

Anadolu'nun MIS 9 Karasal Karbonat Kayıtları ve Paleoiklimsel Çıkarımlar:**Örtülü/Sarıkavak (Afyon), Karahallı (Uşak) ve Bahçecik (Gümüşhane)*****The MIS 9 Terrestrial Carbonate Records in Anatolia and their Palaeoclimatic Implications at Örtülü/Sarıkavak (Afyon), Karahallı (Uşak) and Bahçecik (Gümüşhane)*****Ezher Tagliasacchi^{1*} , Mine Sezgül Kayseri-Özer² , Raif Kandemir^{3,4} **¹ Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20070 Kınıklı-Denizli, Türkiye² Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknoloji Enstitüsü, 35340 İzmir, Türkiye³ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Rize, Türkiye⁴ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 61080-Trabzon, Türkiye

Öz: Denizel izotop fazlarından biri olan ve buzul arası döneme karşılık gelen MIS 9 dönemi, günümüzdeki sıcak dönem için bir analog olarak görülmektedir. Ancak karasal karbonat çökelmelerinden bu döneme ait veriler oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada, Anadolu'nun farklı bölgelerinde yüzlek veren traverten ve tufa gibi karasal karbonatların MIS 9 buzul arası dönemine ait kayıtları incelenmiştir. Bu amaçla, GB-Anadolu'dan iki lokasyona (Örtülü/Sarıkavak (Afyon) ve Karahallı (Uşak)) ve KD-Anadolu'dan bir lokasyona (Bahçecik, Gümüşhane) ait karasal karbonat çökelmelerinin MIS 9 verileri, ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sedimantolojik, izotopik ve palinolojik verilerin ışığında, MIS 9 buzul arası dönemin ortamsal ve iklimsel koşulları ortaya konmuştur. MIS 9 döneminde çökelimine devam etmiş olan Örtülü travertenler, sığ bir göl ortamında çöküntü depolanma sistemi içinde çökelerken Sarıkavak tufaları ise orta-yüksek eğimli bir topoğrafyanın egemen olduğu, akarsu ortamında çökelmişlerdir. Karahallı travertenleri ise, tektonizmanın etkin olduğu sığ bir göl kenarı ortamında çökelmişlerdir. Bir diğer çalışma alanı olan Bahçecik travertenleri ise, çöküntü ve yamaç depolanma sistemi içinde çökelmiş traverten oluşuklarıdır. MIS 9 döneminde, GB-Anadolu'da yer alan Karahallı travertenleri ve Örtülü/Sarıkavak karasal karbonatlarında $\delta^{13}\text{C}$ duraylı izotopları, pozitif yakın (‰ -0,47 ile ‰ 1,86) değerler sunarken $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri ise negatiftir (‰ -9,67 ile ‰ -8,72). Ancak KD-Anadolu'da MIS 9 dönemine ait duraylı izotop değerlerinde önemli bir farklılık gözlenmiştir. $\delta^{13}\text{C}$ izotop değerleri daha pozitif (‰ 4,5 ile ‰ 5,0) iken, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise çok daha negatiftir (‰ -14,67 ile ‰ -14,6). Karbon ve oksijen izotop değerlerindeki bu belirgin farklılık, yağış/buharlaşma ile doğrudan ilişkilidir. Palinolojik kayıtlara göre, MIS 9e ve MIS9a arasında önemli bir farklılık kaydedilmiş ve nemlilikte göreceli bir değişim tespit edilmiştir. Elde edilen tüm veriler ışığında, Anadolu'da

MIS 9 dönemi, belli dönemlerde yağışın azaldığı kuraklaşmanın hüküm sürdüğü iklimsel dalgalanmalar gösterse de genel itibarıyla daha ılıman ve yağışlı bir dönem olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Anadolu, duraylı izotop, karasal karbonatlar, MIS 9, paleoiklim, palinolojik

Abstract: The MIS 9, one of the Marine Isotope Stages (MIS) that corresponds to an interglacial period, is considered as an analogue for the present warm period. However, data from terrestrial carbonate sediments for this period are limited. In this study, records of terrestrial carbonates such as travertine and tufa, which crop out in different locations in Anatolia, were investigated of the MIS 9 interglacial period.

For this purpose, the MIS 9 data of terrestrial carbonates at two locations in SW-Anatolia, (Örtülü/Sarıkavak, Afyon) and (Karahallı, Uşak) were evaluated, and one location from NE-Anatolia (Bahçecik, Gümüşhane). In light of the sedimentological, isotopic and palynological data, the environmental and palaeoclimatic conditions of the MIS 9 interglacial period were revealed. The Örtülü travertines and Sarıkavak tufa, which continued to be precipitated during the MIS 9 period, were accumulated in a depression depositional system and a fluvial system dominated by medium-highly inclined topography, respectively. Karahallı travertines were deposited in a shallow lake margin environment where tectonism was active. Bahçecik travertines were deposited within depression and slope depositional systems.

In the MIS 9 period, $\delta^{13}\text{C}$ stable isotopes values of the Karahallı and Örtülü/Sarıkavak terrestrial carbonates were close to positive (-0.47 to 1.86 ‰), while $\delta^{18}\text{O}$ stable isotope values were negative (-9.67 to -8.72‰). However, a significant difference is observed in the stable isotope values of the MIS 9 period in NE-Anatolia. While $\delta^{13}\text{C}$ isotope values are more positive (4.5 to 5.0 ‰), $\delta^{18}\text{O}$ values are much more negative (-14.67 to -14.6‰). This difference in these carbon and oxygen isotope values is directly related to wetter/drier conditions. According to palynological records, a significant difference was recorded between MIS 9e and MIS 9a, with a changing humidity, relatively.

In the light of all data obtained, it can be said that the MIS 9 in Anatolia was generally a milder period, although it showed climatic fluctuations with decreased rainfall within arid conditions.

Keywords: Anatolia, MIS 9, palaeoclimatology, palynology, stable isotope, terrestrial carbonates

GİRİŞ

Kuvaterner dönemindeki iklim değişimleri, bir dizi ılıman-sıcak ve kurak-soğuk fazlarının dalgalanmaları ile karakterize edilmektedir (Imbrie vd., 1993). Bu değişimleri detaylı bir şekilde anlayabilmek için traverten/tufa çökelleri (Pedley vd., 1996; Andrews, 2006; Sun ve Liu, 2010; Özkul vd., 2013; Capezzuoli vd., 2014; Dabkowski vd., 2015; Sancho vd., 2015; Toker vd., 2015; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2018; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2020), mağara sarkıt, dikitleri (Kaufmann ve Dreybrodt, 2004; Fleitmann vd., 2009; Baldini, 2010; Rowe vd., 2012; Merz vd., 2022), Antarktika'dan buzul örnekleri (Brook ve Buizert, 2018; Petit vd., 1999) ve lös-paleosol istifleri (Sun vd., 1999; Frechen vd., 2001; Wu vd., 2023), çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. Traverten/tufa gibi karasal karbonat çökellerinin iklimsel duyarlılığı çok iyi bilinmektedir (Pazdur vd., 1988; Ford ve Pedley, 1996; Andrews vd., 1997; Andrews, 2006; Capezzuoli vd., 2014; 2022) ve bu çökellerin iklim değişimlerine olan duyarlılıkları sayesinde denizel izotop fazlar (Marine Isotope Stage; MIS) ile rahatlıkla karşılaştırılabilmektedirler (Rickets vd., 2019; Frank vd., 2000; Peña vd., 2000; Minissale vd., 2002; Brasier vd., 2010; Toker vd., 2015; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2018; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2020; Kandemir vd., 2021). Denizel izotopik

fazlar (MIS), yağışlı-sıcak ve kurak-soğuk döngülerin değişimini gösteren denizel karot numunelerindeki bentik foraminiferlerin oksijen izotop kayıtlarından elde edilmişlerdir (Porter ve An, 1995).

Traverten ve tufa gibi karasal karbonatların çökelim sırasındaki yaşlarının, denizel izotop fazlar ile korele edilebiliyor olması, geçmiş iklim değişimlerini anlamak açısından bu çökelleri son yıllarda daha önemli hale getirmiştir (Minissale vd., 2002; Facenna vd., 2008; Özkul vd., 2013; Bertini vd., 2014; Toker vd., 2015; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2018; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2020; Kandemir vd., 2021; Tagliasacchi vd., 2024). Traverten ve tufa gibi karasal karbonatlar üzerine yapılan önceki çalışmalar, genellikle, çok-disiplinli analiz çalışmalarından elde edilen proksimal yaklaşımlarla gerçekleştirilmiştir. Bu analizler; radyometrik tarihlendirme (^{14}C , U/Th ve U/Pb gibi), duraylı izotop verileri ($\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$), petrografik incelemeler (ince kesit) ve palinolojik bulgulardır (polen ve spor içerikleri).

Denizel izotopik fazlardan biri olan MIS 9 dönemi, yaklaşık 335-280 bin yıl (by) aralığındaki buzul arası dönemi göstermektedir (Railsback vd., 2015) ve bu dönem, kıta Avrupa'sında Holstein, Alp'lerde Mindel-Riss buzul-arası dönemi olarak adlandırılmaktadır. MIS 9 buzul arası dönemi, çok daha fazla çalışılmış olan MIS 1 (Holosen) ve Eemiyen fazı olarak da

bilinen (MIS 5) buzul arası dönemlerinden biri gibi düşünülebilir (Regattieri vd., 2018). MIS 9, üç ısınma (9a, 9c ve 9e) ve 2 soğuma (9b ve 9d) alt fazları olmak üzere toplam 5 alt fazdan oluşmakta ve MIS 9e alt fazı en yağışlı ve ılıman iklim koşullarını yansıtmaktadır (Railsback vd., 2015). Aynı zamanda, MIS 9e alt fazı sanayi öncesi dönemin en yüksek atmosferik CO₂ konsantrasyonuna sahip olduğu önceki çalışmalarda belirtilmiştir (yaklaşık 300 ppm, Nehrbass-Ahles vd., 2020).

