

DENİZLİ TRAVERTENLERİNİN PETROGRAFIK ÖZELLİKLERİ VE DEPOLANMA ORTAMLARI

Mehmet OZKUL*, Baki VAROL** ve M. Cihat ALÇIÇEK*

ÖZ- Denizli havzasındaki Kuvaterner-güncel traverten oluşumlarında saha ve mikroskobik özelliklerine göre 9 litofasiyes tanımlanmıştır. Bunlar: 1) kristalin kabuk, 2) çalılı, 3) pizolit, 4) sal, 5) zarflı hava kabarcıklı, 6) kavis, 7) litoklast, 8) çakıllı traverten, 9) eski toprak oluşumlarıdır. Ayırtılan litofasiyesler çeşitli birliklikler halinde yamaç, çöküntü, tümsek, sırt ve kanal depolanma ortamlarında çökelmişlerdir. Ayrıca bu ana depolanma ortamı kendi içlerinde alt ortamlara ayrılmıştır. Bazı traverten örneklerinden yapılan izotop analizlerine göre. ¹³C izotop değerleri 0,35 ile 6.70 ‰ arasında; ¹⁸O değerleri ise -6.47 ile -15.10 ‰ arasında geniş bir dağılım sunmakta olup, litofasiyeslerin yapılarına ve ortamlarına göre izotopik anlamda bir gruplaşma ortaya çıkmaktadır.

GİRİŞ

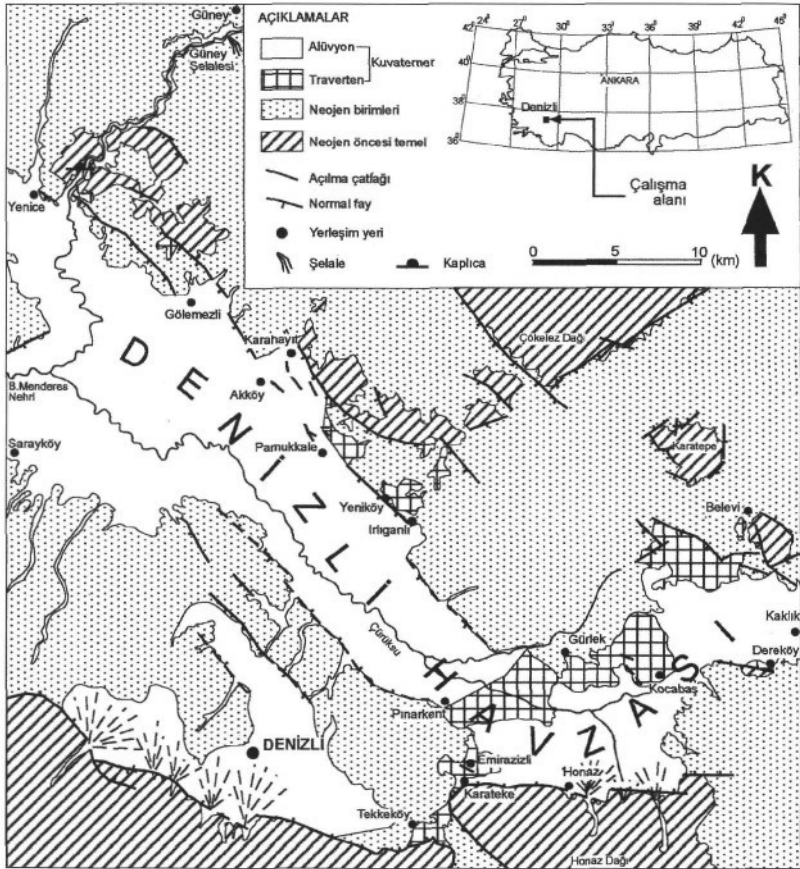
Denizli havzası traverten oluşumları yönünden Türkiye'de ve Dünya'da önemli bir konuma sahiptir. Her yıl yerli ve yabancı birçok turistin uğradığı güncel Pamukkale travertenleri dışında havzanın değişik kesimlerinde, özellikle kuzey kenarları boyunca traverten oluşumları yaygındır (Şek. 1). Havza genelinde eski ve yeni travertenlerin kapladıkları toplam alan 100 km²'den fazla olup, kalınlıkları yer yer 60 m'yi geçmektedir. (Şek. 2). Eski travertenlerden bir kısmı mermerciik sektöründe değerlendirilmektedir.

Traverten, kalsiyum ve bikarbonatça zengin sıcak yer altı sularının kaynaklar çevresinde oluşturduğu kireçtaşlardır. (Guo ve Riding, 1998). Yer yüzüne çıkan suların, bünyesindeki CO₂ gazını kaybetmesi ile hızlı bir traverten çökelişi gerçekleşir. Travertenler kısa mesafede, yanal ve düşey yönde sıkça değişen karmaşık bir iç mimariye sahiptirler. Bu değişiklikler kaynağın konumu, taban topoğrafyası, traverten depolayan suların bileşimi, organik faaliyetler ve yüzey suları gibi pek çok faktörden kaynaklanır. Son yıllarda travertenlerin gerek Türkiye'de gerekse Dünya'da jeokimyası, morfolojik tipleri, makro ve mikro düzeydeki organik bileşenleri, duraylı izotop değişimleri ve yaşlandırılmaları üzerine yapılan çalışmalarda artış görülür.

Chafetz ve Folk (1984), Pentecost ve Tortora (1989), Guo ve Riding (1998, 1999), Guo ve diğerleri (1996), Srdoc ve diğerleri (1989, 1994) bunlardan bazılarıdır. Denizli travertenlerinde yapılan çalışmalar genellikle Pamukkale üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların çoğu sıcak suların hidrojeolojisi, jeotermal potansiyel, kirlilik ve koruma amaçlıdır (Koçak, 1971; Şentürk ve diğerleri, 1971; Canik, 1978; Eşder ve Yılmaz, 1991; Gökçöz, 1994; Gökçöz ve Filiz, 1998; Ekmekçi ve diğerleri, 1995). Bazı çalışmalarda ise travertenlerin stratigrafik konumları, yaşlandırılması, morfolojik çeşitleri, bölgenin aktif tektoniği; depremselliği arasındaki ilişkiler ile kimyasal bileşimleri ve fizikomekanik özellikleri konu edilmiştir (Altunel ve Hancock, 1993 a,b; Altunel, 1996; Demirkıran ve Çalpalı, 2001, Özpınar ve diğerleri, 2001). Önceki çalışmalarda Denizli travertenlerinin organik ve inorganik bileşenleri, petrografisi ve çökeltme özellikleri yeterince incelenmemiştir. Pentecost ve diğerlerinin (1997) mikroorganizma içeriği, mikrofabrik ve petrolojiye yönelik çalışmaları Güncel Pamukkale travertenleri ile sınırlıdır. Bu çalışmanın amacı, havza genelinde, güncel ve eski travertenlerin saha ve petrografik özelliklerine göre farklı litofasiyesleri tanımlamak, bu litofasiyeslerin çökelme depolanma ortamlarını ve izotop değişimlerini ortaya koymaktır.

* Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 20017, Denizli

** Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100, Ankara



Şek. 1- Denizli havzasının yalınlaştırılmış jeoloji haritası ve travertenlerin genel dağılımı (Sun, 1990'dan değiştirilmiştir).

JEOLJİK KONUM

Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin birleştiği alanın doğusundaki, yaklaşık 50 km uzunluğunda 25 km genişliğindeki çöküntü alanı Denizli havzası olarak adlandırılmıştır (Westaway, 1990, 1993). Havzanın Neojen

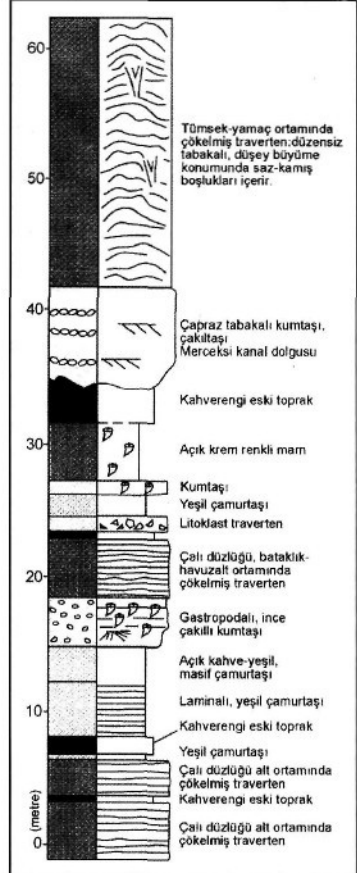
öncesi temel kayaları horst alanlarında yüzeyleyen Paleozoik yaşlı şist, mermer ve allokon konumlu Mesozoik kireçtaşları ve Ofiyolitler ile Paleojen yaşlı kireçtaşı, dolomit ve evaporitlerden oluşur (Şek. 1). Neojen-Kuvaterner tortulları ile doldurulmuş olan

havza kuzeyden ve güneyden normal faylarla sınırlanmıştır (Şek. 1). Göl-Akarsu ortamlarında depolanmış ve üst yaş konağı Taner (2001) tarafından Geç Miyosen (Ponsiyen) olarak belirtilen Neojen istifı genellikle havza kenarlarında ve havza ortası bazı yükselim alanlarında yüzeyler. Havza KD-GB yönünde açılmaktadır. Westaway'a göre (1993) havzadaki KD-GB yönlü bu açılma Orta Miyosen'de (yaklaşık 14 milyon yıl önce) başlamıştır (Altunel, 1996). Denizli havzasındaki traverten kütleleri tercihli olarak eğim atımlı normal fay parçalarının sıçrama yaptığı alanlarda depolanmıştır (Çakır, 1999). Kaynak suları traverten oluşumu için gerekli iyonları temele ait karbonat kayalardan alır. Fay ve açılma çatlakları boyunca yükselen kaynak sularının oluşturduğu travertenler, Neojen tortul istifinin üzerinde yer alır. Kaklık kuzeybatısındaki ocaklarda travertenler yeşilimsi gri, krem renkli gölbataklık çökelleri ve kırmızımsı kahve rengi alüvyal tortullar, eski toprak ve kaba kırıntılı geçici akarsu tortulları ile yanal ve düşey geçişlidir (Şek. 2) Bu bölgedeki travertenler kuzeyden güneye bir seri normal faylarla basamaklı bir yapı kazanmışlardır. Havzada ilk traverten oluşumlarının yaşı kesin olarak bilinmemekle birlikte Pamukkale'de en yaşlı travertenlerin en az 400.000 yıl yaşında olduğu Altunel (1996) tarafından belirtilmiştir. Çalışmalarımız sırasında Kaklık kuzeybatısındaki traverten ocaklarında bazı omurgalı çene ve dişleri bulunmuştur. Yapılan ön incelemelere göre bu omurgalı fosillerinin modern atların Kuvaterner'deki atası Eguus'a ait oldukları belirlenmiştir (Ş. Şen ve G. Saraç; 2001, sözlü görüşme).

ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

Travertenlerin saha özellikleri incelenerek, farklı oluşumlardan örnekler alınmıştır. Alınan traverten örneklerinin SEM incelemesi TPAO Araştırma Grubu Laboratuvarında bulunan Jeol JSM-840 tipi elektron mikroskobu ile yapılmıştır. Bunun için

kayaç örneklerinin parlatılmış yüzeyleri 3-5 saniye süreyle % 5'lik HCl ile muamele edilerek aşındırılmış ve vakumlu bir sistem içerisinde altınla kaplanarak görüntü alınmıştır, izotop analizleri Tubingen Üniversitesi (Almanya) izotop Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şek. 2- Kaklık kuzeybatısındaki travertenlerden alınan ölçümlü stratigrafi kesiti (lik traverten ocağı, Killik tene mevki)

DENİZLİ TRAVERTERLERİNİN PETROGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Değişik çökeltme şartlarında depolanmış travertenler renk, görünüm, tabakalanma, gözenek, doku ve bileşim farklılıkları gösterirler. Bu çalışmada, Denizli havzasındaki farklı traverten oluşumları arazi ölçeğinde, litofasiyeslere ayrılmış ve her litofasiyeden alınan örneklerin petrografik özellikleri incelenmiştir.

Başlıca traverten litofasiyesleri:

- 1) kristalin kabuk, 2) çalı 3) pizoid, 4) sal,
- 5) zarflı hava kabarcığı, 6) kamış, 7) litoklast,
- 8) çakıllı travertendir eski toprak seviyeleri
- 9) aşınma ya da çökeltme dönemlerini işaret eden ve traverten istifi içinde sık sık rastlanan oluşumlardır.

1) Kristalin kabuk tipli traverten litofasiyesi

Kristalin kabuk tipi traverten düz yamaçlar üzerinde, teras havuzlarının dış bükey kenarları ile duvarlarında (Levha I, şek. 1), şelâle alt ortamının dik yüzeylerinde ve açılma çatlaklarında yaygın şekilde depolanmıştır. Kristalin kabuk yoğun, kaba lifsi, çoğunlukla açık renkli olup, çökeltme yüzeyine dik gelişmiş uzunlamasına kalsit kristal kümelerinden meydana gelmiştir. Kristalin kabuk kalınlıkları birkaç santimetreden birkaç metreye kadar değişir. Bu tip travertenlerin, kaynak ağzlarında ve kaynağa yakın alanlarda hızlı akan sıcak sular tarafından çöktürüldüğü ifade edilmiştir (Guo ve Riding, 1998). Daha önce Pamukkale'de açılma çatlaklarının duvarlarında gelişen bu tip travertenler, Altunel ve Hancock (1993a) ve Altunel (1996) tarafından 'bantlı travertenler' adı altında incelenmiştir. Bu çalışmada, açılma çatlaklarının düşey duvarları boyunca oluşmuş bantlı travertenler de kristalin kabuk tipli traverten olarak kabul edilmiştir. Çünkü bantlı

yapı içindeki kalsit kristalleri çatlak duvarına, yani çökeltme yüzeyine dik gelişmişlerdir. Havzanın kuzeybatısındaki Büyük Mendere vadisi içinde yer alan Kamara hamamı ve Karahayıt'ta, demir oranı yüksek sıcak suların oluşan kabuklar beyaz, kırmızı, bordo ve kahverengi bantlar şeklinde ardalanmalı olarak gelişmişlerdir (Levha I, Şek. 2). Guo ve Riding (1988), Rapolano Terme'de (İtalya) yaşlı kristalin kabukların sert ve sıkı, buna karşılık güncel kabukların gevrek ve kırılğan olduklarını belirtmişlerdir.

Mikroskobik görüntülerde mikrit ve sparit bantlarının ardalanmalı olduğu görülür. (Levha I, şek. 2). Mikritlik bölümler genellikle koyu renkli ve milimetre ölçeğindedir. Bu koyu renkli mikritik laminalar içinde yer yer erime boşlukları gelişmiştir. Santimetre ve desimetre ölçeğinde olan sparit kısımlar değişik oranda demir içerebilirler. Sparit kristalleri mikritik zemin (üzerinde ışınal kristaller şeklinde büyümüş olup, yer yer yelpaze demetleri şeklinde düzenlenmişlerdir. Bir tarafında daha iyi gelişmesiyle, adeta bir 'sedir ağacı' görünümünü (Folk ve diğerleri, 1985) kazanmışlardır (Levha I, şek. 3). Ortalama 10 mikron genişliğinde, 100-200 mikron uzunluğundaki bu kristaller düz kristal sınırları ile birbirinden ayrılmışlardır. Bütünsel olanları yanında kırılmış parçalar da oldukça fazladır. Bunlar aradaki boşlukları doldurmuş veya mikritik zeminde gelişen güzel dağılmış olarak bulunurlar (Levha II, şek. 1, 2). SEM görüntülerinde kristalin kabuğu oluşturan kalsit kristalleri uzunlamasına bıçak ağzını andıran görünümüne sahiptirler (Levha II, şek. 1, 2).

Kristalin kabuklar, yüksek su akışı hızı nedeniyle biyojenik aktivitenin sınırlandırıldığı bölgelerde gelişmektedir (Guo ve Riding, 1998). Işınal kalsit kristallerinin oluşumu

tümülle kaynak suyundan doğrudan kristalleşme ile oluşur. Örneklerin mikroskop görüntülerinde mikrobiyolojik aktiviteyi yansıtan bir iz rastlanmamıştır. Mikritik laminalar, bol miktarda ışınal kalsit kristali parçaları içerir. (Levha II, Şek. 2). Bu tür laminaların veya bantlaşmalar kaynak alanındaki kısa süreli veya günlük değişimlerin bir yansıması olarak kabul edilmektedir (Guo ve Riding, 1998).

2) Çalı tipi traverten litofasiyesi

Çalı tipi traverten, düşey yönde aşağıdan yukarı genişleyen, dendritik ya da çalı/bodur bitki şeklinde büyüme özelliği gösteren oluşumlardır. Altın ve üstten daha koyu renkli mikritik ara seviyelerle sınırlandırılmıştır. Denizli travertenleri içerisinde en yaygın litofasiyestir. Çalı şekilleri makro örneklerde açık krem-bej renkli, 3-16 mm kalınlığında, düzenli bantlar ya da laminar şeklinde görülür (Levha I, Şek. 4). Spar ve mikrit kristallerinin bir arada, değişik biçimlerde düzenlenmesi ile meydana gelmişlerdir. Genellikle bu iki farklı kristalleşme türü arasında kesin bir sınır yoktur. Tabakalanmaya dik hazırlanmış ince kesitlerde yukarı doğru genişleyen koyu renkli, mikritik çalı şekillerinin arasındaki boşluklar ikinci sparı kalsitle doldurulmuştur (Levha I, Şek. 5). Tabakalanmaya paralel ya da vev hazırlanmış ince kesitlerde ise Koyu renkli mikritik zeminler içerisinde adacıklar veya yamalar şeklinde benekli bir doku oluşturur. Benekli doku sunan çalı travertenleri içerisinde masif ve gevşek yapıları mikrit ayrılmıştır. Çalı şekillerinin sıkı paketlenmiş durumlarda tümüyle mikritik alanlar görülür.

Masif yapıda olanlar her hangi bir iç yapı özelliği göstermeksizin, 5-10 mikron boyutunda öz ve yarı öz şekilli kristallerden meydana

gelmiştir. Bunlar spart kristalleri ile karışmış halde çalı ve sal litotipleri içerisinde yaygın olarak bulunurlar.

Gevşek dokulu mikritler yer yer ince bantlar halinde, bol miktarda diyatome içerirler (Levha III, Şek. 1). Mikritik kümeler, benekli doku (çalı tipi) içerisinde çok yaygın olup, kabarcık ve sivilceler şeklinde yapılar oluştururlar (Levha III, Şek. 8). Bulanık yapıları mikritler, spar kristalleri üzerinde gelişmişlerdir. Tümüyle öz şekilsiz 5-15 mikron boyunda mikritik tanelerden meydana gelmişlerdir. Ayrıca aralarında iç şekilli mikrit kristalleri ve kalsitlemiş tüpler bulunur (Levha II, Şek. 3). Bu mikritik kümelerin altında kalıntı halinde izlenen spar kristalleri bu alanların bir spar mikritleşmesi geçirdiği destekler. Kahle (1977) bu olayı, biyojenik veya biyojenik olmayan yoldan spar kristallerindeki çözülme kristalleşme ile oluşan mikritleşme olarak tarif etmiştir. Örneklerimizde bu yapıyı gösteren alanlarda yaygın olarak izlenen bakteriyel filamanlar bunların biyojenik kökenli olduğunu desteklemektedir.

