



Orta-Geç Pleyistosen Yaşlı Gürlek-Kocabaş (Denizli) ve Örtülü (Afyon) Travertenlerinin Sedimentolojik Özellikleri ve Paleootamsal Gelişimine ait ilk bulgular (GB-Türkiye)
The Sedimentological Properties and Priliminary Results of Palaeoenvironmental Development of Middle-Late Pleistocene Gürlek-Kocabaş (Denizli) and Örtülü (Afyon) Travertines, SW-Turkey

Ezher Toker Tagliasacchi^{1a}

¹ *Università Degli Studi Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra, Via la Pira, 4-50121 Firenze-Italy*
^a *Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20017 Kınıklı-Denizli*

Geliş/Received : 28.06.2017 • Düzeltmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 23.08.2017 • Kabul/Accepted : 22.09.2017 • Baskı/Printed : 01.01.2018

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz:Bu çalışma, benzer depolanma sistemi içerisinde çökelmiş olan Gürlek-Kocabaş (Denizli) ile Örtülü (Afyon) travertenlerinin sedimentolojik özellikleri ile bu karasal karbonatların çökeltme koşullarının ve döneminin karşılaştırmalı olarak incelenmesi sonucu elde edilen ilk bulguları içermektedir. İnceleme alanları, GB-Türkiye’deki neotektonik dönemde genişleme tektoniğine bağlı olarak açılmaya başlamış birbirlerine komşu, KB-GD uzanımlı Denizli Grabeni (Gürlek-Kocabaş) ile KD-GB uzanımlı Acıgöl Grabeni (Örtülü) içinde yer almaktadır.

Gürlek-Kocabaş travertenlerinin bataklık-havuz ve havuz düzlüğü fasiyeslerinin gözlemlendiği, sığ-havuz gibi çöküntü depolanma sistemi içinde çökelmiş olduğu, Örtülü travertenlerinin ise, yer yer ortam enerjisinin daha yüksek olduğu yamaç depolanma sisteminde ve aynı zamanda sığ, otsul, enerjisi daha düşük sığ-havuz depolanma sisteminde çökelmiş olabileceği yapılan bu çalışmada belirlenmiştir. Gürlek-Kocabaş travertenlerinin yanal devamlılığı yüzlerce metre sürerken, Örtülü travertenleri, birkaç yüz metre devam etmekte ve daha sonra Acıgöl Graben’ine doğru akarsu tufalarına geçiş göstermektedir. Paleosol seviyeleri, iki traverten çökeline de belirgin olarak gözlenmektedir. Elde edilen ilk polen verilerine göre, genellikle otsul ve açık tohumlu bitkilere ait polenlerin varlığı (*Pinaceae*, *Cedrus*, *Artemisia*, *Quercus*) bölgede iklimsel salınımlar açısından da önemli veriler içermektedir. İncelenen örneklerde *Artemisia* formunun varlığı, bu karasal karbonatların çökeltiminde, serin ve kurak iklim koşullarını işaret etmektedir.

U/Th radyometrik yaş tayinlerine göre, iki traverten çökeli Orta-Geç Pleyistosen döneminde çökelmiş ancak Gürlek-Kocabaş travertenleri, çökeltimine 85 bin yıl’a kadar devam etmiş olmasına rağmen, Örtülü travertenlerinin çökeltimi yaklaşık 308 bin yıl önce tamamen sonlanmış olduğu bu çalışmada belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Depolanma ortamları, GB-Türkiye, litofasiyes, Orta-Geç Pleyistosen, palinoloji, traverten

Abstract: *This study includes the primary results of the Gürlek-Kocabaş (Denizli) and Örtülü (Afyon) travertines precipitated within the similar depositional systems and the comparative investigation of the sedimentary processes and depositional periods of these terrestrial carbonates. The investigated areas are located within the NW-SE trending Denizli Graben (Gürlek-Kocabaş) and NE-SW trending Acıgöl Graben (Örtülü) that adjacent to each other which started to develop due to the extensional tectonic regime in the neotectonic period in SW-Turkey.*

Gürlek-Kocabaş travertines are deposited in shallow-pool like depression depositional system where the marsh-pool and flat-pool facies are observed. On the other hand Örtülü travertines have been determined in this study where could be precipitated in higher energy environment like slope depositional system and also in lower energy environment like shallow-pool depositional system. While the lateral expanded of the Gürlek-Kocabaş travertines is hundreds of meters, the Örtülü travertines continued few hundred meters and then they changed to the fluvial tufas

towards Acıgöl Graben. Palaeosol levels are significantly observed in two travertine deposits. According to the first pollen data, the existence of pollens (*Pinaceae*, *Cedrus*, *Artemisia*, *Quercus*), which are generally belonging to herbaceous and gymnosperms plants, are important data of climatic fluctuation. The presence of the *Artemisia* form in the investigated samples suggests the cool and arid climatic conditions in the precipitation of these terrestrial carbonates.

According to radiometric dating, two travertine deposits are precipitated in Middle-Late Pleistocene. In this study is also determined that Gürlek-Kocabaş travertines continued to precipitate until 85 ka but Örtülü travertine accumulations ceased approximately 308ka ago.

Keywords: Depositional settings, lithofacies, Middle-late Pleistocene, palynology, SW-Turkey, travertine

GİRİŞ

Travertenler, tektonik bir hat boyunca yeryüzüne çıkan bikarbonatça zengin hidrotermal suların biriktirdiği, açık renkli, sıkı (kompakt) karbonat çökelleridir (Ford ve Pedley, 1996; Pentecost, 2005; Pedley, 2009). Traverten, tufa ve speleotem gibi karasal karbonatlı kaynak çökelleri, son birkaç on yıldır farklı bakış açılarından dolayı birçok araştırmaya konu olmuştur. Özellikle son yıllarda iklim ve ortam çalışmaları konusunda bu karasal karbonat çökellerinden önemli bilgiler elde edilmektedir. Bu nedenle, iklimsel değişimlere karşı duyarlılık gösteren traverten ve tufa gibi karasal karbonatların çalışılması, ülkemizde bulunan Kuvaterner yaşlı bu çökellerin değerini gün geçtikçe arttırmaktadır. Bu konuda ilk ayrıntılı çalışmalar, Chafetz ve Folk (1984); Altunel ve Hancock (1993a, 1993b), tarafından travertenlerin oluşum ortamlarını, morfolojik özelliklerini anlama üzerine olmuştur. Altunel ve Hancock (1993b) Pamukkale travertenlerinde yaptıkları çalışmada, morfolojik sınıflamaya fay önü, kanal tipi ve sırt tipi traverten olarak 3 yeni traverten yapısını da bilim camiasına kazandırmıştır. Daha sonraki çalışmalar, Altunel (1996) tarafından Denizli (Pamukkale) travertenlerinin oluşum yaşının, morfolojik özelliklerinin, neotektonizmanın bu karbonatlar üzerindeki etkisinin incelendiği araştırmalar olarak devam etmiştir. Pentecost vd. (1997)'de bu traverteninin oluşumunda mikroorganizmaların etkisi üzerinde durmuşlar ve alglerden Cyanobakteriler, Cholorophsialar ve diyatomelerin etkili olduğunu belirlemiştir.

Traverten çökelleriyle ilgili olarak, birçok araştırmacının yaptığı çok önemli çalışmalar mevcuttur (Andrews vd., 1997, 2000; Guo ve Riding, 1998; Hancock vd., 1999; Vermoere vd., 1999; Özkul vd., 2002; Garnett vd., 2004; Lojen vd., 2004; Pentecost, 2005; Koşun vd., 2005; Uysal vd., 2007; 2009; Brogi ve Capezzuoli, 2009; Guo ve Chafetz, 2014; Gandin ve Capezzuoli, 2014; Özkul vd., 2014; Toker vd., 2015). Bu tip çalışmalar, özellikle son yıllarda önemi daha da artan Kuvaterner yaşlı karasal karbonatların oluşum süreçlerini anlamak, depolanma modelini ortaya çıkarmak, tektonizma ile ilgili ilişkilerini belirlemek ve çökeltme sırasındaki geçmişte yaşanan iklimsel salınımları yakalayıp, gelecekteki iklim değişimleri hakkında fikir sahibi olmayı hedeflemektedir.

Kuvaterner yaşlı karasal karbonat çökelleri açısından oldukça zengin olan ülkemizde yapılacak olan her çalışma büyük önem arz etmektedir. Ancak, ülkemizde bu çökeller hakkında yeterli kadar veri henüz istenilen düzeyde bulunmamaktadır.

Bu çalışma, Batı Anadolu'da belirgin olarak gözlenen komşu iki graben havzasında (Denizli ve Acıgöl) yer alan, benzer depolanma sistemleri içinde gelişmiş iki traverten çökellerinin (Gürlek-Kocabaş ve Örtülü travertenleri) karşılaştırmalı ön bulgularını içermektedir. Bu amaçla, Özkul vd. (2013) ve Toker vd. (2015) tarafından Kocabaş ve çevresinde yapılan ayrıntılı çalışmalar ile Toker (2017) tarafından Acıgöl Grabeni'nin

kuzeyindeki Sarıkavak tufalarının verileri, bu çalışmada incelenen Örtülü travertenleri ile birlikte değerlendirilmeye çalışılmıştır. Acıgöl Grabeni'nin kuzeyinde, Örtülü Köyü ve çevresinde yüzlek veren Örtülü travertenlerinin fasiyes ve fasiyes ilişkilerinin yer aldığı sedimantolojik incelemeler sonucu elde edilen ilk radyometrik yaşlar, izotop sonuçları ve palinolojik veriler, bu çalışmada sunulmuştur. Böylece Acıgöl Grabeni kuzeyinde belirgin olarak gözlenen traverten ve tufa çökelleri bir bütün olarak değerlendirilmiş ve Denizli Grabeni'nin güneydoğusunda gözlenen bir diğer önemli traverten çökeli (Gürlek-Kocabaş travertenleri) ile karşılaştırılarak bölgedeki karasal karbonatların gelişimine ışık tutulmaya çalışılmıştır. Buna ek olarak, Acıgöl Grabeni kuzeyindeki bu karasal karbonatlardan elde edilen çökelim yaşlarıyla bölgede yapılacak ileriki çalışmalara önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