Bu çalışmada, Çibaniyen'de (orta Pleyistosen: 774-129 by; Cohen vd., 2020; Head, 2021; Kazancı, 2021) yer alan, MIS 9 buzul arası dönemin Anadolu'daki etkisi, karasal karbonatlardan elde edilen çok-disiplinli verilerle mercek altına alınmıştır. Bunun için, 3 ayrı pilot alandaki (Örtülü/Sarıkavak, Karahallı ve Bahçecik) traverten/tufa çökellerinin MIS 9 fazına ait bulguları (U/Th, $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$, palinolojik veriler), ayrıntılı olarak irdelenmiş ve bu buzul arası döneme ait kayıtlar, Balkanlar'da Makedonya'nın güneybatısındaki Ohrid Gölü yakınlarındaki mağara çökelleri (Regattieri vd., 2018) ve Yunanistan'nın kuzeydoğusundaki Tenaghi Philippon turba çökelleri ile karşılaştırılmıştır (Fletcher vd., 2013). Böylelikle, Anadolu'da Çibaniyen zamanda günümüzün ılıman döneminin analogu olarak kabul edilen MIS 9 buzul arası dönemine ait iklimsel bulgular ilk kez bu çalışma ile tartışmaya açılmıştır.

İNCELEME ALANLARININ GÜNÜMÜZDEKİ İKLİM DURUMU

İncelenen çalışma alanlarından Örtülü/Sarıkavak ve Karahallı, İç Ege Bölgesi'nde karasal iklimin etkisinde ve Akdeniz iklim kuşağında yer almaktadır. Sıcaklık kuşakları açısından Ege Bölgesi ılıman iklim kuşağında bulunur. İç Ege Bölgesi'nin kıyıdan daha uzak oluşu, karasal iklimin bölgede daha etkili olmasını sağlamıştır. Buna göre, bölgede yazları sıcak ve kurak, kışları ise iç Anadolu'ya göre daha ılık geçen bir karasal iklim koşulları egemendir. Ege Denizi üzerinden gelen bulutların getirdiği yağışlar da bu bölgedeki ılımanlığı arttırmaktadır. Senelik yağış miktarı 430 mm ile 725 mm arasında değişmekte ve yağışlar ağırlıklı olarak kış aylarında görülmektedir (Şensoy vd., 2019).

Bir diğer çalışma alanı olan Bahçecik, doğu Karadeniz iç bölgesinde yer almaktadır (Şekil 1). Karasal iklim ile Doğu Karadeniz Bölgesinin iklimi arasında bir geçiş göstermektedir (Şensoy vd., 2019). Kuzeyinde yer alan dağ kuşakları, soğuk ve nemli kuzey rüzgârlarını engellemektedir. Bu nedenle, Doğu Karadeniz havzasında kalan bölgelerde iklim nemli ve ılıktır. Yağışlar kışın ve ilkbaharda daha çoktur ve yıllık ortalama toplam yağış miktarı 842 milimetredir (Şensoy vd., 2019).



Şekil 1. Anadolu'nun Google Earth uydu görüntüsü ve incelenen lokasyonların yerleri; Örtülü/Sarıkavak (L-1), Karahallı (L-2) ve Bahçecik (L-3)

Figure 1. Satellite image of Anatolia and locations of the investigated areas: Örtülü/Sarıkavak (L-1); Karahallı (L-2), and Bahçecik (L-3).

İNCELEME ALANLARI

Bu çalışmada, karasal karbonat çökellerinin yüzlek verdiği ve MIS 9 döneminin tespit edilebildiği 3 ayrı lokasyon inceleme alanı olarak belirlenmiştir. Bu alanlardan ikisi Batı Anadolu'da yer alırken, diğeri KD-Anadolu'da bulunmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanlarının MIS 9 buzul arası dönemine ait verileri (radyometrik yaş, duraylı izotop ve palinolojik bulgular) bu bölümde özetlenmiştir.

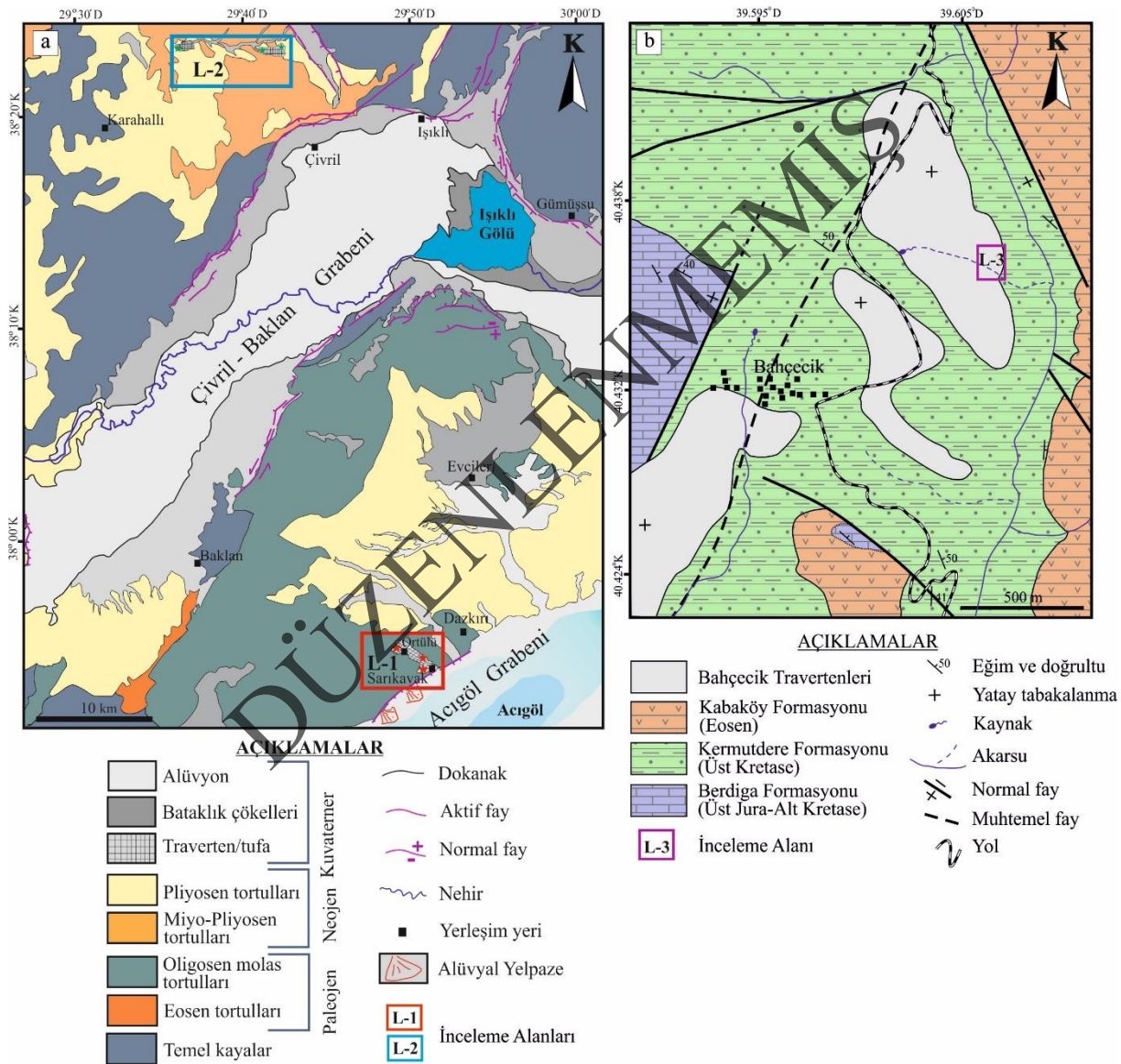
Lokasyon-1 (Örtülü/Sarıkavak Karasal Karbonat Çökelleri, L-1)

Örtülü/Sarıkavak karasal karbonatları, KD-GB uzanımlı Acıgöl Grabeni'nin kuzeyinde yer alan Afyon iline bağlı Örtülü ve

Sarıkavak Köylerinde yüzlek vermektedir (Şekil 1). Bu karasal karbonatlar, Örtülü Köyü ve çevresinde, hidrotermal çıkışlı traverten çökelleri olarak temsil edilirken, güneye doğru (Sarıkavak tufa) akarsu tufa çökellerine geçiş göstermekte ve graben sınırına kadar devam etmektedir (Şekil 2a). Oligosen yaşlı molas karakterindeki konglomeratik istifin üzerinde uyumsuz olarak depolanan (Toker 2009) bu karasal karbonatların kalınlığının, yapılan sondaj çalışmaları sonucunda ~20m olduğu tespit edilmiştir (Toker-Tagliasacchi, 2018; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2020). Örtülü travertenleri, lamine (laminated), kristalin kabuk (crystalline crust), çalı (shrub), kamış (reeds), ince sal yapıları (paper-thin raft),