Guo ve Riding'e göre (1994, 1998) teras havuzlarının olağan bileşeni olan çalı şekilleri, özellikle çöküntü alanlarının sığ, geniş havuz ve bataklik benzeri ortamları ile düşük eğimli yamaç depolanma ortamlarının en yaygın ve kalın traverten litofasiyesidir. Yer yer kristalin kabuk, kamyş, sal ve bakteriyel kökenli düzenli ve ışınal pizoidlerle yanal ve düşey ilişkilidir. Chafetz ve Folk'a göre (1984) çalı düzeyleri bakterilerin çiçeklendiği, büyüdüğü bahar ve yaz dönemlerini, buna karşılık mikritik düzeyler ise büyümenin durduğu kış dönemlerini temsil eder. Bakteriyel kökenli çalı travertenleri günlük sıcaklık değerlerinin üzerinde ısınmış sulardan çökelmiştir

(Chafetz ve Guidry, 1999). Bu nedenle tufalar da çalı şekilleri gözlenmez. Çalı şekillerinin abiyoetik kökenli olanlarından da söz edilir (Pentecost, 1990).

3) Pizolitli traverten litofasiyesi

Genel olarak travertenlerin içinde pizolit türü zarflı taneler yaygın bulunmaktadır. (Chafetz ve Meredith, 1983 ve Guo ve Riding, 1998). Pizolit taneleri yamaçlar üzerinde bulunan küçük ölçekli teras havuzları ile çöküntü ortamları içinde yer alan geniş ve sıg havuzlarda bulunmaktadır. Genellikle çalı şekli ve mikritik karbonatla birlikte görülür. Bunlar küresel, yarı küresel, elipsoidal ve disk şeklindedir (Levha I, şek. 6). Folk ve Chafetz (1983) ile Guo ve Riding (1998) tarafından da belirtildiği gibi. Dünyanın değişik yörelerinde travertenler üzerinde yapılmış çalışmalarda dokularına göre 3 farklı pizolit ayırt edilmiştir: 1) Konsantrik laminalı pizolitler, 2) İşinsal çalı pizolitleri, 3) Stromatolitik meme şekilli pizolitler.

Balık yöresinde çalı düzlüğü alt ortamında oluşmuş bu tip zarflı taneler, birkaç santimetre boyutunda yuvarlak, elipsoidal şeklindedir. Belirgin bir çekirdekleri yoktur. Çoğu kez daha koyu renkli bir mikritik çekirdek üzerinde büyümüşlerdir. Çekirdeği oluşturan kristaller, pizolitin mikritik zarflarına göre daha iri taneli (10-15 mikron) bir yapıya sahiptir (Levha III, şek. 6). Mikritik zarflar ise tümüyle öz şekilsiz, 3-6 mikron boyunda mikritik tanelerden yapılmıştır. Bunlar işinsal kristalleri çok ince bantlar halinde örtmüşlerdir. Pizolit taneler içinde pizolit büyümesini engelleyen ara yüzeyler bulunmaktadır. Bunlar yanal yayılım göstermeyen erime ve mikrokarstlaşma

yapılarıdır. (Levha III, şek. 2, 3). Bu ara yüzeyler yer yer mikrostromatolitik bir yapıya da dönüşebilmektedir. Bu yapılar büyük olasılıkla pizolit oluşumunun geliştiği traverten havuzlarındaki kuruma evrelerini yansıtmaktadır. Bu tip tanelerin Folk ve Chafetz (1983) tarafından daha çok inorganik kökenli oldukları kabul edilir.

4) Sal tipi traverten litofasiyesi

'Sıcak su buzu' (Ailen ve Day, 1935), 'kalsit buzu' (Bargar, 1978), 'kalsit salları' (Folk ve diğerleri, 1985) ve 'kağıt inceliğinde sal' (Guo ve Riding, 1998) gibi adlarla tanımlanan sal tipi travertenler kırılğan, gevrek, ince kristalin laminalı düzeylerdir. Bunlar sıcak kaynak çıkışlarında oluşan küçük havuzları dolduran suların üst yüzeyinde kalsit ya da aragonitten oluşan bir kristal filmidir. Bu kristal filmleri çökelinin devam ettiği Pamukkale'de, 58°C su sıcaklığı olan Çukurbağ kaynağının (Levha IV, şek. 8) çevresindeki küçük havuzlarında ve yamaçlardaki teras havuzlarında görülmektedir. Kalsit salları arasında hapsedilmiş zarflı hava kabarcıkları olağandır. Kocabaş yakınlarındaki eski bir traverten sırtının, ana açılma çatlağında (Levha IV, şek. 7) kalsit salları, litoklastlarla birlikte rastlanmıştır (Levha I, şek. 7). Kalsit salları açılma çatlağı içinde yatay laminalar şeklinde ve birkaç mm kalınlığında görülmektedir. Sal tipi travertenler yanal yönde ancak birkaç metre izlenebilir. Guo ve Riding'e göre (1998), erken diyajenetik evrede gerçekleşen kabuklaşma nedeniyle, eski salları biraz daha kalınlaşmış şekilde izlenir. Baker ve Frostick (1951) ve Black (1953), benzer oluşumların mağara içlerindeki soğuk su havuzlarında da geliştiğini belirtmişlerdir.

5) Zarflı hava kabarcıklı traverten litofasiyesi

Traverten çökeltme ortamlarında kalsiyum karbonatla hızla sarılmış gaz kabarcıklı yapılar yaygındır. Gaz kabarcıklarının kaynağı mikrobiyolojik faaliyetlerdir. Bunlar en çok teras havuzlarında ve benzeri su birikintilerinde sal yüzeyi altında gelişir. Gaz kabarcıklı kristaller ya da bitki kırıntıları arasında kapanlanır. Bu nedenle zarflı gaz kabarcıklı traverten oluşumları kristalin kabuk, sal ve kamaş tipii traverten litotipleri ile birlikte sıkça gözlenir (Levha I, Őek. 8). Gaz kabarcıklarının boyutları 1-10 mm arasında değişir. Guo ve Riding (1998), bazı gaz kabarcıklarının dūsey yōnde birbiriyle birleşerek tūpsū bir yapı kazandıklarını belirtmiştir. Chafetz ve Folk (1984) bu tūr oluşumlar iēin 'taşlaşmış kabarcıklar' ve 'kōpūk taşı' gibi adlar kullanmışlardır. Zarflı gaz kabarcıkları sal oluşumlarına benzer bir iē yapıya sahiptirler. Mikritik bir zar, dışında ōz Őekilli aragonitten ve az miktarda kalsitten oluşmuş parlak/cilalı bir yūzey bulunur. Gaz kabarcıklarında iki minerali duvar yapısı izlenir. Bu duvar yapısının, suyun aşırı doğunluk dūzeyindeki değişikliklerden ileri geldiği sanılmaktadır (Chafetz ve diğerleri 1991a).

6) Kamaş tipii traverten litofasiyesi

Bitki saplarının fazla olduğu travertenler genel olara Guo (1993) ve Guo ve Riding (1998) tarafından 'kamaş' tipii travertenler adı altında incelenmiştir. Sıcak suyun yağmur suyu ile seyreltildiği ve soğuduğu sığ çōküntū alanlarında bol miktarda kamaş, saz ve değişik su bitkileri yetişir. Bitki saplarının yoğunlaşması su akışını engeller. Sōz konusu alanlarda bitkilerden arta kalan boşluklar kıs-

men ya da tamamen mikrit ya da spari kalsit ile doldurulmuştur. Bazı traverten ocaklarının ūst seviyelerinde yeşilimsi gri, krem renkli kil, marn dolgular yaygındır. Bitki sapları ve kōklerinin bıraktığı kalıpların ēapları en fazla 2-3 cm'dir. Bu tip traverten boşlukları, boşluk duvarlarından merkeze doğru gelişen 20-15 mikron boyutundaki kalsit kristalleri ile belirgin-dir. Kamař tipii travertenler iēinde ince sal tipii traverten dūzeyleri sıkça bulunur. Kamař tipii, bataklik gibi ēok sığ, zaman zaman kuruyan dūzliklerin ve kamaşlı tūmsekinin yaygın bileşenidir. Koyu renkli kamaşlı travertenlerde diğer traverten tiplerine gōre organik madde miktarı ve boşluk oranı daha fazladır. Mevcut boşluklardan bir kısmı da kille doldurulmuştur. Bu tip traverten yapısı, Kaklık kuzeybatısındaki Faber, ilik ve Alimoęlu traverten ocaklarının ūst seviyelerinde gōr÷lmektedir.

7) Litoklastlı traverten litofasiyesi

Litoklastlar, dūz ve teraslı yamaēların ūst kesimlerinden ya da aēılma ēatlaklarının duvarlarından kopan traverten parēalarıdır. Bunlar teras duvarlarının zaman zaman çōkmesi ile de ortaya ēıkabilmektedirler. Genellikle deęiřik boyutta, kōřeli ve aēık renkli kristalin kabuk ve ēalı tipii traverten parēalarının yamaē tabanlarına ve ēatlak bořluklarına dūřmesi ile oluřur (Levha I, Őek. 7). Bazen de çōküntū alanlarına tařınarak yeniden depolanabilir. Bunlar travertenler iēinde kalınlıkları 20-100 cm arasında deęiřen ara dūzeyler Őeklinde gōr÷l÷rler. Sıę çōküntū alanlarındaki litoklast ara dūzeylerinde alterasyon izlenir. Bu litoklast seviyelerinin altında ve ūstünde kalıř oluřumu ve topraklařma gōr÷l÷rler. Litoklastlı travertenler sınırlı alanlarda gōr÷lmekte olup, bunlarda breřleřme, renk ve doku farklılıkları izlenir.

8) Çakıllı traverten litofasiyesi

Denizli havzasındaki bazı travertenler az oranda yuvarlaklaşmış kireçtaşı, mermer, çört, radyolarit ve serpantin çakılları içerir. Bu tür çakıllı travertenlere Küçükdere-İrılanlı arasındaki antik mezarlar çevresinde ve yer yer Kaklık kuzeybatısındaki sahalarda rastlanılır. Ayrıca bazı traverten ocaklarında ve bu ocaklardaki açılma çatlaklarının dolgularında seyrek de olsa, çatlak boşluğuna düşmüş yuvarlak çakıllar gözlenmiştir. Bu çakıllar Neojen ve daha yaşlı kaba kırıntılı tortul kaya birimlerinden türemişlerdir. *Zaman* zaman meydana gelen Belenmelerle, depolanma ortamlarına taşınan çakıllar, travertenle birlikte çökelmiştir. Pentocost (1993), İngiltere'deki bu tip benzer traverten oluşumlarından 'çimentolanmış ruditler' olarak söz etmiştir.