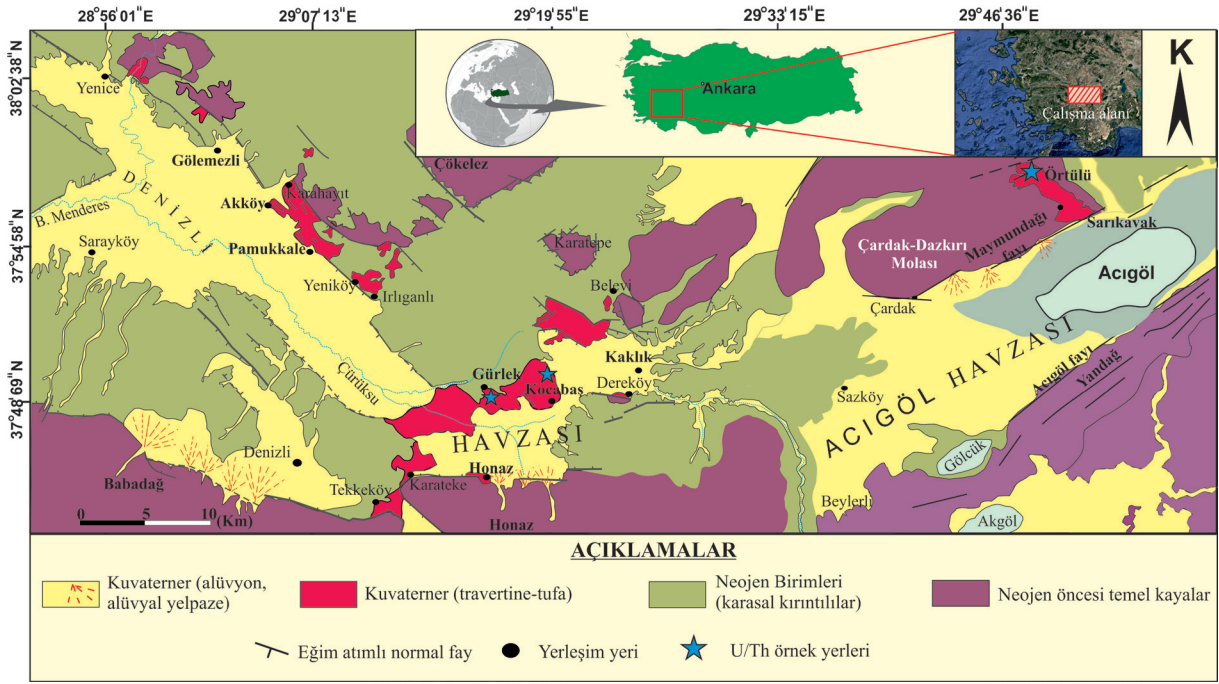
BÖLGESEL JEOLJİ

Denizli Havzası'nın Stratigrafisi

Denizli Havzası, Batı Anadolu'daki açılma rejimi sonucu oluşmuş, kuzey ve güney kenarları normal faylarla sınırlandırılmış KB-GD uzanımlı bir grabendir (Koçyiğit, 2005; Westaway vd., 2005; Kaymakçı, 2006; Şekil 1). Bu havza, kuzeyde Pamukkale fayı, güneyde Babadağ fayı ile sınırlandırılan 50 km uzunluğunda ve 15-20 km genişliğinde Neojen ve Kuvaterner yaşlı karasal çökeller tarafından doldurulmuş bir graben havzasıdır. Kendini sınırlayan faylar sayesinde, dünyaca ünlü Pamukkale travertenlerini ve bununla birlikte birçok hidrotermal kaynaklarını da içinde barındırmaktadır (Altunel ve Hancock, 1993a; Çakır, 1999; Şimşek vd., 2000; Özkul vd., 2002; Alçıçek vd., 2007; Kele vd., 2011; De Flippis vd., 2012; Özkul vd., 2013; Van Noten

vd., 2013). Denizli havzası, Üst Miyosen'de yarı graben olarak oluşmaya başlamış ve geçişli olarak alüvyal, fluviyal ve Pleyistosen (Gelasiyan) döneminde sığ göl (lacustrine) ortamına doğru bir gelişim göstermiştir (Westaway, 1993; Alçıçek vd., 2007). Temel kayalar, sadece grabenin üst kısımlarında gözlenmekte ve (Özkul vd., 2002; 2013) egemen olarak Menderes Masifine ait şist ve mermerlerden oluşmaktadır (Bozkurt ve Oberhansli, 2001; Erdoğan ve Güngör, 2004). Bu birimler, Likya naplarına ait alloktan Mesozoyik kireçtaşları, dolomit ve jipsler, tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir (Okay, 1989; Sözbilir, 1997, 2005; Gündoğan vd., 2008). Erken-Orta Miyosen'de Kızılburun Formasyonu, uyumsuz olarak Neojen öncesi birimlerin üzerine gelmekte ve bu formasyonun üzerine Orta Miyosen yaşlı Sazak Formasyonu ve Geç Miyosen-Geç Pliyosen yaşlı Kolonkaya Formasyonu, Denizli Grubu'nun içinde çökelmişlerdir (Sun, 1990) (Şekil 2). Asartepe Formasyonu, uyumsuz olarak Denizli Grubu'nun üzerine gelmekte ve egemen olarak traverten ve alüvyon çökellerinden oluşmaktadır (Şekil 2). Yapılan ayrıntılı sedimantolojik çalışmalarda, Denizli Grabeni'nin Erken Miyosen'de yarı graben olarak oluştuğu ve Kuvaterner döneminde asimetric graben olarak geliştiği vurgulanmıştır (Alçıçek vd., 2007).

Traverten çökeli, lokal fluviyal teraslarda havza içerisine doğru gençleşerek ilerlemekte (Koçyiğit 2005; Kaymakçı, 2006; Kazancı vd., 2012) ve Neojen havza dolgularının üzerini kaplamaktadır. Kuvaterner yaşlı faylar ve graben kenarları boyunca karbonat kayalar içerisinde oluşan çatlak sırtları (fissure ridge), meteorik suların izlediği yollar olmuş ve yüzeye doğru hidrotermal akış olarak yükselmiştir (Altunel ve Hancock, 1993a,b; Minissale vd., 2002; Dilsiz, 2006; Brogi ve Capezzuoli, 2009; Özkul vd., 2013).



Şekil 1. Denizli ve Acıgöl Havzalarının basitleştirilmiş jeolojisi haritası ve karasal karbonat çökeltilerinin (travertine-tufa) dağılımı (Sun, 1990).

Figure 1. The simplified geological map of Denizli and Acıgöl Basins and distribution of terrestrial carbonates (travertine-tufa) (after Sun, 1990).

Acıgöl Havzası'nın Stratigrafisi

Acıgöl Havzası, Denizli'nin yaklaşık 50 km kuzeydoğusunda bulunan, güneye doğru derinleşen KD-GB uzanımlı, asimetrik bir grabendir (Şekil 1). Graben, Batı Anadolu'da Neotektonik dönem boyunca etkin olan açılma rejimi sonucu oluşmuş, KD-GB gidişli normal faylarla sınırlandırılmış ve yaklaşık 30 km uzunluğunda, 10 km genişliğinde bir çöküntü havzasıdır (Göktaş vd., 1989; Şenel, 1997; Konak ve Şenel, 2002). Grabeni, kuzeyinde Maymundağı fayı ve güneyinde ise Acıgöl fayı olarak adlandırılan normal faylar sınırlandırmaktadır (Göktaş vd., 1989; Şenel, 1997; Toker 2009; Toker vd., 2012; Toker 2017). Bu ana tektonik yapılar, havza içinde NaSO_4 'ca zengin playa tipi bir gölün (Acıgöl) oluşmasına neden olmuşlardır. Mg-HCO_3 ve Na-SO_4 'ca zengin yeraltı suları ve kaynak sularından beslenen göl, mevsimsel evaporasyona bağlı Na-Cl-SO_4

gibi sülfat çökeltilerini biriktirmektedir (Mutlu vd., 1999). Acıgöl grabeninin temelinde Likya naplarına ait Mesozoyik yaşlı karbonat kayaları ile ultramafik kayalar bulunmaktadır (Göktaş vd., 1989; Şenel, 1997; Konak ve Şenel, 2002). Likya naplarına ait bu temel kayalar Oligosen dönemindeki yükselme ve bölgedeki gözlenen genel bir karasallaşmadan dolayı, aşınarak molas tipi karasal kaba kırıntılıların gelişmesine neden olmuşlardır (Koçyiğit, 1984, 2005; Göktaş vd., 1989; Sözbilir, 2005; Toker, 2009; Toker vd., 2012). Bu molas tipi karasal konglomeratik birim, Üst Miyosen-Pliyosen tortulları tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir (Şekil 2). Göktaş vd., (1989) tarafından Kızılören Formasyonu ve Akarca Formasyonu olarak adlandırılan bu Neojen yaşlı birimler, Hasandede Grubu altında incelenmiştir (Şekil 2). Daha sonraki çalışmalarda, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı

konglomera, çamurtaşı-kumtaşı, killi kireçtaşı-marn gibi gösel çökellerden oluşan bu birim, Şenel (1997) tarafından Çameli Formasyonu olarak isimlendirilmiş ve bu formasyon, Kızılören üyesi, çamurtaşı-marn üyesi ve kireçtaşı üyesi olarak ayrılmıştır (Şekil 2).

MATERYAL VE YÖNTEM

İnceleme alanı olarak seçilen Gürlek-Kocabaş travertenleri 2012-2014 yılları arasında ayrıntılı olarak çalışılmış (Toker vd., 2015), paleoortamsal ve paleoklimsel gelişimini ortaya koymak

Sistem	Seri	Kat	DENİZLİ	ACIĞÖL			
	(My)		Sun, 1990; (Alçıçek vd.,2007)	(Göktaş vd., 1989)	(Şenel, 1997)	(Bu çalışmada)	
KUVATERNER	0.01	Holosen	Alüvyon Traverten	Alüvyon	Alüvyon yelpazesi, alüvyon	Alüvyon yelpazesi	
		Tarantiyen	Asartepe Fm.			Traverten	
		lyonyen					Tüfa
		Kalabriyen					
NEOJEN	2.58	Geç	DENİZLİ GRUBU	Akarca Fm.	Kireçtaşı Üyesi	Çamurtaşı-marn, killi kireçtaşı Üyesi	
		Erken					Kolonkaya Fm.
	Geç	Zankliyen		Kızılören Fm.	Kızılören Üyesi	Çameli Formasyonu	
	Erken						Mesiniyen
	Geç	Tortoniyen		Sazak Fm.			
	Orta				Serravaliyen	Kızılburun Fm.	
	Orta	Langiyen					
	Erken			Burdigaliyen	Kızılören Üyesi		
	Erken	Akitaniyen					
	Neojen öncesi temel kayalar						

Şekil 2. Denizli ve Acıgöl Havzalarının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesitleri (Göktaş vd., 1989; Şenel, 1997; Alçıçek vd., 2007 çalışmalarından faydalanılmıştır).

