

Stable isotopic studies on travertines for paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction: A comparative study on the genesis of occurrences in Turkey and Hungary

Proje No: 106Y207

Mehmet ÖZKUL
Sandor KELE
Ali GÖKGÖZ
Istvan FORISZ
Mehmet Cihat ALÇİÇEK
Anita EROS

EYLÜL 2009
DENİZLİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	vii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.2. Önceki Çalışmalar	2
2. BÖLGESEL JEOLJİ	8
3. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ	12
3.1. Arazi Çalışmaları	12
3.1.1. Örnek alımı	12
<i>a) Su örneklemeleri ve yerinde ölçümler</i>	12
<i>b) Traverten örneklemeleri</i>	13
3.2. Laboratuvar Çalışmaları	14
3.2.1. Su analizleri	14
3.2.2. Traverten analizleri	14
<i>a) SEM ve XRD analizleri</i>	14
<i>b) Jeokimyasal analizler</i>	15
<i>b.1) Ana ve iz element analizleri</i>	15
<i>b.2) Duraylı izotop analizleri</i>	15
4. SU VE TRAVERTEN SAHA TANIMLAMALARI	16
4.1. Denizli Sahaları	16
4.1.1. Yenice sahası	16
4.1.2. Gölemezli sahası	19
4.1.3. Pamukkale-Karahayıt sahası	22
<i>a) Karahayıt alt sahası</i>	22
<i>b) Pamukkale alt sahası</i>	24
<i>c) Çukurbağ alt sahası</i>	25
<i>d) Akköy alt sahası</i>	26
4.1.4. Irlıganlı sahası	26
4.1.5. Ballık sahası	27
4.1.6. Kocabaş sahası	29
4.1.7. Kelkaya sahası	30
4.1.8. Honaz sahası	31
4.2. Macar Sahaları	33
4.2.1. Egerszalók traverten sahası	33
4.2.2. Buda Tepeleri ve Gerecse Dağı traverten sahalrı	33
5. TRAVERTEN OLUŞTURAN SULARIN HİDROJEOKİMYASI	39
5.1. Hidroloji	39
5.2. Hidrojeoloji	41
5.3. Su Kimyası	48
5.3.1. Genel kimyasal özellikler	48
5.3.2. Suların kalsit doyma indisleri	55
5.3.3. İzotop verilerinin değerlendirilmesi	55

6. TRAVERTEN TİPLERİ	57
6.1. Banlı Traverten	57
6.2. Kristalin Kabuk	58
6.3. Çalı Tipi Traverten	60
6.4. Pizolitik Traverten	61
6.5. Sal Tipi Traverten	61
6.6. Zarflı Gaz Kabarcıkları	63
6.7. Kamış Tipi Traverten	63
7. TRAVERTEN MİNERALOGİSİ ve JEOKİMYASI	65
7.1. Mineraloji	65
7.2. Mikrobiyal Bileşenler	76
7.3. Jeokimya	79
7.3.1. Ana ve iz element jeokimyası	79
7.3.2. Duraylı izotoplar	79
8. TRAVERTENLERİN KRONOLOJİSİ	89
9. PALEOORTAMSAL VE İKLİMSEL DEĞERLENDİRMELER	93
10. TARTIŞMA	94
10.1. Türkiye’de ve Macaristan’da İncelenen Travertenlerin Depolanma Ortamları Arasındaki Farklılıklar	94
10.2. Duraylı İzotop Bileşimleri Arasındaki Farklılıklar	94
10.2.1. Macaristan travertenleri (Gerecse ve Buda Tepeleri)	94
10.2.2. Türkiye ve Macaristan travertenlerinin duraylı izotop bileşimleri arasındaki farklılıklar	95
10.2.3. Pamukkale ve Egerszalók’ta dengesizlik koşullarındaki traverten depolanması	97
11. SONUÇLAR	99
12. KATKI BELİRTME	101
13. KAYNAKLAR	102

ŞEKİLLER LİSTESİ		Sayfa
Şekil 1.	Çalışma alanında su ve traverten örneklerinin yerleri. Rakamlar Tablo 2 ve 3'de verilen su numune numaralarına karşılık gelmektedir. Jeolojik harita MTA 1964'den yararlanılarak hazırlanmıştır	13
Şekil 2.	Yenice traverten sahası ve çevresinin jeoloji haritası (Çakır, 1999'dan değiştirilmiştir).	18
Şekil 3.	Yenice sahasında açılmış bir ocakta traverten seviyeleri üstte kırmızımsı-kahve renkli alüvyal tortularla örtülmüştür. Arka planda metamorfik temel kayaları izlenmektedir. Güneye bakış.	19
Şekil 4.	Yenice sahasındaki termal sondajlardan görünüm; (a) YK-1, (b) YK-2 ve (c) YK-3 kuyuları.	19
Şekil 5.	Gölemezli traverten sahası ve çevresinin jeolojik konumu (Çakır, 1999'dan değiştirilmiştir).	20
Şekil 6.	(a) Gölemezli travertenlerinde açılmış ocaktan bir görünüm, geri planda metamorfik temel yükselmektedir, (b) fay zonunda, güneye doğru gelişmiş, yüksek eğimli (65–70°) kristalin bantlı travertenler (kuzeybatıya bakış).	21
Şekil 7.	Gölemezli sahasındaki termal sondajlardan görünüm; (a) DG-4 ve (b) Göl-1 kuyuları.	21
Şekil 8.	Pamukkale ve Karahayıt sahalarının jeoloji haritası (UKAM, 1994'den değiştirilmiştir).	22
Şekil 9.	Karahayıt jeotermal sahasından bir görünüm.	23
Şekil 10.	1994'de kuruyan Kırmızı Su termal kaynak alanı. Görülen termal su yaklaşık 500m uzaklıktaki bir sondajdan boru hattı ile alana getirilmektedir.	24
Şekil 11.	Pamukkale jeotermal sahası ve travertenlerden bir görünüm	25
Şekil 12.	Pamukkale termal kaynakları; (a) Özel İdare, (b) Beltes ve (c) Jandarma.	25
Şekil 13.	Çukurbağ termal kaynağı (a) ve su üzerindeki CaCO ₃ suları (b).	26
Şekil 14.	Belevi - Kocabaş arasında travertenlerin dağılımını gösterir harita.	28
Şekil 15.	(a) Kaklık Mağarası kaynağı, (b) mağara içinde sudan çökelen travertenler.	28
Şekil 16.	Kocabaş sahası travertenlerinin dağılım haritası (Özkul ve Alçıçek, 2002). Harita alanında sırt tipi travertenler (elipslerle işaretli) dışında kalan alanlar çöküntü alanı/sığ göl dolgusu travertenleri ile kaplıdır.	29
Şekil 17.	Kelkaya sahasındaki travertenlerin jeolojik konumuna gösterir harita (Özkul ve Alçıçek, 2002'den değiştirilmiştir).	31
Şekil 18.	Honaz sahasında yer alan traverten ve tufaların dağılımı (Özkul ve Alçıçek, 2002).	32
Şekil 19.	Pınarbaşı karstik kaynağı	32
Şekil 20.	Buda Tepeleri (Buda Hills) traverten sahalarının jeoloji haritası. (Scheuer ve Schweitzer 1980'den değiştirilmiştir).	35
Şekil 21.	Gerece Dağı Pliyosen-Pleyistosen fosil traverten sahalarının jeoloji haritası (Kele, 2009 tarafından Scheuer ve Schweitzer 1981'den değiştirilmiştir).	36
Şekil 22.	Gellert-hegy Ifjusagi parkı kaynak konisi.	36
Şekil 23.	Denizli il merkezindeki sıcaklık ve yağış dağılımları, yıllık sıcaklık ve yağış ortalamalarından eklenik sapma eğrileri.	40
Şekil 24.	Denizli ilinin sismotektonik haritası (Henden, 1981; Özpınar ve Gökgez, 1993) ve jeotermal alanlar.	44
Şekil 25.	Eski Kuru Motel alanının güneyindeki yamaç boyunca akan termal suların CO ₂ , HCO ₃ ve Ca miktarlarında akım yönünde gözlenen değişimler.	52
Şekil 26.	İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı.	54
Şekil 27.	Denizli ve Macar sahalarındaki suların δD (‰)- $\delta^{18}O$ (‰) diyagramı.	56
Şekil 28.	Bantlı travertenlerden görünüm. (a) Pamukkale'de bir açılma çatlağını doldurmuş düşey bantlı traverten (bt) ve her iki taraftaki eğimli tabakalı travertenlerle (tt)	57

	keskin dokanaklı. 213 cm genişliğindeki açılma çatlığının 128 cm'lik sol tarafını düşey bantlı traverten kaplamışken, sağ taraftaki 85cm'lik açıklık döküntülerle doldurulmuştur. (b) D-B uzanımlı Çukurbağ traverten sırtının ana açılma çatlığı içinde gelişmiş düşey bantlı travertenler. (c) Gölemezli sahasındaki yüksek eğimli bantlı travertenler ve (d) bunların yakından görünümü.	
Şekil 29.	Kristalin kabuk tipi traverten. (a) Kristalin kabuk tipi traverten el örneği Jandarma kaynağı önü yamaç , (b) Depolanma yüzeyine dik gelişmiş, yukarı doğru genişleyen kalsit kristal demetleri, (c) dendritik kalsit kristal demetlerinin yakından görünümü, (d) mızrak uçlu kalsit kristal demetleri.	59
Şekil 30.	Pizolitik traverten, pizolit taneleri mineralojik olarak aragonit, taneleri birbirine bağlayan çimento ise kalsit bileşimlidir. Çukurbağ kaynağı, Pamukkale.	61
Şekil 31.	Sal tipi travertenler. (a) güncel traverten salları ve onlara eşlik eden zarflı gaz kabarcıkları, Çukurbağ termal kaynağı, Pamukkale. Ölçek: Madeni para=12 mm, (b) eski (fosil) traverten salları, eski salları biraz kalınlaşmış olarak izlenir. (c) Akköy GD'sundaki traverten sırtında eski sal oluşumları, Ölçek: Jeolog çekiçi=32 cm, (d) Bir açılma çatlığını doldurmuş sal parçaları, Ölçek: kalem=14.5 cm, Akköy traverten sırtı.	62
Şekil 32.	Gölemezli sahasında kalsit minerallerinden oluşan bantlı traverten örneğinin SEM görüntüsü (GM-15 nolu örnek). Kristal büyüme yönü yukarı doğrudur.	66
Şekil 33.	Yenice (Kamara Hamamı) ve Gölemezli sahalarından alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi. (a) Kamara Hamamı örnekleri, KAM-28: % 97 kalsit, % 3 aragonit; KAM-29: % 100 kalsit + eser miktarda aragonit ve kuvars; KAM-30: % 100 kalsit; KAM-117: % 100 kalsit + eser miktarda kuvars ve KAM-118: % 100 kalsit + eser miktarda aragonitten meydana gelmiştir. (b) ve (c) Gölemezli örnekleri: GM-15 nolu örneğin beyaz, koyu ve sarı renk bantları % 100 kalsit ve eser miktarda kuvarstan oluşmuştur. GM-16: % 95 kalsit, % 3 dolomit, 1% kuvars + mika, eser miktarda klorit ve/veya kaolinit, plajiyoklaz. GM-19: % 100 kalsit ve eser miktarda dolomit, kuvars. GM-20: % 80 kalsit, % 14 dolomit, % 5 kuvars, %1 mika + eser miktarda klorit ve/veya kaolinit. GM-21: % 100 kalsit, eser miktarda kuvars.	67
Şekil 34.	Pamukkale sahasında, Jandarma kaynağı önündeki yamaç yüzeyinden alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi. (a) Beyaz renkli kristalin kabuk örneği (PK-4): % 99 kalsit + eser miktarda kuvars ve jips, (b) PK-5: % 100 kalsit oluşan örneklerden PK-5b eser miktarda kuvars, (c) PK-6: % 99 kalsit, <1% aragonit, (d) PK-7: % 99 kalsit + eser miktarda aragonit mineralinden oluşmuştur. PK-7b ise % 100 kalsittir.	68
Şekil 35.	Çukurbağ (Pamukkale) sahasından alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi. (a) ÇB-6: % 100 aragonit, (b) ÇB-7 nolu sal örneği: % 95 kalsit, % 5 aragonit, (c) ÇB-9 nolu beyaz pizolit tanelerinin mineralojik bileşimi: % 78 aragonit, 22% kalsit, taneleri bağlayan çimento % 82 kalsit, % 18 aragonitten oluşmuştur, (d) ÇB-11a nolu örneğin tabanındaki 1. Nokta (açık renkli düzey) % 93 aragonit, % 7 kalsit; onu izleyen 2. Nokta (kahve renkli seviye) % 100 aragonit; 3. Nokta (beyaz seviye) % 91 aragonit, % 9 kalsit; 4. Nokta (kahve renkli seviye) % 77 aragonit, % 23 kalsit ve 5. Nokta (beyaz seviye) % 93 aragonit, % 23 kalsitten oluşmuştur. (e) ÇB-12 örneğinin tabanındaki 1. Noktada (açık renkli düzey) % 70 aragonit, % 30 kalsit; 2. Noktada (kahverengi seviye) % 99 kalsit, % 1 götit ve eser miktarda kuvars belirlenmiştir.	69
Şekil 36.	Ballık sahasında bulunan Kömürcüoğlu traverten ocağından alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi. (a) BKC 53: Kahverengi, manganlı örnek, % 90 kalsit ve % 10 rancieite, (b) BKC 54: % 65 kalsit, % 15 kuvars, % 10 götit, % 4 smektit, % 3 illit ve % 3 kaolinit, BKC-55: % 95 kalsit, 4% kuvars, 1% kil mineralleri (illit, smektit) ve eser miktarda feldispat, (c) BKC-57, 58, 60, 62: % 100 kalsit, eser miktarda kuvars.	71
Şekil 37.	Kocabaş sahasından alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi. (a) KB-1: % 75 aragonit, % 25 kalsit; KB-2: % 93 kalsit, % 7 aragonit; KB-6: % 100 kalsit + eser	72

	miktarda kuvars; KB-11: % 98 kalsit, % 2 kuvars. (b) KB-5 Fe-Mn: % 50 rancieit, % 30 todorokit, % 20 götit, kötü kristalleşmiş.	
Şekil 38.	Mikritik traverten dokusu içinde yer alan bir boşlukta ikincil olarak gelişmiş kaba sparikalsit kristallerinin taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüsü.	73
Şekil 39.	Traverten örneklerinde incelenen kalsit minerallerinin SEM görüntüleri. (a) tamamen kalsit kristallerinden kurulu bantlı traverten, kristal büyümesi aşağıdan yukarı doğrudur, Gölemezli Sahası'ndan alınan 15 nolu örnek, (b) 15 nolu bantlı traverten örneğinde, bantları oluşturan ince ve kaba kalsit düzeyleri, (c=4b), (d=60c) boşlukta gelişen spari kalsit kristalleri, Kömürcüoğlu traverten ocağı, Ballık sahası. g, (h=58c) , (e=8c) birkaç mm çapındaki bir boşluk çeperinde gelişmiş piramidal kristal büyümeleri, (f) Mikritik düzeyler içeren sal ve gaz kabarcıklı bir traverten örneğinde kalsit kabukla kaplanmış küresel şekilli mikrobiyolojik beleşenler, kalsit kabuk dışta pütürlü /dikenli bir görünüme sahiptir. Akköy sırtı.	74
Şekil 40.	Bazı traverten örneklerinden elde edilen SEM görüntüleri. (a) pizolit tanelerini birbirine bağlayan çimento, Çukurbağ kaynağı, (b) konsantrik iç yapılı bir pizolit tanesi, Çukurbağ kaynağı (c) Çukurbağ kaynağı'nda beyaz pizolit taneleri ile birlikte bulunan sallarda iğnemsî kristal büyümeleri (d) bir pizolit tanesinin en dış tarafında çökeltme yüzeyine dik gelişmiş iğnemsî aragonit kristalleri, (e) laminalı (stromatolitik) bir traverten örneğinde sol alttan sağ üste doğru dendritik kristal büyümesi, Çukurbağ kaynağı, (f) e'deki dendritik kristal büyümelerinin yakından görünümü, (g) beyaz pizolit tanelerinin merkezi kısmında ışınal aragonit büyümeleri, (h,) düşey bantlı travertenlerde bantları oluşturan ince ve kaba kristalli düzeyler, Çukurbağ sırtı.	75
Şekil 41.	Yenice kuzeyinde Büyük Menderes vadisinde sıcak sondaj suyundan çökelmiş taze traverten örneklerinde gözlenen diyatom kavkılarının uygulanmış EDS analiz sonuçları. Çimenoğlu Sera Tesisleri.	76
Şekil 42.	Traverten örneklerinde mikrobiyal bileşenler. Diyatom kavkıları: (a, b, c ve d) güncel traverten örneklerinde diyatom kavkıları, Diyatom görüntüleri Yenice kuzeyinde Büyük Menderes vadisinde kurulu Çimenoğlu sera tesislerine bitişik yol kenarındaki güncel traverten oluşumlarından elde edilmiştir. (e) Güncel kristalin kabuk tipi traverten örneğinde diyatom kavkısı, Jandarma kaynağı önü yamaç, PK-13 nolu örnek, Pamukkale, (f) Açılma çatlağı içinde gelişmiş sal tipi traverten lerde disk ve tüp şekilli mikrobiyal bileşenler, Örnek No: 1, Akköy traverten sırtı, (g) (f)'deki disk şekilli mikrobiyal bileşenin yakından görünümü, (h) Düz, çubuk şekilli mikrobiyal bileşenler, Kelkaya sahasında traverten kütlesinde açılmış bir su kanalının duvarından alınmıştır.	77
Şekil 43.	(a, b) Onkolitli travertenlerde kalsit kristal demetleri ile birlikte bulunan mikrobiyal filamentler. Örnek No: 22, Karateke, Honaz sahası, (c=119b), (d) fisür boşluğunda gelişmiş sal tipi traverten örneğinde mikrobiyal bileşenler, Örnek No: 1, Akköy traverten sırtı, (e) yer yer gaz kabarcıkları ile birlikte bulunan güncel bir sal tipi traverten örneğinde ağ ve şerit şekilli mikrobiyal filamentler ve mızrak ucuna benzeyen kalsit kristal demetleri (sol üst köşede) Örnek No: 7, Çukurbağ kaynağı, Pamukkale, (f) gaz kabarcıklı güncel sallarda ağ şekilli EPS ile birlikte küresel taneler, tane yüzeyine dik gelişmiş mızrak uçlu kristal büyümeleri Örnek No: 7, Çukurbağ kaynağı, Pamukkale, (g) f'teki küresel tanelerin yakın görünümü, (h) mikroorganizmanın ortadan kalkması sonucu geriye kalan bir kalıp boşluğu.	78
Şekil 44.	Denizli havzası travertenlerinin duraylı izotop değerlerinin sahalara göre dağılımı.	88
Şekil 45.	Denizli havzası ve bazı Macar traverten sahalalarının duraylı izotop dağılımları.	97