9) Eski toprak litofasiyesi

Eski toprak oluşumları doğrudan traverten litofasiyesi olmamakla birlikte, traverten litofasiyeleri ile yakın ilişkilidir. Kaklık KB'sındaki traverten sahalarında eski toprak ara seviyelerine sıkça rastlanır (Şek. 2) Sıcak kaynak sularının debisindeki azalmalar ve su akış yönündeki sapmalar, traverten yüzeylerinin su üstüne çıkmalarına neden olmaktadır. Bu şekilde atmosferle temas geçen travertenler, gerek yağmur suları ve gerekse kuruma ve biyolojik faaliyetlerin etkisi ile alterasyona uğrarlar. Bunun sonucunda topraklaşma meydana gelir. Eski toprak ve aşınma yüzeyleri traverten seviyeleri arasında istif sınırlarını oluşturur. Aşınma yüzeyleri üstünde görülen kırmızımsı, kahve renkli eski toprak oluşumları, ara seviyeler halinde bulunur. Bunların birkaç cm olan kalınlıkları yamaç aşağı, çöküntü alanlarına doğru artar. Kaklık kuzeybatısındaki ilik traverten ocağında kalınlıkları 40 cm ile 3.2 m arasında

değişen 4 farklı eski toprak ara seviyesi gözlenmiştir (Şek. 2). Eski toprak kalınlığı traverten yüzeyinin atmosferle temasta kalma süresiyle artmaktadır.

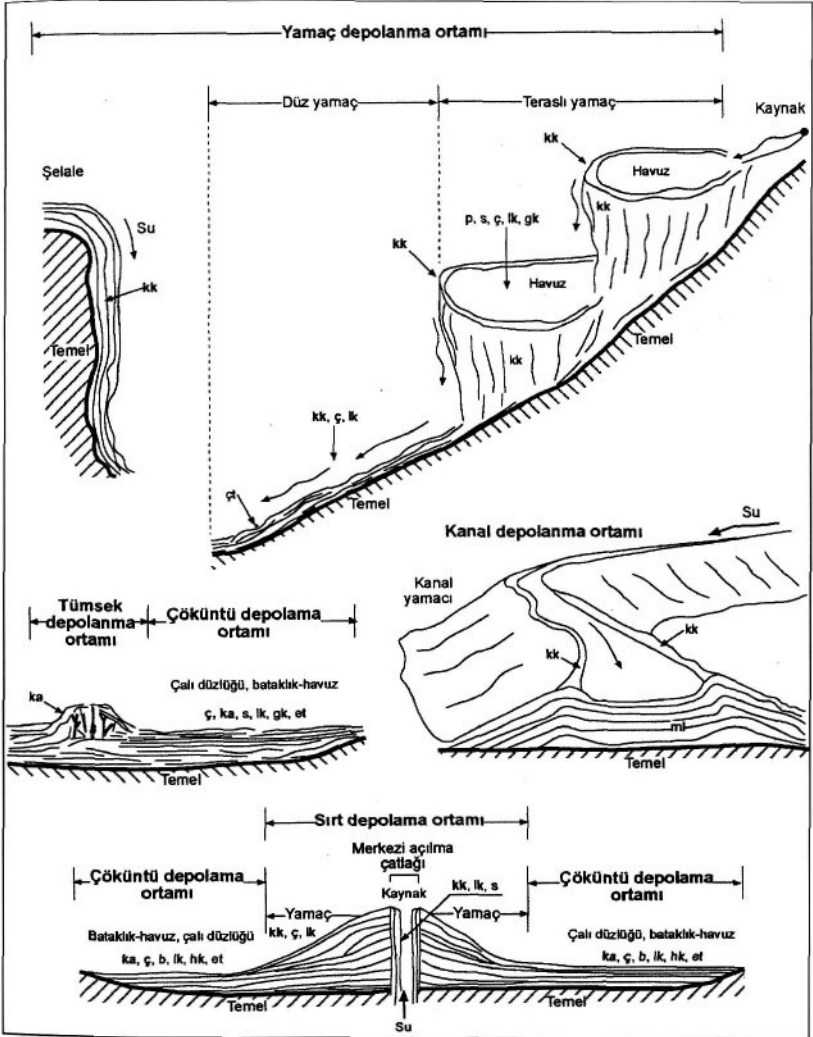
TRAVERTEN DEPOLANMA ORTAMLARI

Yukarıda bahsedilen litofasiyeler farklı depolanma ortamlarında temsil edilmişlerdir. Bunlar başlıca üç ana depolanma ortamı ve bunlar içindeki alt ortamlarda bulunurlar: 1) yamaç depolanma ortamı; a) teraslı yamaç, b) düz yamaç, c) şelâle, 2) çöküntü depolanma ortamı; a) çalı düzlüğü, b) bataklık- havuz, 3) tümsek depolanma ortamı. Bu tür bir ayırım daha önce Guo ve Riding (1998) tarafından İtalya'deki Rapolano Terme travertenlerinde yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada Denizli havzası travertenlerinde yukarıdaki üç ana depolanma ortamı dışında, yaygın olmaları nedeniyle, açılma çatlaklarından çıkan sıcak kaynak sularının oluşturdukları traverten sirtları 4., kanal tipi travertenler ise 5. depolanma ortamı olarak ayrılmıştır (Şek. 3).

1- Yamaç depolanma ortamları

Yamaç depolanma ortamı a) teraslı yamaç, b) düz yamaç, c) şelâle alt ortamlarına ayrılır. Bunlardan şelâle alt ortamı diğerlerine göre daha yerel ve sınırlı bir ortamdır.

a) *Teraslı yamaç alt ortamı.*- Yamaç ortamının en güzel güncel örnekleri Pamukkale'de görülmektedir (Levha IV, Şek. 1). Pamukkale'de yamaç morfolojisi üzerinde teras havuzları gelişmiştir. Teraslı yamaçlar düşeye yakın teras duvarları, az eğimli teras havuzları ve teras havuzlarını kenarlardan sınırlayan kordonlardan oluşmaktadır. Düşey teras duvarları ve kordonlar kristalin kabuk tipi travertenlerden oluşmuştur. Havuz tabanlarında ise sal, pizoid ve zarflı gaz kabarcıklı traverten litofasiyeleri gelişmiştir Pamuk-



Şek. 3- Traverten litofasiyelerinin oluştuğu depolanma ortamları ve alt ortamları. Kısaltmalar: kk: kristalin kabuk, ç: çalı, p: pizolit, s: sal, hk: zarfılı hava kabarcığı, ka: karışık, lk: litoklast, ct: çakıllı traverten, et: eski toprak, ml: mikritik laminalar (şekilde koyu yazılmış simgeler baskın litofasiyeleri gösterir).

kale'de teras havuzları, ilerleyen yamaç üzerinde, suyun türbülanslı aktığı kesimlerde ortaya çıkmıştır.

b) Düz yamaç alt ortamı. - Düz yamaç alt ortamı farklı yamaç eğimlerinde, üzerinde teras havuzlarının gelişmediği bir ortamdır. Pamukkale'de güncel düz yamaç ortamları teraslı yamaç ortamları ile yanal ve düşey ilişkilidir (Levha IV, şek. 1). Teras duvarlarında ve havuz kordonlarında olduğu gibi, düz yamaç alt ortamı da çoğunlukla kristalin kabuk tipi travertenlerle temsil edilir. Kabuk kalınlıkları cm'den birkaç dm'ye kadar çıkmaktadır. Kabuk, yamaç yüzeyine dik, kaba lifsi ışın kristallerden meydana gelmiştir. Düz yamaçlar, suyun daha çok çizgisel (lineer) aktığı kesimlerde gelişmiştir. Kalın kristalin kabuklar, ortama suyun fazla geldiği ve akışın hızlı olduğu çökme şartlarında oluşurlar. Buna karşılık ince kristalin kabuklar, nispi olarak daha yavaş çökme ve daha yavaş su akışları ile meydana getirilmişlerdir. Ancak su miktarının ve akış hızının düşük olduğu az eğimli yamaçta, kristalin kabuk düzeyleri ile çalı tipi traverten düzeyleri ardalı olarak gelişmiştir. Hatta yamaçların alt kesimlerinde ince litoklast ara düzeyleri bulunmaktadır.

c) şelale alt ortamı. - Denizli'nin kuzeybatısındaki Güney ilçesinin yaklaşık 3 km kadar güneyindeki Büyük Menderes vadisinin sol sahilinde Güney şelalesi bulunmaktadır. Bu şelâlede sulanın islatığı alandaki bitkilerin karbonatla kaplanması ya da sarılması ile tufa çökeli mi gerçekleşmektedir. İkinci bir şelâle Aşağıdağdere'de, Keltepe'nin kuzeye bakan eteklerinde bir fay dikliği boyunca oluşmuştur. Şelâlenin aktif olduğu dönemlerde fay düzlemi boyunca, perde görünümünde (Levha IV, şek. 3), kristalin kabuk tipinde düşey oluşmuştur. Şelâle ortamından zamanla aşağı kottarda kuzeye doğru düz yamaç ortamına geçilmektedir.