Figure 2. Generalized stratigraphic columnar sections of Denizli and Acıgöl Basins (after from Göktaş et al., 1989; Şenel, 1997; Alçıçek et al., 2007)

Kuvaterner yaşlı karasal karbonatlar (traverten ve tufa), bu Üst Miyosen- Pliyosen yaşlı birimlerin üzerine uyumsuz olarak örtmekte ve grabenin kuzey sınırını oluşturan Maymundağı fayı bu genç karbonat çökellerin de sınırını oluşturmaktadır (Toker, 2009; Toker, 2017). Havzanın en genç birimlerini, alüvyon yelpazeleri ve alüvyon çökelleri oluşturmaktadır.

amacıyla çeşitli analizler için örneklemeler yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları, bu çalışmada Örtülü traverten çökelleri ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu amaçla, Örtülü traverten çökelinin kalınlığının belirlenmesi ve düşey yöndeki fasiyes değişimlerinin ayrıntılı olarak izlenebilmesi için terkedilmiş Örtülü traverten ocağı ve çevresinden toplam yaklaşık

10'ar metrelik sondajlar yapılmıştır. Sondaj logundan sistematik olarak alınan örnekler, çeşitli analizler için hazır hale getirilmiştir. Ayrıca, Örtülü traverten ocağından sahada taşınabilir el karotiyeri yardımıyla yaklaşık 1» (2.54cm) çapında silindirik numuneler alınarak ince kesit analizleri yapılmıştır. Toplam 75 traverten örneği, duraylı izotop, yaşlandırma ve polen analizleri için derlenmiştir. U/Th radyometrik yaş analizi için özellikle sıkı tutturulmuş, açık renkli, kırıntı içeriğine sahip olmayan, kompakt traverten seviyelerinden örneklemeler yapılmıştır. Polen analizi için hem karbonatlı hem de paleosol seviyelerinden sistematik olarak örnekler derlenmiştir. Karotlu sondaj, Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde, ince kesit analizleri, Pamukkale Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ince kesit laboratuvarında, duraylı izotop verileri, Arizona Üniversitesi (Amerika) izotop Jeokimya laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Yaşlandırma analizi olarak U/Th radyometrik yöntemi kullanılmış ve analizler, Geotop Quebec (Kanada), yaşlandırma laboratuvarında yapılmıştır. Palinolojik çalışmaların bir kısmı Floransa Üniversitesi, Yerbilimleri Bölümü, Palinoloji laboratuvarında yapılırken, bir kısmı da Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir.

Traverten çökellerinin litotip tanımlamaları, Guo & Riding (1998) çalışması temel alınarak yapılmıştır. Travertenlerin çökeltme sistemlerinin tanımlanmasında Guo&Riding (1998) ve Pedley (1996) çalışmalarından yararlanılmıştır. Kırıntılı birimlerin tanımlanmasında Mial (1977) fasiyes çalışmalarından faydalanılmıştır.

Gürlek-Kocabaş Traverten Çökelleri

Gürlek-Kocabaş travertenleri, Denizli Graben Havzası'nın güneydoğu kenarında, Denizli iline bağlı Gürlek ve Kocabaş yerleşim yerlerinde belirgin olarak gözlenmektedir. (Şekil 1). Traverten çökellerinin kalınlığı yaklaşık 40 m

olup, ~33.7 km²'lik yüzölçümüne ve tahmini 1 km³'lük bir hacme sahiptir (Özkul vd., 2103). Bu travertenlerin güneyinde Honaz traverten ve tufaları, kuzeyinde ise yaklaşık 30 traverten işletmesinin bulunduğu en geniş ve kalın Kaklık-Ballık traverten çökelleri bulunmaktadır (Şekil 1). Gürlek bölgesinde, başlıca laminalı (laminated), gaz baloncuklu (coated-gas bubble), kamış (reeds), ince zarflı yapılar (paper-thin raft), havza-içi (intraclasts) ve havza-dışı taneler (extra-clast) belirgin litotiplerdir (Toker vd., 2015). Paleosol seviyeleri, maksimum 60 cm kalınlığında ve traverten çökelinin durakladığı dönemlerde depolanmışlardır. Kocabaş mevkisindeki traverten çökelleri, aktif olmayan çatlak sırtlarında gelişen yaklaşık 16 m kalınlığa sahip düşey yönde bantlı travertenlerdir (Altunel ve Karabacak, 2005; Özkul vd., 2013). Bu travertenlerde yapılan U/Th ve termolimünesans yaşlandırma tekniklerine göre, 90 bin yıl ile > 400 bin yıl arasında bir çökeltim yaşı verirken (Özkul vd., 2004; Altunel ve Karabacak, 2005; De Flippis vd., 2012; Özkul vd., 2013; Çizelge 1). Gürlek bölgesindeki travertenlerin U/Th analiz sonuçları 85 bin yıl ile 231 bin yıl arasında yaş vermiştir (Özkul vd., 2013; Toker vd., 2015; Çizelge 2) (Şekil 3). Gürlek travertenlerinde $\delta^{13}\text{C}$ izotop değerleri, ‰1,4 ile ‰2,6 (V-PDB) arasında iken $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ‰ -10,5 ile ‰ -6,4 (V-PDB) arasındadır (Toker vd., 2015). Traverten litotipleri, bataklık-havuz (marsh-pool) ve havuz düzlüğü (flat-pool) fasiyeslerini karakterize etmektedir (Toker vd., 2015). Bu travertenler, sığ-havuz veya çöküntü çökeltme sistemi içinde depolanmışlardır. Gastropod ve yengeç kalıntıları oldukça belirgin olarak gözlenmektedir (Şekil 3). Palinolojik çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre, karbonatlar içerisinde çok az polen verilerine rastlanırken, paleosol seviyeleri çok zengin palinomorflar içermektedir (Toker vd., 2015) (Şekil 4). Elde edilen bazı palinomorflar başlıca, *Quercus*, *Castanea*, *Compositae-Tubuliflorea*, *Centaurea* (Compositae), *Poaceae*, çeşitli *Tricolporat* polenler, fungal spor ve Zooplanktonlar'dır (Şekil 4).



Şekil 3. Gürlek-Kocabaş traverten ocağının panoramik görünümü (bakış yönü KB) (Toker vd., 2015). Traverten aynalarının yakından görünümü (orta) ve durgun havuz ortamını karakterize eden gastropod kavkıları (detay görüntüleri en altta), yanegeç parçaları ve ayrıca fosilleşmiş bitki sap ve yaprakları.

Figure 3. The panoramic view of Gürlek-Kocabaş travertine quarry (direction of view from NW) (from Toker et al., 2015). The close to travertine benches (middle) and gastropods (details showed at bottom), crap fragments and fossilized plant root and leaf imprints.

Çizelge 1. Gürlek-Kocabaş ve Örtülü travertenlerinin fasiyes tipleri ve depolanma ortamları**Table 1.** The facies types and depositional systems of the Gürlek-Kocabaş and the Örtülü travertine deposits

	Gürlek-Kocabaş Travertenleri (Denizli Havzası) (Özkul vd., 2013; Toker vd., 2015)	Örtülü Travertenleri (Acıgöl Havzası) (<u>Bu çalışmada</u>)
Litotip	Laminalı, gaz kabarcıkları, Çalılar (reeds), İnce zarflar (paper-thin rafts), Havza-içi ve Havza-dışı taneler	Laminalı, Çalı (shrub), ince zarflar, kristalin kabuk, pizoid, havza-içi ve havza- dışı taneler
Fasiyes	Bataklık-havuz (marsh-pool) havuz düzlüğü (flat-pool)	Teraslı yamaç fasiyesi (Terrace slope) Hafif yamaç fasiyesi (Smooth slope) Havuz düzlüğü (Flat-pool), bataklık-havuz (marsh- pool), çalı düzlüğü (shrub-flat)
Kalınlık (m)	~40 m	~20 m
Yanal devamlılık	Yüzlerce metre	Birkaç yüz metre
Erozyonal yüzey	Eski toprak (paleosol) karstik boşluklar	Eski toprak (paleosol) Karstik boşluklar, mikro-dikitler Erime-çözünme boşlukları
Yaş (U/Th)	>231- 85 bin yıl (Gürlek)	~500- 308 bin yıl
Fauna	Gastropodlar, Yengeç kalıntıları	Ostracodlar, algler
Flora	<u>Arboreal plants:</u> Pinaceae (<i>Pinus</i> and <i>Abies</i>) <u>Non-arboreal plants</u> <u>Grassland species</u> Asteraceae–Asteroideae Asteraceae–Cichorioideae Poaceae	<i>Pinus</i> <i>Quercus illex</i> <i>Artemisia</i> Poaceae
Tektonik yapılar	-D-B uzanımlı Honaz fayı, -KB-gidişli günümüzde aktif olmayan çatlak sirtları,	-KD-GB uzanımlı Acıgöl Grabeninin kuzey sınırı Maymundağı Fayı -Maymundağı Fayı'na paralel gelişen sentetik faylar
Depolanma Ortamı	Çöküntü depolanma sistemi içinde durgun/düşük enerjili sığ göl ortamı	-Çöküntü Depolanma Sistemi (durgun/düşük enerji) -Yamaç Depolanma Sistemi (çalkantılı/ eğimli, enerji yüksek)

Örtülü Traverten Çökelleri

Örtülü travertenleri, Acıgöl Graben'inin yaklaşık 5 km kuzeyinde yer alan Afyon iline bağlı Örtülü Köyü civarında 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 1). Terkedilmiş traverten ocağı içinde yapılan sondajda, Örtülü traverten çökellerinin kalınlığının toplam 20 m civarında olduğu, bu traverten çökellerinin Oligosen yaşlı konglomeratik istifin üzerinde depolandığı görülmüştür. Travertenler, laminalı (laminated), kristalin kabuk (crystalline crust), çalı (shrub), kamış (reeds), ince zarflı

yapılar (paper-thin raft), pizolit, havza-içi taneler (intraclasts) ve havza-dışı taneler (extraclasts) gibi belirgin litotiplerden oluşmaktadır (Şekil 5). Örtülü travertenlerinde görülen sıkı ve beyaz renkli kristalin kabuk litotipi, suyun akış yönü boyunca mikro boyutta teras yapıları oluşturmaktadır (Şekil 5D). Paleosol seviyeleri oldukça belirgin ve karstik boşluklar da oldukça yaygındır. Karstik boşlukların içerisinde mikro boyutta dikitler (stalagmite) gelişmiştir (Şekil 5E). Konglomera, kumtaşı, silttaşı gibi kiremit kırmızı rengindeki kırıntılı birim, traverten çökellerinin altında tipik moloz akması şeklinde gözlenmektedir (Şekil 6B). Havza-dışı taneler, ortalama 12 cm, maksimum 20cm çapında, egemen olarak Oligosen konglomeralarına ait kireçtaşı, harzburjit, dünit gibi çakıllardan oluşmaktadır (Şekil 6B). Litotipler, hafif yamaç (smooth slope), teraslı yamaç (terrace slope), havuz düzlüğü (Flat-pool), sığ, otsul havuz (marsh- pool), çalı düzlüğü (shrub-flat) fasiyeslerini karakterize etmektedir. Bu fasiyeslerin, yanıl ve düşey yönde devamlılığı ve birbirleriyle olan ilişkileri incelendiğinde, Örtülü travertenlerinin yamaç (slope) ve çöküntü (depressional) depolanma sistemleri içerisinde oluştuğu görülmüştür (Şekil 5). U/Th verileri, Örtülü travertenlerinin yaklaşık 500 bin yıl önce çökelmeye başladığı ve

