyecek olan XRD incelemeleri, CuK $\alpha$  radyasyonu, 40 mA, 40 kV, tarama hızı 0,005°, zaman/tarama 0,1 sn, 0,2 mm birincil slit çalışma koşullarında Bruker D8 Advance model X-ışını kırınımı (XRD) cihazında ve LynxEye dedektör kullanılarak İstanbul Teknik Üniversitesi'nde (İTÜ) gerçekleştirilmiştir. Kuvarsların ve mikrofosillerin mikro-morfolojik özelliklerini belirleyecek olan FE-SEM incelemeleri, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Araştırma Merkezi'nde (BİTAM) ZEISS GeminiSEM 500 model FE-SEM cihazı kullanılarak, her bir element için 15 kV hızlandırma gerilimi, 5-15 mA akım ve 10-20 s sayma süresi koşullarında gerçekleştirilmiştir. İridyum kaplama yine aynı laboratuvarında 22 °C'de, 0.06 nm/s'de, ~ 4.23 nm kaplama kalınlığı olacak şekilde Leica EM ACE600 püskürtmeli kaplayıcı kullanılarak sabitlenmiştir.

### IV. BULGULAR

Hamamtepe Kuvars Ocağı (HKO) yaklaşık olarak çalışma alanının ortasında yer alır ve bu ocağın etrafında bulunan kuvarslar Oligo-Miyosen yaşlı Çan volkanikleri içerisindedir (Şekil 1). Ocağın kapladığı alan yaklaşık olarak 105.000 m<sup>2</sup>, derinliği ise 50 m'dir. Ocağın çevresinde fay zonu boyunca yükselmiş sinter höyükleri bulunmaktadır (Şekil 2a,b). Ocağın tabanından alınan örneklerin çoğu gri ve koyu gri olup genellikle masif ve gözeneksiz, tabandan üst kesimlere doğru bantlı, breşik, yumrulu ve gözenekli yapılar daha yaygın olarak gözlenir. Ocağın dışında işletme tarafından tahrip edilmemiş alanda sıklıkla eski sıcak su çıkışı işaret eden boşluklar belirlenmiştir (Şekil 2d). Ayrıca, ocağın üst kısımlarında kuvars minerali ile kil ve demiroksit mineralleri de oldukça yaygındır (Şekil 2d).



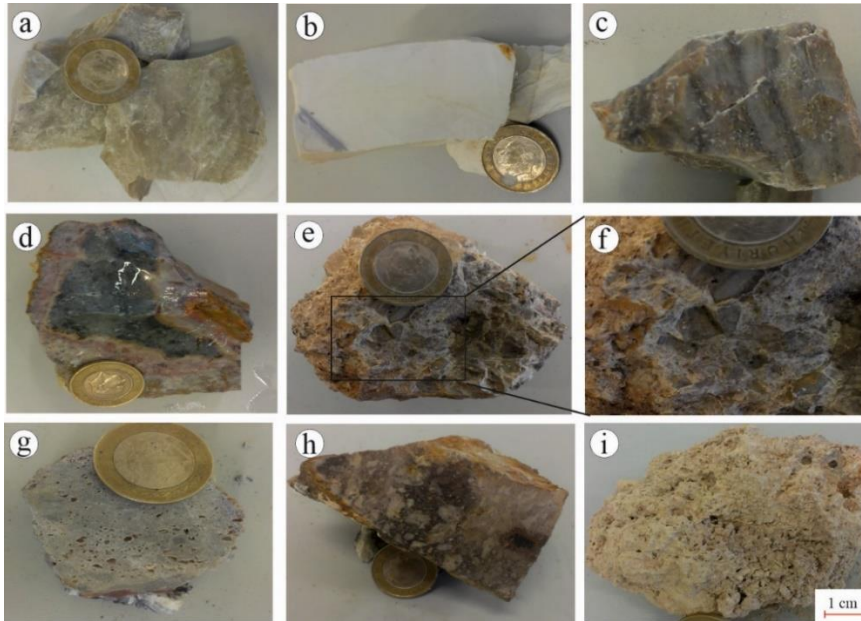
Hamamtepe Ocağı'nın merkezinden ve güneyinden KD-GB uzanımlı Çan-Etili Fayı'nın paralel kolları geçmektedir. Ayrıca bu faya dik gelişmiş ocak içerisinde birçok fay ve kırık sistemi bulunmaktadır. Ocak tam bu fay zonlarının kesişim noktalarında yer alır. Ocağın güneyinde bulunan termal otelden hala sıcak su çıkışı devam etmektedir.

#### A. Hamamtepe Ocağı'nda Tespit Edilen Litofasiyeler

Hamamtepe Ocağı ve çevresinde bulunan sintir höyüklerinden çoğunlukla proksimal aprona ait litofasiyeler tespit edilmiştir. Bu litofasiyeler; silis sızıntı yapıları, su çıkış kanalları, nodüler yapılar ve iyi laminalanmış yapılar, sintir klastik breşik yapılar ve silisleşmiş volkanik kayalardır (Şekil 3) [4]. Ayrıca proksimal apron dışında distal apronu temsil eden mat yapıları da el örneklerinde tespit edilmiştir (Şekil 3i).