2- Çöküntü depolanma ortamı

Bu tür depolanma ortamları çevresine göre daha düz ya da hafifçe çukur, düşük topoğrafyalı ve sıcak su kaynağına daha uzak alanlardır. Bu depolanma ortamları genellikle daha aşağı kottarda yamaç eteklerinde ve açılma çatlaklarına bağlı olarak oluşmuş traverten sırtlarının çevresinde yer alır (Levha IV, şek. 8). Çöküntü depolanma ortamı a) çalı düzlüğü ve b) bataklık-havuz alt ortamlarına ayrılmıştır.

a) Çalı düzlüğü alt ortamı. - "Çalı düzlüğü" terimi Guo (1993), Guo ve Riding (1998) tarafından ilk defa İtalya'da, Floransa güneyindeki Rapolano Terme travertenleri üzerinde yapılan çalışmalar sırasında önerilmiştir. Çalı düzlüğü alt ortamı yanal olarak uzanımı fazla, yatay ya da yataya yakın konumlu, açık renkli, ince tabakalı çalı tipi travertenlerin çökeldiği bir ortamdır (Levha I, şek. 4). Bu ortam içinde, yer yer kahverengi, ince taneli litoklast ara düzeyleri mevcuttur. Çökeltmedeki duraklama ve aşınma dönemlerinde eski toprak ve kuruma yüzeyleri gelişmiştir. Ayrıca sellenme ve geçici akarsu yataklarını temsil eden çakıltaşı ara düzeyleri bulunur (Şek. 2). Çalışma alanında Belevi ve Kaklık kuzeybatısındaki traverten ocaklarının (Kiliktepe, Denizli Çimento Fabrikası çevresi ve Ballık yöreleri) alt seviyeleri çoğunlukla bu tür ortamlarda çökeltmiş travertenleri temsil edilir (Levha IV, şek. 4,5 ve 6). Yanal olarak kaynaktan uzaklaşılarda yönde çalı düzlüğü alt ortamlarından bataklık-havuz alt ortamlarına geçişler, travertenlerde açık rengin koyu renge dönüşmesi ile belirgindir. Geçiş zonlarında açık ve koyu renk ardalımları gözlenir (Levha IV, şek. 6).

Kaklık kuzeybatısındaki Alimoğlu ocağının tabanında, çalı düzlüğü ortamında çökeltmiş, 5 km kalınlığında bir traverten

seviyesi yer alır. Bu traverten seviyesi altta eski toprak ve yeşil göl-bataklık çamurları üzerine gelir. Üstte ise ince bir eski toprak düzeyi ile son bulur. Ocak içinde, kuzeyde 5 m olan kalınlık, yatay yönde 30 m güneyde 2.5 m'ye düşer. Aynı yönde renk giderek koyulaşır. Alimoğlu traverten ocağına bitişik ilik ocağında ise kalınlıkları 1.5 m ile 5 m arasında değişen, çalı düzlüğü alt ortamında çökelmiş 4 ayrı traverten seviyesi bulunmaktadır (Şek. 2).

b) Bataklık - havuz alt ortamı.- Bu alt ortamın egemen kaya türü yatay konumlu, gri-kahverengi, boşluklu kamış tipi travertenler ile litoklastlardır. Bunlar, yamaç travertenlerine göre daha koyu renkli, daha fazla gözenekli olup, yer yer gastropod kavkuları içerirler. Topraklaşma etkileri yaygındır. Kocabaş civarında traverten sırtları çevresindeki çöküntü ortamlarında oluşmuş travertenler henüz yeteri kadar sıkılaşmamışlardır. Bu nedenle kuzeydeki ocaklarda işletilen travertenlere göre daha genç olduklarını düşünmekteyiz. Kocabaş çevresindeki bu travertenler grabenin orta kesimlerinde geniş alanlar kaplar ve üstlerinde güncel bir oluşum gözlenmez. Ayrıca Honaz, Karateke, Pınarkent ve Gürlek'te, çöküntü ortamlarında oluşmuş travertenler yaygındır. (Şek. 1) Bunlar muhtemelen Karateke ve Honaz'dan kuzeye, graben merkezine doğru akan kaynak sularının etkisiyle oluşmuş bir traverten plâtosudur. Plato güneyden kuzeye basamaklı yapıdadır. Bu alandaki travertenler kahverenkli, boşluklu, organik madde içeriği fazla, topraklaşma etkisi yüksek, daha çok kamış gibi ve tufa karakterli oluşumlardır. Bu traverten platosunun Pınarkent yakınlarındaki kesiminde demiryolu ile karayolu arasında açılmış yol yarmalarında irili ufaklı ve köşeli traverten litoklastları, 25°-30° eğimli yüzeylerde, yeniden çökeltilmiş olarak görülür.

3- Tümsek depolanma ortamı

Kamış tümseği depolanma ortamı, çöküntü alanlarında ya da yamaç eteklerinde ki kamış, saz ve iri otların yoğun olduğu sulak alanlardır. Bunlar boşluk oranı fazla "fitoherm" türü karbonat tümsekleridir. Bu sistemin ana traverten bileşeni kamış litofasiyesidir. Kamış litofasiyesi ile birlikte mikritik laminalar, sal ve zarflı hava kabarcıkları da bulunur. Mikritik lamina ve sal oluşumlarının bir kısmı kamış-saz boşluklarını doldurmuştur. Kamış kalıplarının bazıları büyüme konumunda korunmuştur. Tümsek kanatlarında tabaka eğimleri 10°-35° arasındadır. Bu depolanma ortamı Kaklık KB'sındaki traverten ocaklarının üst seviyelerinde çok belirgindir (Şek. 2). Altta yatay tabakalı çalı düzlüğü ve bataklık-havuz alt ortamlarına geçerler.

4- Sırt depolanma ortamı

Sırt tipi travertenler morfolojik sınıflandırılmada önemli bir bileşendir. Denizli havzasında sırt tipi travertenlerin hem güncel hem de yaşlı çok sayıda örneklerine rastlanmaktadır. (Altunel, 1996; Çakır, 1999; Özkul ve Alçıçek, 2000; Özkul ve diğerleri, 2001). Bu oluşumlar bölgede neotektonik, deprensellik yönünden olduğu kadar, mermercilik açısından da önemlidir. Çakır (1999), havzada açılma çatlakları ve bunlara bağlı olarak gelişen traverten sırtlarının, tercihli olarak havzayı sınırlayan normal fayların uç kesimlerinde, sıçrama yaptıkları alanlarda geliştiklerini belirtmiştir.

Sırt eksenlerinin doğrultulan faylara paralel olduğu gibi, faylarla belirli bir açı yapanlar da vardır. Sırtların büyük bir kısmı havzanın kuzey-kuzeybatı kenarı boyunca gelişmiştir. Büyük Menderes vadisinde (Yenice yakınları), Gölemezli, Pamukkale-Karahayıt, Akköy, Kocabaş çevresinde ve Honaz batısında

Karateke-Emirazzili köyleri arasında morfolojileri tamamen veya kısmen belirgin olan sırtlar izlenmektedir (Şek. 1; Levha IV, şek. 7 ve 8).

Büyük Menderes vadisindeki Kamara sırtı ve Karahayıt'taki Kırmızısu sırtı, aktif, diğerleri aktif değildir. Üstten elips şeklinde görünen sırtların uzunlukları 65-500 m, taban genişlikleri 20-125 m arasında değişir. Sırtın her iki kanadında yer alan yamaç ortamında, sırt ekseninden uzaklaşan yönde 30°-40° eğimli traverten tabakaları çökelmiştir. Bazı sırtlarda teraslı havuzları gelişmiştir. Kanatlardaki eğimli tabakalar yanal yönde sırt çevresindeki çöküntü depolanma ortamlarına geçer (Levha IV, şek. 8). Sırtın orta kesiminde maksimum olan çatlak genişliği, uçlara doğru daralır. Kocabaş kuzeybatısındaki Kuşgöü traverten sırtında merkezi açılma çatlağının genişliği ortada 7 m, batı ucunda 5 m'dir (Levha IV, şek. 7). Su çıkışı olan açılma çatlaklarının duvarlarında, düşey konumlu kristalin kabuk yapıları gelişmiştir. (Levha I, şek. 1). Bazı açılma çatlaklarında kristalin kabuklar kaba taneli litoklast, laminalı sal ve zarflı gaz kabarcıklı litofasiyesleri ile bir arada bulunur (Levha I, şek. 7). Sırtın merkezi açılma çatlağına paralel ve su çıkışlarının olmadığı ikincil açılma çatlakları kırmızı eski toprak, köşeli traverten litoklastlar ve çakıl gibi malzemelerle doldurulmuştur. Sırt eksenine dik ve uzaklaşan yönlere birkaç metre içinde ani litofasiyes değişimleri sıkça gözlenir. Guo ve Riding (1999) bu ani ve kısa mesafeli fasiyes değişimlerinin sırtlar için belirgin bir özellik olduğunu ifade etmişlerdir.

5- Kanal depolanma sistemi

Kanal depolanma ortamı traverten çökeltin suların akış yönünde oluşturdukları kanallardır. Üstten görünüşleri eğri çizgi, kanal eksenine dik kesitleri kesik koni veya Altunel'in (1996) ifadesiyle 'M' şeklindedir. Kanal iç

yapısı yukarı doğru iç bükey ve birbiri üzerinde çökelmiş mikritik laminalardan oluşmuştur. Bazı kanal iç yapılarında mikritik laminalarla kristalin kabuk litofasiyesi ardalanmaktadır. Suyun aktığı kanal, her iki tarafında birbirine paralel iki adet kordonla sınırlandırılmıştır. Çökelenin en fazla olduğu noktalar boyunca gelişen bu kordonlar, teras havuzlarında olduğu gibi, çoğunlukla kristalin kabuktan meydana gelmiştir. Kanal eksenin her iki tarafında küçük ölçekte yamaç alt ortamı gelişmiştir. Eğimleri 25° ile 90° arasında değişen yamaçlardaki traverten çökeli, kanaldan taşan sular tarafından gerçekleştirilir.