308 bin yıl önce traverten çökeliiminin tamamen durmuş olduğunu göstermiştir (Çizelge 3; Şekil 5A, G). Önceki çalışmalarda, Sarıkavak tufa çökellerinin üst seviyelerinden elde edilen U/Th yaş verileri, 80 bin yıl yaşı vermiştir (Toker 2017). Örtülü travertenlerinden elde edilen duraylı izotop verilerine göre $\delta^{13}\text{C}$ izotop değerleri; ‰-1,54 ile ‰1,5 (V-PDB) arasında ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri; ‰-10,78 ile ‰-9,76 (V-PDB) arasında değişmektedir. Örtülü traverten ocağından alınan tupa örneklerinden elde edilen ince kesit çalışmalarında, gastropodlar az da olsa bulunurken, mikrit çamuru içinde Ostrakod kavkuları ve algelere yaygın olarak rastlanılmaktadır (Şekil 6A, C ve D). Palinolojik çalışmalar, paleosol seviyelerinin daha zengin olduğunu göstermektedir. Bu seviyelere ait örneklerde çeşitli otsul formlar (Poaceae, Asteraceae-tubuliflorea, Asteraceae, *Artemisia*, Asteraceae-Cichorioideae-ligulifloreae tip, Polygonaceae; *Polygonum persicaria*, Geraniaceae, Chenopodiaceae) bulunmuştur (Şekil 7). Ayrıca, travertenlerden elde edilen polen verilerine göre gymnosperm polenlerden Pinaceae ailesine ait bitkileri (örn. *Pinus*, *Cedrus*), ve angiosperm polenlerin (örn. *Quercus*, *Castanea*) varlığı ve zaman zaman bolluğu belirlenmiştir (Şekil 7).

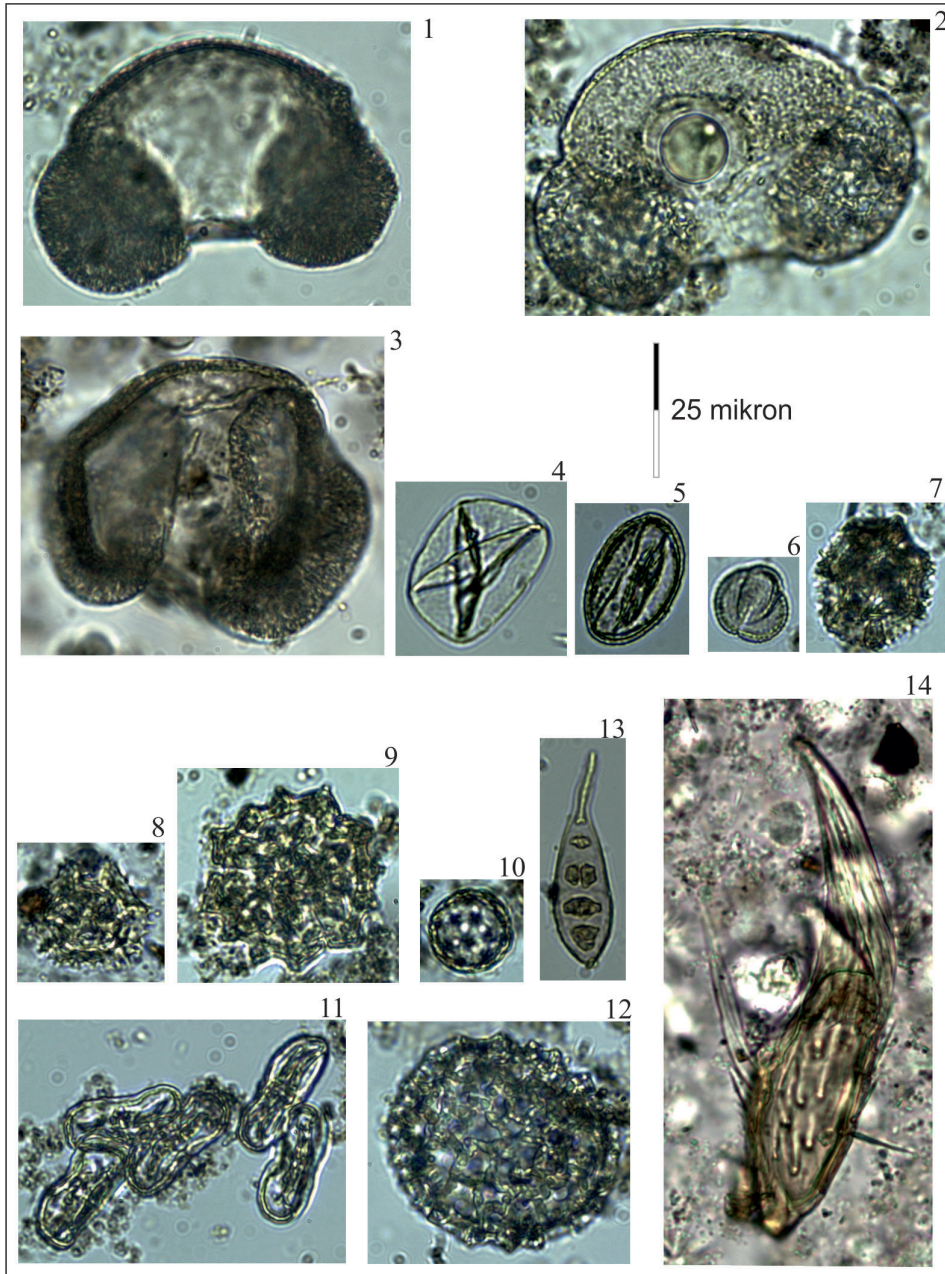
Çizelge 2. Gürlek-Kocabaş travertenlerinden elde edilen U/Th radyometrik yaş analiz sonuçları**Table 2.** U/Th dating results obtained from the Gürlek-Kocabaş travertines

Örnek No (Toker vd., 2015)	²³⁸ U (ppm)	²³² Th (ppm)	²³⁴ U/ ²³⁸ U	²³⁰ Th/ ²³⁴ U	²³⁰ Th/ ²³² Th	Yaş (bin yıl)
S1-10K	0.3533	0.0045	1.2145±0.008	0.6281±0.004	184.559±1.16	103.778±1.4
S1-1K	0.1372	0.0037	1.2148±0.007	0.8168±0.007	113.821±1.09	169.335±3.8
S2-10K	0.3132	0.0877	1.2119±0.007	0.6578±0.006	8.6968±0.09	104.000±3.9
S2-1K	0.0723	0.0169	1.2120±0.008	0.8522±0.009	13.5088±0.1	181.267±7.7
S3-14K	0.1920	0.0100	1.393±0.01	0.6929±0.01	54.2065±0.5	118.3170±3
S3-12K (b)	0.2157	0.0026	1.2184±0.03	0.7058±0.01	217.4143±4	125.9506±3
S4-39K	0.3764	0.2103	1.4626±0.01	0.6097±0.009	4.8774±0.08	85.512±5.8
S4-41K	0.3450	0.0058	1.2473±0.009	0.6440±0.008	7.3117±0.1	99.865±4.5
S4-38K	0.4051	0.1835	1.2585±0.007	0.6764±0.008	5.7433±0.08	106.217±5.9
S4-32K	0.1282	0.0294	1.2400±0.01	0.7377±0.01	12.1999±0.2	131.493±4.8
S4-15K	0.1109	0.0182	1.2263±0.009	0.7474±0.01	17,0234±0.2	139,9060±4
Örnek No (Özkul vd., 2013)	²³⁸ U (ppb)	²³² Th (ppt)	δ ²³⁴ U	²³⁰ Th/ ²³⁸ U	²³⁰ Th/ ²³² Th	Yaş (bin yıl)
GRL-1	84.17± 0.60	124,905± 14	246 ±10	1.196 ±0.030	13.31 ± 0.35	231,517 ± 26,6
GRL-2b	184.3 ± 1.1	144,009± 17	275.9 ± 8.5	0.921 ± 0.021	19.47 ± 0.49	114,341 ± 10,0
GRL-3	159.73± 0.93	27,375± 206	282.3 ± 8.7	0.933 ± 0.011	89.9 ± 1.2	128,779 ± 37
GRL-4b	205.7 ± 1.2	3993 ± 101	260.5 ± 9.3	0.8194 ± 0.006	697 ± 18	108,652 ± 19
KB-20	9.209± 0.071	3.3 ± 8.4	239 ± 14	0.714 ± 0.011	33,036 ± 84,54	90,463 ± 26
KB-21	10.560± 0.08	96.9 ± 6.2	152 ± 13	0.6821 ± 0.008	1228 ± 79	95,098 ± 26
KB-22	15.53 ± 0.16	666.1 ± 9.1	180 ± 18	0.894 ± 0.011	344.0 ± 5,4	144,908 ± 62

Çizelge 3. Örtülü travertenlerinden elde edilen U/Th radyometrik yaş analiz sonuçları**Table 3.** U/Th dating results obtained from the Örtülü travertines

Örnek No (bu çalışmada)	²³⁸ U (ppb)	²³² Th (ppb)	²³⁰ Th/ ²³⁸ U	²³⁰ Th/ ²³² Th	Yaş (bin yıl)
14SK-05	0.3528	0.6242	1.1897	2.0553	n.d.
14SK-08	0.2028	0.0166	1.1308	42.2275	308.878±9.20
SL-1/8	503,6639	567,6871	1,1425	3,0980	474,733±54
SL-1/5-1	390,7400	399,6334	1,1388	3,4031	436,642±34
SL-1/12	436,2328	532,7401	1,1345	2,8775	358,613±57

n.d. yaş verisi elde edilememiştir.