TABLolar LİSTESİ		
		Sayfa
Tablo 1.	Denizli il merkezi meteoroloji verilerine göre 1960-2005 dönemine ait su bilançosu (Thorthwait yöntemi kullanılmıştır).	42
Tablo 2.	İnceleme alanındaki suların kimyasal ve izotop analizleri ve su tipleri	49
Tablo 3.	İnceleme alanındaki suların bazı element analizleri, kalsit doyma indisleri, kısmi CO ₂ gazı basınçları ve çözünmüş inorganik karbon değerleri	50
Tablo 4.	Denizli havzası travertenlerinin ana ve iz element değerlerinin sahalara göre dağılımı.	81
Tablo 5.	Denizli havzası travertenlerinin sahalara göre duraylı izotop bileşimleri.	85
Tablo 6.	Pamukkale-Karahayıt sahalarında önceki çalışmalarda düşey bantlı travertenlerden elde edilmiş U-Th yaşları.	91
Tablo 7.	Denizli traverten sahalarında bu çalışmada elde edilen U-Th yaşları.	92

ÖZET

Kalsiyum karbonatça zengin kaynak suları tarafından oluşturulan travertenler, bir bölgenin bugünkü ve yakın jeolojik geçmişteki tektoniği, depremselliği, jeotermal potansiyeli, iklim ve ortam koşulları hakkında önemli ipuçlarını içlerinde barındırırlar. Bu çalışmada Denizli Havzası'nda (Batı Anadolu) ve Macaristan'daki bazı termal sular ve bu suların ürünleri olan traverten oluşumları jeokimyasal açıdan incelenmiştir.

Genç tektonik aktivite ile ısınan bu sular, hazne kayaları dikkate alındığında üç gruba ayrılabilir. Birinci gruptaki sahaların hazne kayası Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfiteridir (mermer, kuvarsit, şist). Bu sahalar Yenicekent (37.2–63.5°C), Gölemezli (54.8°C), Karahayıt (53–58.2°C) ve Çukurbağ (57.1°C) sahalarıdır. İkinci gruptaki Pamukkale sahasının (32.9–34.4°C) hazne kayaları Paleozoyik yaşlı metamorfikler ve Mesozoyik kireçtaşlarıdır. Hazne kayaları Mesozoyik yaşlı allokton kireçtaşları olan üçüncü gruptaki sahalar ise Kaklık (22.8°C), Kelkaya (18.7°C) ve Honaz (18.7–23.7°C) sahalarıdır. Bu üç grupta yer alan suların elektriksel iletkenlik değerleri sırasıyla 2770–4410 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2360–2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 685–1932 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır. Su tipleri, Yenice sularında Na-HCO_3 , Gölemezli'de Na-SO_4 , Çukurbağ ve Karahayıt sularında $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$, Pamukkale'de $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$, Honaz sularında Ca-HCO_3 ve Kelkaya ile Kaklık'ta Ca-SO_4 şeklindedir. Karahayıt, Yenicekent, Gölemezli, Çukurbağ ve Kelkaya suları, boşalım koşullarında kalsitçe süper doygunluğa erişirken diğer sular doygun değildir. İzotop verilerine göre kökeni meteorik olan Denizli havzası sularının beslenmesi hemen hemen aynı iklim koşullarında gerçekleşmiştir. Macar sahaları suları ise kökeni meteorik olmakla birlikte, buzul çağından ve Holosen'den beslenen suların karışımından oluşur. Bu suların izotop değerleri, buzul çağından Holosen'e ortalama hava sıcaklıklarındaki önemli değişimleri yansıtır.

Denizli Havzası'nın kuzey-kuzeybatısındaki travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri -2,0 ile +12 (‰ V-PDB), $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise +12 ile +24 (‰ V-SMOW) arasında olup, çoğunlukla ‰ 22'den daha düşüktür. Havzanın güneydoğusunda yer alan traverten ve tufaların $\delta^{13}\text{C}$ değerleri -4.0 den +5.8'e değişirken, 19-24 (‰V-SMOW) arasında değişen daha yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahiptir. Bu izotop dağılımlarına göre, kuzey-kuzeybatıdaki travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri daha yüksektir. Güneydoğudaki tufaların yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerleri önemli ölçüdeki meteorik karışım sularını işaret eder.

Çalışılan Denizli ve Macar travertenlerinin duraylı izotop bileşimlerine karşılaştırıldığında, Denizli travertenlerinden elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri daha yüksektir. Denizli Havzası'nın GD'sunda yer alan travertenlerin duraylı izotop değerleri, Macar travertenlerinde ölçülen değerlerle örtüşmektedir. Bu farklılıkların CO_2 'nin kökenindeki farklılıklardan kaynaklandığı düşünülür.

SUMMARY

Travertines deposited by spring waters rich in calcium bicarbonate have insights about conditions of climate and environment, tectonics, seismicity and geothermal potential of a region today and near geological past. In this study, some thermal waters and travertine occurrences, which were precipitated from these waters at the Denizli basin, western Anatolia and Hungaria, have been investigated in point of geochemistry.

The heating waters due to neotectonic activity can be divided into three groups based on the fields of reservoir rocks. The reservoir rocks of the fields in first group are metamorphics (e.i. marbles, quartzites and schists) of the Paleozoic Menderes massif. These fields with water temperatures are those of Yenicekent (37,2–63,5°C), Gölemezli (54,8°C), Karahayıt (53–58.2°C) and Çukurbağ (57.1°C). The reservoir rocks of the Pamukkale field in the second group are Paleozoic metamorphic rocks and Mesozoic limestones. The fields in third group, of which reservoir rocks are consist of Mesozoic allochthonous limestones, are Kaklık (22,8°C), Kelkaya (18.7°C) and Honaz (18.7–23.7°C). The electrical conductivities of these three groups are 2770–4410 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 2360–2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 685–1932 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectively. The water are those of Na-HCO₃ at Yenice, Na-SO₄ at Gölemezli, Ca-SO₄-HCO₃ at Çukurbağ ve Karahayıt, Ca-HCO₃-SO₄ at Pamukkale, Ca-HCO₃ at Honaz and Ca-SO₄ at Kelkaya and Kaklık. The waters of Karahayıt, Yenicekent, Gölemezli, Çukurbağ and Kelkaya fields are supersaturated with respect to calcite while the others are unsaturated.

According to isotope data, recharging of waters of the Denizli basin, which are of meteoric origin, occurred almost in same climatic conditions. On the otherhand, although the waters of Hungarian fields are meteoric in origin, they are composed of mixed waters from the ice age and Holocene. The isotopic values of these waters reflect important changes in average air temperatures from ice age to Holocene.

In the north-northeast of the Denizli basin, The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values of the travertines are between -2,0 and +12 (V-PDB ‰) and from +12 to +24 (V-SMOW ‰), respectively. The $\delta^{18}\text{O}$ values are mostly less than +22 (V-SMOW ‰). The $\delta^{13}\text{C}$ values of travertines and tufas located to the southeast of the basin change from -4.0 to +5.8 in V-PDB ‰, while the $\delta^{18}\text{O}$ has higher values changing from +19 to +24 (V-SMOW ‰). According to these isotope distributions, the $\delta^{13}\text{C}$ values of the travertines to the north-northwest are more positive. The $\delta^{18}\text{O}$ values of the tufas at the southeast indicate certainly a mixture of meteoric water.

The stable isotope compositions obtained from the Denizli travertines are higher than those of Hungarian travertines. The stable isotope values of the travertine and tufas encountered at the southeast of the Denizli basin overlap the values measured from the Hungarian travertines. These may have been considered as the CO₂ came from different origins.

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Traverten ve tufa, Kuvaterner ve günümüz karasal depolanma ortamlarında oluşmuş kalsiyum karbonatlı kaynak çökelleridir (CHAFETZ ve FOLK, 1984; FORD ve PEDLEY, 1996; GUO ve RIDING, 1998, ARENAS vd., 2000; HORVATINČIĆ vd., 2000; PEDLEY vd., 2003; PENTECOST, 2005; PEDLEY, 2008). Son yıllarda bu tür kaynak çökellerinden, yakın jeolojik geçmişe ait ortam ve iklim bilgileri ortaya çıkarmak, Kuvaterner araştırmalarının önemli bir alanı haline gelmiştir (ANDREWS, 2006).

Traverten ve tufa, akarsu yataklarında vadi yamaçlarındaki kaynaklar çevresinde, atmosphere açık koşullardaki göl ortamlarında karbonatlı ana kayaların çözünmesiyle ortaya çıkmış kalsiyum bikarbonatlı sular tarafından oluşturulur. Tufa çökelleri bu yönleri ile spelotemlere benzerler (ANDREWS, 2006). Günlük sıcaklık değerleri içinde depolanan tufalar, tipik olarak makro ve mikro boyutta bitki ve hayvan kalıntıları içerirler. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda tufalar (=meteojen travertenler, PENTECOST, 2005) travertelere göre eski ortam ve iklim koşullarının belirlenmesi amacıyla daha çok kullanılmışlardır (ARENAS vd., 2000; HORVATINČIĆ vd., 2003; ANDREWS, 2006;). Buna karşılık traverten, jeotermal alanlara özgü, nispeten derin dolaşımli yeraltı sularının oluşturduğu kaynak karbonatlarıdır (FORD ve PEDLEY, 1996; PEDLEY vd., 2003). Travertenler ve onları oluşturan hidrotermal sular, bir bölgenin bugünkü ve yakın jeolojik geçmişteki tektoniği, deprenselliği ve jeotermal potansiyeli hakkında önemli ip uçlarını içlerinde barındırırlar (ALTUNEL ve HANCOCK, 1993a; HANCOCK vd., 1999; ŞİMŞEK vd., 2000; ŞİMŞEK, 2003; BROGI, 2004; BROGI ve CAPEZZUOLI, (baskıda); PENTECOST, 2005; UYSAL vd., 2007, 2009; FACCENNA vd., 2008; KELE vd., 2008a ve PEDLEY, 2008). Şimdiye kadar travertenler, Kuvaterner iklim çalışmalarında tufa ve spelotemler kadar kullanılmamış ise de, bazı araştırmacılar travertenlerin de potansiyel olarak eski iklim ve ortam çalışmalarında kullanılabileceğini belirtmektedirler (MINISSALE vd., 2002; FACCENNA vd., 2008; BERTINI vd., 2008; UYSAL vd., 2009; ANGELO MINISSALE, 2009 sözlü görüşme). FACCENNA vd. (2008) ve UYSAL vd. (2009) travertenlerden elde edilen verileri küresel iklim bilgileri ile karşılaştırarak bazı paleoiklimsel değerlendirmelerde bulunmuşlardır.

Bugüne kadar, Denizli havzasındaki travertenler ve termal sular üzerinde değişik amaçlarla birçok çalışmalar yapılmıştır (CANİK, 1978; ALTUNEL, 1996; ŞİMŞEK vd., 2000; ÖZKUL

vd., 2002a,b; ŞİMŞEK, 2003; UYSAL vd., 2007, 2009). Buna karşılık, travertenlerin ve termal suların, jeokimyasal olarak birlikte incelendiği çalışma olmamıştır. Bu projenin amacı, Denizli havzasındaki travertenleri ve traverten oluşturan termal suları jeokimyasal açıdan incelemek ve elde edilen verilerle havza ölçeğinde değerlendirmelerde bulunmak, ayrıca benzer yöntemlerle çalışılmış Macaristan'daki bazı traverten sahaları ve birlikte bulunan termal suları Denizli havzasındakilerle karşılaştırmaktır.

1.2. Önceki Çalışmalar

Denizli havzasındaki termal sular ve travertenler üzerinde yapılan çalışmaların çoğu Pamukkale ve yakın civarında yoğunlaşmıştır. Bunların çoğu hidrojeoloji ve su kimyası ağırlıklıdır. Bir kısmı travertenlerin kirlenmesi ve mikroorganizma içeriği hakkındadır. Aşağıda, önceki çalışmalar ve önemli bulguları kısaca verilmiştir.

GÜNER (1966), Pamukkale sıcak kaynak sularının mikroflorasını incelemiş ve suda mikrofloranın %80'ini Cyanophyceae, %10'unu diyatom ve %10'unu da Chlorophyceae gibi mikroorganizmaların oluşturduğunu belirlemiştir.

GÖKALP (1971), Pamukkale ve Karahayıt'taki sıcak suların kökeninin kristalen masif olduğunu, bu suların yüzeye erişirken soğuk sularla karışarak debilerinin ve kalsiyum miktarlarının arttığını ve sıcaklıklarının azaldığını vurgulamıştır.

ŞAMİLGİL (1973), Denizli yöresindeki sıcak suların analizlerini yapmış ve değerlendirmelerde bulunmuştur. Yazar, bölgedeki tüm sıcak suların kökeninin aynı olduğuna, ancak soğuk sularla az ya da çok karıştığına ve bu karışımın Pamukkale'den Kızıldere'ye kadar giderek artan Na/Ca oranlarıyla belgelendiğine değinmiştir.

KOÇAK (1976)'a göre Pamukkale'de travertenlerin kararmasının en önemli nedeni bikarbonatlı termal suların azalmasıdır. Böylece termal suyun travertenlerin üzerinde yeterince akmaması sonucu tozlar ve çeşitli bitki tohumları traverten yüzeyinde birikmektedir.

CANİK (1978), Pamukkale sıcak su kaynaklarını inceleyerek, suların kalsiyumlu, bikarbonatlı, sülfatlı ve karbondioksitli, mineralli termal su sınıfında olduğunu ve bu suların yaz aylarında travertenler üzerinden akıtılmadan tarla sulanmasında kullanılmasının travertenlerin kararmasına yol açtığını belirtmiştir.

ÖZGÜLER vd. (1983), Tekkehamam, Kızıldere, Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölemezli, Karahayıt ve Pamukkale jeotermal alanlarında yaptıkları gravite çalışmalarıyla sahanın genel tektonik yapısını, özdirenç çalışmaları ile de jeotermal anomalileri, bunların yayılımlarını ve temel kaya derinliğini belirlemişlerdir.

GEVREK (1985), Aydın ve Denizli'deki sıcak su çökellerinin Hg, As ve Pb miktarlarını inceleyerek, Denizli yöresinden aldığı örneklerdeki Hg değerlerinin daha yüksek çıkmasını, Denizli jeotermal alanlarının haznelerinin ve ısıtıcılarının daha sığda olması ve yoğun kırıkların varlığı ile açıklamıştır.

EŞDER ve YILMAZER (1991), Pamukkale'deki travertenlerin Pliyosen'den günümüze 5 aşamalı bir faylanma süreci sonunda meydana geldiklerini öne sürmüşler, ancak böyle bir modelin kanıtlarını ortaya koymamışlardır.

UKAM (Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi) (1994), Pamukkale termal sularının debileri, birbirleriyle ilişkileri ve kimyasal özelliklerini uzun süreli ölçüm ve analizlerle araştırmış, traverten çökeltme mekanizmasını bir pilot alanda deneysel olarak çalışmış ve bulgularını ortaya koymuş, en uygun traverten beyazlatması için bir termal su dağıtım sistemi önermiş ve su kaynakları ile travertenlerdeki kirliliğin önlenmesi konusunda da kapsamlı öneriler getirmiştir.