DURAYLI İZOTOPLAR

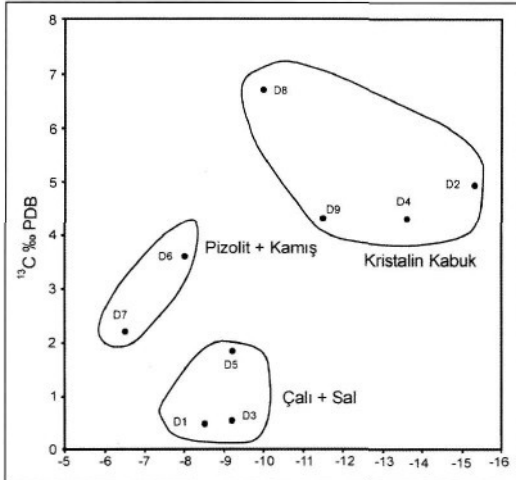
Denizli travertenlerine ait 9 örneğin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ duraylı izotop analizleri yapılmıştır. δC izotop değerleri 0.35-6.7 ‰, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -6.47 ile -15.10 ‰ arasında değişmektedir (Çizelge 1). Yüksek sıcaklıklardaki depolanma ortamlarında bir traverten ile içinde olduğu kaynak suyu arasındaki izotopik denge, suyun yüzeye çıkması ve soğumasından dolayı değişime uğrayabilir. Bunun başlıca nedeni CO_2 'in ortamdan uzaklaştırılmasına eşlik eden kinetik etki ve çökelim hızının yüksekliğidir (Usovdski ve Hoefs, 1990). Akış sırasında sıcaklığın düşmesi, buharlaşma, toprak zonundan veya yüzey sularından katılım yanında, fotosentez gibi biyojenik etkili jeokimyasal prosesler de izotopik değerlerin değişmesinde etkili olabilmektedir (Chafetz ve diğerleri, 1991b; Guo ve diğerleri, 1996). Denizli traverten örneklerinden elde edilen 5°O PDB ve SMOW ile $\delta^{13}\text{C PDB}$ değerleri birbirleriyle karşılıklı olarak keşitirildiğinde, ortaya çıkan dağılımın, çalı+sal, pizolit+kamış ve kristalin kabuk tipleri ile simgelenen üç farklı alan içerisinde yayıldığı görülür (Şek. 4). Su sıcaklığı, akış hızı ve mesafesi, yüzey

Çizelge 1- Denizli travertenlerinden alınan bazı örneklerin CaCO_3 , $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri

Örnek No	Mevkii	Tipi	CaCO_3 Miktarı	$\delta^{13}\text{C}\text{‰ PDB}$	$\delta^{18}\text{O}\text{‰ PDB}$	$\delta^{18}\text{O}$ SMOW
D1	Kömrüçüoğlu	Çalı	100.00	0.35	-8.51	22.14
D2	Mayaş	Kristalin kabuk	96.34	5.00	-15.10	15.34
D3	Kömrüçüoğlu	Çalı	100.00	0.51	-8.70	21.94
D4	Yenicekent	Kristalin kabuk	97.92	4.36	-13.58	16.92
D5	Kaklık Mağ.	Sal	96.00	1.87	-9.21	21.42
D6	Hapishane	Kamıştipi	95.06	3.49	-7.95	22.71
D7	Ballık	Pizolit	99.29	2.04	-6.47	24.24
D8	Jandarma Kaynağı	Kristalin kabuk	94.60	6.70	-9.99	20.61
D9	Güncel Pamukkale	Kristalin kabuk	96.82	5.70	-11.18	19.39

alanı ve biyolojik etkiler gibi farklı oluşum koşulları altında teras, yamaç ve havuz gibi değişik ortamlarda şekillenen litofasiyelerin, duraylı izotop değerlerinde belirli bir farklılık oluşması doğaldır. Çıkış merkezinden

boşalan kaynak sularından CO_2 'in sürekli olarak kaçıışı ile birlikte sistemden d^{13}C de uzaklaşması, kaynağından uzaklaşan termal sularda bu izotopik parçalanmanın d^{13}C yönünden zenginleşmeye neden olduğu bilin-



Şek. 4- Denizli travertenlerinden alınan örneklere ait $\delta^{18}\text{O}$ ‰ SMOW ve $\delta^{13}\text{C}$ ‰ PDB değerlerinin (bak Çizelge 1) grafik dağılımı

mektedir (Chafetz ve diğerleri, 1991b). Benzer şekilde teraslarda, havuzlarda ve durgun su alanlarında artan mikrobiyolojik aktivite ve fotosentez faaliyeti de sistemin $\delta^{13}\text{C}$ yönünden zenginleşmesine yol açmaktadır (Guo ve diğerleri, 1996). Bütün bu veriler, traverten oluşumlarının kaynaktan uzaklaştıkça göreceli olarak $\delta^{13}\text{C}$ yönünden zenginleştiğini göstermektedir. Benzer olay $\delta^{18}\text{O}$ için de geçerlidir. Kaynak sularının akış yönünde soğuması ve buharlaşma ile sistemden $\delta^{18}\text{O}$ atılması, $\delta^{18}\text{O}$ değerini yükseltir. Güncel ve fosil travertenlerde bu iki izotopun kaynak mesafesi ile bağlantılı olarak artışıdaki doğrusal ilişki birçok güncel ve fosil traverten çalışmasında ortaya konulmuştur (Chafetz ve Lawrence, 1994; Guo ve diğerleri, 1996). Denizli travertenlerini temsil eden litofasiyeslerin izotop değerlerinde böyle bir doğrusal ilişki izlenememiştir. Kristalin kabuğa göre kaynağın daha uzağında düzlüklerde ve havuzlarda oluşan çalı, sal, kamış ve pizolitik travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinde artış yerine çok belirgin bir azalma izlenmektedir (Çizelge 1). Buna karşın $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinde ise beklenen artışın gerçekleştiği görülmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar:

- 1- Denizli sıcak su travertenleri arazi ölçeğinde kristalin kabuk, çalı, pizolitik, sal, zarflı hava kabarcıklı, kamış, litoklastlı ve çakıllı traverten litofasiyeslerine ayrılmış ve her litofasiyesten alınan örneklerin petrografik özellikleri incelenmiştir.
- 2- Travertenler başlıca yamaç, çöküntü, sırt, tümsek ve kanal depolanma ortamlarında çökelmişlerdir. Yamaç depolanma ortamı teraslı ve düz yamaç alt ortamlarına;

çöküntü ortamları da çalı düzlüğü ve bataklık-havuz alt ortamlarına ayrılmıştır. Düşey yönde, çöküntü ortamlarından eğimli yamaç ortamlarına veya tersi geçişler gözlenir.

- 3- Traverten litofasiyesleri depolanma ortamlarında farklı oranlarda temsil edilir. Kristalin kabuk tipi travertenler düz yamaçlar üzerinde, teras havuzlarının dış bükey kenarları ve duvarlarında, şelâle alt ortamının dik yüzeyleri üzerinde ve sırt depolanma ortamlarının açılma çatlaklarında yaygın şekilde görülür. Açık renkli çalı litofasiyesi çöküntü ortamlarının en yaygın ve tipik bileşeni olup, bol miktarda diyatome ve bakteri flamanları içerirler.
- 4- Koyu renkli kamış tipi travertenler kamış tümseklerine ve bataklık havuz alt ortamlarına özgüdür. Çalı şekillerinden sonra, yayılımı en fazla litofasiyestir. Pizolit, sal, zarflı hava kabarcıklı, litoklast ve çakıllı travertenler daha yerel ve sınırlı oluşumlardır.
- 5- Traverten örneklerinde yapılan izotop analizlerine göre, $\delta^{13}\text{C}$ izotop değerleri 0.35-6.7‰, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -6.47 ile -15.10 ‰ arasında değişmektedir $\delta^{18}\text{O}$ PDB ve SMOW ile $\delta^{13}\text{C}$ PDB değerleri birbirleriyle karşılıklı olarak keşitirildiğinde, çalı+sal, pizolitik kamış ve kristalin kabuk litofasiyesleri ile temsil olunan üç farklı alanda bir gruplaşma olmaktadır. İzotopik olarak böyle bir gruplaşma, travertenlerin havuz, teras, durgun su gibi farklı oluşum koşullarında oluştuklarını desteklemektedir. Bu ortamları karakterize eden litofasiyeslerde $\delta^{13}\text{C}$ değerinin çok düşük olması ise, CaCO_3 çökeliminde biyolojik faktörlerin çok aktif rol oynamadığının bir işaretçisi olabilir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir (Proje No. YDABÇAG - 198Y100). İzotop analizlerinin yapılmasındaki yardımları için M. Satır'a, bu çalışmaya başlamamızı teşvik eden N. Kazancı'ya ve zaman zaman görüşlerinden yararlandığımız R. Riding ve A. Pentecost'a, arazi çalışmalarında her türlü kolaylığı gösteren Kömürçüoğlu, Mayaş, Alimoğlu, İlik, Çakmak, Emek ve Ece traverten ocaklarının yetkililerine ve Kamara kapıcısı işletmesine teşekkür ederiz.

Yayına verildiği tarih, 2 Kasım 2001

DEĞİNİLEN BELGELER

- Allen, E. T. ve Day, A. L., 1935, Hot springs of the Yellowstone National Park: Carnegie Inst., Wash. Publ., 466, 525.
- Altunel, E., 1996, Pamukkale travertenlerinin morfolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik önemler: MTA Derg., 118, 47-64.
- _____ve Hancock, P. L., 1993a, Morphology and structural setting of Quaternary travertines at Pamukkale, Turkey: Geological Journal, 28, 335-346.
- _____ve_____, 1993b, Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey: Z. Geomorph. N. E. 285 - 302.
- Baker, G. ve Frostick, A. C., 1951, Pisoliths, oolites and calcareous growths in limestone caves at Port Campbell, Victoria, Australia: Jour. Sed. Pet., 21, 85- 104.
- Bargar, K. E., 1978, Geology and thermal history of Mammoth hot springs Yellowstone National Park, Wyoming: U.S. Geol. Surv. Bull., 1444, 55.
- Black, D. M., 1953, Aragonite rafts in Carlsbad Caverns, New Mexico: Science, 117, 84-85.
- Canik, B., 1978, Denizli - Pamukkale sıcak su kaynaklarının sorunları: Jeoloji Mühendisliği Derg., 5, 29-33.
- Chafetz, H. S. ve Meredith, J. C. 1983, Recent travertine pisoliths (pisoids) from southeastern Idaho, U.S.A.: in: Coated Grains, Ed. by T.M. Peryt, 45CM55, Springer - Verlag, Berlin.
- _____ve Folk, R. L., 1984, Travertines: Depositional morphology and the bacterially constructed constituents: Jour. Sedimentary Petrology, 54, 1,289-316.
- _____: Rush, P. F. ve Utech, N. M., 1991a, Microenvironmental controls on mineralogy and habit of CaCO₃ precipitates: an example from an active travertine System: Sedimentology, 38, 107-126.
- _____: Utech, N. M. ve Fitzmaurice, S. P., 1991b, Differences in the δ O and δ C signatures of seasonal laminae comprising travertine stromatolites: Jour. Sedimentary Petrology, 61, 6, 1015-1028.
- _____ve Lawrence, J.R., 1994, Stable isotopic variability within modern travertines: Geographie Physique et Quaternaire, 48, 257-273.
- _____ve Guidry, S.A., 1999, Bacterial shrubs, crystal shrubs, and ray-crystal crusts: Bacterially induced vs abiotic mineral precipitation, Sedimentary Geology, v. 126, p. 57-74.
- Çakır, Z., 1999, Along - strike discontinuity of active normal faults and its influence on Quaternary travertine deposition: Examples from western Turkey: Tr. J. of Earth Sciences, 8, 67-80.
- Demirkıran, Z. ve Çalapkulu, F., 2001, Kaklık-Kocabaş travertenlerinin litolojik, morfolojik özellikleri ve sınıflandırılması: Mersem 2001, Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 17-31, TMMOB Maden Müh. Odası Afyon II Temsilciliği, Afyon.
- Ekmekçi, M.; Günay, G. ve Şimşek, Ş., 1995, Morphology of rimstone pools, Pamukkale, western Turkey: Cave Karst Sci., 22, 103-106.
- Eşder, T. ve Yılmaz, S., 1991, Pamukkale jeotermal kaynakları ve travertenlerin oluşumu: (Editör: N. Özer) Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Dergisi, Özel sayı.