Şekil 2. Hamamtepe Ocağı'na ait görüntüler, a) Ocak ve etrafında tespit edilen sintir höyüklerinin genel görüntüsü, b) Henüz işlenmemiş silika çökelleri, c) İşletilmekte olan ocak iç kısmının görüntüsü, d) İşlenmemiş kısımlarda tespit edilen sıcak su çıkış kanalları, f) Ocağın yamaçlarında yer alan yumurta şekilli silika çökelleri ve etraflarını saran kil.

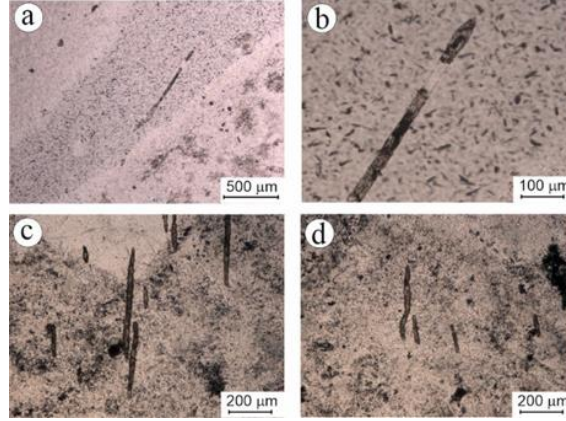


Şekil 3. Hamamtepe Ocağı içinden alınan örneklerle ait görüntüler, a-b) Gri ve beyaz renkli masif kuvars, c) İyi laminalanmış kuvars, d) Silika sızması sonucu oluşan zonlanmalar, e-f) Breşik yapı, g) Boşluklu yapılu kuvars, h) Silisifiye andezit ve i) Oldukça yumuşak bol gözenekli ve kovuklu silika çökeli.

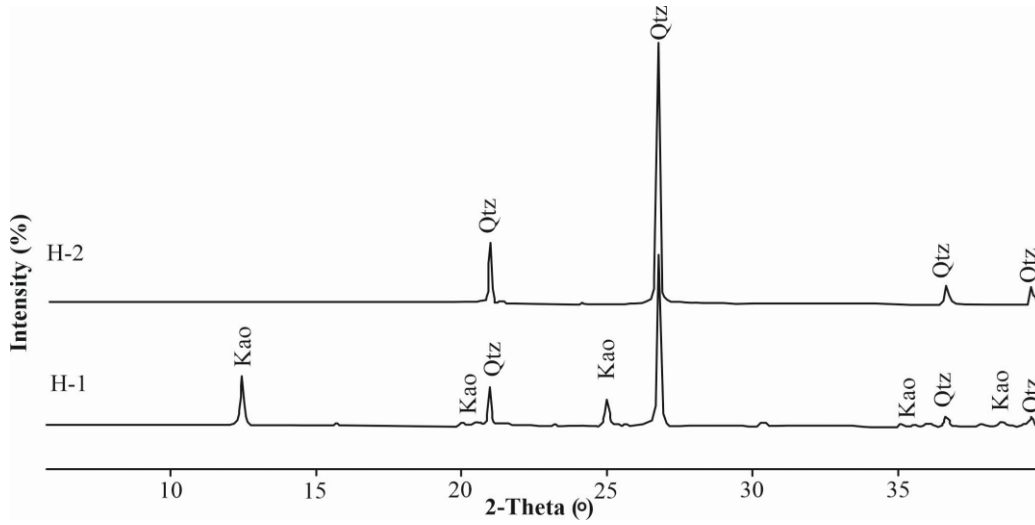
### B. Mineraloji ve Petrografi

İnce kesitlerde iki tip organik yapı kalıntısı tespit edilmiştir. Bunlardan biri mikro kuvarslar içinde tespit edilen iğne şekilli kalıntılardır (Şekil 4a, b), ikincisi ise çubuksu organik kalıntılara ait yapılar (Şekil 4 c,d). Dikenlerin uzunlukları yaklaşık olarak 1000 µm' ye kadar ulaşmaktadır. Çubuksu yapıların uzunlukları ise 20-400 µm' arasında değişmektedir.

Örneklerden yapılan XRD çözümlenmelerinde yaygın olarak kuvars minerali tespit edilmiş olup, herhangi bir kuvars polimorfu tespit edilmemiştir [2]. Kuvars mineralinin yanında çok az miktarda kaolin minerali belirlenmiştir (Şekil 5) [35].