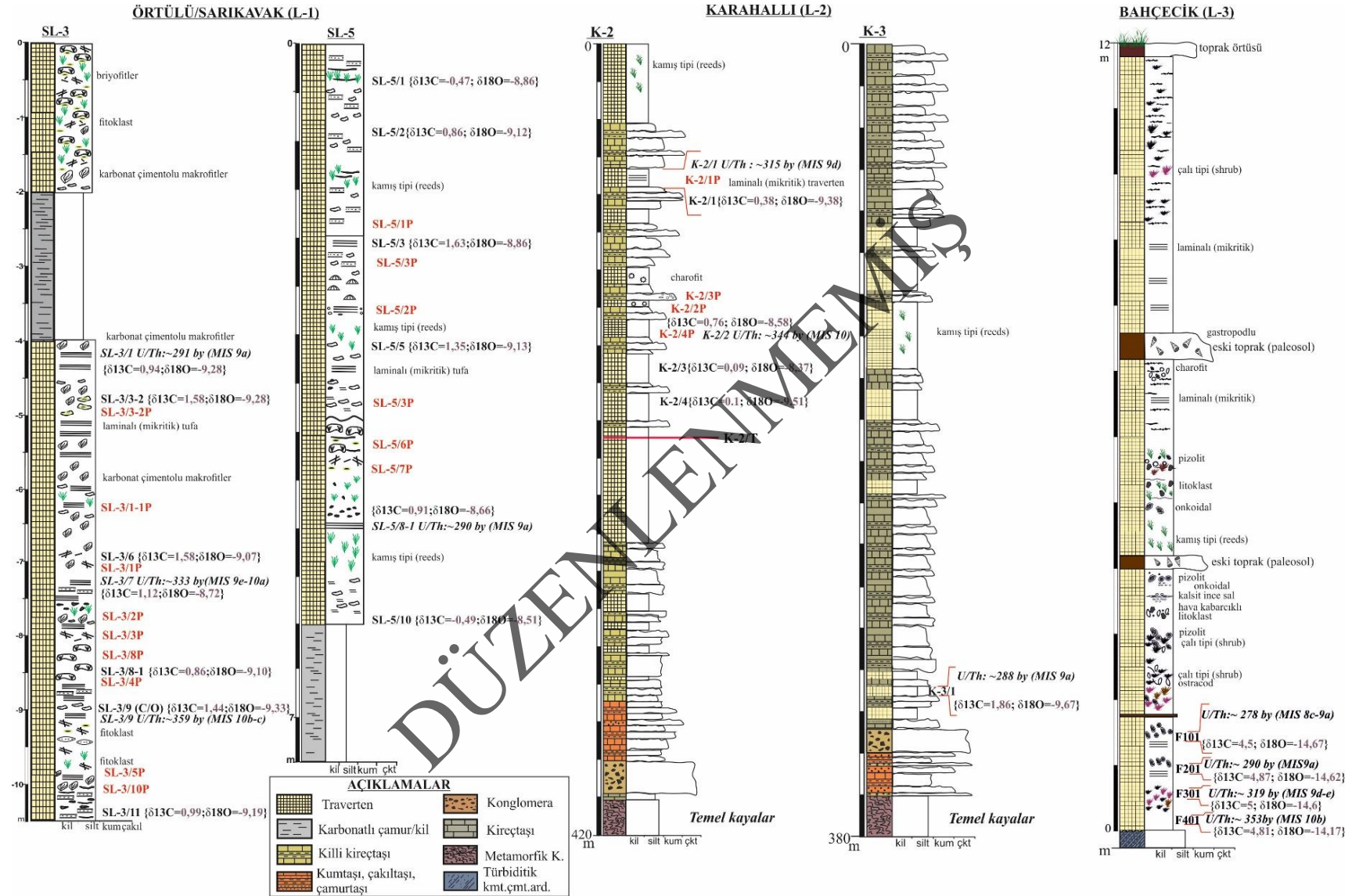
pizolit, havza-içi taneler (*intraclasts*) ve havza-dışı taneler (*extraclasts*) gibi belirgin litotiplerden oluşmaktadır (Toker-Tagliasacchi, 2018). Sarıkavak tufa çökelleri, yosun (*moss*) tufa fasiyesi (makrofit ve briyofit), fitoklastik tufa, mikritik tufa, intraklastik tufa, stromatolitik tufa gibi fasiyeslerden meydana gelmektedir

(Şekil 3; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2020). U/Th radyometrik tarihlendirmelerine göre, traverten çökelişi, yaklaşık 308by önce (MIS 9b) durmuş olmasına rağmen, tufa çökelişi, $\sim 80 \pm 1,5$ by (MIS 5) zamanına kadar devam etmiştir (Şekil 4a, b; Toker, 2017).



Şekil 2. İnceleme alanları ve çevresinin genelleştirilmiş şematik jeoloji haritası. **a)** Örtülü/Sarıkavak (L-1) ve Karahallı (L-2); **b)** Bahçecik (L-3) (Özalp vd., 2018; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2020; Kandemir vd., 2021; Tagliasacchi vd., 2024'ten değiştirilmiştir).

Figure 2. Simplified schematic geological map of the investigated sites and surroundings. **a)** Örtülü/Sarıkavak (L-1) and Karahallı (L-2); **b)** Bahçecik (L-3) (modified from Özalp et al., 2018; Tagliasacchi and Kayseri-Özer, 2020; Kandemir et al., 2021; Tagliasacchi et al., 2024).



Şekil 3. İnceleme alanlarının (Sarıkavak, Karahallı ve Bahçecik) ölçülü sedimanter kesitleri. Sarıkavak sondaj karotlarından (SL-3 ve SL-5) elde edilen ölçülü kesitler, bu

çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiştir. Karahallı (L-2) ölçülü kesiti, Tagliasacchi vd., 2024 ve Bahçecik ölçülü kesiti (L-3) Kandemir vd., 2021 çalışmalarından değiştirilerek hazırlanmıştır.

Figure 3. Measured section of the investigated areas (Sarıkavak, Karahallı and Bahçecik). Sarıkavak (SL-

3 and SL-5) measured sections obtained from drilling logs are prepared in this study. Karahallı (L-2) measured section is modified from Tagliasacchi et al., 2024 and Bahçecik (L-3) measured section is modified from Kandemir et al., 2021.



Şekil 4. Çalışma alanlarının (Örtülü/Sarıkavak, Karahallı ve Bahçecik) arazideki görünüşleri. **a)** Örtülü köyü (L-1) terk edilmiş traverten ocağının arazideki görünüşü ve U/Th yaşı (Toker-Tagliasacchi, 2018). **b)** Sarıkavak tufa çökellerinden (L-1) alınan karot örneği. **c)** Karahallı travertenlerinden (L-2) alınan sondaj karot örneği. **d)** Yamaç depolanma sistemi içinde çökelmiş Bahçecik travertenlerinin arazideki görünüşü (L-3) **e)** Karahallı travertenlerinin arazideki görünüşü. **f)** Sığ göl ortamında çökelmiş Bahçecik travertenlerinin yakından görünüşü (L-3).

Figure 4. Field view of the investigated sites (Örtülü/Sarıkavak, Karahallı and Bahçecik). **a)** The abandoned travertine quarry in Örtülü village (L-1) and U/Th dating (Toker-Tagliasacchi, 2018). **b)** Drilling core logs obtained from Sarıkavak tufas (L-1). **c)** Drilling log from the Karahallı travertines (L-2). **d)** Panoramic view of Bahçecik travertines (L-3) deposited in Slope Depositional System. **e)** Outcrop of the Karahallı travertines. **f)** Closer view of Bahçecik travertines (L-3) precipitated in shallow pool environment.

Lokasyon-2 (Karahallı Travertenleri, L-2)

Karahallı traverten çökelleri, Batı Anadolu'da KD-GB uzanımlı Çivril-Baklan Grabeni'nin (Özalp vd., 2018; Tagliasacchi vd., 2024) kuzeyinde yer alan Karahallı (Uşak) yerleşkesinin kuzeydoğusunda

yüzlek vermektedir (Şekil 2a). Bu karasal karbonatlar, yaklaşık >600by öncesinden (Gelasian?-Çibaniyen) bölgedeki genişleme tektoniğine bağlı olarak çatlaklardan sızan karbonatça zengin suların bir çöküntü (sığ havuz) depolanma sistemi içerisinde çökmesiyle oluşmuşlardır.

Travertenler, laminalı, kamış tipi, pizoidal, havza-içi taneli, havza-dışı taneli litofasiyesler ile karakterize edilmektedir (Şekil 3). Traverten çökeliminin duraksamaya uğradığı dönemlerde eski toprak (paleosol) seviyeleri görülmektedir (Tagliasacchi vd., 2024). Çöküntü depolanma sistemi (*depression depositional*) ve bataklık/palustrin ortamlarında depolanan bu travertenlerde gastropod, ostrakod fosil kavkaları yaygın olarak gözlenmektedir (Tagliasacchi vd., 2024). Travertenlerden elde edilen U/Th yaşlarına göre, çökelim $\sim 288,99 \pm 57$ by (MIS 9a) boyunca devam etmiştir. Travertenlerin toplam kalınlığı, yer yer değişiklik gösterse de, ortalama olarak ~ 40 m civarındadır. Bu karasal karbonatlar, su geliminde azalma, kuraklık gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak yer yer çökelimleri durmuş ve killi, siltli kırıntılı birimler havza içini doldurmuşlardır (Şekil 4c ve e; Tagliasacchi vd., 2024).

Lokasyon-3 (Bahçecik Travertenleri, L-3)

Bahçecik travertenleri, KD-Anadolu'da Sakarya Zonu'nun doğusunda, Gümüşhane ilinin 12 km batısında Bahçecik Köyü'nün kuzeydoğusunda yer almaktadır (Şekil 1 ve 2b). Bu karasal karbonat çökelleri, çalı tipi (*shrub*), kristalin kabuk (*crystalline crust*), kamış (*reeds*), laminalı (*laminated*), pizolit ve onkoidal, kalsit ince sal yapıları ve hava kabarcıklı yapılar (*calcite-thin raft* ve *coated gas bubbles*), litoklast gibi litofasiyeslerden

oluşmakta ve traverten çökeliminin duraksadığı süreçlerde ise, maksimum 50 cm kalınlığında, kahverengimsi sarı renkli eski toprak (paleosol) seviyeleri gözlenmektedir (Şekil 3; Kandemir vd., 2021). Travertenlerin kalınlığı yaklaşık 12 metredir. U/Th tarihlendirme sonuçlarına göre, Bahçecik travertenlerinin çökelişi (MIS 10-8) buzul ve buzul arası dönemlerinde de devam etmiştir (Şekil 4d ve f; Kandemir vd., 2021).

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada, Sarıkavak tufa çökellerinden elde edilen yeni analiz sonuçları ve daha önce inceleme alanlarında yayınlanmış olan veriler (Toker, 2017; Toker-Tagliasacchi, 2018; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2020; Kandemir vd., 2021; Tagliasacchi vd., 2024) bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Sarıkavak tufa çökellerine ait sondaj karot (SL-3 ve SL-5) örneklerinden elde edilen numunelerin, U/Th, duraylı izotop ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$) ve palinolojik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Radyometrik tarihlendirme için, Sarıkavak karot numunelerinden özellikle beyaz renkli, düşük birincil gözenekliliğe sahip, karbonatlı seviyeler seçilmiş ve toplam 4 adet (SL-3/1, SL-3/7, SL-3/9, SL-5/8-1) tufa/traverten örnekleri U/Th analizi için hazırlanmıştır. U/Th radyometrik analiz, UQAM GEOTOP Laboratuvarında (Quebec, Kanada) gerçekleştirilmiştir. Bu

analiz için Ludwig modeli kullanılmıştır (Ludwig ve Paces, 2002).

Duraylı izotop analizleri, Arizona Üniversitesi (ABD, Arizona) Yerbilimleri Bölümü, Duraylı izotop Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Palinolojik analizler, Direnç Jeolojik Danışmanlık (Ankara) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Sporomorfların tayininde Dokuz Eylül Üniversitesi Palinoloji Laboratuvarında bulunan referans koleksiyon kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, Erdtman (1943), Faegri ve Iverson (1989), Moore vd. (1991) ve Beug (2004) atlaslarından ve çok sayıda makale ve katalogdan yararlanılmıştır. Palinomorf yüzde bollukları diyagramı TiliaGrap Programı kullanılarak hazırlanmıştır.