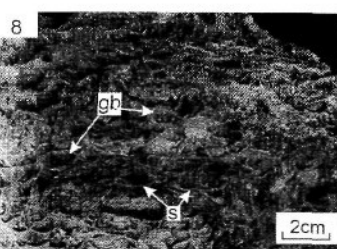
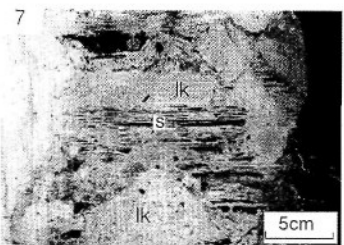
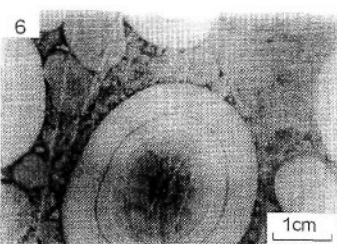
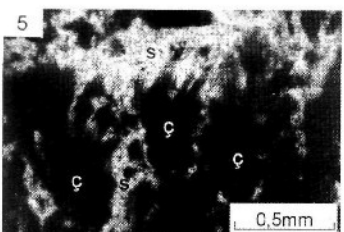
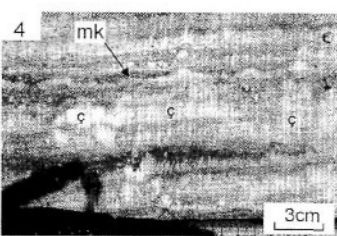
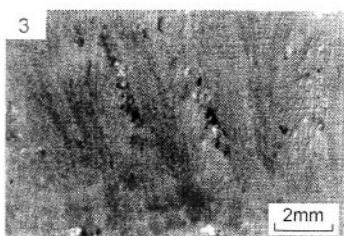
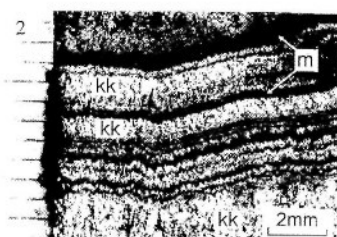
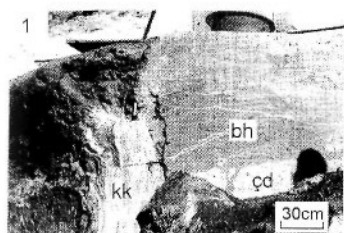
- Folk, R. L. ve Chafetz, H. S., 1983, Pisoliths (pisoids) in Quaternary travertines of Tivoli, Italy: in: Coated Grain (Ed. by T. M. Pery), 474-487. Springer-Verlag, Berlin.
- ____; _____ ve Tiezzi, P. A., 1984, Bizarre forms of depositional and diagenetic calcite in hot spring travertines, central Italy: in: Carbonate Cements (Ed. by N. Schneidemann and P. Harris), Spec. Publ. S.E.P.M., 36, 349-369.
- Gökğöz, A., 1994, Pamukkale - Karahayıt - Gölemezli Hidrotermal Karstının Hidrojeolojisi: Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bil. Enst. 263s., İsparta.
- ____ ve Filiz, Ş., 1998, Pamukkale - Karahayıt dolayındaki sıcak ve minerali sularla travertenleri kirlüten etkilere değerlendirilmesi ve bunların önlenmesi: Yerbilimleri (Geosound), 32, 29-43.
- Guo, L., 1993, Fabrics and facies of Quaternary travertines, Rapolano Terme, central Italy. PhD thesis, University of Wales, Cardiff, 237 PP.
- ____ ve Riding, R., 1994, Origin and diagenesis of Quaternary travertine shrub fabrics, Rapolano Terme, central Italy: Sedimentology, 41, 499-520.
- ____ ve _____, 1998, Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene Rapolano Terme, Italy: Sedimentology, 45, 163-180.
- ____ ve _____, 1999, Rapid facies changes in Holocene fissure ridge hot spring travertines, Rapolano Terme, Italy: Sedimentology, 46, 1145-1158.
- ____; Andrews, J.; Riding, R., Dennis, P. ve Dresser, Q., 1996, Possible microbial effects on Stable carbon isotopes in hot-spring travertines: Jour. Sedim. Res., 66, 468-473.
- Kahle, C. F., 1977, Origin of subaerial Holocene calcareous crusts: role of algae, fungi and sparmicritization: Sedimentology, 24, 413-435.
- Koçak, A., 1971, Denizli-Pamukkale ve Karahayıt kaplıcalarının hidrojeolojik etüdü: MTA Rap., 5670, 21 s. (yayımlanmamış).
- Özkul, M. ve Alçiçek, M. A., 2002, Facies variation in Recent to Quaternary fissure ridge hot spring travertines, Denizli Basin, Interior Western Turkey: International Earth Science Colloquium on the Aegean Region, Dokuz Eylül Univ. Engineering Faculty, Dept of Geology, izmir, Turkey, Poster display, Proceedings Abstracts, p. 91.
- ____; _____; Heybeli, H.; Semiz, B. ve Erten, H., 2001, Denizli sıcak su travertenlerinin depolanma özellikleri ve mermercilik açısından değerlendirilmesi: Mersem 2001, Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler kitabı, 57-72, TMMOB Maden Müh. Odası Afyon M Temsilciliği, Afyon.
- Özpınar, Y. M.; Heybeli, H.; Semiz, B.; Baran, H. A. ve Koçan, B., 2001, Kocabaş ve Denizli travertenlerinin jeolojik, petrografik özellikleri ve oluşumunun incelenmesi, teknik açıdan değerlendirilmesi: Mersem 2001, Türkiye III. Mermer Sempozyumu Bildiriler kitabı, 133-148, TMMOB Maden Müh. Odası Afyon II Temsilciliği, Afyon.
- Pentecost, A., 1990, The formation of travertine shrubs: Mammoth Hot Spring, Wyoming: Geol. Mag., 127, 159-168.
- ____, 1993, British travertines: A review: Proceedings of the Geologists Association, 104, 23-29.
- ____ ve Tortora, P., 1989, Bagni di Tivoli, Lazio: A modern travertine-deposition site and its associated microorganisms: Bull. Soc. Geol. Ital., 108, 315-324.
- ____; Bayan, S. ve Yesertener, C., 1997, Phototrophic microorganisms of the Pamukkale Travertine, Turkey: Their distribution and Influence on travertine deposition: Geomicrobiology Jour, 14, 269-283.

- Srdoc, D.; Chafetz, H.S., ve Utech, N., 1989, Radiocarbon dating of travertine deposits, Arbutle Mountains, Oklahoma, Radiocarbon, 31, 619-626.
- _____; Osmond, J. K.; Horvatincic, N.; Dabous, A., A. ve Obelic, B., 1994, Radiocarbon and uranium-uranium-series dating of the Plitvice Lakes travertines, 36, 2, 203-219.
- Sun, S., Denizli Uşak arasının jeolojisi ve lin-yit olanakları, MTA Rap., No. 9985, (yayımlanmamış), Ankara.
- Şentürk, F., Sayman, Y; Yalçın, H. ve Ağacık, G., 1971, Pamukkale sıcak suları ve travertenleri üzerinde araştırma, DSİ Araştırma Dairesi Başkanlığı Ara rapor. Rap., No. Ki - 507, Ankara.
- Taner, G., 2001, Denizli bölgesi Neojen'ine ait katların stratigrafik konumlarında yeni düzenleme : 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri özleri, 7-10 Mayıs, Ankara, 54-79.
- Usdovski E. ve Hoefs, J., 1990, Kinetics $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ effects upon dissolution and outgassing of CO_2 in the System $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$: Chemical Geology, Isotop Geoscience, 80, 109-118.
- Westaway, R., 1990, Block rotation in Western Turkey. 1. Observational evidence: Journal of Geophysical Research, 95, 19857-19884.
- _____, 1993, Neogene evolution of the Denizli region of Western Turkey: Journal of Structural Geology, 15, 37-53.
-