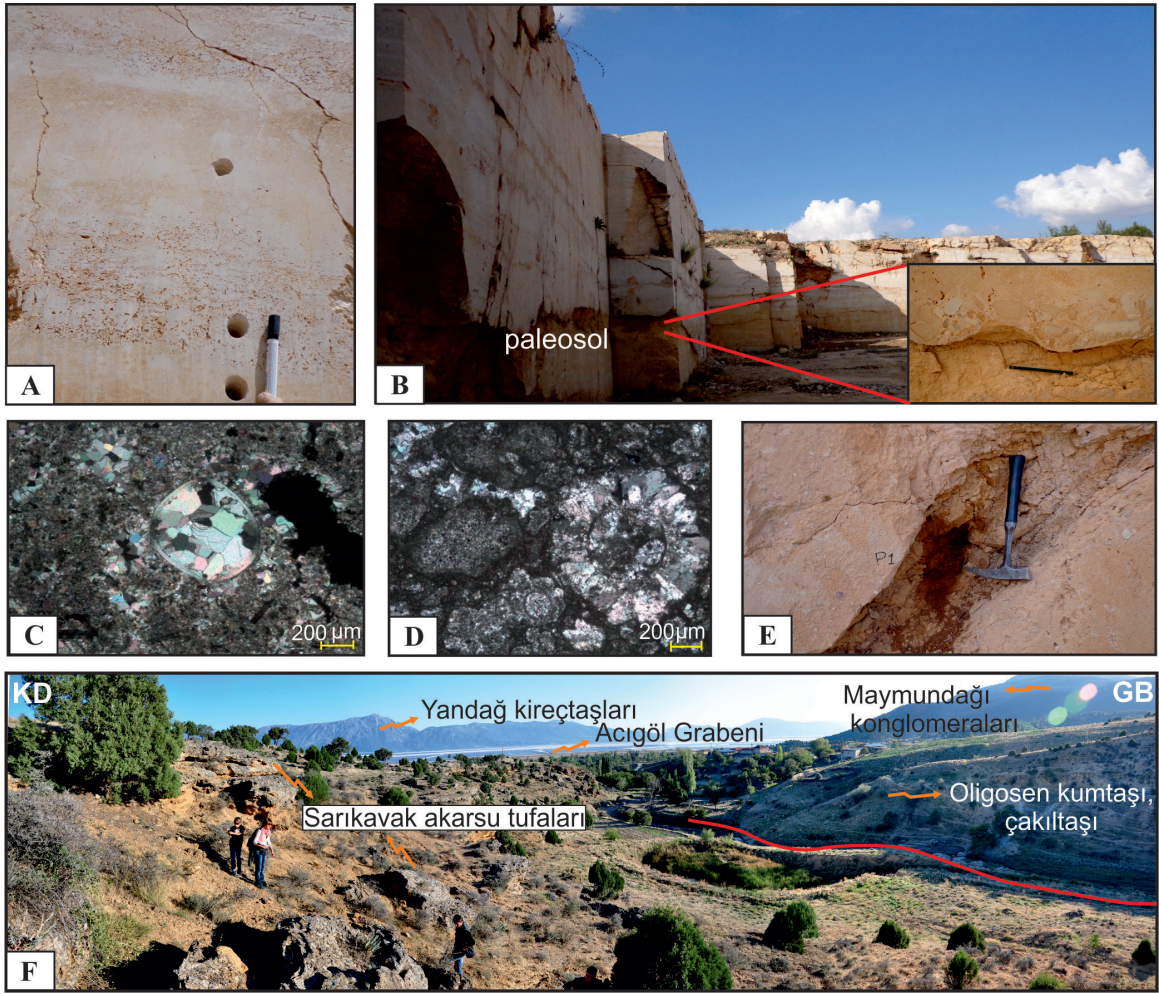
Şekil 4. Gürlek-Kocabaş travertenlerinden elde edilen palinomorflar. (1-3) Pinaceae (4) Poaceae; (5) *Quercus*; (6) Asteraceae, *Artemisia*; (7,8) Asteraceae-Cichorioideae-ligulifloreae tip (9) Asteraceae-tubuliflorea tip; (10) Chenopodiaceae; (11) Apiaceae; (12) Polygonaceae; *Polygonum persicaria* (13) Fungal spor; (14) Zooplankton;

Figure 4. The palynomorphs obtained from Gürlek-Kocabaş travertines. (1-3) Pinaceae; (4) Poaceae; (5) *Quercus*; (6) Asteraceae, *Artemisia*; (7,8) Asteraceae-Cichorioideae-ligulifloreae; (9) Asteraceae-tubuliflorea; (10) Chenopodiaceae; (11) Apiaceae; (12) Polygonaceae; *Polygonum persicaria*; (13) Fungal spor; (14) Zooplankton



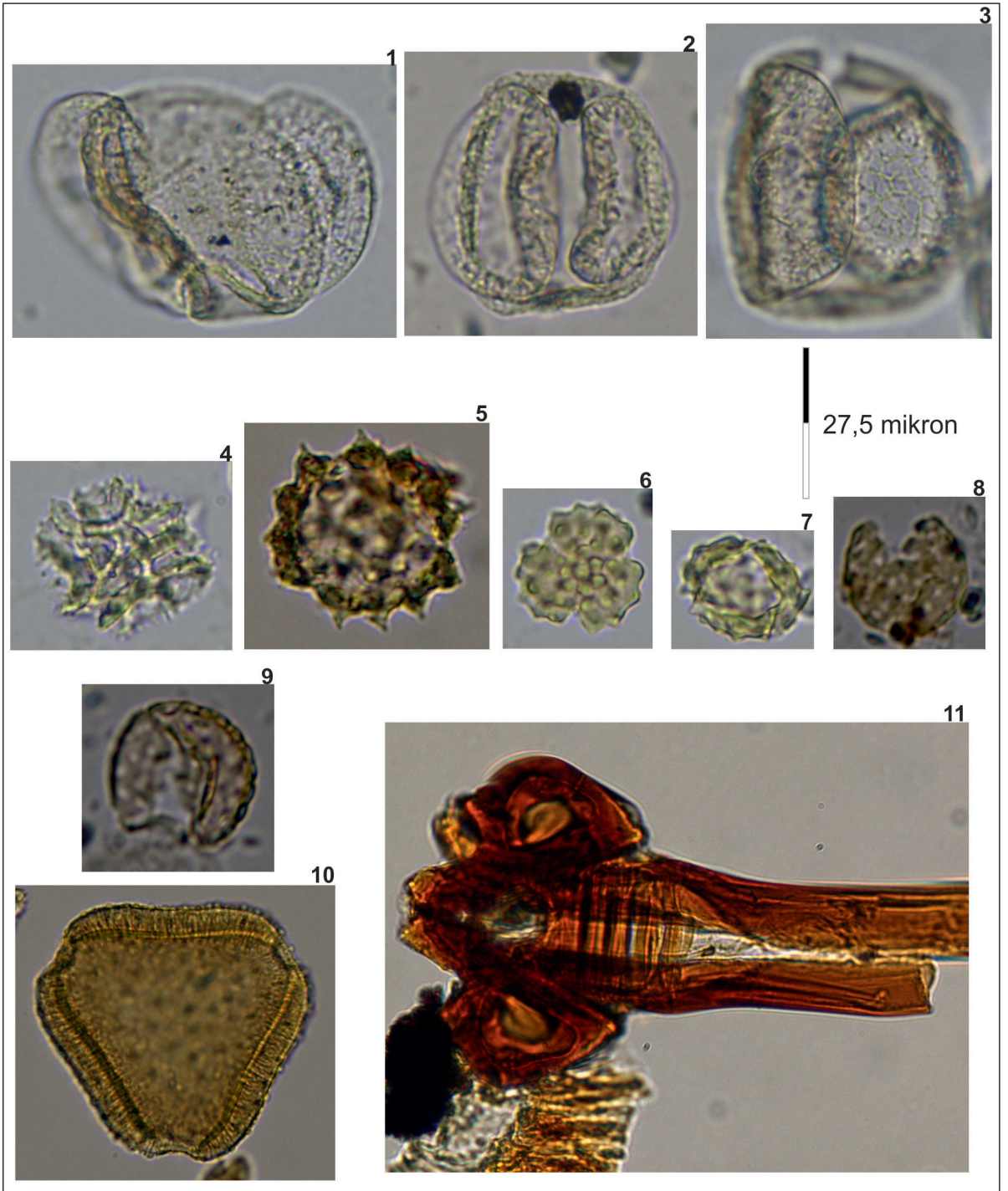
Şekil 5. (A) Çöküntü Depolanma (ÇDS) ve Yamaç Depolanma (YDS) sistemleri içinde çökelen Örtülü travertenlerinin arazideki görünümü, tavan seviyesinden alınan U/Th yaş verisi; (B) Paleosol seviyesinin üzerine kanal yapısı şeklinde kazınarak gelişen kamış litotipleri ve (C) karstik boşluklar sonucu oluşan (E) mikro dikitler (stalagmite); (D) hafif yamaç sisteminde oluşan teraslı kristal kabuk (crystalline crust) litotipi; (F) travertenlerin üst kısımlarında gözlenen erime, çözünme boşlukları; (G) terk edilmiş traverten sahası içinde alınan sondaj karotunun yakından görünümü ve sondaj logundan elde edilen yaş verisi.

Figure 5. (A) The panoramic view of the Örtülü travertines precipitated in Depression Depositional (DDS) and Slope Depositional (SDS) Systems; (B) Reed lithotypes occurred on palaeosol level scouring as channelized form and (C) micro-stalagmites; (E) observed in karstic solutions; (D) terraced crystalline crust lithotype formed in smooth slope system; (F) dissolution cavities observed in upper part of the travertines; (G) The closer view of drilling log from abandoned quarry and dating result obtained from drilling log.



Şekil 6. (A) Örtülü travertenlerine ait çalı tipi ve havza-içi taneli litotip seviyelerinden alınan tapa örnek noktaları; (B) Terkedilmiş traverten ocağının genel görünümü (güneybatıdan kuzeydoğuya bakış) ve aşındırmalı bir şekilde kırıntılı birimin üzerine gelen havza-dışı taneler (max.çakıl boyu 12cm); (C) ostracod kavkısı, eş boyutlu bloklı spar kalsitleriyle doldurulması (çift nikol); (D) (A)'deki çalı litotipini üzerleyen havza-içi taneli birimin ince kesit görüntüsü, iki farklı yeşil alg, spar- kalsit ile yeniden kristallenmiştir;(E) traverten çökellerini kırıntılı (kahverengi renkte) birimden belirgin bir şekilde ayıran paleosol seviyesi; (F) Acıgöl Grabeni'ne doğru Sarıkavak akarsu tufalarının arazi görünümü

Figure 6. (A) The plug sample points taken from shrub and lithoclast lithotypes of Örtülü travertines; (B) The panoramic view from SE of abandoned travertine quarry and extra-clastic pebbles (max.clast size is 12cm) overlain with erosive basement on detritals; (C) thin section image of ostracod shell filled by equidimensional spar calcite; (D) .thin section image from intra-clast lithotype which deposited on shrub lithotype showed in -A- and two different green algae are observed re-crystallized by spar-calcite; (E) Palaeosol level which significantly separated from detritals (brownish color) to travertine levels; (F) The field view of Sarıkavak fluvial tufas through to the Acıgöl Graben.