MIS 9 BUZULARASI DÖNEMİNE AİT BULGULAR

Radyometrik Tarihlendirme ve Duraylı İzotop Verileri

Bu çalışmada, 353,186 by ile 278,325 by zaman aralığının kaydedildiği toplam 14 adet U/Th radyometrik yaş verisi derlenmiştir (Çizelge 1; Toker-Tagliasacchi, 2018; Tagliasacchi ve Kayseri-Özer, 2020; Kandemir vd., 2021; Tagliasacchi vd., 2024). Traverten ve tufa çökellerinden elde edilen bu yaş verilerinin 7'si Örtülü/Sarıkavak (L-1)'a, 3'ü Karahallı (L-2)'ya ve 4'ü Bahçecik (L-3)'e aittir (Çizelge 1). Bu çalışma kapsamında, Sarıkavak traverten ve tufa çökellerinden 4 adet yeni radyometrik yaş verisi elde edilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. İnceleme alanlarından (L-1, L-2 ve L-3) elde edilen U/Th yaş ve duraylı izotop değerleri.

Table 1. U/Th dating and stable isotopic values of investigated areas (L-1, L-2, and L-3).

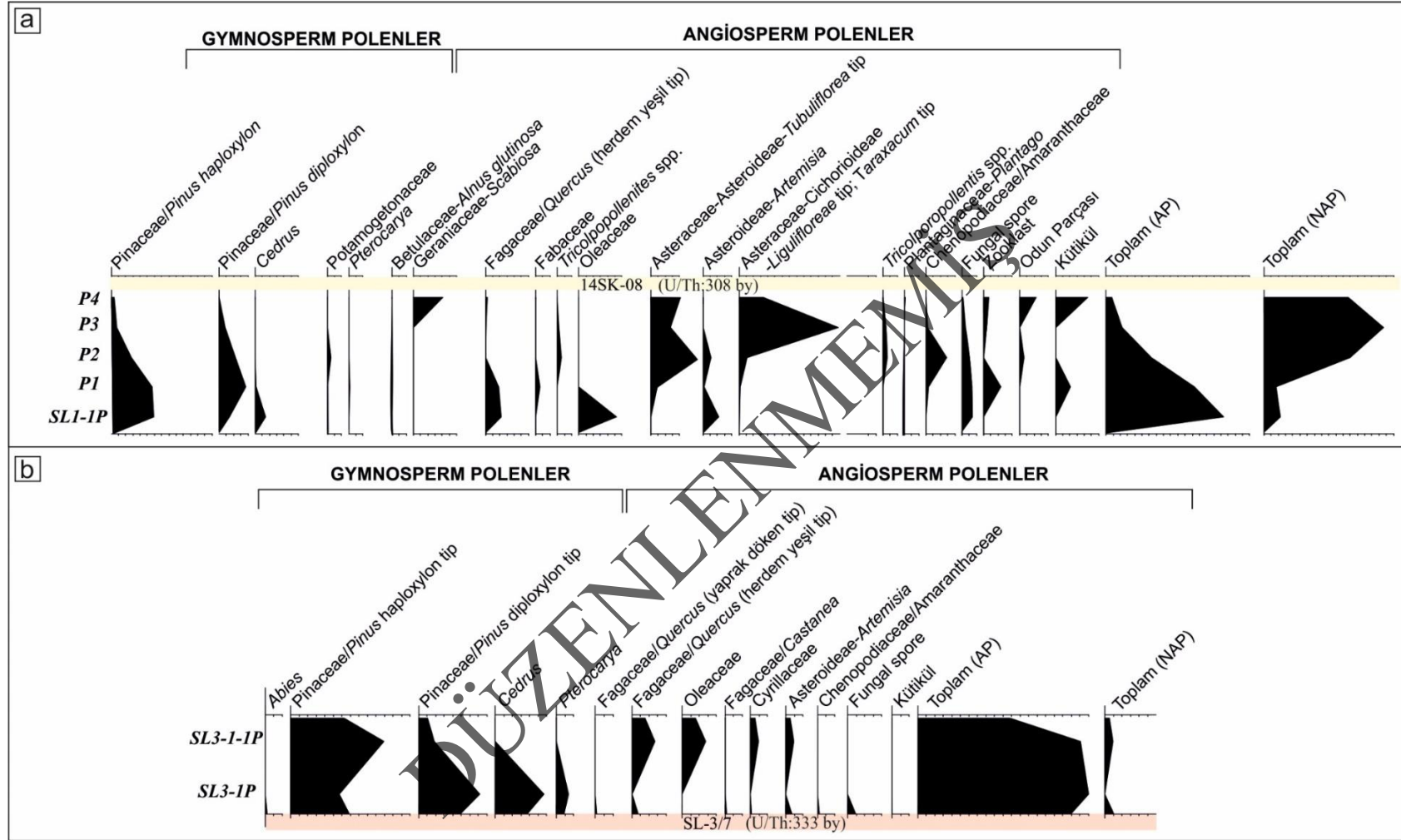
Örnek No	U/Th Yaşları (by)	Değerli izotop Fazları (MIS)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰V-PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰V-PDB)	Litoloji	Kaynaklar
Sarıkavak (L-1)						
14SK-08	308,87±9.20	MIS 9c	1,50	-9,76	Traverten	Toker Tagliasacchi (2018)
SL-2/9	295,80 ±63	MIS 9a-b	0,49	-10,09	Tufa	Tagliasacchi ve Kayseri-Özer (2020)
SL-3/1	291,03 ±28	MIS 9a	0,94	-9,28	Mikritik tufa	Bu çalışma
SL-3/7	333,94±80	MIS 9c-10a	1,12	-8,72	Mikritik tufa	Bu çalışma
SL-3/9	359,2±21	MIS 10b-c	1,44	-9,33	Tufa	Bu çalışma
SL-5/8-1	290,64±19	MIS 9a	-0,47	-8,86	Tufa	Bu çalışma
SL-7/10	313,34 ±21	MIS 9c-d	0,02	-8,70	Mikritik tufa	Tagliasacchi ve Kayseri-Özer (2020)
Karahallı (L-2)						
K-2/1	315,03±37841	MIS 9d	-0,38	-9,38	Traverten	Tagliasacchi vd. (2024)
K-2/2	344,44±26773	MIS10a	-0,76	-8,58	Traverten	Tagliasacchi vd. (2024)
K-3/1	288,92±57786	MIS 9a	1,86	-9,67	Traverten	Tagliasacchi vd. (2024)
Bahçecik (L-3)						
F101	278,325 ± 15862	MIS 8c-9a	4,5	-14,67	Traverten	Kandemir vd. (2021)
F201	290,923 ± 17996	MIS 9a	4,87	-14,62	Traverten	Kandemir vd. (2021)
F301	319,072 ± 11326	MIS 9d-e	5	-14,6	Traverten	Kandemir vd. (2021)
F401	353,186 ± 28226	MIS10b	4,81	-14,17	Traverten	Kandemir vd. (2021)

Bununla birlikte, U/Th radyometrik yaş analizlerinin yapıldığı traverten ve tufa örneklerinden duraylı izotop oranı analizleri de gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1’de $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ duraylı izotop değerleri verilmektedir. Buna göre, en düşük negatif ($\delta^{18}\text{O}$) duraylı izotop değeri (‰ -14,67), 278 by’da Bahçecik travertenlerinde görülürken, en yüksek oksijen duraylı izotop değeri (‰ -8,58), Karahallı traverten çökellerinde 344 by zamanında gözlenmiştir. $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ise ‰ -0,76 ile ‰ 5 aralığında değişmektedir (Çizelge 1). En düşük pozitif karbon duraylı izotop değeri (‰ -0,76) Karahallı traverten çökellerinden 344 by yaşına karşılık gelirken, en yüksek pozitif karbon izotop değeri (‰ 5), Bahçecik travertenlerinden (319 by) elde edilmiştir (Çizelge 1).

Palinolojik Kayıtlar

Sarıkavak tufalarında MIS 9 döneminde çökelmiş tortullara ait sporomorf toplulukları, traverten çökellerinden, paleosol (eski toprak) seviyelerinden ve sondaj karot örneklerinden elde edilmiştir (Şekil 3 ve 5). Bu palinofloraların, U/Th yaş bulguları göz önünde bulundurulduğunda, MIS 9e, 9d-c ve 9c ılık ve serin alt fazlarına ait olduğu gözlenmiştir. MIS 9e palinoflorası gymnosperm polenlerden Pinaceae-*Pinus haploxylon* ve *diploxylon*

tipleri ve *Cedrus* bollukları ile temsil edilmektedir. Ayrıca, flora içerisinde *Pterocarya* bol olarak kaydedilmiştir. Sarıkavak alanında MIS 9 d-c geçişine ait sporomorf topluluğu MIS 9e sürecine benzer olarak, gymnosperm polenlerden Pinaceae-*Pinus haploxylon* ve *diploxylon* tipleri yüksek yüzdeli olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, bu palinoflora içerisinde odunsu bitkilerden Fagaceae-*Quercus* herdem yeşil tip, Oleaceae ve Cyrillaceae bol olarak belirlenmiştir. MIS 9d-c geçişine ait palinoflora içerisinde otsul bitkilerden *Artemisia* (‰ 5) düşük yüzdeli olarak kayıt edilmiştir. Sarıkavak alanında MIS 9c fazına ait gymnosperm polenlerden Pinaceae-*Pinus haploxylon* ve *diploxylon* tiplerinin yüzde bolluklarında belirgin bir azalış gözlenmiştir. Ayrıca, palinoflora içerisinde Fagaceae-*Quercus* herdem yeşil tipe ait yüzdesi azalmış ve *Pterocarya*, *Alnus*, Fabaceae, *Plantago* ve *Potamegaton* az bol olarak palinoflora içerisinde kaydedilmiştir. MIS 9c’ye ait palinoflora içerisinde otsul angiosperm polenlerin yüzdesi ve çeşitliliği belirgin bir şekilde artmıştır ve bu otsul bitkiler *Scabiosa*, Asteraceae-Tubuliflorea ve Ligulifloreae tipleri, *Artemisia* ve Chenopodiaceae-Amaranthaceae ile temsil edilmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. (a) Örtülü/Sarıkavak (L-1) alanındaki traverten çökellerinden ve paleosol seviyelerinden elde edilen MIS 9 buzul arası dönemine ait spormorfların yüzde değerleri, (b) Örtülü/Sarıkavak (L-1) alanındaki SL-3 sondaj karotlarındaki tufa çökellerinden elde edilen MIS 9 buzul arası dönemine ait spormorfların yüzde değerleri.