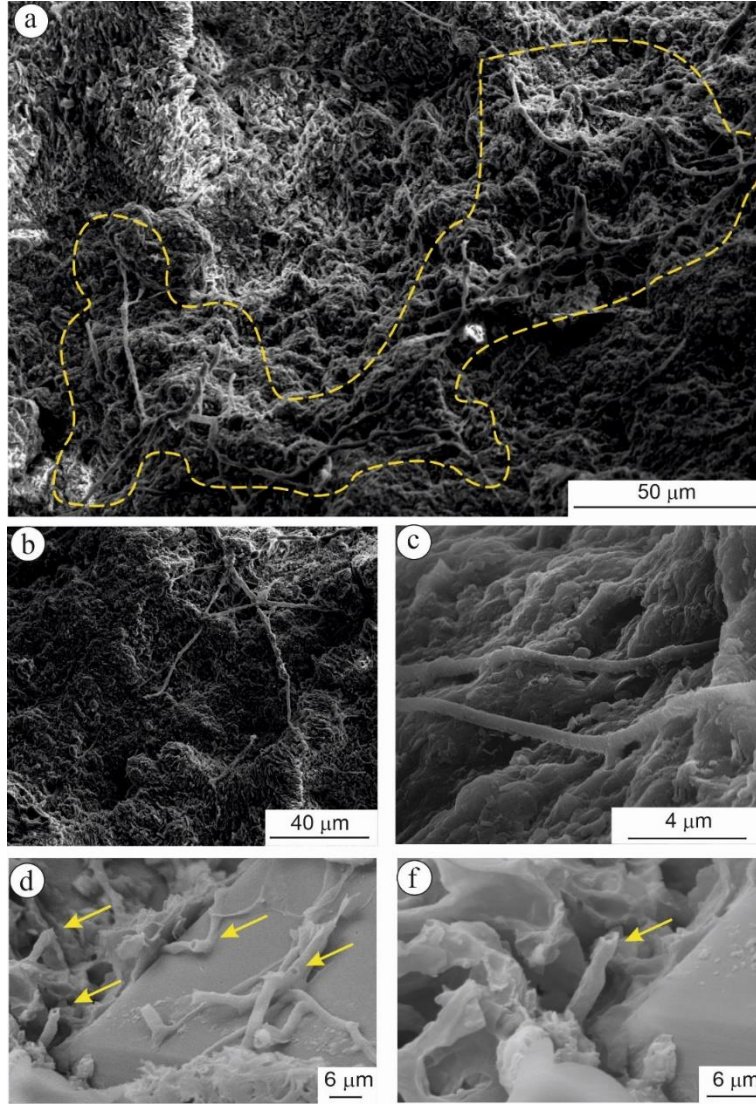
Şekil 4. İnce kesitlerde tespit edilen iğnemsî ve çubuksu yapılar, a-b) İğnemsî yapılarla ait tek nikol görüntüleri ve c-d) Çubuksu yapılarla ait tek nikol görüntüleri.



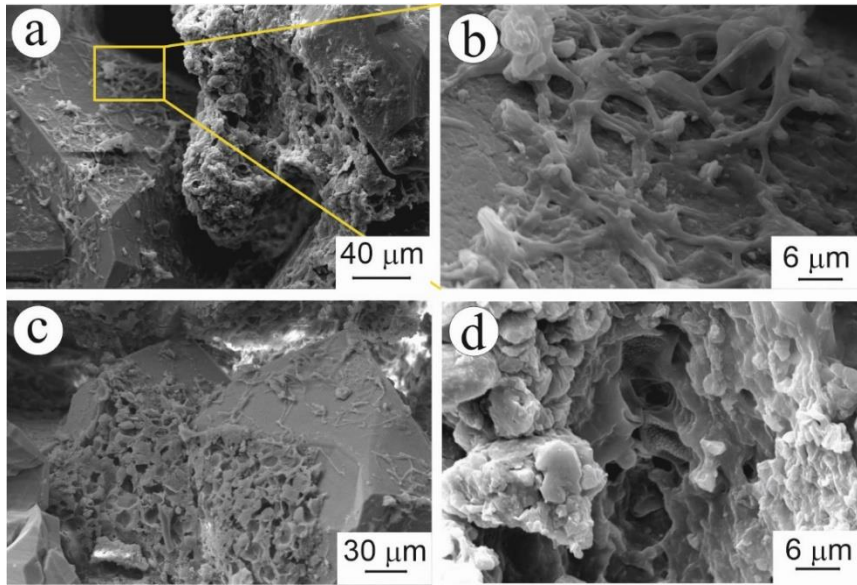
Şekil 5. Hamamtepe ocağından alınan örneklerle ait XRD çözümlenmeleri. Qtz: kuvars, Kao: Kaolen