GÖKGÖZ (1994), Pamukkale sıcak su kaynaklarında 24.02.1991 ve 27.06.1993 periyodu arasında yaptığı ölçümlerde toplam debinin 276–370 lt/sn ve sıcaklığın da 33.8-38°C arasında değiştiğini belirleyerek, suları kimyasal olarak sınıflamış ve kullanılabilir özelliklerini saptamıştır. Yazar, karışım modellerini kullanarak Pamukkale sularının hazne kayadan yüzeye çıkarken %84 oranında soğuk sularla karıştığını hesaplamıştır. Ayrıca Pamukkale'de hem termal sular hem de travertenler üzerine olan kirlenici etkileri ve bunların ortadan kaldırılması için gerekli önlemleri belirtmiştir.

EKMEKÇİ vd. (1995), Pamukkale'de traverten teraslarının morfometrisini ve bunların su akış hızı ve sürekliliği ile olan ilişkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, teras havuzlarının boyutları ile su akış güzergâhlarının eğim gradyanı arasında logaritmik bir ilişki olduğunu düşünmüşlerdir.

ALTUNEL (1994, 1996), ALTUNEL ve HANCOCK (1993a,b) ve ALTUNEL ve HANCOCK (1996, 1997), başta Pamukkale ve yakın çevresi olmak üzere, Kocabaş ve

Dereköy (Aşağıdağdere) sahalarında yaptıkları çalışmalarda, travertenleri morfolojik olarak sınıflandırmışlardır. Ayrıca travertenlerin bölgenin aktif tektoniği ve deprenselliği açısından önemini vurgulamışlar, Pamukkale'deki bazı fosil travertenlerden U-Th yaş bulguları elde etmiştir. Bu yaş bulgularına dayanarak Pamukkale'de traverten oluşumunun en azından 400.000 yıl önce başladığını belirtmiştir.

PENTECOST vd. (1997), aktif Pamukkale travertenlerinde Cyanobakteri, Diyatom ve Chlorophyceae gibi mikroorganizmalara ait toplam 38 cins tayin etmişler ve bu mikroorganizmaların traverten çökelimi üzerinde çok sınırlı bir etkisi olduğu sonucuna varmışlardır.

GÖKGÖZ (1998), Büyük Menderes grabeninde yer alan jeotermal alanları besleyen meteorik suların Kızıldere'den Pamukkale'ye daha sığ derinliklere süzüldüğünü ifade etmiş ve Pamukkale'de termal suyun hazne kaya sıcaklığının 110°C civarında olduğunu belirlemiştir.

GÖKGÖZ ve FİLİZ (1998), Pamukkale sıcak su kaynaklarında yaptıkları çalışmada bakteriyolojik analizler sonucunda Özel İdare ve Belediye kaynaklarında fosseptik kaynaklı kirlilik (E-coli) tespit etmişlerdir. Yazarlar, Pamukkale termal sularında ve travertenlerde kirlenmenin önlenmesi için travertenler üzerindeki turistik tesislerin traverten alanı dışına kaldırılmasını, travertenler üzerinde kontrolsüz bitki gelişimine izin verilmemesini, sellenmeyi önleyecek drenaj kanallarının yapılmasını, ziyaretçilerin travertenler üzerine atık bırakmasının sıkı denetimle önlenmesini önermişlerdir.

HANCOCK vd. (1999)' e göre travertenler, kırık izleri boyunca ya genişleme çatlaklarının hemen üzerinde ya da normal fayların tavan bloklarında gelişmişlerdir. Araştırmacılara göre, açılma çatlakları üzerinde gelişmiş çoğu sırt travertenleri, normal fay parçalarının uçları arasında yer alan sıçrama zonlarına yerleşmişlerdir.

ÇAKIR (1999)'a göre, Pamukkale, Gölemezli, Yenice ve Balkayası (Sarıgöl, Manisa) yörelerinde gözlenen travertenler tercihi olarak normal fay parçalarının uçlarında yer alan "sıçrama" ya da "rahatlama" zonlarında meydana gelmişlerdir. Yazara göre sıçrama zonları, termal suların daha kolay yeryüzüne ulaştıkları zayıflık zonları olarak düşünülmektedir.

ÖZLER (2000), Denizli Çürüksu havzası sularının hidrojeolojisini ve jeokimyasını incelemiş, Çürüksu hidrotermal sahasının düşük sıcaklıkta bir hidrotermal sistem olduğunu vurgulamıştır.

ŞİMŞEK vd. (2000)'e göre, Dünya Miras Listesi'nde yer alan Pamukkale'de, turizm ve beraberindeki ticari faaliyetler, bazı fiziksel bozulmalara ve beyaz travertenlerde renklenmelere yol açmaktadır. Bu olumsuzlukları en aza indirmek için, UKAM ve Kültür Bakanlığı ile birlikte bilimsel çalışmalar başlatılmıştır. Renk bozulmalarının alglerden kaynaklandığı, açık kanalların ve septik tanklardan meydana gelen süzülmelerin alg üremesini teşvik ettiği vurgulanmıştır. Araştırmacıların önerileri doğrultusunda traverten depolanmasını ve beyazlığı korumak ve alg üremesini en aza indirmek için üstü kapalı beton kanallar inşa edilmiş, traverten teraslarını kesen yol trafiğe kapatılmıştır.

ÖZKUL ve ALÇIÇEK (2002), TÜBİTAK desteği ile yapılan bu çalışmada, Denizli travertenlerinin petrografisi ve depolanma özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda traverten litotipleri, fasiyesler ve depolanma sistemleri tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır.

ÖZKUL vd. (2002a,b) TÜBİTAK desteği ile yapılan projenin (Özkul ve Alçıçek, 2002) önemli bulguları, MTA Dergisi'nde Türkçe ve İngilizce olarak yayınlanmıştır.

ŞİMŞEK (2003), Büyük Menderes grabenindeki yüksek ve düşük entalpili jeotermal sahaları adlandırarak, bu sahaların rezervuar sıcaklıklarından bahsetmiş, jeotermal sistemlerin aktif graben fayları ile denetlendiğini belirtmiştir. Bu jeotermal sahalardan Kızıldere, Germencik ve Aydın sahalarına ait suların $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinde, Akdeniz Meteorik Su Çizgisi'ne kıyasla önemli sapmalar olduğunu ifade etmiştir. Buna karşılık Pamukkale, Karahayıt, Gölemezli ve Yenice sahaları ile Söke Bölgesi'nde daha düşük sıcaklıklarla karşılaştığını, $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerlerinde daha küçük sapmalar ve dolayısı ile sığ dolaşım ve soğuk sığ sularla olan karışmalardan söz etmiştir.

ÖZKUL vd. (2004): Bu çalışmanın bulguları, Ağustos 2004'de İtalya'nın Floransa kentinde düzenlenen 32. Uluslararası Jeoloji Kongresi'nde sunulmuştur. Buna göre, Belevi-Ballık-Kocabaş yörelerindeki travertenlerde termoluminesans (TL) yöntemi ile yapılan yaşlandırma çalışmalarında 510.000 yıl ile 330.000 yıl arasında değişen yaş bulguları elde edilmiştir. Bu bölgedeki travertenler 1100 m yükseltideki Belevi'den, 400–450 metre yükseltide yer alan Kocabaş yerleşim merkezine doğru gençleşmektedir.

MÖLLER vd. (2004), Batı Anadolu'daki B. Menderes ve Gediz grabenlerinin bazı temel kayaları, termal kaynak ve kuyularında nadir toprak elementleri, itriyum, major elementler ve kurşun izotop oranlarını tayin etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre, derin dolaşım Na-HCO₃

lı suların nadir toprak elementleri ile itriyum değerlerinin, baskın şekilde Paleozoyik yaşlı mikaşistler tarafından denetlendiği belirtilmiştir.

ERTEN vd. (2005), Denizli travertenleri içinde bulunmuş bazı omurgalı kalıntılarının (*Equus* çene parçaları, *Dama* sp. boynuzları ile alt çene dişleri ve *Bos* sp. alt çene dişleri) Orta Pleyistosen'i işaret ettiklerini, bu fosillerden elde edilen yaş bulgularının termoluminesans yaş verileri ile (Özkul vd.,2004) ile uyumlu olduğunu ifade etmişlerdir.

ÖZKUL vd. (2005), 21–25 Eylül 2005 tarihlerinde Denizli'de yapılan uluslar arası traverten Sempozyumu'nda sunulan bildirilerin özlerini ve tam metinlerini içerir. Sempozyumda sedimantoloji, paleontoloji, tektonik, jeokimya-hidrojeoloji, mühendislik jeolojisi-Jeoteknik, jeolojik ve kültürel miras ve ekonomi oturumlarında 21 ülkeden yaklaşık 90 bildiri sunulmuştur.

ALÇİÇEK vd. (2005), Pamukkale'de kendiliğinden oluşmuş kanal travertenleri içinde gözlenen pizolitlerin kökenlerine yönelik çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada kanallar içinde masif, ışınal ve konsantrik olmak üzere 3 tip pizolit oluşumundan söz edilmiştir.

ALTUNEL ve Karabacak (2005), açılma çatlakları üzerinde gelişen sırt tipi travertenlerin normal fayların tavan blokları üzerinde, fay parçaları arasında kalan sıçrama zonlarında ortaya çıktıklarını belirtmişlerdir. Denizli havzasında sırt tipi travertenler üzerinde yaptıkları çalışmalarda, bantlı travertenlerden elde ettikleri U/Th yaş verilerine göre, yılda 0.008 ile 0,1 mm lik bir genişlemeden söz etmişler ve Denizli havzasında genişleme oranının batıdan doğuya azaldığını öne sürmüşlerdir. Bu yerel sonuçların, Batı Anadolu'daki genel anlamdaki genişlemenin, batıdan doğuya doğru azaldığı görüşü ile örtüştüğü sonucuna varmışlardır.

UYSAL vd. (2007), Uranyum serisi yaşlandırma teknikleri kullanılarak, Batı Anadolu'da Geç Kuvaterner sismik olayları ile ilişkili çatlakların açılma zamanlarını daha doğru bir şekilde belirlemeye yönelik yöntem sunmuşlardır. Yazarlara göre, çatlak dolgusu travertenlerin oluşumu bölgedeki hidrolik rejimle ilişkili değildir. Ayrıca duraylı izotop ve nadir toprak elementleri, çatlak dolgusu travertenleri oluşturan suların, bölgedeki jeotermal kökenli sulardan ve spelotem oluşturmuş sulardan farklı bir kökene sahip olduklarını işaret etmektedir.

KAPPELMAN vd. (2008), Denizli travertenlerinde bulunan Orta Pleistosen (günümüzden yaklaşık 500.000 yıl önce) dönemine ait bir *Homo erectus* kafatası parçasının, Türkiye'de söz

konusu döneme ait ilk buluntu olduğunu ve tüberküloz hastalığının en eski izlerini taşıdığını ortaya koymuşlardır.

UYSAL vd. (2009), Türkiye’de aktif fay zonlarında doğal CO₂ boşalımının fazla olduğunu, bu zonlarda oluşan damar tipi ve bunlara eşlik eden breşik travertenlerin deprem aktivitesine bağlı bir çeşit hidrotermal fişkıma ürünleri oldukları belirtilmiştir. Çoğunlukla Kırşehir örneklerinin 10600 ile 11300 yıllar arasında, Pamukkale örneklerinin ise 21100 ile 25000 yıl arasındaki dönemlerde oluştuklarını ve bu dönemlerin, beklenilen aksine kuru/soğuk iklim dönemlerine karşılık geldiği ifade edilmiştir.

ÖZKUL vd. (2009) Güney şelalesi tufa çökelleri ve birlikte bulunan kaynak suları sedimantolojik ve jeokimyasal açıdan incelenmiş, 2 yıl süre ile tufa çökeltten sular mevsimsel olarak izlenmiştir. İncelenen tufaların duraylı izotop bileşimleri ($\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$) açısından Güney Avrupa’daki (İspanya, Hırvatistan ve Çek Cumhuriyeti) tufalara benzerlik gösterdiğini belirtmişlerdir.

2. BÖLGESEL JEOLJİ

Anadolu yarımadasının güneyinde yer alan Toros Dağları, Alp-Himalaya orojenik kuşağının bir parçasıdır ve Türkiye’de Tetis Okyanusu’nun kapanma süreci ile oluşmaya başlayıp, günümüze kadar uzanan jeolojik olaylara ilişkin bilgiler içerir. Tetis’in Kretase sonunda başlayan kapanma sürecinin, Batı Toroslar’da Erken-Orta Miyosen sonunda bir orojen oluşumu ile sonlandığı büyük ölçüde kabul görmektedir (ŞENGÖR ve YILMAZ, 1981; POISSON vd., 2003; FLECKER vd., 2005). Bölgedeki Neojen olayları, Afrika-Avrasya yakınlaşması sonucu gelişen nap yerleşimleri ile ilişkili ve bunlarla bağlantılı jeolojik olaylar olarak kabul edilebilir (SÖZBİLİR, 1997; 2002; 2005; ALÇİÇEK ve TEN VEEN, 2008; TEN VEEN vd., 2009). Batı Toroslar üzerinde gelişen bu karasal Neojen havzalarından birisi olan Denizli havzası, konumu ve tortul dolgusu ile bölgenin Geç Neojen devrine ilişkin kayıtları içermektedir. Havza dolgusunu oluşturan fasiyesler ile bunların yanal ve düşey dizilimleri; genişlemeli bir karasal havza gelişiminin izlenmesinde önemli verilere sahiptir (ALÇİÇEK vd., 2007). Bununla birlikte havza dolgusunun sunduğu özellikler, orojenik bir kuşak içinde havza gelişimine iyi bir örnek durumunda olup; ayrıca bu gelişimin Batı Anadolu Neotektonik dönemi ile yakın bir ilişkisi bulunmaktadır (WESTAWAY, 1993; WESTAWAY vd., 2005; KOÇYİĞİT, 2005; KAYMAKÇI, 2006; ALÇİÇEK vd., 2007).

Güneybatı Anadolu; aynı zamanda Batı Toroslar olarak da adlandırılır ve başlıca; otokton Beydağları karbonat platformu ile kuzeyinde Menderes Masifi ve allokton Likya Napları’ndan oluşur (HAYWARD, 1984). Denizli ve yakın çevresindeki bu temel birimler, Paleozoyik’ten Neojen başına kadar uzanan geniş jeolojik zaman aralığında, kökenleri farklı çok sayıda birimden meydana gelmiştir. Havzayı çevreleyen yüksek, dağlık horst alanlarında yaygın olan temel birimleri başlıca değişik şistler ve mermerlerden oluşan Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı Menderes Masifi ve Likya Napları’nın metamorfikleridir (SUN, 1990). Bu metamorfikler altta metakırıntılılarla başlayıp killi, kumlu, sarı renkli kireçtaşı ve kristalize kireçtaşları ile devam eden ve nihayet, bunların üzerine tektonik olarak yerleşmiş olan fliş ve ofiyolitik kayaçlarla sona eren allokton konumlu yapısal birim Çökelez Grubu olarak adlandırılmıştır (KONAK vd., 1990). Güneybatı Anadolu’yu oluşturan orojenik kuşak; başlıca Likya Napları’nın, Üst Kretase, Eosen ve Miyosen devrelerinde, otokton Beydağları karbonat platformu üzerine ilerlemesi sonucu meydana gelmiştir (COLLINS ve ROBERTSON, 1998; 2003). Bu gelişim İzmir-Ankara Suture Zonu boyunca Neotetis’in kuzey kolunun Erken Tersiyer süresince yitilmesi ve Avrasya-Afrika levhaları arasındaki KB-GD yakınlaşma ve çarpışma ile ilişkili olaylarla temsil edilir (ŞENGÖR ve YILMAZ, 1981;

OKAY vd., 2001). Bu olayların ürünleri, bir bütün olarak, günümüzde Likya Torosları olarak bilinen Batı Toroslar'ı oluşturur. Bölgede nap yerleşimleri ile meydana gelen orojenezi, karasal havzaların gelişimi izlemiştir.

Batı Anadolu, Ege genişleme bölgesinin doğusunda yer alır. Çoğu araştırmacı tarafından Batı Anadolu'da kıtasal genişlemenin ağırlıklı olarak 15 milyon yıl önce başladığı kabul edilmektedir (SEYİTOĞLU ve SCOTT, 1991; BOZKURT, 2001, ALÇİÇEK ve TEN VEEN, 2008). Batı Anadolu'da K-G gidişli grabenlerin Erken Miyosen'deki D-B yönlü genişleme rejimi altında meydana geldiği, buna karşılık D-B gidişli grabenlerin ortaya çıkmasına neden olan K-G yönlü açılmanın ise Geç Miyosen'de başladığı belirtilmiştir (YILMAZ vd., 2000). Batı Anadolu, Dünya'da kıtasal kabuk üzerinde genişleme oranının en yüksek olduğu bölgelerin başında gelir ve bu bölgenin neotektoniğine ilişkin birçok çalışma yapılmıştır (JACKSON, 1994; McKENZIE, 1978; KOÇYİĞİT, 1984; PATON, 1992; SEYİTOĞLU ve SCOTT, 1991 ve 1992; PRICE ve SCOTT, 1989; 1993; WESTAWAY, 1990 ve 1993; ALTUNEL ve HANCOCK, 1993a ve b; ALTUNEL, 1996; KOÇYİĞİT vd., 1999; YILMAZ vd., 2000; KOÇYİĞİT 2005; KAYMAKÇI, 2006).