Figure 5. (a) Percentage values of spormorphs belonging to the MIS 9 interglacial period of the travertine deposits and palaeosol levels obtained from the Örtülü/Sarıkavak (L-1) location, (b) Percentage values of spormorphs belonging to the MIS 9 interglacial period of tufa deposits obtained from the the SL-3 drilling logs in the Örtülü/Sarıkavak location.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

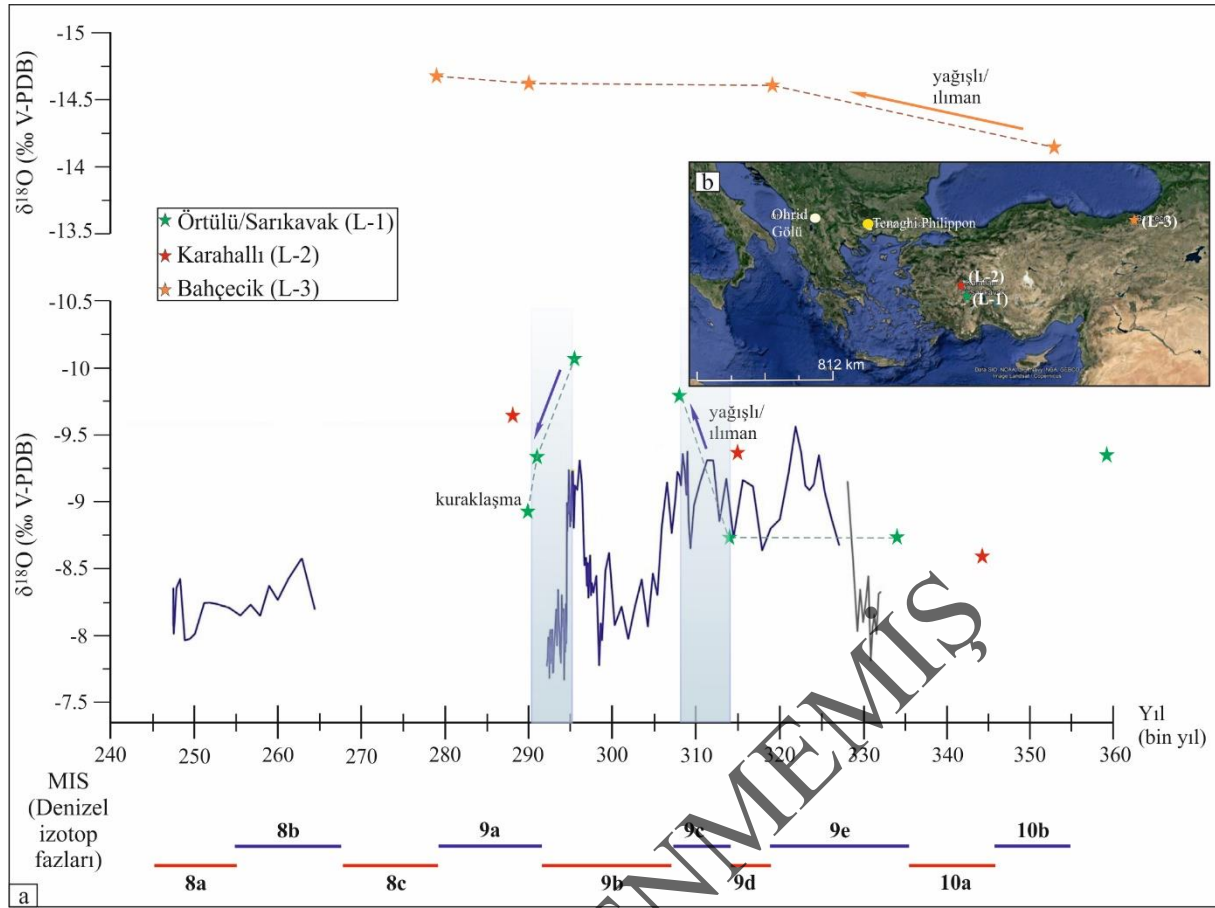
Anadolu'da MIS 9 Küresel Isınma Dönemi

Bu çalışmada, Anadolu'daki MIS 9 buzul arası dönemini daha iyi anlayabilmek için, MIS 9 ve MIS 8 dönemlerine ait iklimsel kayıtlara sahip Örtülü/Sarıkavak, Karahallı ve Bahçecik karasal karbonatları hem birbirleriyle ve hem de güney Balkanlar'daki speleothem çökellerinin duraylı izotop kayıtlarıyla ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$) karşılaştırılmıştır (Şekil 6). Ohrid Gölü'nün (Makedonya) kuzeydoğusunda yer alan bu mağara, 633 by geçmişe kadar gidilebilen düzenli iklim kayıtlarının alınabildiği, MIS 9 sürecindeki iklimsel koşulların kesiksiz olarak belirlendiği duraylı izotop veri setine sahiptir (Wagner vd., 2017; Regattieri vd., 2018). Bununla birlikte, bu çalışmada elde edilen verilerle, Doğu Akdeniz'deki MIS 9 dönemine ait kayıtların çok iyi korunduğu Yunanistan'ın kuzeydoğusundaki Tenaghi Philippon turba çökellerinin palinolojik bulgularıyla da karşılaştırılmıştır (Fletcher vd., 2013).

Batı Anadolu'daki Sarıkavak tufalarına ait duraylı izotop kayıtları ve palinolojik verilere göre, MIS 9e alt fazı boyunca, gymnosperm polenlerin yüzdesindeki bolluk, bu süreçte depolanma alanı ve çevresinde nemli iklim koşullarının varlığını gösteren bitki örtüsüne işaret

etmektedir. Makedonya'daki Ohrid Gölü'nün kuzeydoğusunda bulunan speleothem çökellerinden elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop verileri de en yağışlı MIS 9 buzul-arası döneminin, MIS 9e (326 by-321 by) alt fazı olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir (Regattieri vd., 2018).

MIS 9d-c ve MIS 9c alt fazlarındaki palinolojik kayıtlara göre, *Artemisia*, *Quercus* herdem yeşil, *Cyrillaceae* ve *Oleaceae* gibi sıcak ve göreceli olarak kurak iklim koşullarında yaşamayı tercih eden bitkilerin flora içerisinde yüksek yüzdeli varlığı görülmektedir. Bu durum, bölgedeki MIS 9d alt fazındaki kurak koşullarla uyum içindedir. MIS 9 buzul arası dönemde, 308 by (14SK-08; MIS 9c) zamanında $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerlerindeki negatife kayış, daha yağışlı bir sürecin varlığını göstermektedir (Çizelge 1; Şekil 5 ve 6). MIS 9c alt fazı başlangıcında tanımlanan akarsu kenarı bitki topluluğuna ait *Alnus*'un varlığı, nemli ve sıcak iklim koşullarını göstermekte ve nemli bataklık alanlarında gelişen *Plantago* ve *Potomegaton* gibi formların gözlenmesi ile uyum içindedir. MIS 9c süreci boyunca iklimdeki serinleme ve kuraklaşmaya doğru giden eğilim, Sarıkavak polen kayıtlarındaki *Pinaceae-Pinus haploxylon* ve *diploxylon* tiplerindeki artışla ve sucul akarsu kenarı ve bataklık bitki topluluklarındaki azalma ve yok oluşla tespit edilmiştir.



Şekil 6. a) Ohrid Gölü'nün kuzeydoğusunda yer alan mağara çökellerinden (speleothem) elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ izotop sonuçlarıyla (Regattieri vd., 2018) çalışma alanlarına alt traverten ve tufa çökellerinin $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleriyle karşılaştırıldığı grafik. Denizel izotop fazları ve alt fazlar, Railsback vd. (2015) çalışmasından alınmıştır. **b)** Lokasyonların Google Earth uydu görüntüsü üzerinde gösterimi.

Figure 6. a) Comparison of the $\delta^{18}\text{O}$ isotope results obtained from cave sediments (speleothems) located northeast of Lake Ohrid (Regattieri et al., 2018) with the travertine and tufa sediments in the investigated areas. Marine Isotope Stages and substages are also reported from Railsback et al., 2015. **b)** Locations are shown in the Google Earth satellite image.

Kuzeydoğu Akdeniz'de yer alan Tenaghi Philippon turba çökellerinden elde edilen polen verilerine göre, MIS 9c alt ılıman fazı, sıcak ve nemli aynı zamanda yazın kurak geçtiği iklimsel dalgalanmalarla karakterize edilen iklim koşullarında, *Quercus*'un yaprak döken ve herdem yeşil tipleri ve *Pinus* ile temsil edilen ormanın yaygın olduğunu belirlenmiştir (Fletcher vd., 2013). Sarıkavak alanı ve turba çökellerinden tanımlanmış polen kayıtlarına bağlı

vejetasyon, MIS 9c ılıman fazında birbirleriyle benzerlik sunmaktadır. Daha az yağışın olduğu MIS 9b sürecine doğru, kurakçıl otsul polenlerde bir artış ve çeşitlenme gözlenmiştir ve bu palinolojik veri MIS 9b alt faz sürecindeki kurak iklimsel koşullara geçişle örtüşmektedir. Benzer şekilde, Balkanlar'daki Ohrid Gölü'nün kuzeydoğusundaki mağara çökellerinde 306 by-298 by zaman aralığında (MIS 9b), yağışlarda ani bir düşüş

kaydedilmiştir (Regattieri vd., 2018). MIS 9b alt fazına denk gelen bu zaman aralığı, kendi içinde de daha yağışlı ve az yağışlı olarak yaklaşık bin ve iki bin yıllık dönemlerle dalgalanmalar göstermektedir (Regattieri vd., 2018). Tenaghi Philippon turba çökellerinde kaydedilen, yer yer nemli ancak genel anlamda daha serin iklim koşullarında gelişen açık orman ve ormanlık bozkır palaeovejetasyonun varlığı ("Open forest ve forest steppe": *Pinus*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae* ve *Quercus* yaprak döken tip), MIS 9b sürecinde çökelmiş Sarıkavak tufaları ve Ohrid Gölü tortullarına ait bitki örtüsünün polen tipleri (örn. *Quercus*, *Artemisia*, *Pinaceae-Pinus*, *Chenopodiaceae*) ve bolluk oranları ile uyumludur (Fletcher vd., 2013; Sadori vd., 2016).