Yapılan FE-SEM mikromorfolojik incelemelerinde kuvars mineralleri üzerinde gelişmiş, oldukça farklı mikroorganizmalar tarafından yapılmış kalıntılar tespit edilmiştir. Bunlardan en belirginini funguslara ait lifsi ve ağsı yapılardır (Şekil 6a-c). Bu yapılar kuvarsların üzerinde ve boşluklarında oldukça yaygın olarak gözlenmektedir. Lifsi yapılar ilerledikleri bazı noktalarda boğumlu yapılar sunmakta zaman zaman topak görünümü sergilemektedir. Kuvarslar üzerinde tespit edilen bir diğer yapı ise hiflerdir (Şekil 6d-e), bu yapı ağsı yapılarla birlikte gelişmiş olup açık uçları bir baca gibi minerallerden yukarı uzanmaktadır. Tüm bu yapılarla birlikte sıklıkla gözlemlenen bir diğer yapı ise bakteri-fungus biyofilmleridir (Şekil 7a-c). Lifsi ve ağsı yapılar arasında oldukça küçük mikro kalıntılar belirlenmiştir (Şekil 7c-d). Bunlar adeta bir mat gibi tüm minerallerin yüzeyini kaplayabilmektedir. Bazı yüzeylerde çökmüş, dallanmış mantar iplikçikleri/ağları kırıntılı yaprak(?) parçalarının etrafına dolanmıştır (Şekil 8a). Ayrıca bu örneklerde küresel diatomlar veya polenler? tespit edilmiş olup, küresel yapıların çapları 5-6 µ olarak belirlenmiştir (Şekil 8).

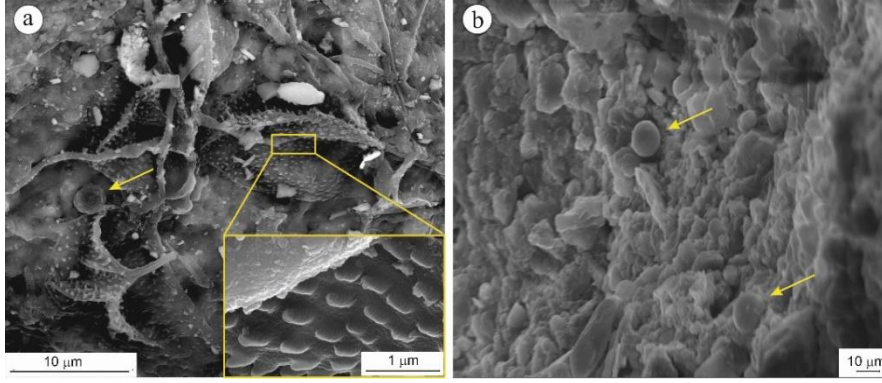




Şekil 6. Mikrofosillere ait FE-SEM görüntüleri a-c) özşekilsiz kuvarslar üzerinde yayılan ağsal yapılar, d-e) özşekilli kuvars kristali üzerinde gelişmiş hiflere ait görüntüler.



Şekil 7. Mikrofosillere ait FE-SEM görüntüleri a-c) Özşekilli kuvars üzerinde gelişmiş mikrofosillere ait biyofilimler, c-d) Biyofilimler arasında yer alan kırıntı görüntüleri.



Şekil 8. Mikrofosillere ait FE-SEM görüntüleri, a) ağsal yapılar arasında kalmış organik kalıntı ve polen? (sarı ok ile işaret edilmektedir) , b) küresel diatomlar (sarı ok ile işaret edilmektedir).

## V. TARTIŞMA VE SONUÇ

HKO yaklaşık olarak 105.000 m<sup>2</sup>'lik bir alanda açığa çıkan silisyumca zengin kayaçları ile Etili ve çevresi hidrotermal çözelti faaliyetlerinin açık bir kanıtıdır (Şekil 1). Bu ocağa ait örneklerin polarizan mikroskop, X-ışın kırınımı ve alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılan analizleri ve incelemeleri örneklerin mineralojik ve mikromorfolojik özelliklerinin ortaya konmasına yardımcı olmuş ve hidrotermal aktiviteye bağlı olarak gelişen paleo-mikroorganizmaların varlığı ortaya konmuştur.

Sinter tortuları genellikle su tablasıyla yer yüzeyinin kesiştiği alanlarda çöklerler. Silikaca aşırı doymuş, nötr pH'a yakın alkali-klorürlü termal akışkanlar su kanalları aracılığıyla yer yüzeyine ulaşır ve dışarı atılır. Bu aşamada biyotik ve abiyotik olarak kimyasal amorf silika çökelişi gerçekleşir [20]. HKO ve civarında yaygın olarak gözlenen sinterlerin oluşumu ağırlıklı olarak düşük sülfidasyonlu epitermal sistemlerin karasal ortamda gözlenen son ürünleridir. Silisli kaplıca birikintileri veya sinterler, kimyasal olarak çöktürülmüş, tabakalı, erozyona dayanıklı höyükler olarak gözlenir ve tabakalı veya masif birikintilerin kalınlıkları ise metreden onlarca metreye kadar ulaşabilir. Höyükler genel olarak buldukları coğrafyaya oranla topografik yükseklikler sunarlar ve çevresel faktörlere bağlı olarak birçok farklı litofasiyes sergilerler [7,36]. HKO dahil olmak üzere çevresinde birçok silika höyüğü tespit edilmiştir (Şekil 2). Bu höyükler bölgenin genel topoğrafyasına oranla daha yüksektir ve neredeyse tamamen kuvarstan oluşmaktadır.