LEVHALAR

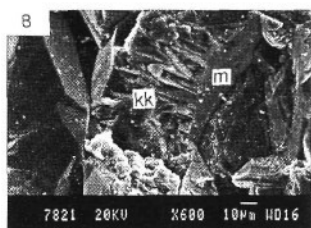
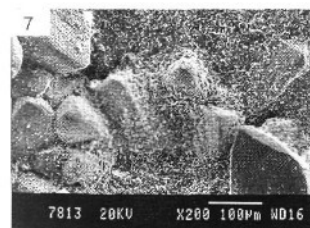
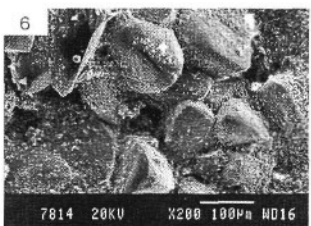
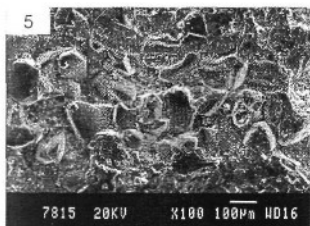
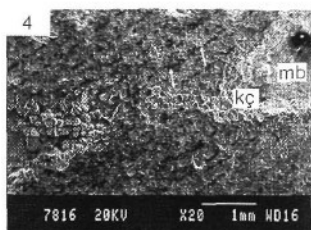
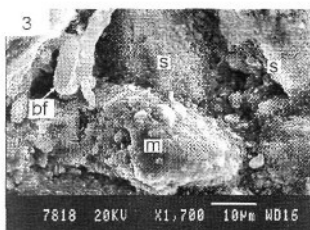
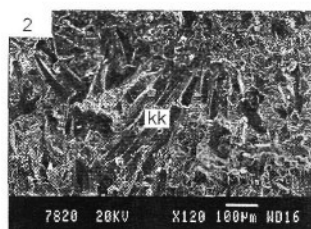
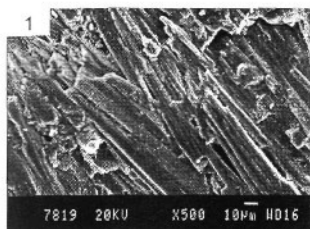
LEVHA-I

- Şek. 1- Bir açılma çatlaklarını doldurmuş düşey konumlu ve açık renkli kristalin kabuk (kk). Sağda görülen açık renkli traverten çalı düzlüğü (çd), köyü renkli traverten bataklık-havuz (bh) alt ortamında çökelmiştir. Kocabaş Beldesi, Fidan Traverten Ocağı: markör=13 cm.
- Şek. 2- Çökeltme yüzeyine dik gelişmiş açık renkli, lifsi kristalin kabuk (kk) ve koyu renkli mikritik ara düzeylerin (m) mikroskop görüntüsü.
- Şek. 3- Çökeltme yüzeyine dik gelişmiş, sedir ağacını andıran lifsi kristalin kabuk yapısının mikroskop görüntüsü.
- Şek. 4- Büyüme konumunda yukarı doğru genişleyen, açık renkli, dendritik çalı düzeyleri (ç) ile mikritik laminaların (mk) ardalanması. Belevi köyü güneyi, Ece alt traverten ocağı, tel kesme yüzeyi.
- Şek. 5- Çalı yapısının mikroskop görüntüsü. Büyüme konumunda yukarı doğru genişleyen koyu renkli çalı formları (ç) arasındaki boşluklar sparikalsitle (s) doldurulmuştur.
- Şek. 6- Pizolitli traverten yapısı. Düzgün sarımlı laminalardan oluşan pizolit tanelerinin mikroskop görüntüsü.
- Şek. 7- Bir açılma çatlaklarında oluşmuş sal tipi traverten laminaları (s) ve çatlak boşluğuna düşmüş traverten litoklastları (lk). Kuşgözü traverten sırtı, Kocabaş beldesi KB'sı.
- Şek. 8- Güncel sal tipi traverten laminaları (s) ve bunlar birlikte oluşmuş zarflı gaz boşlukları (gb). Çukurbağ kaynağı, Pamukkale.



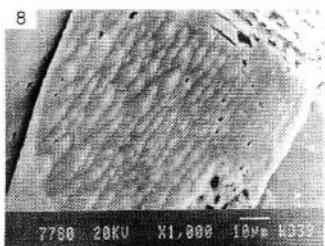
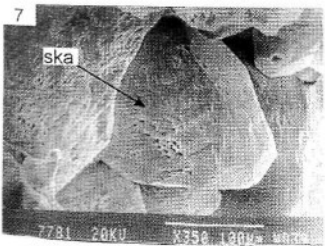
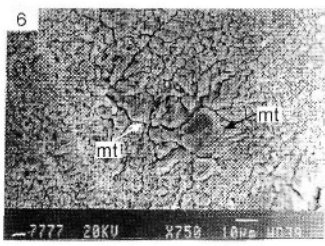
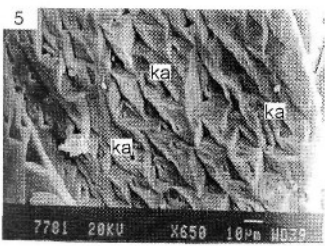
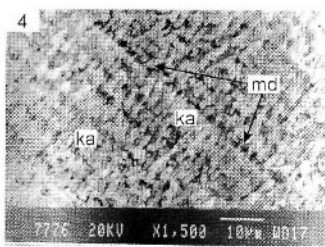
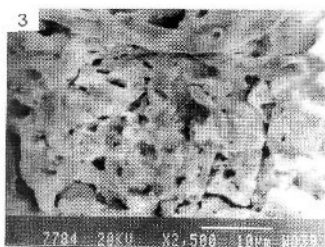
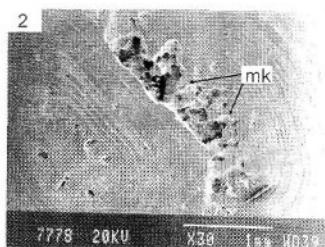
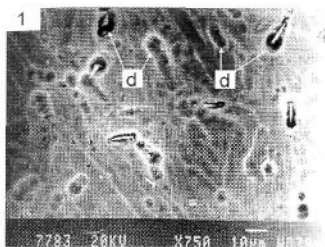
LEVHA-II

- Şek. 1, 2- Işınsal büyümeli kalsit kristalleri ile (Şek. 1), mikrit hamuru içinde kırılmış kristalin kabuk (kk) yapısı (Şek. 2). (SEM görüntüsü).
- Şek. 3- Spar mikritleşmesi nedeniyle kalıntı spar kristalleri üzerinde (s) gelişen mikritler (m). Sol üst köşede kalsitleşmiş bakteriyel filamentler (bf) görülmektedir (SEM görüntüsü).
- Şek. 4- Pizolit tanesi içerisinde mikrit ara yüzeyleri (okla işaretli) ile ışınsal büyümeli kalsit düzeylerinin ar dalanması. Sağ üstteki mikro erime boşluğu (mb) açık renkli ikincil kireç çamuru (kç) ile doldurulmuştur (SEM görüntüsü).
- Şek. 5, 6, 7- Mikritik zemin üzerinde büyüyen öz - yarı öz şekilli spar büyümeleri: Kristallerde rombik sınırlar korunmuş (Şek. 7), veya kısmen kırılmış veya yuvarlaklaşmıştır (Şek. 5 ve 6), (SEM görüntüsü).
- Şek. 8- Mikritik zemine (m) dik gelişmiş ışınsal kalsit kristalleri (kk) (SEM görüntüsü).



LEVHA-III

- Şek. 1- Bataklık-havuz alt ortamında çökelmiş koyu renkli travertenlerde mikritik hamur içinde diyatome kalıntıları (d) (SEM görüntüsü).
- Şek. 2- Pizolit ara yüzeylerinde gelişen mikrokarstlaşmalar (mk), 'mikrostromatolit yapısı (SEM görüntüsü).
- Şek. 3- Pizolit ara yüzeylerinde mikrokarstlaşma sonucu gelişmiş bir boşluğu (SEM görüntüsü).
- Şek. 4- Pizoid yapısı içerisinde ışınsal büyümeli kalsit kristalleri (ka) çok ince mikrit ara düzeyleri (md) ile örtülmüş (SEM görüntüsü).
- Şek. 5- Işınsal / tüysü büyümeli kalsit kristallerini (ka) (SEM görüntüsü).
- Şek. 6- Pizoid yapısı içerisinde öz şekilsiz mikritik tanelerden (mt) oluşmuş kümelenmeleri (SEM görüntüsü).
- Şek. 7- Boşluk dolgusu öz şekilli spar kalsit kristalin (ska) (SEM görüntüsü).
- Şek. 8- Traverten içerisinde, mikritik düzeylerde olası bakteriyel kökenli yapıları (SEM görüntüsü).



LEVHA-IV

- Şek. 1- Pamukkale travertenlerinde güncel bir yamaç depolanma ortamının düz (dy) ve teraslı yamaç (ty) alt ortamları.
- Şek. 2- Düşey duvarlarda gelişmiş mikroteras havuzları, Karahayıt, Kırmızı su kaynağı, Ölçek: Markör= 13 cm.
- Şek. 3- Şelâle alt ortamında oluşmuş, asılı perde görünümünde bir fosil traverten örneği, Keltepe kuzey yamacı, Aşağıdağdere (Dereköy).
- Şek. 4- Çöküntü depolanma ortamlarının, çalı ve bataklık-havuz alt ortamlarında çökelmiş tabakalı travertenler. Emek traverten ocağı, Kocadüz mevkii, Denizli Çimento Fabrikası KB'sı.
- Şek. 5- Çalı düzlüğünde gelişmiş yatay, ince-orta tabakalı ve laminalı, açık renkli traverten. Kaklık KB'sı, Killik Tepe güney eteği, ilik traverten ocağı.
- Şek. 6- Bir çöküntü depolanma ortamında gelişmiş traverten sırtına bitişik, yatay konumlu, açık renkli çalı düzlüğü (çd) ve koyu renkli bataklık-havuz travertenleri (bh) ile bunlara paralel beyaz kristalin kabuk bantları (okla işaretli)
- Şek. 7- Kuşgözü traverten sırtının batıdan görünümü. D-B uzanımlı ana açılma çatlığının bu kesimde kalınlığı 5 m'dir.
- Şekil 8- K-G uzanımlı Çukurbağ sırtı (oklarla işaretli) ve sırtın her iki tarafında *uzanan* düşük topoğrafyalı çöküntü depolanma ortamları. Sırtın güney ucunda Çukurbağ termal kaynağı (sol altta) yer alır.