. Bölgede; genişlemeli rejim ile oluşan ve normal faylarla kontrol edilen çok sayıda D-B gidişli (Edremit, Bakırçay, Kütahya, Simav, Gediz, Küçük Menderes, Büyük Menderes ve Gökova) ve K-gidişli (Gördes, Demirci, Selendi, Uşak-Güre, Bozdoğan, Karacasu ve Denizli) graben havzaları bulunmaktadır (YILMAZ vd., 2000). Denizli Neojen havzası, Güneybatı Anadolu'da yer alan; 50 km uzunluğa ve 25 km genişliğe sahip BKB-DKD uzanımlı bir yapıya sahiptir. Havza; Denizli ve Aydın illeri sınırları içinde kalır ve Türkiye 1/100.000 ölçekli Denizli M21-a, M22-a, L21-c ve L21-d topoğrafik paftalarında yer alır. Denizli havzasının temelini; Paleozoyik yaşlı Menderes metamorfikleri oluşturur ve bunlar üzerine uyumsuzlukla yerleşen ve geniş bir alanda yüzeyleyen geç Erken Miyosen-geç Pliyosen yaşlı havza çökelleri gelir.

Denizli havzası, güneybatı Anadolu Neojen havzalarından biri olarak Batı Toroslar üzerinde gelişmiş, Ege genişleme bölgesinin Türkiye kesiminde, Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesiştiği alanda yer alır. KB-GD uzanımlı, kenarları normal faylarla sınırlı graben-tipi karasal bir depolanma alanı özelliğindeki havza, doğuya doğru daralan bir çöküntü alanıdır ve traverten oluşumları yönünden Türkiye'de ve Dünya'da önemli bir konuma sahiptir (ALTUNEL, 1996; ÖZKUL vd., 2002). UNESCO Dünya Mirası listesinde bulunan Pamukkale, göz alıcı traverten oluşumları, sıcak suları ve önemli bir arkeolojik sit alanı

olması nedeniyle, yerli ve yabancı birçok ziyaretçinin uğrak yeridir. Bu çok yönlü özellikler yöreye olan bilimsel ilgiyi de artırmıştır. Büyük Menderes ve Çürüksü nehirleri tarafından katedilen havza; kuzeyde Çökelezdağ ve güneyde Honaz ve Babadağ yükseltileri ile sınırlanır. Yörede Denizli havzası ile beraber Alaşehir, Büyük Menderes, Uşak, Burdur, Baklan-Çivril, Acıgöl, Çameli ve Eşen havzaları gibi kenarları normal faylı olmaları ve tümüyle karasal tortul bulundurmaları ile tipiktirler.

Denizli havzasında yüzeyleyen kaya birimleri, başlıca; (1) Menderes Masifi ve Likya naplarından oluşan temel birimleri, (2) geç Erken Miyosen-Geç Pliyosen yaşlı havza dolgusu birimleri ve (3) Kuvaterner birimleri olarak ele alınabilir (ALÇIÇEK 2007, ALÇIÇEK vd. 2007). Havzanın temel kayaçları, Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi'nin metamorfiklerinden oluşur ve bu birimler Likya napları tarafından üzerlenir (SUN 1990). Menderes masifine ait birimler havzanın güneyinde Babadağ'dan Honaz'a kadar uzanır ve yüksek alanlarda bunları üzerleyen Likya Napları bulunur (GÜNDOĞAN vd., 2008). Benzer şekilde havzanın kuzeyinde de Yenice, Pamukkale, Kaklık arasında havzayı sınırlayan horst alanlarının alt kesimleri Menderes Masifi'ne ait metamorfik birimlerden oluşurken, üst kısımları Likya naplarının metamorfik kireçtaşları ve ofiyolit naplarından oluşur. Traverten oluşan alanlarda sadece bu metamorfiklere Kavaklıdere Grubu içinde tanımlanan ve çeşitli şist-kalkşistlerden oluşan Ortaköy Formasyonu'na ait kaya birimleri yüzeyleyebilir. Bu metamorfik birimler Likya Naplarına ait karbonatlar tarafından tektonik olarak üzerlenir. Denizli Neojen havzasının tortul dolgusu ise ŞİMŞEK (1984) tarafından litostratigrafik olarak, Kızılburun, Sazak ve Kolankaya formasyonları olarak adlandırılmış ve tüm havza dolgusu istifinin yaş aralığı Pliyosen olarak verilmiştir. Benzer şekilde SUN (1990), bu birimleri Denizli Grubu olarak ele almış ve Alt-Üst Pliyosen olarak yaşlandırmıştır. ALÇIÇEK (2007) ve ALÇIÇEK vd. (2007)'de ise önceden belirlenen litostratigrafik adlamalara bağlı kalınmış ancak elde edilen yeni fosil bulguları ile (SARAÇ, 2003; WESSELINGH vd., 2008) yaklaşık 1300 m kalınlığındaki havza dolgusu çökellerinin yaşı; memeli mollusk ve ostrakod topluluklarına dayalı olarak Geç Erken Miyosen-Geç Pliyosen yaş aralığı belirlenmiştir.

Buna göre Denizli Neojen havzasının ilk ürünleri geç Erken Miyosen yaşlı Kızılburun Formasyonu'nun alüvyon yelpazesi ve akarsu ortamlarını temsil eden tortullardır. Bu alüvyon yelpazeleri, güneyde normal faylarla sınırlı bir yarı-grabenin kenarından kuzeye doğru ilerlemişlerdir. Orta Miyosen'in sonunda Kızılburun Formasyonu üzerine uyumlu olarak Sazak formasyonunun sığ göl ve tuzlu göl çökelleri depolanmıştır. Sazak formasyonu üzerine uyumlu olarak yerleşen Geç Miyosen-Geç Pliyosen yaşlı Kolankaya formasyonu ise, alt ve

orta seviyelerinde acısu ortamını yansıtan ve sığdan derin göl ortamına geçen çökellerden oluşmaktadır. Üst Pliyosen'in sonunda Neojen yaşlı havza dolgusu, BKB-DGD doğrultulu normal faylarla parçalanmıştır. Pliyo-Kuvaterner'de az-çok bugünkü morfolojisini kazanan Denizli Graben Havzası'nın eski nehir yataklarında konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı araldanmasından oluşan ve günümüzde havza kenarlarında yükselmiş halde bulunan Tosunlar Formasyonu'nun alüvyon yelpazesi ve akarsu çökelleri depolanmıştır. Günümüzde ise Büyük Menderes nehrinin tortulları, havza tabanını kısmen doldurulmuştur.

Denizli havzasındaki traverten oluşumlarının tümü Kuvaterner yaşlıdır. Havzadaki Kuvaterner birimleri başlıca fay hatları boyunca gelişen alüvyal yelpaze, kolüvyon, traverten ve dere yataklarının gevşek kırıntılı malzemelerinden oluşur. Bu alüvyon yelpazeleri göreceli olarak farklı seviyelerde olmak üzere tutturulmuş ve çakıltaşları şeklinde olup havzanın güney kenarı boyunca kuzeye bakan yamaç önlerinde izlenir (ERCAN vd., 1977; SUN, 1990). Traverten oluşum sahalarının genellikle, temelde yer alan yaşlı karbonat kayaçlarla yakın ilişkili olduğu görülür. Denizli havzasında traverten oluşumları çoğunlukla temeldeki Menderes Masifi'nin mermer ve kalşistleri, allokton konumlu Çökelez Kireçtaşları ve Neojen istifindeki gölsel kireçtaşı seviyeleridir. Havzada traverten ocakları daha çok havzanın kuzey kenar fayı boyunca temel kayalara yaslı ve aynı zamanda Neojen birimlerinin üzerinde olmak üzere, özellikle Kaklık KB'sında yüzeyler. Bunun yanısıra güncel olarak Pamukkale'de ve havzanın güney kenarı boyunca da traverten oluşumları gözlenmektedir. Travertenler yer yer eski toprak düzeyleri, kırmızımsı kahverengi-yeşil çamurtaşları, gastropod kavrıkları içeren açık krem renkli marn, ve çakıltaşı-kumtaşı ile yanal ve düşey ilişkili oldukları gözlenir.

3. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

3.1. Arazi Çalışmaları

3.1.1. Örnek alımı

a) Su örnekleme ve yerinde ölçümler

Proje kapsamında çalışılan sekiz sahada, termal kaynak, termal sondaj, soğuk kaynak ve soğuk sondaj sularını içeren 40 civarında su noktasından kimyasal ve izotop analizleri için örnekleme yapılmıştır. Örneklenen suların dağılımı Şekil 1’de verilmiştir.

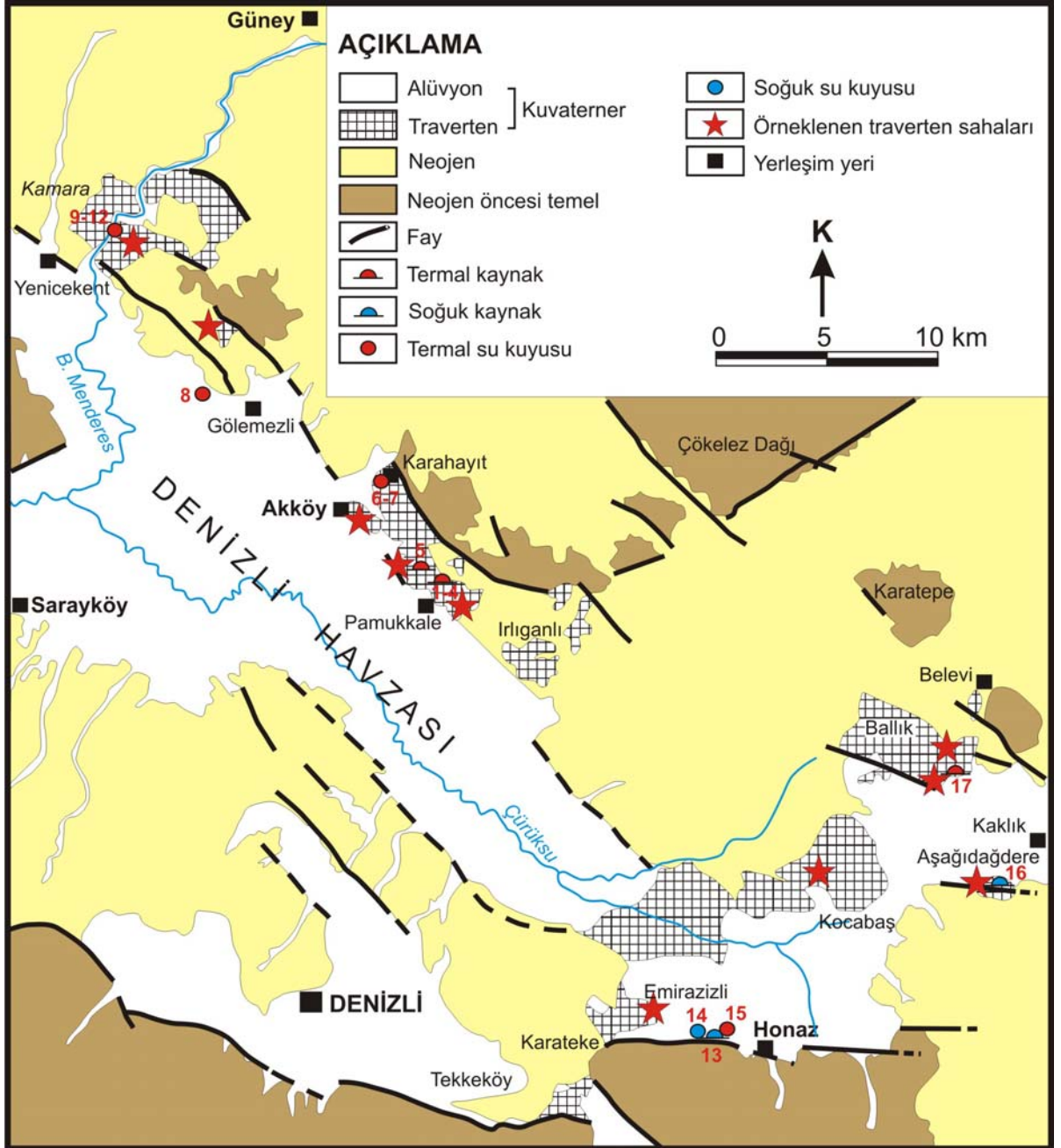
Suların sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katı madde miktarı (TDS), tuzluluk, pH, Eh, serbest CO₂ ve alkalinite değerleri yerinde ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Sıcaklık, EC, TDS ve tuzluluk değerlerinin ölçümü HACH SenSion5 Model portatif iletkenlik ölçer ile yapılmıştır. pH ve Eh değerleri ise HACH SenSion2 model portatif pHmetre ile ölçülmüştür. Ölçümlerden önce cihaz 4.01 ve 7.00 pH değerine sahip tampon çözeltiler ve 1000µmho/cm iletkenliğe sahip NaCl çözeltisi ile kalibre edilmiştir. Suların serbest CO₂ miktarı NaOH titrasyonu, CO₃ ve HCO₃ miktarları da H₂SO₄ titrasyonu ile (HACH mikrotitrator, kimyasalları, NaOH ve H₂SO₄ şırıngalarının kullanımıyla) belirlenmiştir.

Kasyon (Na, K, Ca, Mg, Li), iz element ve ağır metal analizleri için sular 250 ml. lik çift tıpalı polietilen şişelere filtre edilerek (0.45 µm) alınmış ve numunenin korunması amacıyla suların pH’ı, ultra saf HNO₃ ilavesiyle 2 veya altına düşürülmüştür. Anyon (SO₄, Cl, F, NO₃) analizleri için, su numunesi yine aynı tür ve hacimde iki şişeye alınmıştır. Numune, şişelerden birine hava kabarcığı kalmayacak şekilde doldurulmuş, diğerine ise örneğin elektriksel iletkenlik değerinin 250 µmho/cm mertebesinde olması sağlanacak şekilde ultra saf su ile seyreltilerek alınmıştır. Seyreltmeler, seyreltme oranına göre dereceli silindir ve pipet kullanımıyla yapılmıştır. Anyon için alınan her iki numune de analiz edilinceye buz kapları ve buzdolabında korunmuştur. Anyon analizleri numunenin alındığı günün akşamı gerçekleştirilmiştir. ¹⁸O ve ²H analizleri için ise örnekleme 30 ml hacmindeki cam şişelere yapılmıştır.

Suların kimyasal analizleri Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Su ve Çevre Kimyası Laboratuvarı’nda yapılmıştır. Anyon ve kasyonlar Dionex marka iyon kromatografi cihazı, iz element ve ağır metaller de PerkinElmer marka ICP-AES cihazı ile analiz edilmiştir. Suların ¹⁸O ve ²H izotop analizleri Macar Bilimler Akademisi’nde gerçekleştirilmiştir.

b) Traverten örneklemeleri

Havzanın değişik yerlerindeki sahalardan hem güncel hem de fosil (=pasif) traverten örnekleri toplanmıştır. Alınan örneklerin, farklı traverten oluşumlarını (=litotip ya da litofasiyes) temsil etmesine özen gösterilmiştir. Toplanan traverten örnekleri XRD, SEM, jeokimyasal analizler (ana ve iz element analizleri, $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotopları) için kullanılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanında su ve traverten örneklerinin yerleri. Rakamlar Tablo 2 ve 3’de verilen su numune numaralarına karşılık gelmektedir. Jeolojik harita MTA 1964’den yararlanılarak hazırlanmıştır.

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

3.2.1. Su analizleri

Suların anyon ve katyon analizleri Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Su ve Çevre Kimyası Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Analizler Dionex marka iyon kromatografi cihazı ile yapılmıştır. SiO₂ analizleri ise HACH DR4000 marka UV/VIS spektrofotometre ile gerçekleştirilmiştir. Element analizleri (ICP-MS) hizmet alımı yoluyla ACMELAB (Kanada) Laboratuvarları'na yaptırılmıştır. Suların duraylı izotop (¹⁸O, ²H) analizleri, Macar Bilimler Akademisi Jeokimya Araştırma Enstitüsü'nde Macar proje ortakları tarafından gerçekleştirilmiştir. Sulardaki $\delta^{18}\text{O}$ ve δD , Finnigan Delta Plus XP kütle spektrometresi ile $\delta^{18}\text{O}$ için $\pm 0.2\%$ ve δD için $\pm 2\%$ hassasiyetle analiz edilmiştir.

3.2.2. Traverten analizleri

a) SEM ve XRD analizleri

Seçilmiş bazı traverten örnekleri, Ankara'da Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'nda bulunan Jeol JSM 6490 LV model taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Taze kırılmış yüzeylerden elde edilen SEM görüntüleri yardımıyla mineral şekilleri ve inorganik ve organik kökenli doku özellikleri incelenmiştir. SEM görüntüleri çalışılırken gerekli görülen noktalarda enerji dispersive spectrometer (EDS) analizleri ile element element bileşimleri tayin edilmiştir.