Sinterler çoğu zaman aşırı koşullarda yaşamaya uyum sağlamış siyanobakteriler gibi farklı ve kalın termofilik mikroorganizma matlarını içerir [8,9]. Ayrıca ana bileşimi alkali klorür tipte olan çözeltinin bileşimi çıkış bölgelerinden uzaklaştıkça değişir ve bu değişen sıvı bileşimine bağlı olarak da farklı mikroorganizma toplulukları gelişir. Dolayısıyla değişen mikroorganizma birliklerinin oluşturduğu hidrotermal tortuların dokusal özellikleri de farklılaşır [37-39].

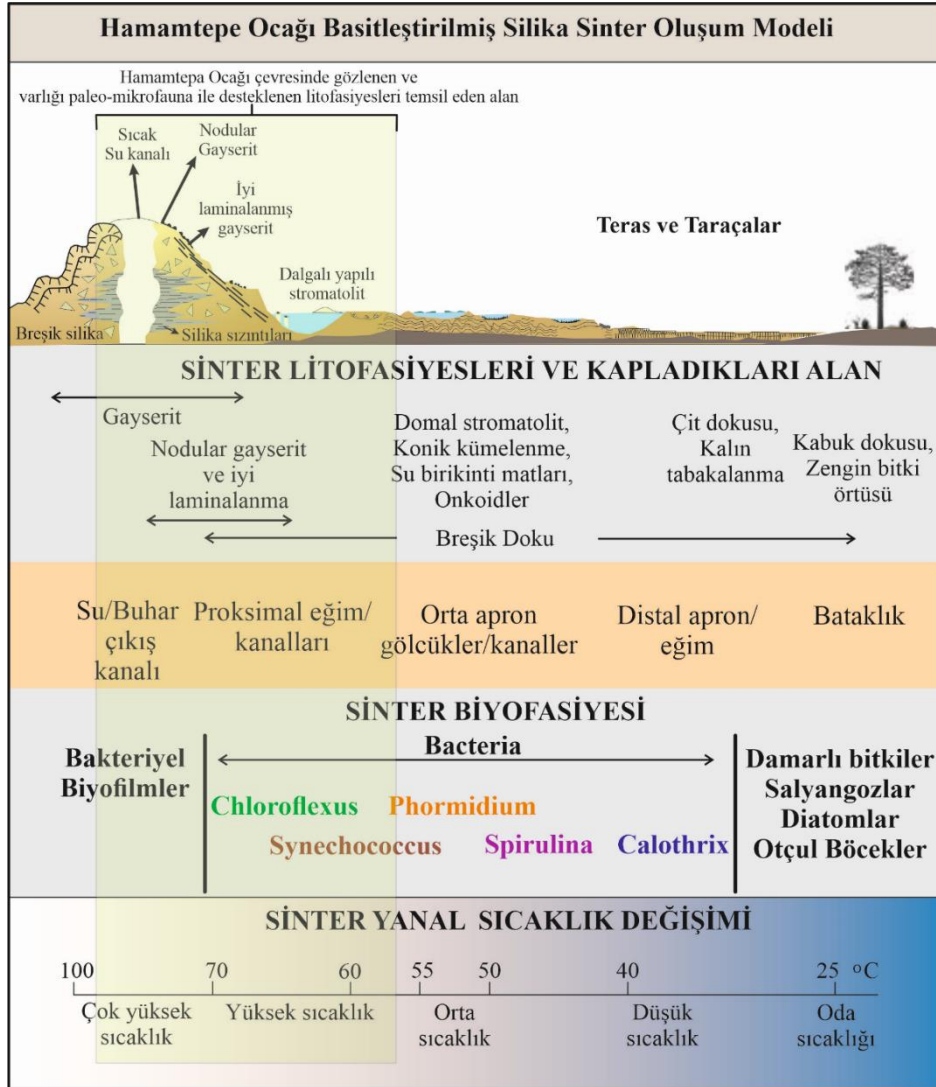
HKO'na ait örneklerden elde edilen FE-SEM görüntülerinde de mikroorganizmalara ait oldukça farklı yapılar tespit edilmiştir. Bunlardan en sık gözlenen ağsal yapıdır. Bazı görüntülerde oldukça net olarak bu ağsal yapıların uç kısımlarının açık olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu yapılarda sıklıkla boğumlanmalar da gözlenmiştir (Şekil 6). [40]'da İzlanda'da güncel sinter çıkışlarında yaptıkları incelemelerde yaklaşık 80 °C sıcaklıkta ağsı termolik mikroorganizmaların varlığını tespit edilmiştir. Bu mikroorganizmaların neden olduğu silisleşme süreci oldukça yavaş olup, tüm mikrobiyal topluluğun silisleşmesi ve ardından kompakt sinterlere dönüşmesi haftalar hatta aylarca sürmektedir [38]. Yeni Zelanda, Waiotapu Jeotermal Alanı'nda tespit edilen ağsal yapılar, silisleşmeye uğrayan filamentli mikroplar olarak tanımlanmış ve muhtemelen septat mantarları olabileceklere belirtilmiştir [41]. Ağsal yapılarla beraber öz şekilli kuvarlar üzerinde mantar hifleri oldukça belirgindir. Çoğu ağsal yapının ve hiflerin içi boştur ve bu yapıların tam olarak doldurulmaması, silisleşmeden önce kurduklarını gösterir. Hifler, ağsal yapılarla genetik olarak ilişkili görünmektedir, çünkü bunlar yalnızca mantar sporlarının kümeleri arasında gözlenir ve çapları yaklaşık olarak çevresinde bulunan ağsal yapılara yakındır.