Sarıkavak tufalarının görüldüğü bölgede, en yağışlı MIS 9 dönemi, MIS 9b-a alt faz geçişi olup yaklaşık 295 by (SL-2/9) öncesinde tespit edilmiştir (Çizelge 1). Bölgede 291 by önce çökelmiş olan tufalar (SL-3/1), MIS 9a ılıman dönemi geçişine karşılık gelmekte ve buradan elde edilen oksijen izotop verileri, yağışlı bir sürecin olduğunu göstermektedir (‰ -9,28; Şekil 6). Sarıkavak tufalarının çökelimi sırasında belirlenen bu yağışlı dönem, Ohrid Gölü yakınlarındaki mağara çökellerinde de (298 by-292 by) kaydedilmiştir (Şekil 5; Regattieri vd., 2018). Örtülü/Sarıkavak karasal karbonatlarından elde edilen veriler

ışığında, MIS 9 döneminin bu iklimsel ilk değerlendirmeleri, Ohrid bölgesi'ndeki mağara çökellerinden tanımlanan iklim koşulları ile genel olarak bir uyum içindedir. Tenaghi Philippon turba çökellerinde 290 by-277 by yaş aralığından elde edilen polen kayıtlarına göre, kuzeydoğu Akdeniz, sıcak ve kurak yaz, sıcak ve nemli, serin/nemli ve serin/kurak iklimsel dalgalanmaların olduğu ve bölgenin buzul dönemine (MIS 8) geçiş öncesi soğumaya başladığını göstermektedir (Tzedakis vd., 2003; Fletcher vd., 2013). Benzer kuraklaşma (az yağış), 290 by yıl önce Örtülü/Sarıkavak çökellerinden elde edilen oksijen ve karbon duraylı izotop oranı kayıtlarıyla da tespit edilmiştir (Şekil 6; Çizelge 1).

Örtülü/Sarıkavak (L-1) traverten ve tufa çökellerine yakın, Çivril-Baklan Grabeni'nin kuzeyinde yüzlek veren Karahallı (L-2) travertenlerinde ise, 288 by (MIS 9a) alt ılıman fazındaki oksijen duraylı izotop değeri (‰ -9,67), aynı döneme denk gelen Örtülü/Sarıkavak bölgesindeki değerlere göre daha negatiftir (Çizelge 1). Bu durum, Karahallı ve çevresinin, daha güneyinde yer alan Sarıkavak ve çevresine göre daha yağışlı bir MIS 9a dönemi geçirdiği söylenebilir (Şekil 5). Karahallı bölgesinde MIS 9d alt fazının (K-2/1; ‰ -9,38) MIS 9a alt fazına göre daha kurak/serin geçtiğini söylemek de mümkündür (Çizelge 1).

Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Bahçecik (L-3) travertenlerine bakıldığında, duraylı izotop verilerine göre, MIS 9 döneminin Batı Anadolu'dakinden daha farklı iklim koşullarına sahip olduğu tespit edilmiştir. $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri, Batı Anadolu'daki karasal karbonat çökellerinin oksijen izotop değerlerine göre çok daha negatif olduğu izlenmiştir (ortalama ‰ -14,5; Çizelge 1). Bu durum, bölgenin MIS 9 döneminde de oldukça yağışlı bir iklime sahip olduğunu göstermektedir. $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerlerine göre, bölgenin kurak ve soğuk dönemi, MIS 10 (353 by) buzul dönemi olup, traverten istifinin en taban kesiminden (F401) elde edilmiştir (Şekil 3; Çizelge 1). Bahçecik travertenlerinden alınan radyometrik yaşlar, yaklaşık 2 metre kalınlığa sahip traverten çökeline sistematik olarak elde edilmiş olup (Şekil 3), iki buzul dönemi (MIS 10 ve MIS 8) ve bir buzul arası dönemi (MIS 9) yansıtmaktadır (Çizelge 1; Kandemir vd., 2021).

$\delta^{13}\text{C}$ duraylı izotop değerlerine göre, MIS 9e boyunca Bahçecik ve Örtülü/Sarıkavak lokasyonlarının çökeltme alanı ve çevresindeki paleotopoğrafyaya ve paleoiklimsel koşulların değişimine bağlı olarak farklı vejetasyon tiplerinin olduğu söylenebilir. Karbon izotop değerlerindeki negatife doğru değişen bir eğilim, C3 tipi bitkilerin (buğday, çavdar, arpa, yulaf, pirinç ve odunsu ağaç türlerinin hemen hemen tamamından oluşan grup) azaldığını,

kuraklığa dayanıklı C4 tipi türlerin (kuraklık ve topraktaki tuzluluğu tolere edebilen bitkiler ve yabancı otsul ve çalı tipi bitki türlerinin çoğunu içeren grup; örn. Poaceae, Chenopodiaceae-Amaranthaceae ve *Artemisia*) vejetasyonda daha baskın olduğu şeklinde yorumlanmaktadır (Meyers ve Teranes, 2001). Buna göre, Bahçecik travertenlerinin çökeldiği MIS 9e sürecinde iklimin daha ılıman olduğu ve C3 bitkilerinin yer aldığı daha yağışlı koşulların varlığından söz edilebilir. Benzer durum, MIS 9a alt ılıman fazında da tespit edilmiş, Bahçecik travertenlerinin çökelişi sırasında odunsu ağaç türlerinin (C3 bitkilerinin) daha egemen olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu dönemde $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerlerinin belirgin bir şekilde negatif yöndeki azalışı, daha ılıman/yağışlı koşullara işaret etmektedir. Buna ek olarak, MIS 9a alt ılıman faz süreci, Karahallı travertenlerinin çökeltim alanı ve çevresinin, Bahçecik travertenlerinin çökelişi sırasındaki iklimsel koşullara göre görece daha serin ve yağışsız olduğu izlenmiştir.

Anadolu'da MIS 9 buzul arası dönemine ait veriler oldukça sınırlıdır. Genelde traverten ve tufa çökellerinde bulgulanmış olan bu süreç, Eskişehir dolaylarında (Ocakoğlu ve Akkiraz, 2019) ve Van Gölü'ne ait sedimanter istiflerde (Litt vd., 2014) de kaydedilmiştir. Eskişehir'in Pleyistosen yaşlı akarsu çökellerinden elde edilen OSL yaşları ve

izotop verilerine bakıldığında benzer iklimsel süreçlerin burada da tespit edildiği görülmüştür (Ocakoğlu ve Akkiraz, 2019). MIS 9 buzul arası dönem boyunca, kendi içinde dalgalanmalar olsa da genel olarak $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerlerinde MIS 8 buzul dönemine doğru yağışın azaldığını kuraklaşmaya doğru giden bir eğilimin olduğu belirlenmiştir (Ocakoğlu ve Akkiraz, 2019). Van Gölü'ne ait tortul istiften tanımlanmış MIS 9 periyoduna ait palinolojik bulgulara göre, bu buzul arası dönem boyunca genel olarak *Quercus* yüzde bolluğunun azaldığı izlenmiştir. Ayrıca, bu palinoflorada odunsu bitki topluluğunun yüzde bolluk değerleri azalırken, otsul polenlerin çeşitliliği ve bolluğu artış göstermiştir (Litt vd., 2014). Polen topluluklarının çeşitliliği, depolanma alanı tipi (örn. göl, tufa, traverten) ve bölgeden bölgeye değişen paleoiklimsel koşullar ve orografiye bağlı olarak farklılık gösterse de, MIS 9 dönemi ve alt fazları boyunca küresel olarak belirlenen iklimsel koşullara uyumlu palinolojik bulgular elde edilmiştir. Örtülü/Sarıkavak çökellerinde kaydedilen MIS 9d-c (313 by) geçiş alt fazının oksijen izotopundaki negatif değer (‰ -8,70), MIS 9c (308 by; $\delta^{18}\text{O}$: ‰ -9,76)'de yağışın biraz daha arttığı böylece iklimin daha yağışlı/ılıman bir döneme girdiğini göstermektedir (Şekil 6; Çizelge 1).

Sonuç olarak, Anadolu'da MIS 9 buzul arası dönem, çok iyi bilinmemekle birlikte

günümüzdeki ılıman iklim koşullarını anlama ve gelecekteki iklim koşullarını anlayabilmek için bu döneme ait daha fazla veriye gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmayla ilk defa, traverten ve tufa gibi karasal karbonat çökellerinin çok disiplinli kayıtları kullanılarak bu ılıman döneme ışık tutulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, Batı Anadolu'dan iki lokasyon (Örtülü/Sarıkavak ve Karahallı) ve kuzeydoğu Anadolu'dan bir lokasyon (Bahçecik) karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Bu çalışmada, MIS10, MIS 9 ve MIS 8c buzul ve buzul arası fazları içeren toplam 14 adet radyometrik yaş verisi değerlendirilmiştir. Sarıkavak karasal çökellerine ait sondaj karotlarından (SL-3/1, SL-3/7, SL-3/9 ve SL-5/8-1) elde edilen 4 adet yeni U/Th yaş verisi ilk kez bu çalışmada verilmiştir. Buna göre, çalışılan lokasyonlardaki tüm karasal karbonatlar, denizel izotop fazlardan MIS 10 (buzul), MIS 9 (buzul arası) ve MIS 8 (buzul) dönemlerine karşılık gelen 365 by ile 278 by yaş aralığında çökelimlerine devam etmişlerdir.
- Kuzeydoğu Anadolu'daki traverten çökellerinden yaklaşık 290 by öncesindeki yağışlı ve ılıman MIS 9a alt fazı saptanmış ve MIS 8 buzul dönemine geçişte, önemli bir iklimsel değişimin gözlenmediği oksijen izotop kayıtlarında tespit edilmiştir. Ancak MIS 10 buzul

döneminden MIS 9'a geçişte daha yağışlı/ılıman iklim koşullarının egemen olduğu duraylı oksijen duraylı izotoplarında tespit edilmiştir. Ancak bu durum, Batı Anadolu'da biraz daha farklılık göstermekte olup, MIS 9 buzul arası dönemden MIS 8 buzul dönemine geçişte kuraklaşma daha belirgin bir şekilde görülmüştür.