Traverten örneklerinin mineralojik bileşimleri, Budapeşte'deki Macar Bilimler Akademisi Jeokimya Araştırma Enstitüsü'nde XRD (X-ray powder diffraction) tekniği ile tayin edilmiştir. XRD ölçümleri 45 kV ve 35 mA koşullarında CuK α ışıklı Philips PW 1710 cihazı ile yapılmıştır. Yarı kantitatif faz analizi, yönlü toz örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Oranların belirlenmesi sırasındaki nispi hata payı %5-10'dur. Bununla birlikte, bu çalışmanın ana amaçlarından birisi olarak sonuçlar, kalsitin aragonite oranını ortaya koymak olarak kabul edilebilir. Örnek miktarının az olduğu bazı durumlarda, çelik plakalar üzerine yerleştirme yapılmıştır.

b) Jeokimyasal analizler

b.1) Ana ve iz element analizleri

Traverten örneklerinin majör oksit ve iz element analizleri hizmet alımı yoluyla ACMELAB Laboratuvarları'nda (Kanada) yaptırılmıştır.

b.2) Duraylı izotop analizleri

Farklı traverten sahalarını temsil eden yaklaşık 77 adet traverten örneğinin duraylı izotop ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$) analizleri Macar Bilimler Akademisi Jeokimya Araştırma Enstitüsü'nde yapılmıştır. Duraylı izotop analizleri McCrea'nın (1950) fosforik asit yöntemi kullanılarak Finnigan delta Plus XP mass spectrometer ile yapılmıştır. İzotopik bileşimler geleneksel δ notasyonu ile ‰V-PDB ($\delta^{13}\text{C}$) ve ‰V-SMOW ($\delta^{18}\text{O}$) cinsinden gösterilmiştir. Yeniden üretilebilirlik, traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri için \pm ‰0,1'den, su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri için \pm ‰ 0,2'den daha yüksektir.

4. SU VE TRAVERTEN SAHA TANIMLAMALARI

4. 1. Denizli Sahaları

Denizli havzasının farklı kesimlerinde belli başlı 10 kadar traverten sahası vardır. Bazı sahalarda ise kaynak ve sondajlar bulunmaktadır. Bunlar: Yenice, Gölemezli, Pamukkale-Karahayıt, Irlıganlı, Ballık, Kocabaş, Kelkaya ve Honaz sahalarıdır. Aşağıda bu sahalardan arazi özellikleri tanıtılmıştır.

4.1.1. Yenice sahası

Denizli il merkezinin yaklaşık 35 km KB'sında yer alan Yenice traverten sahası, B. Menderes Nehri'nin her iki yakasında yaklaşık 1.5 km² lik bir alan kaplar (Şekil 2). Bu bölge aynı zamanda Denizli Havzası'ndaki önemli jeotermal sahalardan birisidir. Son yıllarda açılan sondajlardan elde edilen termal sular sera ısıtmasında kullanılmaktadır. Bu sahadaki travertenlerin tabanında, Paleozoyik metamorfite (şist, mermer) ve Neojen tortulları yer alır. Sahada, Paleozoyik metamorfite ve Neojen tortullarını kesen faylar KB-GD gidişli normal faylardır. ÇAKIR (1999), Yenice traverten sahasında 6 adet traverten sırtının (*fissure ridge*) varlığından söz etmiştir. Bunlardan Kamara sırtı dışındakiler aktif değildir. Kamara sırtı da, yaklaşık 10 yıl önce termal su seviyesinin düşmesi ile aktivitesini yitirmiştir. Bunun üzerine, sırtın bulunduğu alandaki kaplıca tesislerine sıcak su sağlamak için tesis içinde sondaj açılmıştır. Kamara sırtının doruk eksenine yöredeki Tripolis fayının gidişi ile uyumlu olduğu halde, diğerleri veredir. Çizmeli ve Kamara kaplıcalarındaki termal suların sıcaklığı sırasıyla 42°C ve 56°C'dir (BÜLBÜL, 2000).

Yenice traverten sahası, Denizli havzasının kuzeybatısında Yenice kasabası yakınlarında Büyük Menderes Nehri'nin her iki kenarı boyunca deniz seviyesi üzerinde 165 ile 230 metreler arasında uzanır (Şekil 2). Paleozoyik yaşlı Menderes masifinin metamorfik kayaları ile Neojen birimleri üzerinde uyumsuz olarak duran travertenler yaklaşık 1,5 km² lik alan kaplar. Sahadaki en yaşlı temel kayaları oluşturan metamorfite başlıca koyu renkli şistler ve mermerlerden meydana gelmiştir (ERDOĞAN ve GÜNGÖR, 2004; BOZKURT, 2001).

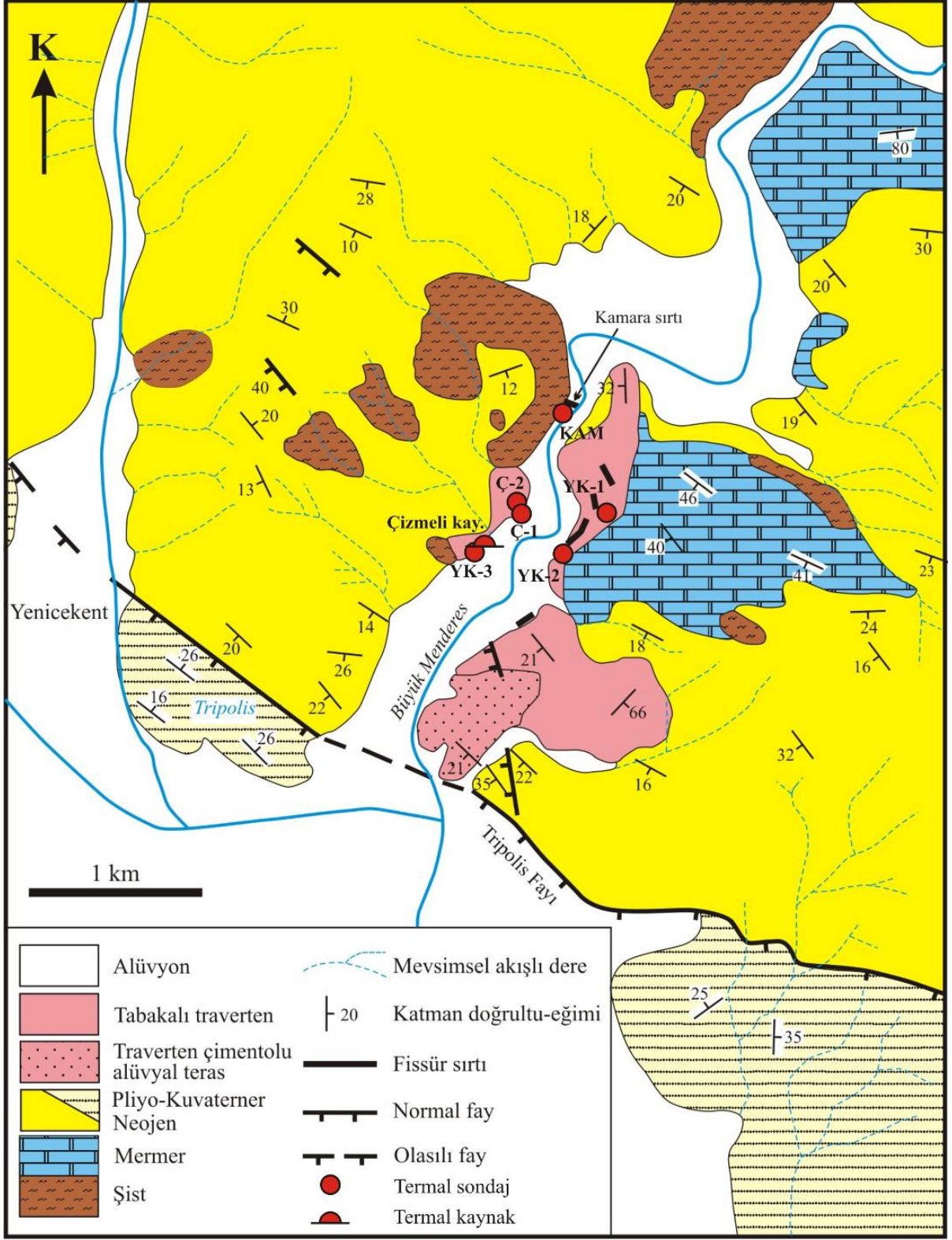
Yörede Tripolis fay parçası Neojen birimleri ile alüvyonlar arasında sınır oluşturmaktadır. Traverten sahasında gözlenen açılma çatlakları Tripolis fayına göre farklı doğrultularda uzanır (Çakır, 1999). Traverten yüzlekleri, vadinin doğu kesiminde daha geniş alanlar kaplar. Bu sahadaki en azından 6 çatlak sırtı belirlenmiştir, ancak Kamara sırtı dışında, doğal aşınma ve

ocak işletme/kazı faaliyetleri nedeniyle, sırtların çoğu orjinal morfolojilerini kısmen ya da tamamen kaybetmişlerdir. Sırtların çatlak açıklıkları düşey bantlı travertenlerle doldurulmuştur. Düşey bantlı travertenler yanal yönde tabakalı travertenlere geçerler. Bazı yerlerde tabakalı travertenler kırmızı çamurtaşı ve kötü boylanmış kaba tortularla örtülmüştür (Şekil 3). Nehrin doğu tarafında bulunan fosil travertenlerin bazı kesimlerinde yer yer antik ocak aynaları gözlenir.

Yenicekent sahasında bundan yaklaşık 10–12 yıl önce, suları kaplıcada kullanılan iki termal kaynak (Kamara ve Çizmeli termal kaynakları) vardı. Kamara kaynağı, Kamara traverten sırtından, Çizmeli kaynağı ise alüvyonlardan boşalmaktaydı. Çizmeli ve Kamara kaplıcalarındaki termal suların sıcaklıkları sırasıyla 42°C ve 56°C idi (BÜLBÜL, 2000).

Kamara kaynağının debisi, termal suyun basınç yüzeyindeki düşüş nedeniyle 1990'ların sonuna doğru giderek azalmış ve 1999 yılında kaynak kurumuştur. Buna bağlı olarak Kamara sırtı da aktivitesini yitirmiştir. Bunun üzerine, sırtın bulunduğu alandaki kaplıca tesisine sıcak su sağlamak için tesis içinde sondaj açılmıştır. Derinliği 146 m olan bu sondajdan 55,7°C sıcaklığında termal su alınmıştır. Daha sonra, Yenicekent ve Buldan yerleşim yerlerinin jeotermal enerji ile ısıtılması, sera ısıtmacılığı ve kaplıca turizmini geliştirme amacına yönelik olarak, Yenicekent Belediyesi adına Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü tarafından 2002 yılında üç bedelli kuyu açılmıştır. Bu kuyuların lokasyonları termal kaynak çıkışlarına yakındır. Bu kuyuların derinlikleri, elde edilen termal suyun sıcaklıkları ve debileri sırasıyla YK–1 kuyusu için 54 m, 57°C, 20 l/s; YK–2 kuyusu için 239 m, 67°C, 140 l/s ve YK–3 kuyusu için 250 m, 36°C ve 4 l/s olarak elde edilmiştir (MTA, 2005). Bu kuyular (Kamara kuyusu dahil) artezyen kuyular ve debileri de artezyen debileridir (Şekil 4). YK–3 kuyusu Çizmeli kaynağının içinde bulunduğu kaplıca tesisinin hemen yanında açılmıştır. Kuyu açıldıktan sonra termal kaynağın bulunduğu kesim göçmüş ve tesis kullanılamaz hale gelmiştir. Tesis içinde termal kaynağın çıkışı göllenme şeklinde devam etmektedir. Sahadaki diğer termal iki kuyu bir özel şirket tarafından sera ısıtması amacıyla açılmıştır. Yasal nedenlerle çalıştırılmayan bu kuyulardan 35°C ve 55°C sıcaklıklarda termal su alınmıştır.

Yöredeki kuyulardan alınan termal su, sera ısıtması ve kaplıca tesisinde (Kamara) kullanılmaktadır. Termal suların çökelttiği travertenler suyun kimyası nedeniyle genellikle kırmızı, kahverenkli (Tablo 2 ve 3).



Şekil 2. Yenice traverten sahası ve çevresinin jeoloji haritası (Çakır, 1999'dan değiştirilmiştir).



Şekil 3. Yenice sahasında açılmış bir ocakta traverten seviyeleri üstte kırmızımsı-kahve renkli alüvyal tortullarla örtülmüştür. Arka planda metamorfik temel kayaları izlenmektedir. Güneye bakış.



(a)

(b)

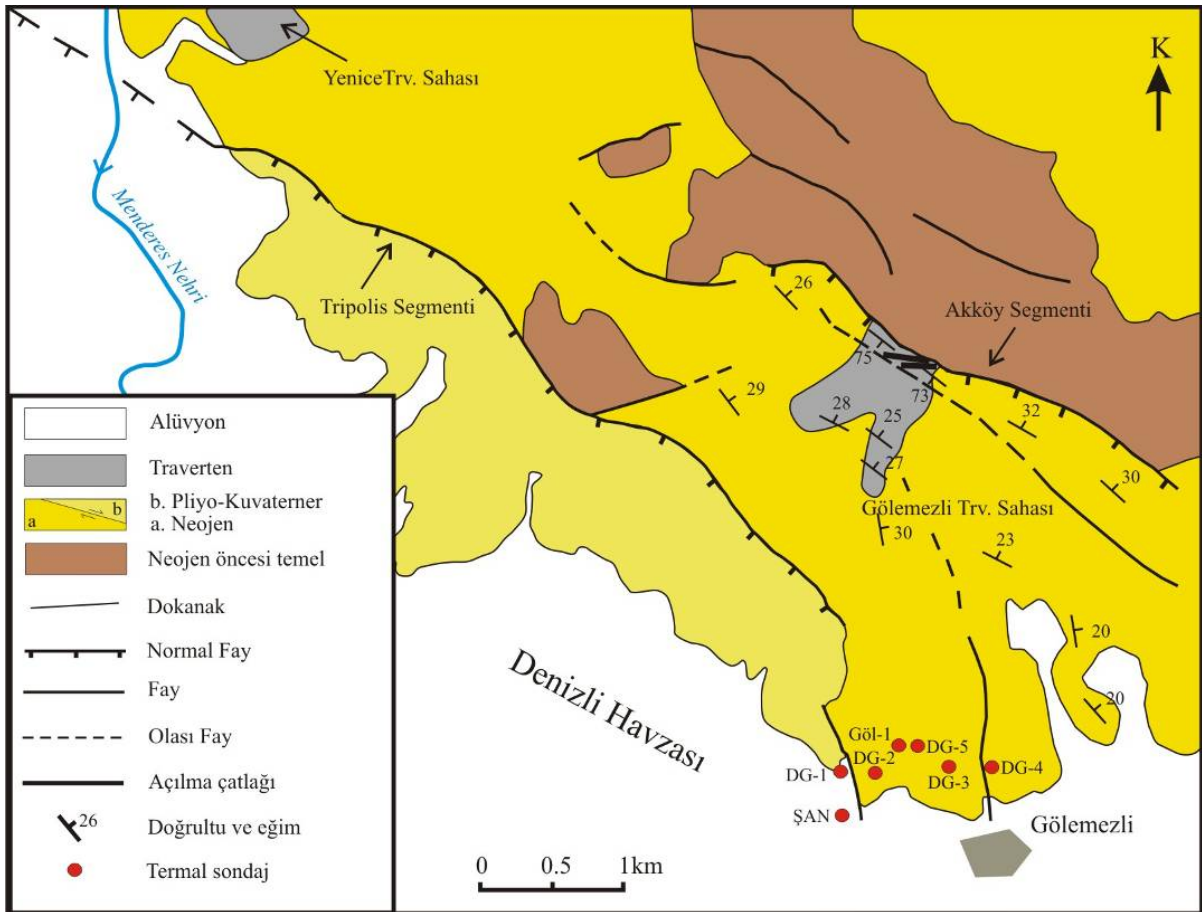
(c)

Şekil 4. Yenice sahasındaki termal sondajlardan görünüm; (a) YK-1, (b) YK-2 ve (c) YK-3 kuyuları.