Yeni Zelanda'nın Taupo Volcanik Bölgesi, kuzeyinde yer alan jeotermal su çıkış kanalının sadece bir buçuk metre ilerisinde belirlenen stromatolitler üzerinde HKO'na benzer morfoloji sergileyen lokal olarak yayılan mantar hifleri belirlenmiştir [41]. [41]'nin yaptığı genetik tanımlamada stromatolitlerin yüzeyini kaplayan ağsal yapılar *Aspergillus* ve *Penicillium* olarak tanımlanmışken, hiflerin *Aspergillus* sp., olabileceği belirtilmiştir. Tüm bu veriler HKO mikro-faunasına ait ağsal ve hif yapılarının geliştiği alanın silikaca zengin çözeltinin yeryüzüne çıkış kanalına oldukça yakın olan proksimal eğimi temsil ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca [20]'ye göre belirtilen yapısal unsurların sıcaklığın yaklaşık olarak 70-60 °C aralığında olduğu saptanmıştır (Şekil 9).

Hamamtepe örneklerinde tespit edilen bir diğer organik yapı ise silisleşmiş biofilmlerdir (Şekil 7). Bu, biyofilm yapıları mikroorganizmalar tarafından yoğun bir şekilde kolonize edildikten sonra, su-hava ara yüzeyinde

(soğutma ve buharlaşma süreçleri nedeniyle) oluşan silika parçacıklarının hızla biyofilmin yüzeylerine yapışarak tam silisleşmeye yol açması sonucu meydana gelir [42]. İzlanda'da farklı jeotermal alanda yapılan çalışmalar bu biyofilm oluşumlarının yüksek miktarda termofilik mikroorganizma tarafından, su altında 60 ile 96 °C aralığında geliştiğini işaret etmektedir [40]. Biyofilmler etrafında yer alan kırıntılar ise muhtemelen su-hava aralığında biyofilm oluşumu devam ederken çevreden ortama gelen kırıntılı malzemelerdir. Bu gevşek tortu veya biyofilmin, çevreden gelen silisleşmiş bitki artıkları ve organik döküntü içermesi oldukça doğaldır. Ayrıca bunların mat yapıları ile birlikte gözlenmesi oluşum ortamlarının aynı olduğunu gösterir. İnce kesit incelemelerinde sivri uçlu dikensi ve çubuksu yapılar tespit edilmiştir bu yapılar (Şekil 4a-d) Yellowstone Ulusal Parkı'nda ve İzlanda'da kompakt silika tabakaları ve ara sıra mikroorganizmalarla kaplanmış teras benzeri olan yapılarıdır ve  $T < 73$  ila  $> 85$  °C aralığında değişen sıcaklıklarda geliştiği belirtilmiştir [40-43].

HKO'na ait FE-SEM görüntülerinde birbirinden bağımsız halde, yüzeyleri oldukça iyi cilalı görümlü silika küreleri tespit edilmiştir. Bunların polen veya diatom olup olmadığı sayılarının çok az olması ve yeterince görüntü olmaması nedeniyle değerlendirilememiştir. Fakat biyofilm oluşumu esnasında ortama gelen birçok malzeme gibi polenlerinde mat yapısına dahil olması ve silisleşmesi oldukça yüksek bir olasılıktır. Bu çalışmada tanımlanan korunmuş morfolojik yapılar, bölgede geçmişte var olan sinterlerin varlığını ortaya koyarken mikrobiyal kalıntılar, biyolojik aktivitenin belirteçleri olarak yorumlanmıştır. Bu yapıların bir kısmı tipik olarak sinterlere ait hidrotermal ortamların doğal şekillenme ürünü olabileceği gibi bir kısmı da mikrobiyal aktivitenin bir sonucu olarak oluşmuştur.



**Şekil 9.** Silikaca zengin sıcak su kanalından bataklığa kadar, sıcaklık gradyanı boyunca (ortama 100 'den 25°C'ye kadar) nötr karakterli alkali klorür sıvıların biyofasiyesi ve litofasiyesi geçişlerini gösteren silisli sinterlerin şematik kesiti [20]'dan değiştirilmiştir. Hamamtepe ocağı ve çevresine ait örneklerle dayalı fasiyesi, biyofasiyesi ve sıcaklık değişim aralığı açık yeşil alan ile gösterilmiştir.