Şekil 7. Sarıkavak travertenlerinden elde edilen palinomorflar. (1-3) Pinaceae (4) Asteraceae-Cichorioideae-ligulifloreae tip; (5-7) Asteraceae-tubuliflorea tip; (8,9) Chenopodiaceae; (10) Geraniaceae; (11) Zooplankton

Figure 7. The palynomorphs obtained from Sarıkavak travertenlerinden. (1-3) Pinaceae (4) Asteraceae-Cichorioideae-ligulifloreae tip; (5-7) Asteraceae-tubuliflorea tip; (8,9) Chenopodiaceae; (10) Geraniaceae; (11) Zooplankton

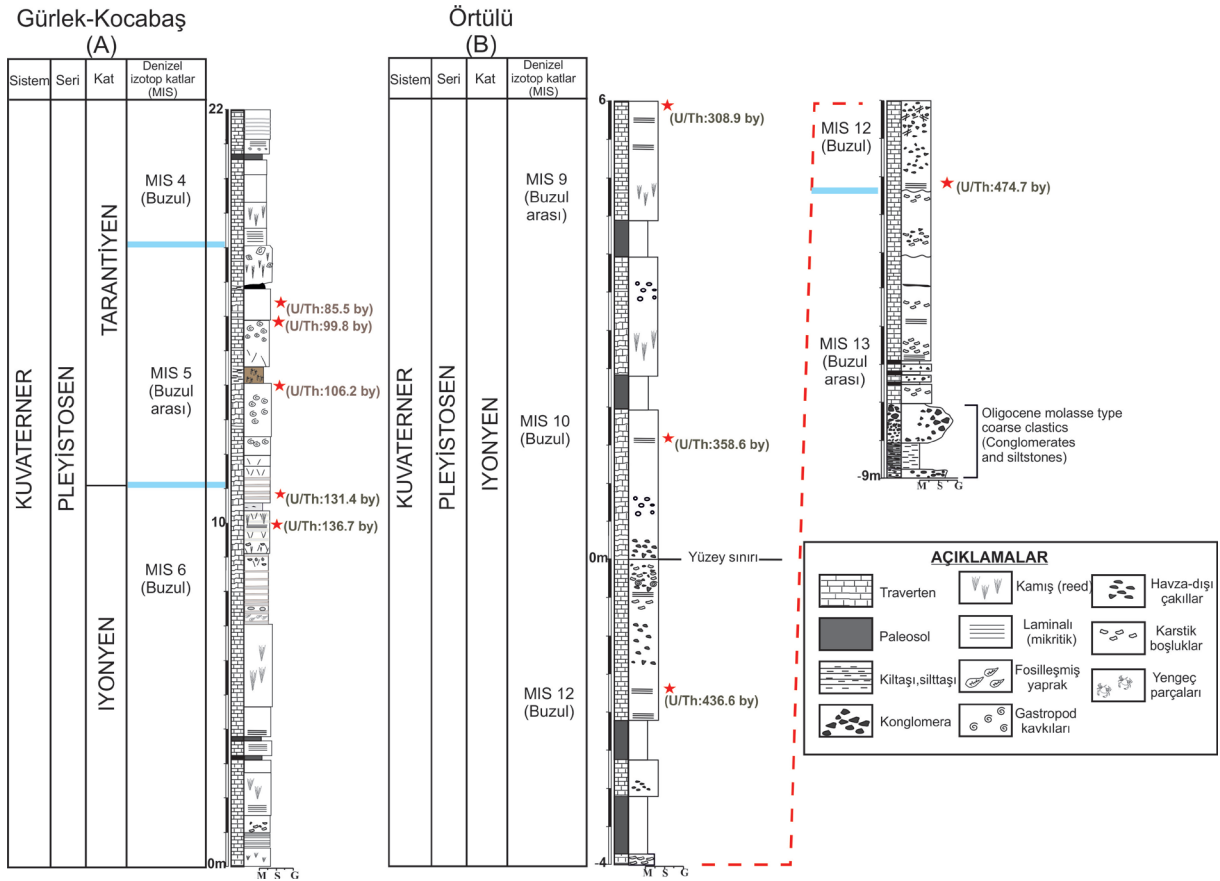
TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Denizli Havzası içerisinde bulunan Gürlek-Kocabaş travertenleri ile Acıgöl Havzasındaki Sarıkavak tufaları daha önceki çalışmalarda ayrıntılı olarak incelenmiştir (Özkul vd., 2013; Toker vd., 2015 ve Toker, 2017). Bu çalışmada, özellikle Örtülü travertenleri ile Gürlek-Kocabaş traverten çökelleriyle olan benzerlik ve farklılıklar, elde edilen ilk bulgularla ortaya konulmaya çalışılmıştır. İncelenen traverten çökelleri, Orta-Geç Pleyistosen döneminde, bölgedeki aktif tektonik hareketlenmeye bağlı olarak hidrotermal suların yüzeye çıkmalarıyla sığ göl veya havuz (pool) gibi çöküntü depolanma sistemleri içerisinde depolanmış olabileceğini, ilk veriler ışığında söylemek mümkündür. Traverten çökeli her zaman kesintisiz olarak devam etmemiş yer yer çeşitli nedenlerle (tektonizma, paleoklimsel salınımlar gibi) traverten çökeli duraksatmış ve paleosol seviyeleriyle birlikte yüksek düzeyde kırıntı girdilerinin ortamda birikmesine neden olmuştur.

Gürlek-Kocabaş travertenlerinde yatay laminalanma (mikritik traverten) belirgin olarak gözlenmekte ve maksimum kalınlığı 50 cm'yi geçmeyen birkaç paleosol seviyeleri dışında kesintisiz yüzlerce metre yanal devamlılık görülmektedir. Örtülü travertenleri ise, hem yatay laminalanma (mikritik traverten) ve hem de topoğrafya ile uyumlu bir şekilde hafif eğimli bir laminalanma sunmaktadır (Şekil 5). Güneye doğru eğimli laminalanmalarda gözlenen mikro teraslı, kristalin kabukların (crystalline crust) varlığı, suyun akış hızına bağlı olarak ani bir depolanmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Örtülü travertenlerinde çalı (shrub) litotipi oldukça belirgin olarak gözlenirken Gürlek-Kocabaş travertenlerinde çalı litotipine hiç rastlanılmamaktadır. Bu litotipinin varlığı, Örtülü travertenlerinin, çalkantılı suların oluşturduğu sığ bir havuz ortamında depolanmış olabileceğini düşündürmektedir. Örtülü travertenlerinde gözlenen bir diğer belirgin özellik, kahverengi,

kiremit kırmızısı renklerinde çakıl, silt, kil gibi kırıntılıların, bu çökme ortamını hızlı bir şekilde doldurmuş olmasıdır. Moloz akması gibi görünen bu tabaklanmasız istif, traverten çökeliiminin çeşitli nedenlerle durmasıyla birlikte çökme ortamına taşınarak havzayı neredeyse tamamen doldurmuştur. Paleosol seviyesi, moloz akması gibi görünen bu kırıntılı birim ile traverten çökelleri arasında yer almaktadır. Yaklaşık 30 cm kalınlığa sahip bu organik maddece zengin eski toprak, traverten çökeliiminin duraksadığı dönemde bu ortama çevreden taşınan çeşitli polenleri bünyesinde barındırmaktadır. Elde edilen ilk polen verilerine göre, genellikle otsul ve açık tohumlu bitkilere ait polenlerin varlığı (*Pinaceae*, *Cedrus*, *Artemisia*, *Quercus*) bölgede iklimsel salınımlar açısından da önemli veriler içermekte, *Artemisia* formunun varlığı, bu karasal karbonatların çökeliiminde, serin ve kurak iklim koşullarını işaret etmektedir.

Gürlek-Kocabaş travertenlerinin kesin olarak ne zaman çökelmeye başladığı netleşmemiş olsa da traverten ocağının taban ve tavan seviyelerinden alınan U/Th yaş verileri 231 bin yıl önce de çökeliimine devam etmiş olduğunu ve yaklaşık 85 bin yıl önce traverten çökeliiminin tamamen durmuş söylemek mümkündür (Özkul vd., 2013; Toker vd., 2015). Ancak Örtülü travertenleri, sondajlardan elde edilen yaş verilerine göre, ~500 bin yıl önce çökelmeye başlamış ve ~308 bin yıl önce traverten çökeliiminin durmuş olduğu elde edilen U/Th radyometrik yaş analizi sonucunda ortaya çıkmıştır (Şekil 8). Bununla birlikte, Örtülü travertenleri, Acıgöl Graben Havzasına doğru akarsu tufalarına (Sarıkavak tufa) geçmekte ve bu tufaların tavan seviyesinden elde edilen yaş verileri 80 bin yıl önce bu bölgede karasal karbonat çökeliiminin tamamen bitmiş olduğunu göstermektedir (Toker, 2017). Karşılaştırılması yapılan bu iki farklı traverten çökeline bakıldığında, hem buzul-arası ve hem de buzul dönemlerde çökeliimlerine devam ettikleri görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. Gürlek-Kocabaş (A) ve Örtülü (B) travertenlerinin araziden alınan ölçülü stratigrafik kolon kesitleri ve denizel izotop katlarının gösterilmesi

Figure 8. Measured stratigraphic columnar sections obtained from Gürlek-Kocabaş (A) and Örtülü (B) travertines and illustrated marine isotopic stages (MIS)

Bilindiği gibi farklı çökme sistemleri (slope, çatlak sırtı ve havuz) içerisinde gelişen travertenlerin duraylı izotop verilerinde de farklılıklar olmaktadır (Fouke, 2000). İncelenen traverten çökellerinde duraylı izotop verilerinde bazı farklılıklar bulunmuştur. Gürlek-Kocabaş travertenlerindeki $\delta^{13}\text{C}$ izotop değerlerinin, Örtülü travertenlerin değerlerinden biraz daha pozitif olması: 1) tektonik aktiviteye bağlı olarak hidrotermal suların dolaşımı ve hızlı CaCO_3 çökelişi; 2) C4 bitkilerinin fazlalığı; 3) Evaporasyon etkisi gibi nedenler sıralanabilir. Bu durumda, Örtülü travertenlerdeki az negatif değerler için, derin kökenli sularla taşınan CO_2 'in

yüzey sularıyla karışarak C izotop değerlerini düşürmesi olarak yorumlanabilir.

$\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri, incelenen iki traverten alanında da birbirlerine çok yakın değerler çıkmasına rağmen Gürlek-Kocabaş travertenlerinde biraz daha düşük negatif değerler dikkat çekmektedir. Düşük negatif $\delta^{18}\text{O}$ değerleri için, göl içerisindeki evaporasyonun varlığından bahsetmek mümkündür.