4.1.2. Gölemezli sahası

Gölemezli traverten sahası, Denizli ilinin yaklaşık 23 km kuzeyindeki Akköy ilçesinin kuzeybatısında yer alan Gölemezli kasabasının yaklaşık 3 km kadar kuzey-kuzeybatısında bulunur (Şekil 5). Yöredeki travertenler, Tripolis ve Akköy fay parçaları arasında uzanan, yaklaşık 1,5 km genişlikteki sıçrama zonunda gelişmişlerdir. Traverten depolayan termal sular, Neojen tortul istifini ile Menderes masifinin metamorfik kayaları (şist, kalkşist ve mermer) arasında dokanak oluşturan KB-gidişli Akköy normal fay parçası ve fayla ilişkili

açılma çatlaklarından yükselmiştir. Sahada 2 çatlak sırtı gelişmiştir. Sırtların ana eksen uzunlukları 70–100 m arasındadır (Çakır, 1999). Fayın taban bloğunda metamorfik kayalar yüzeyler. Tavan bloğunda ise altta Neojen çökelleri ve onların üzerinde güney-güneybatı yönünde, yamaç aşağı doğru yayılmış olan travertenler 1 km² ye yakın bir alan kaplar. Günümüzde Gölemezli sahasında aktif kaynak yoktur. Travertenlere en yakın termal sular, 2.5 km güneydoğuda Gölemezli kasabası yakınlarında gözlenir (Şekil 5). Fay düzlemi ve bağlantılı açılma çatlaklarında tamamen kristalin, bantlı travertenler çökelmiştir. Fay düzlemi içinde kristalin bantlı travertenler doğrudan metamorfik temelle dokunmaktadır. Bantların eğimleri 60° ile 90° arasında değişir (Şekil 6). Bantlı travertenler çayla yeşili ve bal renkleri ile belirgindir. Tabakalı travertenler ise göreceli olarak, fay düzleminden uzak alanlarda çökelmiştir.



Şekil 5. Gölemezli traverten sahası ve çevresinin jeolojik konumu (Çakır, 1999'dan değiştirilmiştir).



(a)

(b)

Şekil 6. (a) Gölemezli travertenlerinde açılmış ocaktan bir görünüm, geri planda metamorfik temel yükselmektedir, (b) fay zonunda, güneye doğru gelişmiş, yüksek eğimli ($65-70^\circ$) kristalin bantlı travertenler (kuzeybatıya bakış).

Sahada birçok termal kuyu bulunmaktadır. Bu kuyulardan altısı resmi olup, beşi MTA, biri de (Göl-1) Denizli İl Özel İdaresi tarafından açılmıştır. MTA tarafından 2001–2003 yıllarında açılan kuyuların (DG–1, DG–2, DG–3, DG–4 ve DG–5) derinlikleri 549 ile 1500 m, bu kuyulardan alınan termal akışkanların sıcaklıkları $62-88^\circ\text{C}$ ve artezyen debileri 15 ile 140 l/s arasında değişmektedir (MTA, 2005). Diğer resmi kuyu 2008 yılında Denizli İl Özel İdaresi tarafından açılmıştır. Derinliği 604 m olan bu kuyudan 100 l/s debi ve 65°C sıcaklıkta termal su alınmıştır (Göl–1 kuyusu, Şekil 7). Bu kuyular dışında şahıslarca açılmış ve biri hariç, ruhsatsız oldukları için kapalı olan birçok kuyu mevcuttur. Açık olan tek kuyu termal kür belgesi almak için başvurmuş bir kaplıca tesisine aittir. Şahıs kuyularından elde edilen maksimum su sıcaklığı 55°C civarındadır. Resmi kurumlarca açılan kuyulardan Göl–1 kuyusu çalışır durumda olup, diğerleri kapalıdır. Göl–1 kuyusundan yöredeki seralara, sera ısıtması için termal su verilmektedir.



(a)

(b)

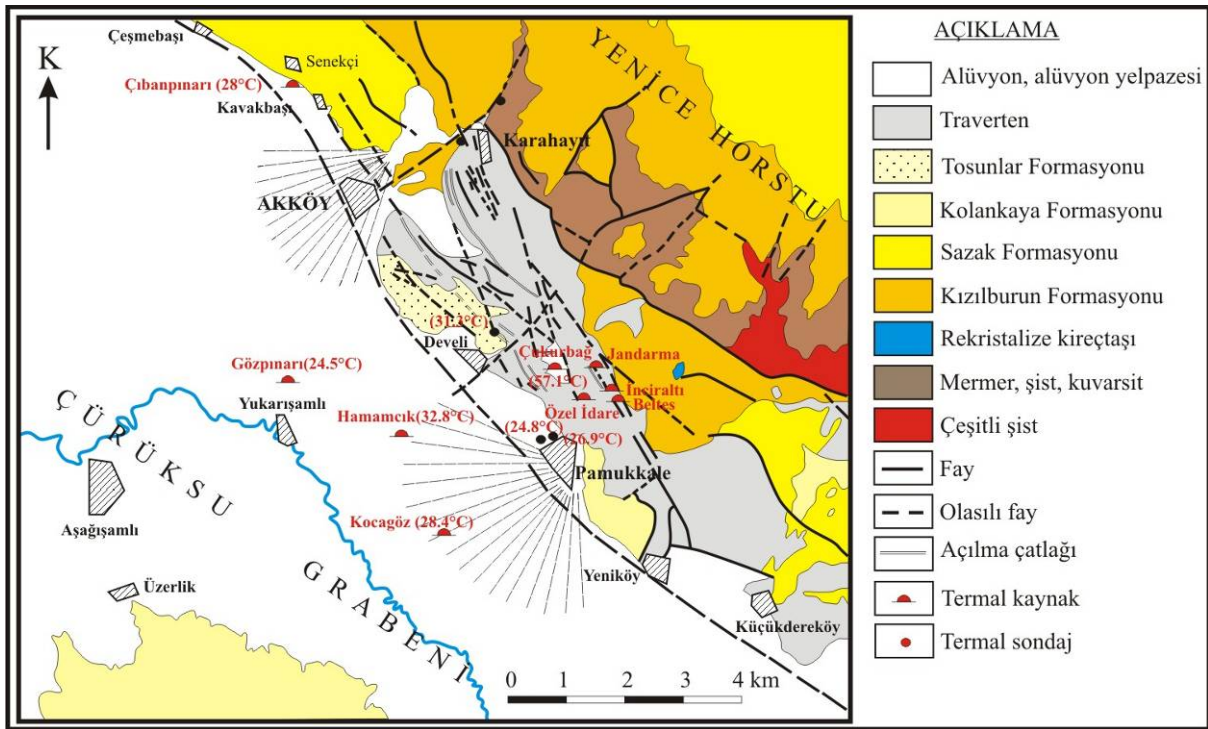
Şekil 7. Gölemezli sahasındaki termal sondajlardan görünüm; (a) DG–4 ve (b) Göl–1 kuyuları.

4.1.3. Pamukkale-Karahayıt sahası

Bu sahada sıcaklıkları 35 ile 61C° arasında değişen sıcak suların aktif olarak oluşturdukları travertenlerin yanı sıra bölgede geniş alanları kaplayan (yaklaşık 10 km²) aktif olmayan travertenler de mevcuttur (ALTUNEL, 1996). Karahayıt ve Pamukkale sahaları sıcak sular ve travertenler arasındaki farklılıklar nedeniyle ayrı alt sahalara olarak tanımlanmıştır.

a) Karahayıt alt sahası

Karahayıt sahası Denizli'ye yaklaşık 21 km uzaklıktaki Karahayıt Kasabası çevresinde bulunmaktadır (Şekil 8 ve 9). Saha, KB-GD uzanımlı Pamukkale fayının KB ucuna yerleşmiştir (ÇAKIR, 1999). Her ne kadar Pamukkale'ye komşu bir saha ise de Karahayıt termal sularının ve travertenlerinin jeokimyası Pamukkale'den farklıdır. (Tablo 2, 3 ve 4). Bu nedenle bu iki saha ayrı ayrı ele alınmıştır.



Şekil 8. Pamukkale ve Karahayıt sahalarının jeoloji haritası (UKAM, 1994'den değiştirilmiştir).

Karahayıt sahası, bilinçsizce jeotermal enerjiden yararlanmada koruma-kullanma dengesinin gözardı edildiği ve günümüzde bunun olumsuz sonuçlarının yaşandığı bir sahadır (Şekil 9). Bu sahada termal turizmin gelişmesine paralel olarak son yıllarda 1 km²'den az bir alanda açılan 200'e yakın kuyu nedeniyle jeotermal sistemdeki termal suyun basınç yüzeyi düşmüş, sonuçta yöredeki tüm termal kaynaklar kurumuş (Şekil 10), artezyen kuyuların sığ



Şekil 9. Karahayıt jeotermal sahasından bir görünüm.

olanlarından su çekilmiş, diğerlerinden ise pompajla su alınır hale gelmiştir. Bu alanda yeni sondaj açımının ve bilinçsiz termal su kullanımının önlenmesi, öncelikli olarak da jeotermal sistemin koruma-yararlanma dengesinin yeniden oluşturulması amacıyla Denizli İl Özel İdaresi bir karar almıştır. Bu karar özetle Karahayıt beldesinde üç adet derin jeotermal üretim kuyusu ve bir adet reenjeksiyon kuyusu açılması, üretim kuyularından çekilecek termal suların otel ve pansiyonlara bedeli karşılığında dağıtılması (bu dağıtımda termal suyun sürdürülebilir toplam debisi dikkate alınacaktır) ve son olarak beldedeki tüm sondajların kapatılmasıdır. Bu karar uygulamaya konulmuş ve ilk aşama olarak 2007 yılında üç üretim sondajı açılmıştır. Derinlikleri 452, 468 ve 570 m olan kuyulardan 61°C sıcaklık ve 135 l/s toplam debide termal su alınmıştır. Renkli traverten çökelten termal su sıcaklıkları genellikle 45–55°C arasında değişmektedir. Karahayıt sahasındaki sular Pamukkale sularına göre demir bakımından (2.7 mg/l) daha zengindir, dolayısı ile travertenlerde kırmızı-kahve renk belirgindir. Bu özelliği nedeniyle beldedeki termal sular “kırmızı su” olarak anılmaktadır.



Şekil 10. 1994’de kuruyan Kırmızı Su termal kaynak alanı. Görülen termal su yaklaşık 500m uzaklıktaki bir sondajdan boru hattı ile alana getirilmektedir.

b) Pamukkale alt sahası

Saha, Pamukkale fayının tavan bloğu üzerinde, deniz seviyesinin 365 m üzerinde bir plato görünümündedir (Şekil 8, 11). Fayın yükselen bloğunda, Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi’nin mermer ve şistleri bulunur (Altunel, 1996). 7.6 km² lik bir alan kaplayan travertenler Neojen birimleri üzerinde depolanmıştır. Traverten platosu üzerinde Hierapolis antik kentinin kalıntıları yer alır. Pamukkale fayı, sentetik faylar ve açılma çatlaklarından boşalan 4 adet termal kaynak (Özel İdare, İnciraltı, Beltes ve Jandarma kaynakları, Şekil 12), göz alıcı beyazlıktaki traverten teraslarını ve yamaçlarını oluşturmuştur. Bu nedenle Pamukkale 1993 yılında UNESCO tarafından Dünya Mirası listesine alınmıştır. Termal suların ortalama sıcaklığı 34,5°C ve toplam debileri yaklaşık 300 l/s’dir. Pamukkale kasabasının batısında alüvyonlar üzerinde yer alan birkaç termal kaynağın sıcaklıkları Pamukkale sularından daha düşüktür. Ayrıca kasaba civarında ve Develi köyünde açılan sondajlardan düşük sıcaklıklı termal su alınmaktadır. Bu sondajların bir kısmı termal turizm, diğerleri de sulama suyu elde etmek amacıyla açılmıştır.

Pamukkale beyaz traverten alanında, devamlı su akışının olduğu yamaçlarda düz ve teraslı yamaç fasiyesleri gelişmiştir. Kristalin kabuk tipi travertenler düz yamaç fasiyesinin en tipik

çökelleridir (Şekil 34). Bu kristalin kabuklar aynı zamanda teras havuzlarını kenarlarından sınırlamaktadır (Ekmekçi, 1995; Özkul vd., 2002).



Şekil 11. Pamukkale jeotermal sahası ve travertenlerden bir görünüm.



(a)

(b)

(c)

Şekil 12. Pamukkale termal kaynakları; (a) Özel İdare, (b) Beltes ve (c) Jandarma.

c) Çukurbağ alt sahası

Bu saha Jandarma kaynağı önündeki traverten yamacının eteğinde yer alır. Saha nispeten düz, hatta hafifçe iç bükey bir çukurluk olup, içinde farklı yönlerde uzanan traverten sırtları

bulunur. Sahadaki en büyük sırt, D-B uzanımlı Çukurbağ sırtıdır. Sırtın doğu ucunda sıcaklığı 57.1°C olan Çukurbağ termal kaynağı yer alır (Şekil 13). Sığ havuzları dolduran termal suyun üst yüzeyinde sal oluşumları ve bunlara eşlik eden alg ve bakteri kolonileri gözlenmektedir (Şekil 13a ve b). Ayrıca kaynak ağzında fokurdamaya bağlı aragonitik pizolit oluşumları gözlenmiştir (Şekil 40).



(a)

(b)

Şekil 13. (a) Çukurbağ termal kaynağı, (b) su üzerindeki CaCO₃ salları (jelleri).

d) Akköy alt sahası

Saha, Akköy ilçe merkezinin GD'sunda yer alan traverten sırtı ile temsil edilir. KB gidişli sırtın uzunluğu yaklaşık 1470 metredir (Altunel, 1994). Merkezi açılma çatlığına az çok paralel ikincil çatlaklarda gözlenmiştir. Sırtın batı ucunda merkezi açılma çatlığı belirgin şekilde kollara ayrılmıştır. Altunel (2004) tarafından sırt eksenini boyunca alınan bantlı traverten örneklerinden 24.000 ile 35.000 yıl arasında yaşlar elde edilmiştir. Bu proje kapsamında traverten örnekleri, sırtta açılmış ocak aynalarından alınmıştır. Örneklerin bazıları rastgele, bazıları da yukarıdan aşağı sistematiik olarak alınmıştır. Bu alt sahadaki travertenler genellikle sarı-kahverenkli. Bu yönleri ile Çukurbağ ve Yenice travertenlerine benzerler.

4.1.4. Irlıganlı sahası

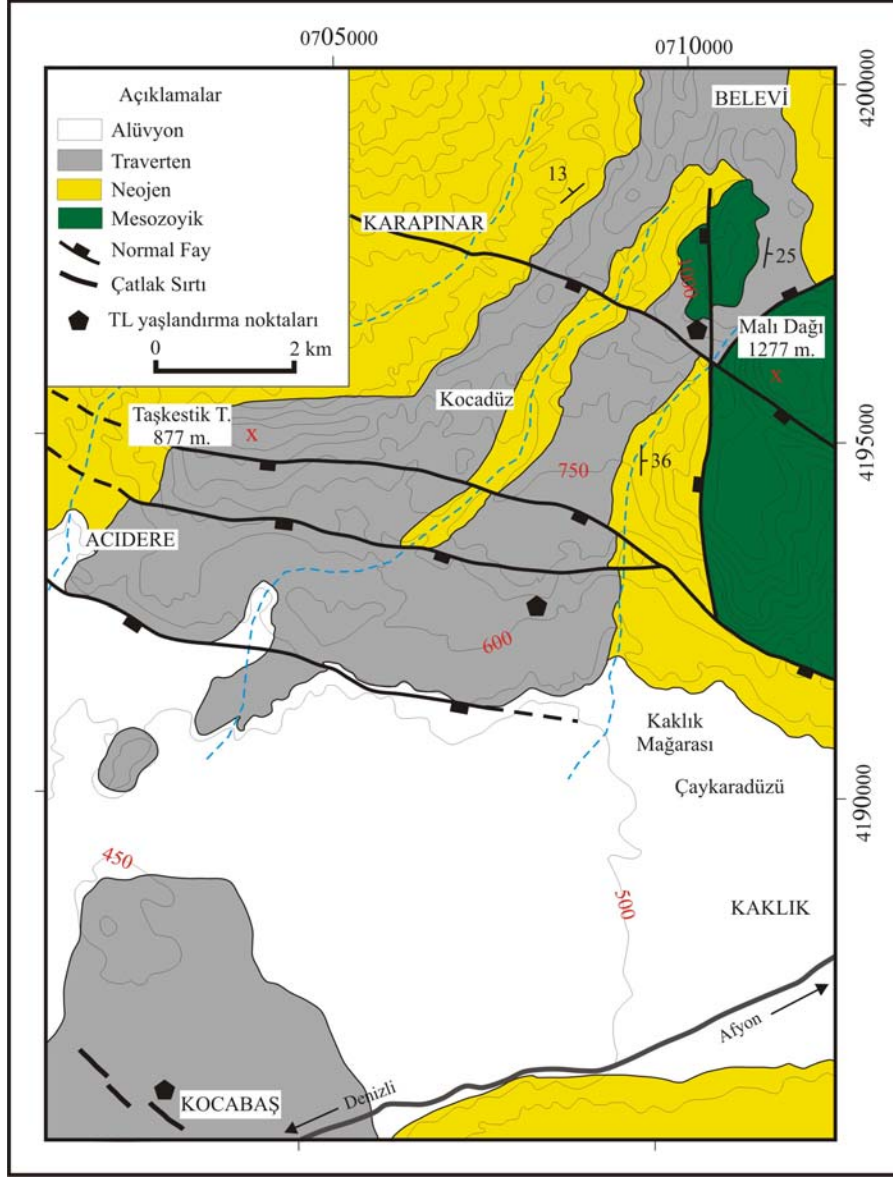
Saha, Irlıganlı kasabasının kuzeyinde bulunur. Neojen göl çökelleri üzerinde uyumsuz olarak, ve küçük yamalar halinde yer almaktadır. Gölyatağı yöresinin yakın kuzeyinde yolun doğu ve batısında Mesozoyik karbonatları yüzeyler. Bu sahada günümüzde traverten çökelten herhangi bir termal kaynak yoktur. Travertenler tabakalı olup, tabaka kalınlıkları çoğunlukla

ince-orta, yer yer kalın ve masiftir. Gölyatağı'daki travertenlerin kuzeybatısında açılan ocaktan izotop analizleri için birkaç örnek alınmıştır.