## KAYNAKLAR

- [1] Yiğit, Ö. (2012). A prospective sector in the Tethyan Metallogenic Belt: Geology and geochronology of mineral deposits in the Biga Peninsula, NW Turkey. *Ore Geology Reviews*, 46, 118-148.
- [2] Ercan, H.Ü., Ece, O.I., Schroeder, P.A. & Karacik, Z. (2016). Differentiating styles of alteration within kaolin-alunite hydrothermal deposits of Çanakkale, NW Turkey. *Clays and Clay Minerals*, 64(3), 245-274.
- [3] Ağdemir, N., Kirikoğlu, M.S., Lehmann, B. & Tietze, J. (1994). Petrology and alteration geochemistry of the epithermal Balya Pb–Zn–Ag deposit, NW Turkey. *Mineralium Deposita*, 29, 366–371.
- [4] Ercan, H. Ü., Ece, Ö. I., Schroeder, P. A. & Gülmez, F. (2022). Characteristics and evolution of the Etili silica sinter epithermal deposits, Çanakkale–Turkey: Relation to alkali chloride vs acid-sulfate fluids. *Ore Geology Reviews*, 142, 104726.
- [5] Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. & Mitchell, J. G. (2000). Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of volcanology and geothermal research*, 102(1-2), 67-95.
- [6] Sillitoe, R. H. (1993). Gold-rich porphyry copper deposits: geological model and exploration implication. *Mineral deposit modeling*, 465-478.
- [7] Guido, D.M. & Campbell, K.A. (2011). Jurassic hot spring deposits of the Deseado Massif (Patagonia, Argentina): characteristics and controls on regional distribution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 203(1-2), 35-47.
- [8] Cady, S. L. & Farmer, J. D. (1996). Fossilization processes in siliceous thermal springs: trends in preservation along thermal gradients. In *Ciba Foundation Symposium* (pp. 150-173). John Wiley & Sons Ltd.
- [9] Jones, B. & Renaut, R.W. (2003). Petrography and genesis of spicular and columnar geysirite from the Whakarewarewa and Orakeikorako geothermal areas, North Island, New Zealand. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40(11), 1585-1610.
- [10] Kyle, J., Schroeder, P.A. & Wiegel, J. (2007). Microbial silicification in sinters from two terrestrial hot springs in the Uzon Caldera, Kamchatka, Russia. *Geomicrobiology Journal*, 24, 627- 641.
- [11] Kyle, J. & Schroeder, P.A. (2007). Role of smectite in siliceous sinter formation and microbial texture preservation: Octopus Spring, Yellowstone National Park, Wyoming, USA. *Clays and Clay Minerals*, 55(2), 189-199.
- [12] Campbell, K.A., Guido, D.M., Gautret, P., Foucher, F., Ramboz, C. & Westall, F. (2015). Geysirite in hot-spring siliceous sinter: Window on Earth's hottest terrestrial paleoenvironment and its extreme life. *Earth Sci. Rev.* 148, 44–64.
- [13] Des Marais, D.J. & Walter, M.R. (2019). Terrestrial hot spring systems: introduction. *Astrobiology*, 19(12), 1419-1432.
- [14] Herdianita, N.R., Browne, P.R.L., Rodgers, K.A. & Campbell, K.A. (2000). Mineralogical and textural changes accompanying ageing of silica sinter. *Mineralium deposita*, 35(1), 48-62.
- [15] Campbell, K.A., Sannazzaro, K., Rodgers, K.A., Herdianita, N.R. & Browne, P.R.L. (2001). Sedimentary facies and mineralogy of the Late Pleistocene Umukuri silica sinter, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of Sedimentary Research*, 71(5), 727-746.
- [16] Drake, B.D., Campbell, K.A., Rowland, J.V., Guido, D.M., Browne, P.R.L. & Rae, A. (2014). Evolution of a dynamic paleo–hydrothermal system at Mangatete, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 282,19–35.
- [17] Lynne, B.Y., Boudreau, A., Smith, I.J. & Smith, G.J. (2019). Silica accumulation rates for siliceous sinter at Orakei Korako geothermal field, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Geothermics*, 78, 50–61.
- [18] Churchill, D. M., Manga, M., Hurwitz, S., Peek, S., Licciardi, J. M. & Paces, J. B. (2020). Dating silica sinter (geysirite): A cautionary tale. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 402, 106991.
- [19] Reysenbach, A. L., Wickham, G. S. & Pace, N. R. (1994). Phylogenetic analysis of the hyperthermophilic pink filament community in Octopus Spring, Yellowstone National Park. *Applied and Environmental Microbiology*, 60(6), 2113-2119.
- [20] Hamilton, A.R., Campbell, K.A. & Guido, D.M. (2019a). Atlas of siliceous hot spring deposits (sinter) and other silicified surface manifestations in epithermal environments. Lower Hutt, N.Z.: GNS Science. *GNS Science report 2019/06*. 56 p.; doi: 10.21420/BQDR-XQ16.
- [21] Beccalotto, L., Bartolini, A. C., Martini, R., Hochuli, P. A. & Kozur, H. (2005). Biostratigraphic data from the Çetmi Melange, northwest Turkey: palaeogeographic and tectonic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 221(3-4), 215-244.
- [22] Elmas, A. (2012). Basement types of the Thrace Basin and a new approach to the pre-Eocene tectonic evolution of the northeastern Aegean and northwestern Anatolia: a review of data and concepts. *International Journal of Earth Sciences*, 101(7), 1895-1911.
- [23] Aygül, M., Topuz, G., Okay, A., Satir, M. & Meyer, H. P. (2012). The kemer metamorphic complex (NW Turkey): a subducted continental margin of the Sakarya zone. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21(1), 19-35.