İncelenen traverten çökelleri, dünyanın çeşitli yerlerindeki traverten oluşumlarıyla benzerlikler göstermektedir. Özellikle tektonik hareketlenmenin yoğun olarak gözlemlendiği İtalya'nın merkez ve

güney bölgelerinde hidrotermal kaynaklar geniş bir alana yayılmaktadır (Craig, 1963; Guo ve Riding, 1998; Bertini vd., 2008; Facenna vd., 2008; Brogi ve Capezzuoli, 2009; Pedley, 2009; Capezzuoli vd., 2014). Toskana Bölgesindeki Rapolano Terme'deki travertenler, Geç Pleyistosen döneminde başlayıp günümüze kadar çökeline devam etmektedir (Guo ve Riding, 1998). İlk defa Rapolano Terme'deki travertenlerde rastlanan ve belirgin bir morfolojik özellik sunan çalı (shrub) litotipi, Örtülü travertenlerinde de belirgin olarak gözlenmiştir. Gürlek-Kocabaş ve Örtülü travertenleri gibi, Rapolano Terme'deki traverten çökellerini oluşturan suların kaynağını Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı kireçtaşları oluşturmaktadır (Guo ve Riding, 1998). Bagni di Tivoli 'deki travertenler de (Roma'nın 30 km doğusunda) morfolojik olarak güneye doğru eğimli bir çöküntü havzasında (yamaç ve çöküntü depolanma sistemi), Orta-Üst Pleyistosen döneminde çökelmişlerdir (Facenna vd., 2008).

Bu çalışmada, sedimantolojik, jeokimyasal, petrografik ve palinolojik analizler sonucu elde edilen ilk bulgular ile Gürlek-Kocabaş ve Örtülü travertenlerinin benzerlik ve farklılıkları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar, aşağıda maddeler haline verilmektedir.

- İncelenen Gürlek-Kocabaş travertenleri (Denizli Grabeni), su akış enerjisinin daha düşük, tektonizmanın yer yer etkili olduğu çöküntü depolanma sistemi içerisinde çökelirken, benzer tektonik hareketlenmelerden etkilenen Örtülü travertenleri (Acıgöl Grabeni) ise, çöküntü ve enerjinin zaman zaman yükseldiği, topoğrafyaya bağlı olarak eğimli bir laminalanma gösteren yamaç depolanma sistemleri içinde depolanmışlardır. Örtülü travertenlerinde sıkça gözlenen çalı (shrub) yapısı da sığ ve çalkantılı bir ortamı karakterize etmesi açısından oldukça önemli olup, mikro-teraslı, kristalin kabuk litotipinin görülmesi, Örtülü travertenlerinin yamaç

depolanma sisteminde çökelmiş olduğunun önemli bir göstergesidir.

- Çözünme-erime yapıları, küçük mağaracıklar ve içlerinde gelişen mikro-dikitler (stalagmite) Örtülü travertenlerinin, Gürlek-Kocabaş travertenlerine göre daha karstik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.
- U/Th yaş verilerine göre, Acıgöl Grabeni kuzeyinde yer alan karasal karbonat oluşumları Orta-Üst Pleyistosen döneminde oluşmuşlardır. Örtülü travertenlerine ait gerek sondaj ve gerekse yüzeyden alınan yaş verilerine göre, bu traverten çökelleri, MIS 13 (buzul arası) döneminde çökelmeye başlamış ve MIS 9 (buzul-arası) döneminde çökme durmuştur (Şekil 8). Ancak traverten oluşumu bitmesine rağmen Acıgöl Grabeni'ne doğru (güneye) akarsu tufa çökellerine (Sarıkavak) geçiş göstererek, MIS 5 (buzul-arası) dönemine kadar çökelim devam etmiştir. Bunun yanısıra Gürlek-Kocabaş travertenleri, MIS 6 (buzul) dönemde çökeline devam etmiş ve MIS 4 (buzul) döneminde traverten çökeli mi tamamen sonlanmış (Şekil 8).
- Palinolojik olarak iki traverten çökeline de paleosol seviyeleri çok zengin ancak karbonatlı seviyeler oldukça fakir çıkmıştır. Farklı zamanlara ait bu iki palinoflorada, ortamsal koşullarda farklılıklar izlenmiştir. Kocabaş travertenlerindeki paleosol döneminde çevrede yüksek palaeotopoğrafyalı alanların varlığına işaret eden gymnosperm polenlerin varlığı ve bolluğu izlenirken, Örtülü travertenlerinin oluşumu sırasında orta yükseltideki alanların varlığından söz etmek mümkündür. Ayrıca, Örtülü travertenlerinde, serin ve kurak iklim koşullarına işaret eden Artemisia formunun varlığı bu çalışmada gözlenmiştir. Bu bölgesel ölçekte palinofloral farklılıkların paleotopoğrafik ve/veya paleoklimsel koşulların değişimi ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmada yer alan Gürlek-Kocabaş travertenleri ile ilgili elde edilen veriler, 2010BSP005 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Örtülü travertenlerine ait veriler, devam eden TÜBİTAK 115Y493 no'lu proje kapsamında elde edilen bulguların bir kısmını içermektedir. Palinolojik verilerin tanımlanmasında ve polenlerin, paleoortam ve paleoklim değişimlerdeki rolü üzerinde yardımlarını esirgemeyen Adele Bertini'ye ve M. Sezgül Kayseri-Özer'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca makalenin gelişmesinde ve yayınlanmasında değerli görüş ve önerileriyle katkı sağlayan Hasan Sözbilir'e ve ismi verilmeyen diğer hakemlere teşekkürü bir borç bilirim.

EXTENDED SUMMARY

Denizli (NW-SE trending) and Acıgöl Basins (NE-SW trending) are crosscut grabens which developed during the Neotectonic extensional period of SW-Turkey. Denizli graben basin is spectacular place for terrestrial calcium carbonate deposits along the northern margin of the graben side. On the other hand, Acıgöl graben basin which is peculiar playa lake in the center of graben called Acıgöl lake and also several hydrothermal springs along the southern margin of the graben side.

Investigated areas are Gürlek-Kocabaş and Örtülü travertines located at the southeastern of the Denizli and northern side of the Acıgöl grabens, respectively. In this study, shallow lake travertine deposits located in Gürlek-Kocabaş (Denizli) and Örtülü (Afyon) settlements have been aimed at comparison with palaeoenvironmental development using by detailed field observation and several analysis such as stable isotope, U/Th radiometric dating, palynology and some petrographic analysis.

The Gürlek-Kocabaş travertines are extended hundered meters and approximately up to 60m thickness. The lithotypes are mainly composed

of laminated, gas bubbles, reeds, paper-thin raft, intra-clast and extra-clast breccias. These lithotypes characterize marsh-pool and flat-pool facies which deposited in shallow-lake or depression depositional system. On the other hand, the lateral extended of Örtülü travertine deposits is several hundered meters and the thickness is up to 20m. Moreover, the lithotypes differently from the Gürlek-Kocabaş travertines lithotypes, are represented by crystalline crust and shrubs. The lithotypes of these deposits indicate smooth slope and terraced slope facies formed in slope depositional system which is related to higher flowing energy. In addition, flat-pool and shrub-flat facies are also observed in Örtülü travertine deposits which formed turbulated shallow-lake or depression depositional system (Çizelge 1). Palaeosol levels are quite common detrital inputs between travertine accumulations. According to stable isotopic results, $\delta^{13}\text{C}$ stable isotopic values are between 1.4‰ and 2.6‰ (V-PDB) in Gürlek-Kocabaş and between -1.54 ‰ and 1.5‰ (V-PDB) in Örtülü travertines. $\delta^{18}\text{O}$ values show that Gürlek-Kocabaş and Örtülü travertines are quite close values; -10.5‰ ile -6.4 ‰ (V-PDB) in Gürlek-Kocabaş and -10.78 ‰ ile -9.76‰ (V-PDB) in Örtülü travertines.

Palynomorphs represented by gymnosperm and herbal angiosperm pollen are scarcely observed in the travertine samples, however these microfloral elements abundant in the palaeosol samples in the Örtülü travertine deposits. Palynoflora defined in the palaeosol level is especially characterized by herb species (Poaceae, Asteraceae-Tubuliflorea, Artemisia, Asteraceae-Cichorioideae-ligulifloreae, Polygonum persicaria, Geraniaceae and Chenopodiaceae). Besides, angiosperm (i.e. Quercus, Castanea) and gymnosperm pollen (i.e. Pinaceae, Cedrus) are accompanied with these species in the samples. Non pollen palynomorphs and other organic material abundantly recorded. This palynoflora data indicates that cold and dry climatic condition could be occurred during the

deposition of palaeosol levels. The both travertine occurrences continued to precipitate either interglacial and or glacial periods.

According to U/Th dating, Örtülü travertine accumulations ceased approximately 308ka ago and later travertine precipitations laterally pass to fluvial tufa (Sarıkavak tufa) deposits to the Acıgöl graben. Moreover, Gürlek-Kocabaş travertine deposits continued to precipitate until 85ka. The differences of these travertine accumulations are the most probably related with hydrothermal water input controlled by tectonic activity during Neotectonic period.

ORCID

Ezher Toker 

<http://orcid.org/0000-0002-1774-5012>

DEĞİNİLEN BELGELER

- Alçıçek, H., Varol, B. ve Özkul, M., 2007. Sedimentary facies, depositional environments and palaeogeographic evolution of the Neogene Denizli Basin of SW Anatolia, Turkey. *Sedimentary Geology* 202, 596–637.
- Altunel, E. ve Hancock, P.L., 1993a. Morphology and structural setting of Quaternary Travertines at Pamukkale, Turkey. *Geological Journal*, 28, 335 – 346.
- Altunel, E. ve Hancock, P.L., 1993b. Active fissuring faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, Western Turkey: In: *Neotectonics and Active Faulting* (edited by Stevart, I. S.,
- Vita.Finzi, c. & Ovven, L. A.) *Zeitschrift Geomorphologie Supplementary Volume*, 94, 285-302.
- Altunel, E., 1996. Pamukkale travertenlerinin morfolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik önemleri, *MTA Dergisi*, 118, 47-64.
- Altunel, E. ve Karabacak, V., 2005. Determination of horizontal extension from fissure ridge travertines: a case study from the Denizli Basin, southwestern Turkey. *Geodinamica Acta* 18, 333–342.
- Andrews, J.E., Riding, R. ve Dennis, P.F., 1997. The stable isotope record of environmental and climatic signals in modern terrestrial microbial carbonates from Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 129, 171-189
- Andrews, J.E., Pedley, H.M. ve Dennis, P.F., 2000. Palaeoenvironmental records in Holocene Spanish tufas: a stable isotope approach in search of reliable climatic archives. *Sedimentology*, 47, 961–978.
- Bozkurt, E. ve Oberhansli, R., 2001. Menderes Massif(western Turkey): structural, metamorphic and magmatic evolution-a synthesis. *International Journal of Earth Sciences*, 89, 679-708.
- Brogi, A. ve Capezzuoli, E., 2009. Travertine deposition and faluting: the fault-related travertine fissure-ridge at Terme S. Giovanni, Rapolano Terme (Italy). *International Journal of Earth Science Geology Rundsch* 98, 931-947.
- Brogi, A., Capezzuoli, E., Aqué, R., Branca, M. ve Voltaggio, M., 2010. Studying travertine for neotectonics investigations: Middle-Late Pleistocene syntectonic travertine deposition at Serre di Rapolano (northern Appennines, Italy). *International Journal of Earth Sciences*, 99, 1383-1398.
- Chafetz, H.S. ve Folk, R.L., 1984. Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal Sedimentary Petrology*, 54 (1), 289 – 316.
- Craig, H., 1963. The isotope geochemistry of water and carbon in geothermal areas. *Nuclear Geology on Gethermal Areas*. Spoleto.(E. Tongiorni, Ed.) Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologic Nucleare, Pisa, 17-53.
- Çakır, Z. 1999. Along-strike discontinuity of active normal faults and its influence on Quaternarytravertine deposition: Examples from western Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 8, 67-80.
- De Filippis, L., Faccenna, C., Billi, A., Anzalone, E., Brilli, M., Özkul, M., Soligo, M., Tuccimei, P. ve Villa, M., 2012. Growth of fissure ridge travertines from geothermal springs of Denizli Basin, western Turkey. *Bulletin of the Geological Society of America* 124, 1629–1645.