- Çalışma alanları içerisindeki en düşük $\delta^{13}\text{C}$ izotop değerleri, Karahallı travertenlerinde kaydedilmiştir. Ayrıca, egemen otsul vejetasyonun MIS 9a boyunca diğer çökeltme alanlarına göre Sarıkavak ve çevresinde daha fazla yayılım gösterdiği tespit edilmiştir.
- Bu çalışmada ilk defa MIS 9 ve MIS 8 fazlarına ait palinolojik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İncelenen tüm lokasyonlarda MIS 9a alt faz süreci tespit edilmiş ve temel vejetasyon tiplerinin belirgin olarak farklılık gösterdiği gözlenmiştir.
- Elde edilen tüm oksijen ve karbon duraylı izotop değerleri ve palinolojik bulgular bir arada değerlendirildiğinde, Anadolu'da MIS 9 buzul arası dönem boyunca paleoiklim ve paleovejetasyonun, topoğrafik koşulların değişiminden etkilendiği kadar, enlem-boylama bağlı olarak konumdaki farklılıktan da etkilendiği sonucuna varılmıştır.

EXTENDED SUMMARY

The MIS 9 period, which is one of the Marine Isotope Stages and corresponds to the interglacial period, is accepted as an analogue for the present warm period. The MIS 9 interglacial period in the Middle Pleistocene in Anatolia is not well known and more data from this period is needed to understand today's temperate climate conditions and to predict future climatic changes.

With this study, we tried to illuminate this temperate period for the first time by using multidisciplinary records (U/Th, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$, palynological data) of terrestrial carbonate sediments, such as travertines and tufa. For this purpose, two locations from Western Anatolia (Örtülü/Sarıkavak, L-1 and Karahallı, L-2) and one location from northeastern Anatolia (Bahçecik, L-3) were investigated comparatively. Örtülü, Karahallı and Bahçecik travertines were precipitated in a similar depositional environment as a shallow lake or pool (depression and slope depositional systems), while Sarıkavak tufas were deposited in a fluvial system.

A total of 14 radiometric age data sets that represented the MIS 10, MIS 9 and MIS 8 periods were evaluated. Four of them, of U/Th ages, obtained from the Sarıkavak drilling logs (SL-3/1, SL-3/7, SL-3/9 and SL-5/8-1), are given for the first time in this study. Accordingly, these terrestrial

carbonates, which were deposited between 365 ka and 278 ka, continued their deposition during the MIS 10 glacial, MIS 9 interglacial, and MIS 8 glacial periods.

According to the stable isotopic records and palynological data of the Örtülü/Sarıkavak terrestrial carbonates, the abundance of gymnosperm pollens during the MIS 9e sub-stage indicates the presence of humid climate conditions in the studied area and its surroundings during this period. While the most negative oxygen stable isotope value (-14.67 ‰) was obtained from the Bahçecik travertines during the 278 ka (MIS 9a), the less negative oxygen stable isotope value (-8.58 ‰) was found in Karahallı travertine during the 344 ka (MIS 10). While the lowest positive carbon stable isotope value (-0.76‰) corresponds to 344 ka (MIS 10) from Karahallı travertine deposits, the highest positive carbon isotope value (5 ‰) is from the Bahçecik travertines and corresponds to 319 ka (MIS 9d-e). According to $\delta^{13}\text{C}$ isotopic results, it was determined that there were different vegetation types during MIS 9e, depending on the changes in palaeotopography and paleoclimatic conditions around the investigated areas of the Örtülü/Sarıkavak (L-1) and Bahçecik (L-3) sites.

It can be said that there were milder and wetter climatic conditions with C3 plants during the MIS 9e period in the Bahçecik site. In this period, it was observed

that C4 plants were relatively more dominant in the vegetation in the Bahçecik travertines compared to the Örtülü/Sarıkavak terrestrial carbonates.

During the MIS 9c and 9d sub-stages, palynological results from the Karahallı travertine and the Sarıkavak tufa deposits were obtained. The small negative increase in $\delta^{13}\text{C}$ values in Karahallı travertines was evaluated as the vegetation in the period when Sarıkavak tufas were deposited, where C4 type species, represented by drier herbaceous forms, were more common in the vegetation. The percentage and diversity of herbaceous angiosperm pollens within the palynoflora of MIS 9c increased significantly, and these herbaceous plants are represented by the Scabiosa, Asteraceae-Tubuliflorea and Ligulifloreae types, Artemisia and Chenopodiaceae-Amaranthaceae.

As a result of this study, it was observed that the palaeoclimatic signals of these terrestrial carbonate deposits located in Western Anatolia during the MIS 9 interglacial period were cooler and drier than the MIS 9 period of the Bahçecik travertines.

KATKI BELİRTME ve TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yer alan Karahallı travertenleri ile ilgili veriler, Pamukkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeler Birimi (BAP) tarafından desteklenen araştırma projesinin

(No. 2019HZDP025) bir kısmını oluşturmaktadır. Örtülü/Sarıkavak karasal karbonatlarından elde edilen veriler, PAU, Bilimsel Araştırma Projeler Birimi (BAP) tarafından desteklenen araştırma projesinin (No. 2014HZL010) ve TÜBİTAK projesinin (No.115Y493) bir kısmını oluşturmaktadır. Çalışmada yer alan Bahçecik travertenleri,

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi (No.2016.53007.109.01.01) tarafından desteklenmiştir. Makaleyi titizlikle inceleyen, makalenin gelişiminde ve yayınlanmasında değerli görüş ve önerileriyle katkı sağlayan hakemlere ve dergi editörüne teşekkür ederiz.

ORCID

Ezher Tagliasacchi  <https://orcid.org/0000-0002-1774-5012>

Mine Sezgül Kayseri-Özer  <https://orcid.org/0000-0003-2712-2457>

Raif Kandemir  <https://orcid.org/0000-0002-0344-9159>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Andrews, J. E. (2006). Palaeoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: synthesis and review. *Earth-Science Reviews*, 75(1-4), 85–104. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2005.08.002>
- Andrews, J. E., Riding, R. & Dennis, P.F. (1997). The stable isotope record of environmental and climatic signals in modern terrestrial microbial carbonates from Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 129(1-2), 171–189. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(96\)00120-4](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(96)00120-4)
- Baldini, J. U. L. (2010). Cave atmosphere controls on stalagmite growth rate and palaeoclimate records. *Geological Society, London, Special Publications*, 336(1), 283–294. <https://doi.org/10.1144/SP336.1>
- Bertini, A., Minissale, A. & Ricci, M. (2014). Palynological approach in upper Quaternary terrestrial carbonates of central Italy: anything but a ‘mission impossible’. *Sedimentology* 61, 200–220.
- Beug, H. J., (2004). *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, Germany.
- Brasier, A. T., Andrews, J. E., Marca-Bell, A. D. & Dennis, P.F. (2010). Depositional continuity of seasonally laminated tufas: implications for $\delta^{18}\text{O}$ based palaeotemperatures. *Global and Planetary Change*, 71(3-4), 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.03.022>
- Brook, E. J. & Buizert, C. (2018). Antarctic and Global Climate History Viewed from Ice Cores. *Nature*, 558(7709), 200–208. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0172-5>
- Capezzuoli, E., Gandin, A. & Pedley, M. (2014). Decoding tufa and travertine (freshwater carbonates) in the sedimentary record: the state of the art. *Sedimentology*, 61(1), 1–21.
- Capezzuoli, E., Della Porta, G., Rogerson, M. & Tagliasacchi, E. (2022). Non-marine carbonate: Wherefore art thou?. *The Depositional Record*, 8, 4-8.
- Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P. L. & Fan, J.-X. (2020). The ICS International Chronostratigraphic Chart 2020/03. *Episodes* 36,199-204.
- Dabkowski, J., Brou, L. & Naton, H.-G. (2015). New stratigraphic and geochemical data on the Holocene environment and climate from a tufa deposit at Direndall (Mamer Valley, Luxembourg). *The Holocene*, 25(7), 1153-1164.
- Erdtman, G. (1943). *An Introduction to Pollen Analysis*. USA. Chronica Botanica Company.
- Facenna, C., Soligo, M., Billi, A., Filippis, L. D., Funicello, R., Rosetti, C. & Tuccimei, P. (2008). Late Pleistocene depositional cycles of the Lapis Tiburtinus travertine (Tivoli, central Italy): possible influence of climate and fault activity. *Global and Planetary Change*, 63, 299-308.