4.1.5. Ballık sahası

Denizli havzasının kuzeydoğusunda yer alan bu saha yaklaşık 10 km² dir. Havzanın en büyük sahalarından birisidir. Topoğrafik olarak kuzeyde Belevi köyü civarında 1100 m yükseltide görülen travertenler, güney-güneybatıda Denizli Çimento Fabrikası ve Kaklık Mağarası yakınlarına kadar uzanır. Bu alanlarda rakım 500 m civarındadır (Şekil 14). Görünür traverten kalınlığı yaklaşık 60 m dir (ÖZKUL vd., 2002). Son yapılan sondajlarla kalınlığın 100 m'nin üzerinde olduğu anlaşılmıştır. Ballık sahasında gözlenen traverten istiflerinin özellikle alt kesimleri belirgin yatay tabakalı, yanal devamlılıkları fazla olan sığ göl dolgusu travertenlerden oluşmuştur. Bu travertenler Roma (Orta İtalya) doğusunda, Tivoli yakınlarındaki Lapis Tiburtinus travertenlerine çok benzer (CHAFETZ ve Folk, 1984; ÖZKUL vd., 2002; FACCENNA vd., 2008). Ballık travertenleri 1980'li yılların ortalarından bu yana doğal taş sektörü tarafından yoğun bir şekilde işletilmektedir. Sahada şu anda işletilmekte olan çok sayıda traverten ocağı bulunmaktadır. KB-GD uzanımlı normal faylar nedeniyle, bu saha kuzey-kuzeydoğudan güney-güneybatıya doğru basamaklı bir yapı kazanmıştır (Şekil 14).

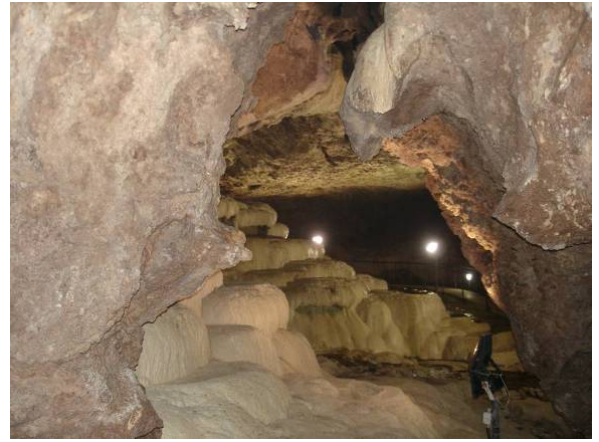
Ballık sahasının eteklerinde Devlet Su İşleri, Denizli İl Özel İdaresi ve şahıslar tarafından içme, kullanma ve sulama suyu temin etme amacıyla birçok sondaj açılmıştır. Bu sondajlardan birkaçı artezyen yapmaktadır. Sondajlardan alınan su sıcaklıkları 20°C civarındadır. Ayrıca, yüksek debili birçok kaynak bulunmaktadır. Bu sahada, turizme açılmış bulunan Kaklık Mağarası içinde iki kaynak, mağara yanında bir düden ve artezyen yapan bir sondaj bulunmaktadır. Mağara içindeki kaynakların sıcaklıkları 22.8°C'dir. Mağara yanındaki sondajdan boşalan su mağara içine verilmekte ve bu sudan, akım yolu boyunca Pamukkale benzeri beyaz travertenler çökelmektedir (Şekil 15b).



Şekil 14. Belevi - Kocabaş arasında travertenlerin dağılımını gösterir harita.



(a)

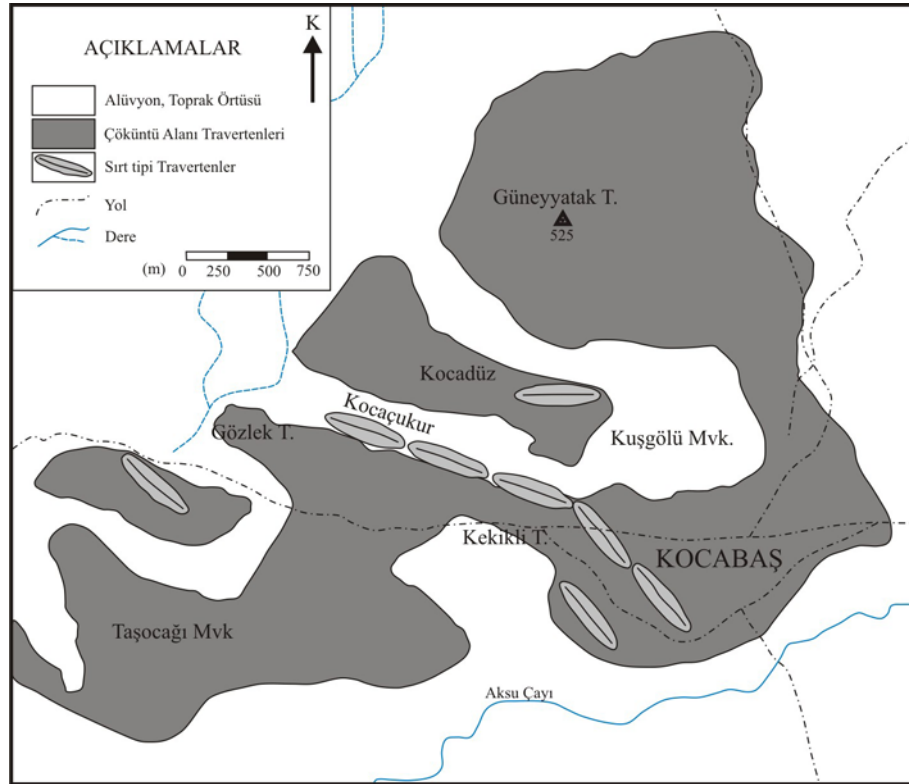


(b)

Şekil 15. (a) Kaklık Mağarası kaynağı, (b) mağara içinde sudan çökelen travertenler.

4.1.6. Kocabaş sahası

Bu sahadaki travertenler, deniz seviyesinin yaklaşık 400 m üzerinde, Kocabaş kasabası çevresinde yer alır (Şekil 16). Bu saha, D-B ve KB-GD gidişli sırt tipi travertenler ile bunları çevreleyen yatay konumlu, tabakalı sığ göl dolgusu ya da çöküntü alanı (GUO ve Riding, 1998; CHAFETZ ve Folk, 1984). travertenlerinden kuruludur (ÖZKUL ve Alçiçek, 2002; ÖZKUL vd., 2002a,b). Daha önceki çalışmalarda Pamukkale ve Kocabaş sahalarındaki bu tip travertenlerden “aşınmış örtü travertenleri” olarak söz edilmiştir (ALTUNEL, 1994; 1996). Bunların yanında travertenlerde yer yer kanal ve düşük eğimli teraslı yamaç morfolojileri göze çarpar. Kocabaş traverten sahasında önceki yıllarda yapılan çalışmalara göre, yöredeki toplam traverten alanlarının % 96’sı yatay konumlu, tabakalı çöküntü alanı ya da sığ göl dolgusu travertenlerinden (=aşınmış örtü travertenleri), % 2,7’si sırt tipi travertenlerden, çok az bir kısmı da su akış yolları boyunca oluşmuş kanal travertenlerinden meydana gelmiştir (ALTUNEL, 1994; s. 65–71). Kocabaş sahasında, iki önemli depolanma morfolojisini oluşturulan çöküntü alanı ve sırt travertenleri birbiriyle yanal ve düşey ilişkilidir. Sığ göl dolgusu travertenleri açık ve koyu renkli düzeylerden oluşur.



Şekil 16. Kocabaş sahası travertenlerinin dağılım haritası (Özkul ve Alçiçek, 2002). Harita alanında sırt tipi travertenler (elipslerle işaretli) dışında kalan alanlar çöküntü alanı/sığ göl dolgusu travertenleri ile kaplıdır.

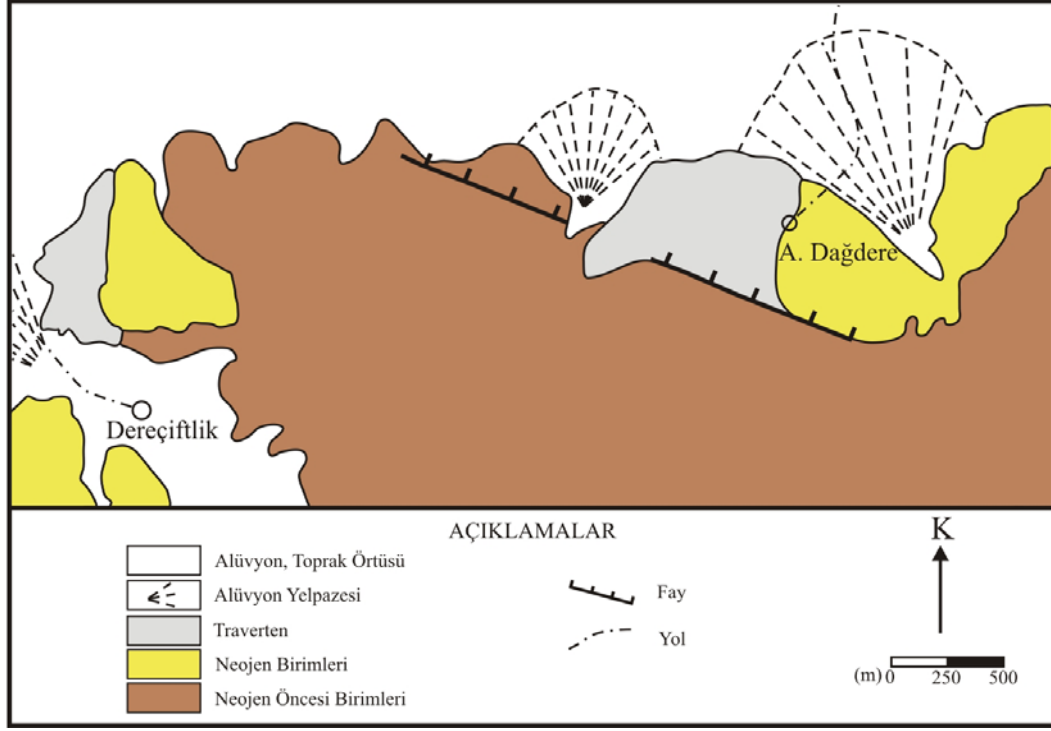
GUO ve Riding (1998) orta İtalya'da Rapolano Terme travertenlerinde yaptıkları çalışmalarda açık renkli travertenleri “çalı düzlüğü fasiyesi (*shrub flat facies*)”, koyu renkli olanları “bataklık-havuz fasiyesi (*marsh-pool facies*)” olarak ayırt etmişlerdir. Açık renkli olanlarda daha çok krem tonları egemendir. Koyu renkli olanlar ise kahverenginin değişik tonları ile temsil edilir. Açık renkli travertenlerin göreceli olarak kaynağa daha yakın konumda depolandıkları söylenebilir.

Kocabaş sahasındaki traverten sırtları, KB-GD gidişli açılma çatlaklarından çıkmış termal sular tarafından oluşturulmuştur. Traverten sırtlarında kısa mesafede yanal ve düşey fasiyes değişimlerine sıkça rastlanır (GUO ve Riding, 1999). Geçmişte açılma çatlaklarından yeryüzüne çıkan termal sular, açılma çatlaklar boyunca düşey konumlu bantlı travertenleri, kanatlarda ise ana eksenden uzaklaşan yönde eğimli ve tabakalı travertenleri çökelmiştir. Kocabaş sahasının GB kesiminde, eski karayolu yakın açılmış ocaklarda tabakalı travertenler arasında, düşey bantlı travertenlere benzeyen açık renkli, kompakt kristalin damarlar gözlenmiştir. Damarların kalınlıkları genellikle 5-10 cm arasında değişmektedir. Bunlar düşey bantlı travertenlerin tabakalı travertenler arasındaki uzantılarıdır.

4.1.7. Kelkaya sahası

Saha, adını Aşağıdağdere köyü yakınlarındaki Kelkaya Tepe'den alır. Kelkaya sahası ve civarında Devlet Su İşleri ve Denizli İl Özel İdaresi tarafından açılmış birçok kuyu vardır. Sahadaki en önemli kaynak Kelkaya kaynağıdır. Sıcaklığı 18,7°C olan kaynağın akım kanalı ve aktığı yamaç boyunca aktif traverten çökelişi gözlenmektedir.

Travertenler Kelkaya Tepe'nin kuzey eteğinde fayın düşen bloğu üzerinde yer alır (Şekil 17). Fay, travertenler ile Mesozoyik karbonatları arasında tektonik bir dokanak oluşturur. Yukarı kotlarda yüzeydeki travertenler nispeten boşluklu ve gevşek olmasına karşın, aşağı kotlarda açılmış ocak içerisindeki travertenler daha az gözenekli ve sıkıdır.



Şekil 17. Kelkaya sahasındaki travertenlerin jeolojik konumuna gösterir hatita (Özkul ve Alçiçek, 2002'den değiştirilmiştir).

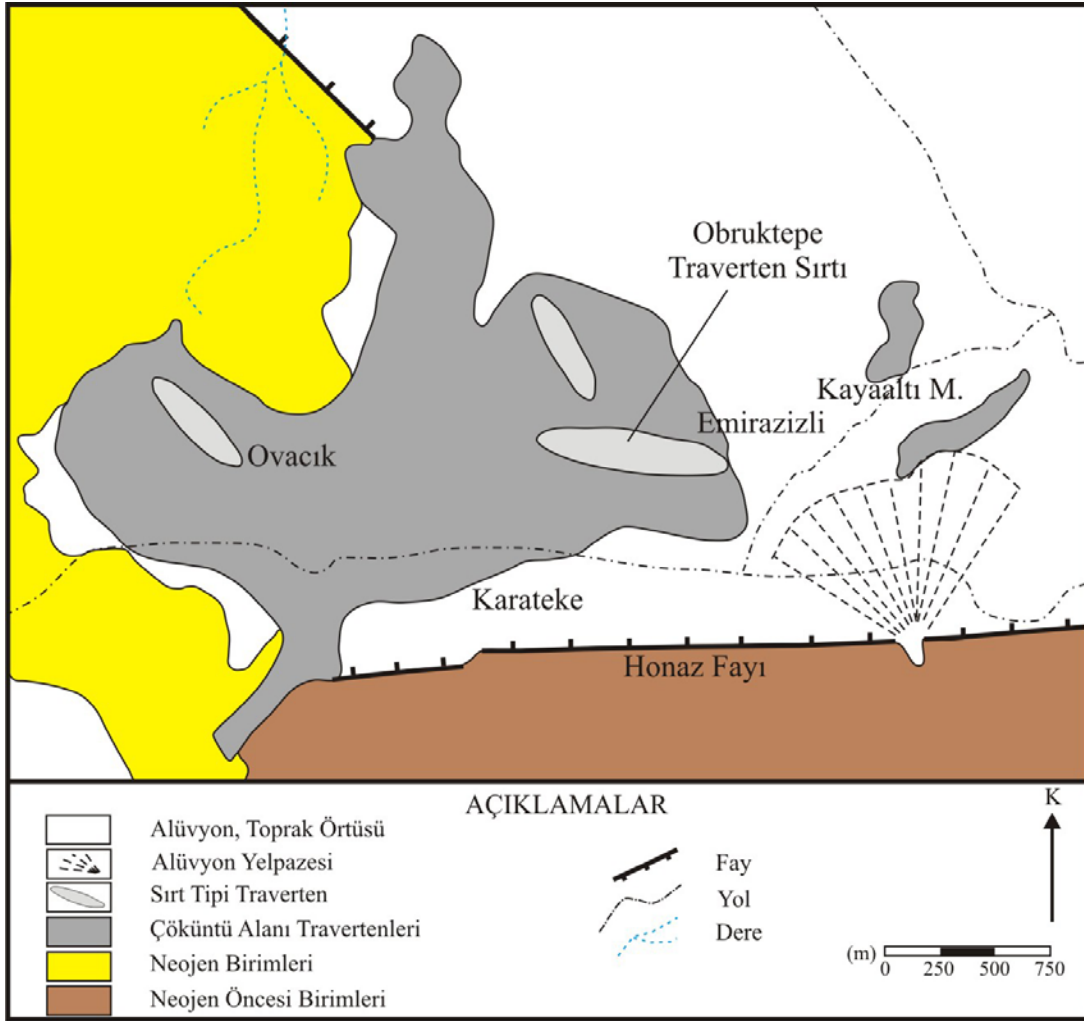
4.1.8. Honaz sahası

Bu saha, doğu-batı gidişli Honaz fayının (BOZKUŞ vd., 2000) batı ucunda yer alır (Şekil 1 ve 18). Saha içinde Karateke, Ovacık, Kayaaltı-Değirmenler ve Höyük (Colassea) dolaylarında yaygın traverten ve tufa oluşumlarına rastlanır.