- Dilsiz, C., 2006. Conceptual hydrodynamic model of the Pamukkale hydrothermal field, southwestern Turkey, based on hydrochemical and isotopic data. *Hydrogeology Journal* 14, 562–572.
- Erdoğan, B. ve Güngör, T. 2004. The problem of the corecover boundary of the menderes massif and an emplacement mechanism for regionally extensive gneissic granites, western Anatolia (Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences* 13, 15-36.
- Ford, T.D. ve Pedley, H.M., 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world, *Earth Science Review*, 41, 117-175.
- Gandin, A. ve Capezzuoli, E., 2014. Travertine: Distinctive depositional fabrics of carbonates from thermal spring systems, *Sedimentology*, 61, 264-290.
- Garnett, E.A., Andrews, J.E., Preece, R.C. ve Dennis, P.F., 2004. Climatic change recorded by stable isotopes and trace elements in a British Holocene tufa. *Journal of Quaternary Science*, 19, 251-262.
- Göktaş, F., Çakmakoglu, A., Tari, E., Sütçü, Y. F. ve Sarikaya, H., 1989. Çivril –Çardak Arasının Jeolojisi (Geology of Çivril-Çardak Region]. MTA Raporu, 8701, 107s (yayınlanmamış)..
- Guo, L. ve Riding, R., 1998. Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene Rapolano Terme, Italy, *Sedimentology*, 45, 163-180.
- Guo, X. ve Chafetz, H.S., 2014. Trends in $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values in lacustrine tufa mounds: Palaeohydrology of Searles Lake, California. *Sedimentology*, 61, 221-237.
- Hancock, P.L., Chalmers, R. M.L., Altunel E. ve Çakir, Z., 1999. Travertines: using travertines in active fault studies. *Journal of Structural Geology*, 21, 903-916.
- Helvacı C., Alçiçek, M.C., Gündoğan, İ. ve Gemici, Ü., 2013. Tectonosedimentary Development and Palaeoenvironmental Changes in the Acıgöl Shallow-Perennial Playa-Lake Basin, SW Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 22, 173-190.
- İslamoğlu, Y. ve Hakyemez, A., 2010. Oligocene History of the Çardak-Dazkırı Sub-basin (Denizli, SW Turkey): Integrated Molluscan and Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy. *Turkish Journal of Earth Science*, 19, 473-496.
- Kaymakçı, N., 2006. Kinematic development and paleostress analysis of the Denizli Basin (Western Turkey): Implications of spatial variation of relative paleostress magnitudes and orientations. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 207–222.10.1016/j.jseae.2005.03.003.
- Koçyiğit, A., 2005. Denizli-graben horst system: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey, *Geodinamica Acta*, 18 (3-4), 167-208.
- Konak, N. ve Şenel, M., 2002. Türkiye jeoloji haritası, Denizli paftası 1: 500 000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Koşun, E., Sarıgül, A. ve Varol, B., 2005. Antalya Tufalarının Litofasiyes Özellikleri. *MTA Dergisi*, 130, 57-70.
- Lojen, S., Dolenc, T., Vokal, B., Cukrov, N., Mihelčić, G. ve Papesch, W., 2004. C and O stable isotope variability in recent freshwater carbonates (River Krka, Croatia). *Sedimentology*, 51, 361-375.
- Miall, A.D., 1977. A review of the braided river depositional environment: *Earth Science Review*, 13, 1-62.
- Minissale, A., Kerrick, D. M., Magro, G., Murrell, M. T., Paladini, M., Rihs, S., Sturchio, N. C., Tassi, F. ve Vaselli, O., 2002. Geochemistry of Quaternary travertines in the region north of Rome (Italy): structural, hydrologic and paleoclimatic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 203, (2), 709-728.
- Mutlu, H., Kadir, S. ve Akbulut, A., 1999. Mineralogy and water chemistry of the Lake Acıgöl (Denizli), Turkey. *Carbonates and Evaporites* 14, 91–99.
- Özkul, M. Varol, B. ve Alçiçek, M.C., 2002. Depositional environments and Petrography of Denizli Travertines. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 125, 13-29.
- Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C.C., Jones, B., Baykara, M.O., Förisz, I., Németh, T., Chang, Y.W. ve 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.

- Özkul, M., Gökgöz, A., Kele, S., Baykara, M.O., Shen, C.C., Chang, Y.W., Kaya, A., Hançer, M., Aratman, C., Akın, T. ve Örü, Z., 2014. Sedimentological and Geochemical characteristics of a fluvial travertine: A case from the eastern Mediterranean region. *Sedimentology*, 61, 291-318.
- Pedley, H.M., 2009. Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology*, 56, 221-246.
- Pentecost, A., 1993. British travertines: a review, *Proceeding of the Geologists' Association*, 104, 23-39.
- Pentecost, A., 1995. Quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor. *Quaternary Science Review*, 14, 1005-1028.
- Pentecost, A., Bayarı, S. ve Yeşertener, C., 1997. Phototropic microorganisms of the Pamukkale travertine, Turkey; their distribution and influence on travertine deposition. *Geomicobiology Journal*, 14, 264-283.
- Pentecost, A., 2005. *Travertine*. Springer, Berlin, 445.
- Sözbilir, H., 1997. Stratigraphy and Sedimentation of the Tertiary Sequences in the Northeastern Denizli Province (Southwest Turkey). (Doktora Tezi), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (yayınlanmamış).
- Sözbilir H., 2002. Revised stratigraphy and facies analysis of the Palaeocene-Eocene supra-allochthonous sediments and their tectonic significance (Denizli, SW Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences* 11, 1-27.
- Sözbilir, H., 2005. Oligo-Miocene extension in the Lycian orogen: evidence from the Lycian molasse basin, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18 (3-4), 255-282.
- Sun, R. S., 1990. Denizli-Uşak Arasının Jeolojisi ve Linyit Olanakları. İzmir, MTA Raporu, No 9985.
- Şenel, M., 1997. Denizli-J9 Quadrangle, 1:100.000 ölçekli Jeoloji haritası ve açıklamaları. MTA Yayınları, Ankara (yayınlanmamış)
- Şimşek, Ş., Günay, G., Elhatip, H., Ekmekci, M., 2000. Environmental protection of geothermal waters and travertines at Pamukkale, Turkey. *Geothermics* 29, 557-572.
- Toker, E., 2009. Acıgöl-Çardak (Denizli) Grabeninin kuzeyindeki Tersiyer Çökellerinin Tektono-Sedimanter Gelişiminin İncelenmesi. (Doktora tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, 242 (yayınlanmamış).
- Toker, E., Akkiraz, M.S., Yağmurlu, F., Akgün, F. ve Örcen, S., 2012. Sedimentary Properties of the Middle-Late Eocene Formations outcropping in Çardak, Burdur and İncesu, SW Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 20, 335-374.
- Toker, E., Kayseri-Özer, M.S., Özkul, M. ve Kele, S., 2015. Depositional system and palaeoclimatic interpretations of Middle to Late Pleistocene travertines: Kocabaş, Denizli, SW Turkey. *Sedimentology*, 62 (5), 1360-1383.
- Toker, E., 2016. The Quaternary Travertines in the Örtülü Area, SW-Turkey: Facies And Depositional Environment. 32. IAS Meeting of Sedimentology, 23-25 Mayıs, Marakeş, Fas
- Toker, E., 2017. Quaternary fluvials tufas of Sarıkavak area, southwestern Turkey: Facies and depositional systems. *Quaternary International, Non-marine Carbonates, Special Issue*, 437, 37-50.
- Uysal, I.T., Feng, Y., Zhao, J., Altunel E., Weatherley D., Karabacak, V., Cengiz, O., Golding S.D., Lawrence M.G. ve Collerson K.D., 2007. U-series dating and geochemical tracing of late Quaternary travertine in co-seismic fissures. *Earth and Planetary Science Letters*, 257, 450-462.
- Uysal, I.T., Feng, Y., Zhao, J., Işık, V., Nuriel, P. ve Golding, S.D., 2009. Hydrothermal CO2 degassing in seismically active zones during the late Quaternary. *Chemical Geology*, 265, 442-454.
- Van Noten, K., Claes, H., Soete, J., Foubert, A., Özkul, M. ve Swennen, R., 2013. Fracture networks and strike-slip deformation along reactivated normal faults in Quaternary travertine deposits, Denizli Basin, western Turkey. *Tectonophysics* 588, 154-170.
- Vermoere, M., Degryse, P., Vanhecke, L., Mucchez, Ph., Paulissen, E., Smets, E. ve Waelkens, M., 1999. Pollen analysis of two travertine sections during the early Holocene in Baskoy (southwestern Turkey): implications for environmental conditions during the early Holocene. *Review of Paleobotany and Palynology*, 105, (1-2), 93-110.

- Westaway, R., Guillou, H., Yurtmen, S., Demir, T., Scaillet, S. ve Rowbotham, G., 2005. Constraints on the timing and regional conditions at the start of the present phase of crustal extension in western Turkey, from observations in and around the Denizli region. *Geodinamica Acta* 18, 209–238.
- Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş. ve Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop? Tectonic and magmatism in Turkey and their surrounding area. *Geological Society in London*, 173, 353-384.
- Zanchi, A., Kissel, C. ve Tapırdamaz, C., 1990. Deformazione Continentale Neogenico-Quaternaria in Anatolia Occidentale: Nuovi DATi Strutturali. *Mem. Society of Geology Italy*, 45, 481-488.