- [24] Şengün, F. & Koralay, O. E. (2017). Early Variscan magmatism along the southern margin of Laurasia: geochemical and geochronological evidence from the Biga Peninsula, NW Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 106(3), 811-826.
- [25] Licht, A., Métais, G., Coster, P., İbilioğlu, D., Ocakoğlu, F., Westerweel, J. & Beard, K. C. (2022). Balkanatolia: The insular mammalian biogeographic province that partly paved the way to the Grande Coupure. *Earth-Science Reviews*, 103929.
- [26] Dönmez, M., Akçay, A. E., Genç, Ş. & Acar, Ş. (2005). Biga yarımadasında Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbiritler. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 131, 49-61.
- [27] Ersoy, E. Y., Akal, C., Genç, Ş. C., Candan, O., Palmer, M. R., Prelević, D. & Mertz-Kraus, R. (2017). U-Pb zircon geochronology of the Paleogene–Neogene volcanism in the NW Anatolia: Its implications for the Late Mesozoic–Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean. *Tectonophysics*, 717, 284-301.
- [28] Genç, Ş. C. (1998). Evolution of the Bayramiç magmatic complex, northwestern Anatolia. *Journal of volcanology and geothermal research*, 85(1-4), 233-249.
- [29] Karacık, Z. & Yılmaz, Y. (1998). Geology of the ignimbrites and the associated volcano–plutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85(1-4), 251-264.
- [30] Aysal, N. (2015). Mineral chemistry, crystallization conditions and geodynamic implications of the Oligo–Miocene granitoids in the Biga Peninsula, Northwest Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 105, 68-84.
- [31] Pe-piper, G. & Piper, D. J. (1989). Spatial and temporal variation in Late Cenozoic back-arc volcanic rocks, Aegean Sea region. *Tectonophysics*, 169(1-3), 113-134.
- [32] Kaymakci, N., Aldanmaz, E., Langereis, C., Spell, T. L., Gurer, O. F. & Zanetti, K. A. (2007). Late Miocene transcurrent tectonics in NW Turkey: evidence from palaeomagnetism and 40Ar–39Ar dating of alkaline volcanic rocks. *Geological Magazine*, 144(2), 379-392.
- [33] Türkdönmez, O. & Bozcu, M. (2008). Etili (Çanakkale) güneyindeki plütonik ve volkanik kayaların petrografisi ve jeokimyası. *Geosound*, 53, 189-201.
- [34] Aydın, A. (2014). Çan-Çanakkale Bölgesi Kaolinit Yataklarının ve Çevresinin Petrografik minerolojik ve Jeokimyasal İncelenmesi. MS Thesis. Istanbul Technical University, Fen Bilimleri Enstitüsü, 107 p.
- [35] Lynne, B. Y. (2012). Mapping vent to distal-apron hot spring paleo-flow pathways using siliceous sinter architecture. *Geothermics*, 43, 3-24.
- [36] Giggenbach, W. F., Sheppard, D. S., Robinson, B. W., Stewart, M. K., & Lyon, G. L. (1994). Geochemical structure and position of the Waiotapu geothermal field, New Zealand. *Geothermics*, 23(5-6), 599-644.
- [37] Handley, K. M., Campbell, K. A., Mountain, B. W. & Browne, P. R. L. (2005). Abiotic–biotic controls on the origin and development of spicular sinter: in situ growth experiments, Champagne Pool, Waiotapu, New Zealand. *Geobiology*, 3(2), 93-114.
- [38] Schinteie, R., Campbell, K. A. & Browne, P. R. (2007). Microfacies of stromatolitic sinter from acid-sulphate-chloride springs at Parariki Stream, Rotokawa geothermal field, New Zealand. *Palaeontologia Electronica*, 10(1), 1-33.
- [39] Tobler, D. J., Stefansson, A. & Benning, L. G. (2008). In- situ grown silica sinters in Icelandic geothermal areas. *Geobiology*, 6(5), 481-502.
- [40] Jones, B., Renaut, R. W. & Rosen, M. R., (2000). Stromatolites forming in acidic hot-spring waters, North Island, New Zealand. *Palaios*, 15(5), 450-475.
- [41] Mountain, B. W., Benning, L. G. & Boerema, J. A. (2003). Experimental studies on New Zealand hot spring sinters: rates of growth and textural development. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 40(11), 1643-1667.
- [42] Braunstein, D. & Lowe, D. R. (2001). Relationship between spring and geyser activity and the deposition and morphology of high temperature (> 73 C) siliceous sinter, Yellowstone National Park, Wyoming, USA. *Journal of Sedimentary Research*, 71(5), 747-763.