- Fægri, K. & Iversen, J. (1989). *Textbook of pollen analysis*, 4th edition. John Wiley & Sons Ltd. 328, Norway.
- Fletcher, W. J., Müller, U.C., Koutsodendris, A., Christanis, K. & Pross, J. (2013). A centennial-scale record of vegetation and climate variability from 312 to 240 ka (Marine Isotope Stages 9c-a, 8 and 7e) from Tenaghi Philippon, NE Greece. *Quaternary Science Reviews*, 78, 108–125. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.08.005>
- Fleitmann, D., Cheng, H., Badertscher, S., Edwards, R. L., Mudelsee, M., Göktürk, O. M., Fankhauser, A., Pickering, R., Raible, C. C., Matter, A., Kramers, J. & Tüysüz, O. (2009). Timing and climatic impact of Greenland interstadials recorded in stalagmites from northern Turkey. *Geophysical Research Letters*, 36(19), L19707. <https://doi.org/10.1029/2009GL040050>
- Ford, T.D. & Pedley, H.M. (1996). A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth-Science Reviews*, 41(3-4), 117–175. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(96\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(96)00030-X)
- Frank, N., Braum, M., Hambach, U., Mangini, A. & Wagner, G. (2000). Warm period growth of travertine during the last interglaciation in southern Germany. *Quaternary Research*, 54(1), 38–48. <https://doi.org/10.1006/qres.2000.2135>
- Frechen, M., van Vliet-Lanoë, B. & van den Haute, P. (2001). The Upper Pleistocene loess record at Harmignies/Belgium — high resolution terrestrial archive of climate forcing. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 173(3-4), 15, 175-195.
- Head, M. J. (2021). Review of the Early–Middle Pleistocene boundary and Marine Isotope Stage 19. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8, Article 50. <https://doi.org/10.1186/s40645-021-00439-2>
- Imbrie, J., Boyle, E. A., Clemens, S. C., Duffy, A. ... & Toggweiler, J. R. (1993). On the structure and origin of major glaciation cycles 2. The 100,000-year cycle. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 8(6), 699-736. <https://doi.org/10.1029/93PA02751>
- Kandemir, R., Tagliasacchi, E., Kayseri-Özer, M.S., Şaffak, D., Köroğlu, F., Hsun-Ming Hu, & Shen, C. C. (2021). The multidisciplinary approaches on facies developments and depositional systems of the Bahçecik Travertines, Gümüşhane, NE-Turkey *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 561-579.
- Kazancı, N. (2021). Çibaniyen Katı'nın İlanı, Bilimsel ve Sosyal Arka Planı. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 64(2), 249-252. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/59789/847446>
- Kaufmann, G. & Dreybrodt, W. (2004). Stalagmite growth and palaeo-climate: An inverse approach. *Earth and Planetary Science Letters*, 224(3-4), 529–545. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.05.020>
- Litt, T., Pickarski, N., Heumann, G., Stockhecke, M. & Tzedakis, P. C. (2014). A 600,000 year long continental pollen record from Lake Van, eastern Anatolia (Turkey). *Quaternary Science Reviews*, 104, 30-41.
- Ludwig, K.R. & Paces, J.B. (2002). Uranium-series dating of pedogenic silica and carbonate, Crater Flat, Nevada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(3), 487-506.
- Merz, N., Hubig, A., Kleinen, T., Therre, S., Kaufmann, G. & Frank, N. (2022). How the climate shapes stalagmites—A comparative study of model and speleothem at the Sofular Cave, Northern Turkey. *Frontiers in Earth Science*, 10, Article 969211. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.969211>
- Meyers, P. A. & Teranes, J. L. (2001). Sediment Organic Matter. In W. Last, & J. P. Smol (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments*, (pp. 240-267). Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Minissale, A., Kerrick, D.M., Magro, G., Murrell, M.T., Paladini, M. ... & Vaselli, O. (2002). Geochemistry of Quaternary travertines in the region North of Rome (Italy): structural, hydrologic and paleoclimatologic implications. *Earth and Planetary Science Letters* 203(2), 709–728. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(02\)00875-0](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00875-0)
- Moore, P. D., Webb, J. A. & Collinson, M. E. (1991). *Pollen analysis*, 2nd edition. Blackwell, Oxford, 1-216.
- Nehrbass-Ahles, C. Shin, J., Schmitt, J., Bereiter, B., Joos, F., Schilt, A., Schmidely, L., Silva, L., Teste, G., Grilli, R., Chappellaz, J. A; Hodell, D. A., Fischer, H. & Stocker, T. F. (2020). Abrupt CO₂ release to the atmosphere under glacial and early interglacial climate conditions. *Science*, 369, 1000-1005, <https://doi.org/10.1126/science.aay8178>
- Ocañoğlu, F. & Akkiraz, M.S. (2019). A Lower Pleistocene to Holocene terrestrial record from the Eskişehir Graben (Central Anatolia): Paleoclimatic and morphotectonic implications. *Quaternary International*, 510, 88-99.

- Özalp, S., Emre, Ö., Şaroğlu, F., Özaksoy, V., Elmacı, H. & Duman T. Y. (2018). Active fault segmentation of the Çivril Graben System and surface rupture of the 1 October 1995 Dinar Earthquake (Mw 6.2), Southwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 166, 136-151.
- Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C.C., Jones, B., Baykara, M. O., Fórizs, I., Németh, T., Chang, Y. W. & Alçiçek, M. C. (2013) Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based on their depositional and geochemical data. *Sedimentary Geology*, 294, 179-204.
- Pazdur, A., Pazdur, M.F., Starkel, L. & Szulc, J. (1988). Stable isotopes of Holocene calcareous tufa in southern Poland as palaeoclimatic indicators. *Quaternary Research* 30, 177–189.
- Peña, J. L., Sancho, C. & Lozano, M.V. (2000). Climatic and tectonic significance of Pleistocene and Holocene tufa deposits in the Mijares River canyon, eastern Iberian range, Northeast Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25(13), 1403–1417. [https://doi.org/10.1002/1096-9837\(200012\)25:13%3C1403::AID-ESP147%3E3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/1096-9837(200012)25:13%3C1403::AID-ESP147%3E3.0.CO;2-N)
- Pedley, M., Andrews, J., Ordoñez, S., García del Cura, M. A., González Martín, J. A. & Taylor, D. (1996). Does climate control the morphological fabric of freshwater carbonates? A comparative study of Holocene barrage tufas from Spain and Britain. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 121, 239–257.
- Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., ... & Stievenard, M. (1999). Climate and Atmospheric History of the Past 420 000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica. *Nature*, 399(6735), 429–436. <https://doi.org/10.1038/20859>
- Porter, S. C. & An, Z. S. (1995). Correlation between Climate Events in the North Atlantic and China during the Last Glaciation. *Nature*, 375(6529), 305–308. <https://doi.org/10.1038/375305a0>
- Railsback, L. B., Gibbard, P. L., Head, M. J., Voarintsoa, N. R. G. & Toucanne, S. (2015). An optimized scheme of lettered marine isotope substages for the last 1.0 million years, and the climatostratigraphic nature of isotope stages and substages. *Quaternary Science Reviews*, 111, 94-106.
- Regattieri, E., Zanchetta, G., Isola, I., Bajo, P., Perchiazzi, N., Drysdale, R. N., Boschi, C., Hellstrom, J.C., Francke, A. & Wagner, B. (2018). A MIS 9/MIS 8 speleothem record of hydrological variability from Macedonia (F.Y.R.O.M.). *Global and Planetary Change*, 162, 39-52.
- Rickets, J. W., Ma, L., Wagler, A. E. & Garcia, V. H. (2019). Global travertine deposition modulated by oscillations in climate. *Journal of Quaternary Science* 34, 558-568. <https://doi.org/10.1002/jqs.3144>
- Rowe, P. J., Mason, J. E., Andrews, J. E., Marca, A. D., Thomas, L., van Calsteren, P., Jex, C. N., Vonhof, H. B. ve Al-Omari, S. (2012). Speleothem isotopic evidence of winter rainfall variability in northeast Turkey between 77 and 6 ka. *Quaternary Science Reviews*, 45, 60-72.
- Sadori, L., Koutsodendris, A., Masi, A., Bertini, A., Combourieu-Nebout, N., Francke, A. & Peyron, O. (2016) Pollen-based paleoenvironmental and paleoclimatic change at Lake Ohrid (SE Europe) during the past 500 ka. *Biogeosciences* 13, 1423–1437.
- Sancho, C., Arenas, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo G., Lozano, M.V., José Luis Peña-Monné c, John Hellstromd, José Eugenio Ortiz e, Osácar, M.C., Auqué, L. & Torres, T. (2015). Climatic implications of the Quaternary fluvial tufa record in the NE Iberian Peninsula over the last 500 ka. *Quaternary Research* 84, 398–414.
- Sun, H. L. & Liu, Z. H. (2010). Wet-dry seasonal and spatial variations in the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of the modern endogenic travertine at Baishuitai, Yunnan, SW China and their paleoclimatic and paleoenvironmental implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74(3), 1016-1029. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2009.11.008>
- Sun, J., Ding, Z., Liu, T., Rokosh, D. & Rutter, N. (1999). 580,000-year environmental reconstruction from aeolian deposits at the Mu Us Desert margin, China. *Quaternary Science Reviews*, 18(12), 1351-1364.
- Şensoy, S., Demircan, M., Ulupınar, Y. ve Balta, İ. (2019). Türkiye İklimi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, URL https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/13_turkiye_iklimi.pdf
- Tagliasacchi, E. & Kayseri-Özer, M.S. (2018). Palaeoclimate changes in the Afyon province, SW-Turkey, during the middle-late Pleistocene: signals from calcareous tufa pollen and stable isotope records. Alpine and Mediterranean quaternary. In: (Quaternary: Past, Present, Future - AIQUA Conference, Florence, *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 31, 161–164. <https://amq.aiqua.it/index.php/amq/article/view/208>

- Tagliasacchi, E. & Kayseri-Özer, M.S. (2020). Multidisciplinary approach palaeoclimatic signals of the non-marine carbonates: the case of the Sarıkavak tufa deposits (Afyon, SW-Turkey). *Quaternary International*, 544, 41-56. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2019.12.016>
- Tagliasacchi, E., Kayseri-Özer, M.S. & Altay, T. (2024). Environmental, vegetational and climatic investigations during the Plio-Pleistocene in SW-Anatolia: A case study from the fluvio-lacustrine deposits in Uşak-Karahallı area. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 104, 29-51. <https://doi.org/10.1007/s12549-023-00590-2>
- Toker, E. (2009). *Acıgöl-Çardak (Denizli) Grabeninin kuzeyindeki Tersiyer çökellerinin tektono-sedimanter gelişiminin incelenmesi* [Tayınlanmamış Doktora Tezi]. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Toker, E. (2017). Quaternary fluvial tufas of Sarıkavak area, southwestern Turkey: facies and depositional systems. *Quaternary International, Non-marine Carbonates. Special Issue*. 437, 37–50.
- Toker, E., Kayseri-Özer, M.S., Özkul, M. & Kele, S. (2015). Depositional system and palaeoclimatic interpretations of middle to late Pleistocene travertines: Kocabaş, Denizli, SW Turkey. *Sedimentology* 62(5), 1360–1383.
- Toker-Tagliasacchi, E. (2018). The Sedimentological Properties and Preliminary Results of Palaeoenvironmental Development of Middle-Late Pleistocene Gürlek-Kocabaş (Denizli) and Örtülü (Afyon) Travertines, SW-Turkey. *Geological Bulletin of Turkey*, 61(1), 1-22. <https://doi.org/10.25288/tjb.358160>
- Tzedakis, P. C., McManus, J. F., Hooghiemstra, H., Oppo, D. W. & Wijmstra, T. A. (2003). Comparison of changes in vegetation in northeast Greece with records of climate variability on orbital and suborbital frequencies over the last 450 000 years. *Earth and Planetary Science Letters*, 212(1-2), 197- 960. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00233-4](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00233-4)
- Wagner B., Wilke T., Francke A., Albrecht C., Baumgarten H., Bertini A., Combourieu-Nebout N., Cvetkoska A., ...& Zhang X.S. (2017). The environmental and evolutionary history of Lake Ohrid (FYROM/Albania): Interim results from the SCOPSCO deep drilling project. *Biogeosciences*, 14, 2033–2054, <https://doi.org/10.5194/bg-14-2033-2017>
- Wu, T., Cheng, A., Lin, H., Zhang, H. & Jie, Y. (2023). Climatic Fluctuation of Marine Isotope Stage 9: A Case Study in the Southern Margin of the Chinese Loess Plateau. *Journal of Earth Science*, 34, 2556-1566. <https://doi.org/10.1007/s12583-022-1610-8>