Honaz sahasında akifer kayaç Mesozoyik kireçtaşlarıdır. Bu kireçtaşlarından beslenen çok sayıda kaynak Honaz fayı boyunca boşalır. Bu kaynaklardan en önemlileri Karateke köyü yakınlarındaki Kocapınar ve Pınarbaşı (Şekil 19) kaynaklarıdır. Kocapınar kaynağı, kaynak alanında açılan sondajlar nedeniyle kurumuştur. Deniz seviyesinden 492 m yüksekteki Pınarbaşı kaynağının debisi yaklaşık 1200 l/s ve sıcaklığı 18,7°C'dir. Bu kaynağın her iki yanında açılan iki sondajdan sığ olandan 19,7°C ve daha derin olanından 23,7°C sıcaklıklarında su alınmıştır. Her iki sondaj da artezyen yapmaktadır.

Kayaaltı-Değirmenler alt sahasındaki pasif tufalar GB-KD doğrultusunda bir diklik oluşturmuştur. Yaklaşık 20 m yüksekliğindeki dikliğin alt yarısı tabakalı ve kırıntılı tufalardan meydana gelmiştir. Buna karşılık üst kısmı aşağı doğru sarkık asılı tufalardan kuruludur (şelale fasiyesi). Asılı tufalar içinde yer yer mağara boyutlarında birincil boşluklar gözlenmektedir. Tufa kütlesi üstten bir düzlükle sınırlandırılmıştır. Bu özellikleri ile Kayaaltı-

Değirmenler tufa kütlesi asılı kaynak tufalarının (*perched springline tufas*) özelliklerini taşır (HORVATINČIĆ vd., 2005).



Şekil 18. Honaz sahasında yer alan traverten ve tufaların dağılımı (Özkul ve Alçiçek, 2002).



Şekil 19. Karstik Pınarbaşı kaynağı.

4. 2. Macar Sahaları

4.2.1. Egerszalók traverten sahası

Bu saha, Macaristan'ın kuzeydoğusunda Bükk Dağı yakınlarında Egerszalók ve Demjén köyleri arasında yer alır. 1961 ve 1987 yıllarında, petrol arama amacıyla açılan kuyular (De-42 ve De-42/a kuyuları) Mesozoyik–Tersiyer yaşlı hazne kayalıklara ulaşmıştır. Kuyulardan artezyen yaparak yeryüzüne çıkan sıcak sular traverten çökelmeye başlamıştır. Derinliği 407.5 m'ye ulaşan De-42 kuyusundan dakikada 875 ile 2500 litre arasında sıcak su boşalmaktadır. Egerszalók "*Hungarian Pamukkale*" sahası traverten ve termal suları proje çalışmaları sırasında Pamukkale'de yapıldığı gibi, su akış yolları boyunca örneklenmiştir. Egerszalók'ta, çıkış ağzında suyun pH'ı 6.1(hafif asidik) iken, akış aşağı ıraksak yamaçta 7.9'a yükselmiştir (Kele vd., 2008). Bu arada çıkış ağzında 67°C olan su sıcaklığı 41°C'a düşmüştür. Toplam çözülmüş madde miktarı 1000 mg/l'den azdır, CO₂ içeriği ise 1000 mg/l'dir (HORVÁTH vd., 1990).

1961 yılından 1987 yılına kadar geçen 16 yılda kuyudan yaklaşık 8 milyon m³ sıcak su boşalmış ve yüksek çökme hızına (yaklaşık 1 mm/gün) bağlı olarak 2500 m² civarında bir alan beyaz, taze travertenle kaplanmıştır (VASÍ, 2002; DOBOS vd., 2005). Halen devam eden traverten çökeli sonucunda 40 m uzunluğunda, 7-8 m yüksekliğinde bir tümsek ortaya çıkmıştır.

4.2.2. Buda Tepeleri ve Gerecse Dağı traverten sahaları

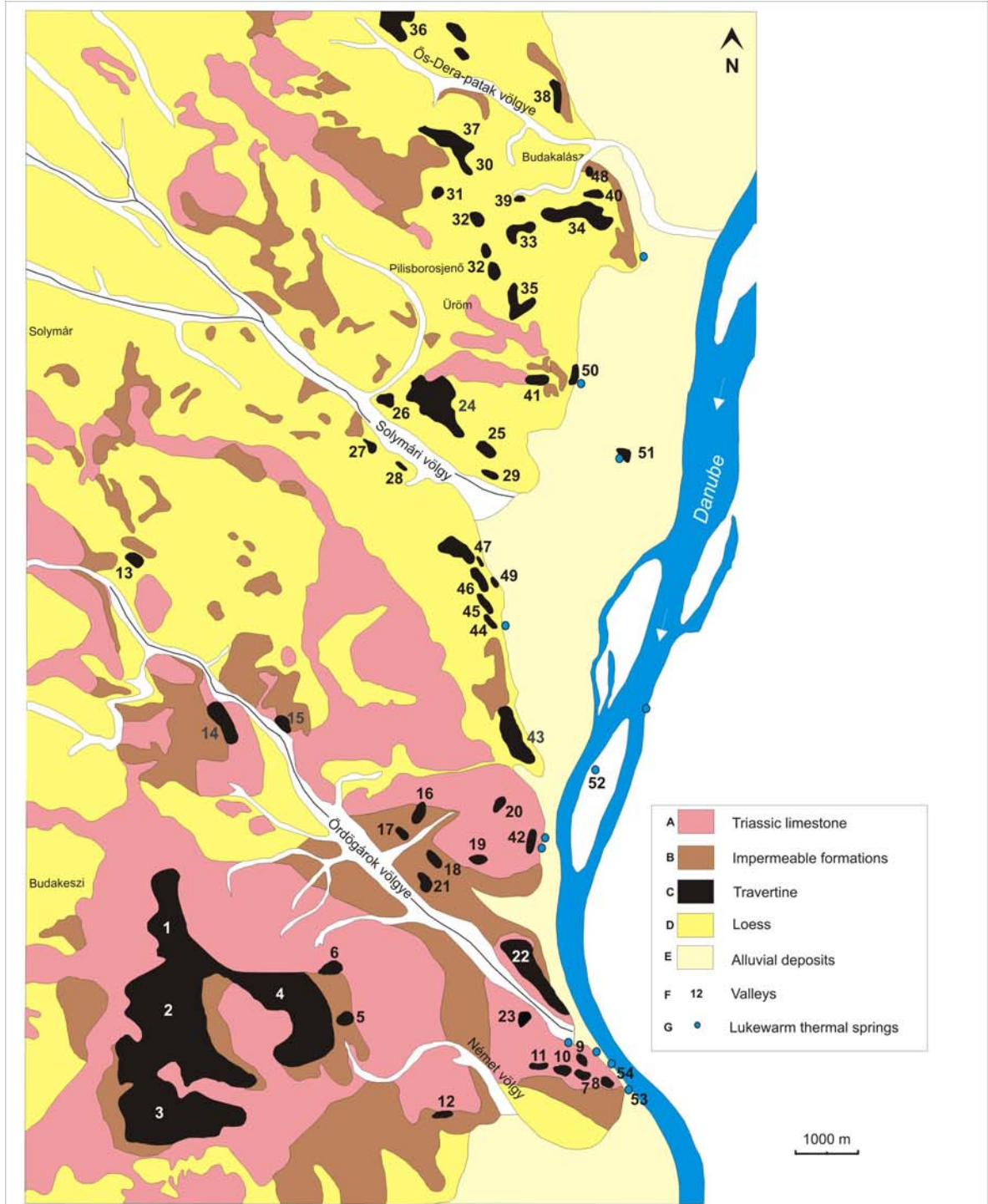
Proje döneminde, Macaristan'da başlıca Pliyosen-Pleistosen dönemine ait Buda Tepeleri ve Gerecse Dağı fosil travertenleri incelenmiştir. Her iki saha birlikte eski termal suların depoladığı 100'den fazla traverten kütesinden (Şekil 20) meydana gelmiştir (Scheuer ve Schweitzer, 1988). Buda Tepeleri ve Gerecse Dağı sahalarda temelde başlıca Mesozoyik karbonatları ile karbonat ve kırıntılardan oluşmuş bir Tersiyer istifisi yer alır. Bu tepeler yükselmiş Macar sıradağlarının (*Hungarian mountain range*) kenar kuşağını temsil eder. Tuna Nehri boyunca teras bölgesi 3 farklı bölüme ayrılır. Bunlar Gerecse Dağı, Tuna Büklümü ve Buda Tepeleri'dir. Travertenler terasların kalın alüvyal kum ve çakılları, daha yaşlı jeomorfolojik düzeyler, Pliyosen pedimentleri ve Geç Miyosen kıyı çizgisi çekelleri üzerine oturmuştur. Buna karşılık Visegrád Boğazı'nda, Börzsöny ve Visegrád Dağı Miyosen andezitleri ile karakterize edilen Tuna Büklümü'nde traverten oluşumu yoktur. Traverten oluşumları Tuna Nehri'nin eski teraslarını ve daha yaşlı jeomorfolojik düzeyleri

(Pliocene pedimenleri) örttüğünden, terasların ve neotektonik v.b. olayların yaşlandırılması için önemli arşivlerdir.

Proje kapsamında yapılacak çalışmalar için Buda Tepeleri (Budakalász, Gellért-Hill, Buda Castle-Hill) ve Gerecse Dağı'ndan (Süttö, Tata, Vértesszőlős) 3 saha seçilmiştir. Başkent Budapeşte'nin kuzeyinde, deniz seviyesinden 230 m yüksekte, Solymár ve Dera-Creek vadileri arasında kalan Pleyistosen yaşlı Budakalász traverten sahası, Buda Tepeleri'nde örneklenmiş en büyük sahadır.

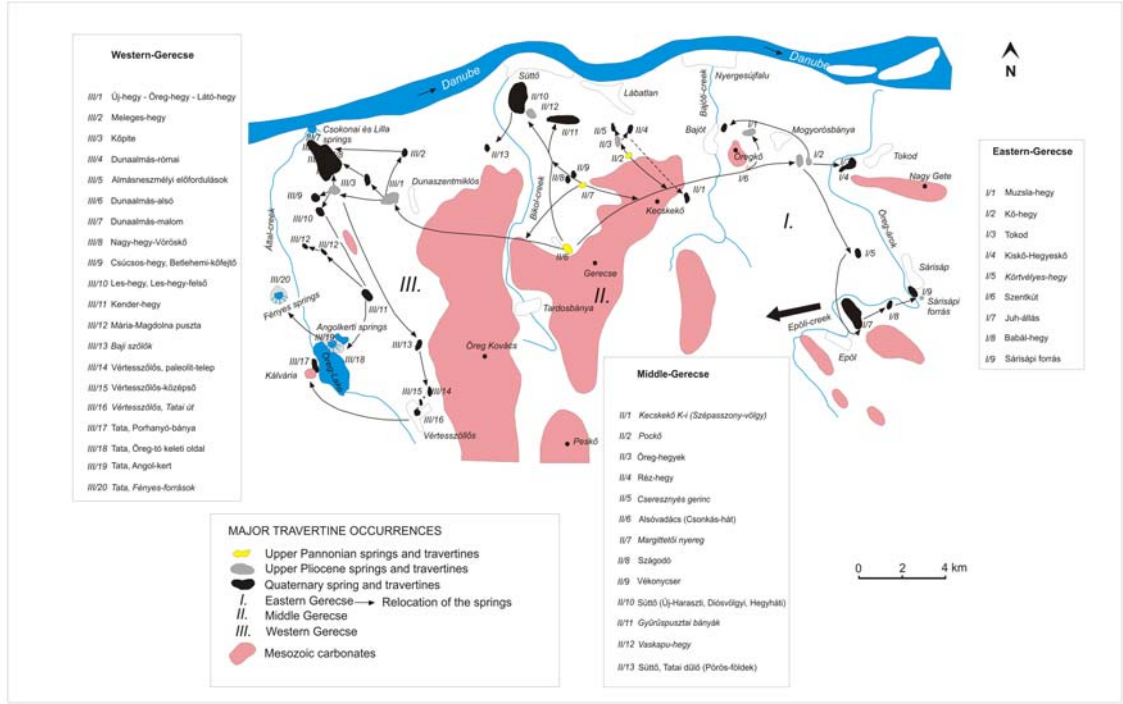
Buradaki travertenlerin kalınlığı 15-20 m olup, önceki çalışmacıların da bahsettiği gibi (Ör. KELE vd., 2003), Roma döneminden beri işletilmektedir. Depolanma özelliklerine göre, Budakalász travertenleri muhtemelen yamaç benzeri bir ortamda çökelmiş olabilir (KELE vd., 2003). Komşu sahalarda (Kálvária-Tepesi, Majdán, Felső Tepesi ve Ezüst-Tepesi) belirgin depolanma özellikleri nedeniyle, göl çökelleri oldukları düşünülmüştür. İncelenen diğer iki saha (Buda Castle ve Gellért Tepeleri), başkent Budapeşte alanında bulunmaktadır. İnşaat çalışmaları ve örtülü olmaları nedeniyle, çoğu zaman bu sahadaki travertenlere ulaşmak mümkün olmamaktadır. Deniz seviyesinin 150–160 m üzerinde olan Kale Tepe (Şekil 20) travertenleri Budapeşte'nin en büyük traverten oluşumlarından birisidir ve Tuna Nehri'nin batısında yer alır. KÖRPAŞ vd. (2004)'e göre, Kale Tepe travertenleri Orta Pleyistosen'de ılık-termal kaynaklar (30-60°C) tarafından beslenen bir göl ortamında çökelmiştir. Traverten kütlesi içinde yapılmış büyük labirent sistemi, travertenleri düşey ve yatay kesitlerde çalışmak için iyi bir fırsat oluşturmuştur.

Gellért-Tepesi'nde (Tuna Nehri batısı, Şekil 20) deniz seviyesi üzerinde farklı seviyelerde 4 adet iyi korunmuş Pleyistosen kütlesi vardır. Bunlar Gellért-Tepesi, Ifjúsági Parkı (220–215 m), Számadó út (195 m), Kelenhegyi út 75. (170 m), ve Somlói út (150 m)'dir. Proje çalışmaları kapsamında bu kütlelerden en üst Ifjúsági-Park kütlesi ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Ifjúsági-Park kütlesi muhtemelen kaynak konisi (veya çatlak sırtı ?) şeklinde oluşmuştur (Şekil 22). Budapeşte sahasında yukarıda bahsedilen sahalardan dışında, KD-GB gidişli hat üzerinde genellikle Németh, Ördögárok, Solymár, Dera-Creek ve Tuna Vadisi ile bağlantılı (Şekil 20), birçok traverten kütlesi bilinmektedir. Ancak günümüzde traverten depolanması sadece birkaç kaynakla (Gellért kaynağı, Rudas termal Spa, v.s.) sınırlıdır.



1. Hármaskút-tető-Normafa, 2. Csillagvizsgáló u., 3. Budaörsi-hegy - Kakukk-hegy, 4. Széchenyi-hegy, 5. Felhő u., 6. Alkony u., 7. Gellért-hegy, Ifjúsági-park, 8. Gellért-hegy, Felszabadulási emlékmű, 9. Gellért-hegy, Számadó u., 10. Gellért-hegy, Kelenhegyi u., 11. Gellért-hegy, Somlyói u., 12. Sas-hegy, 13. Máriaremete, 14. Hűvösvölgy, Nyéki u., 15. Hűvösvölgy, Kondor u., 16. Törökvérszi u. és Törökvérszi lejtő, 17. Lepke köz, 18. Vérhalom (Detrekő u., Fillér u.), 19. Bimbó u. és Barsi u., 20. Szemlő-hegy, 21. Szőlészeti Kutatóintézet, 22. Buda-vár-hegy, Halászbástya, 23. Nap-hegy, 24. Üröm-hegy-felső, 25. Arany-hegy felső, 26. Üröm-hegy alsó, 27. Csúcs-hegy dűlő felső, 28. Csúcsos-hegy dűlő alsó, 29. Arany-hegy alsó, 30. Budakalászi kőfejtő, 31. Monalovác-hegy D-i oldal, 32. Puszta-hegy és Berdó-dűlő, 33. Kálvária-tető felső, 34. Ezüst-hegy felső, 35. Felső-hegy, 36. Majdán fennsík, 37. Harapovács-alsó, 38. Verebes dűlő, 39. Kálvária-tető alsó, 40. Ezüst-hegy alsó, 41. Péter-hegy, 42. Apostol u., 43. Kiscelli-fennsík, 44. Farkastorki u., 45. Farkastorki lejtő, 46. Labanc köz felső, 47. Labanc köz alsó, 48. Budakalász, 49. Bécsi u., 50. Csillaghegyi strand, 51. Római-fürdő, 52. Margitsziget, 53. Gellért-táró, Sárosfürdő, 54. Rudas-fürdő

Şekil 20. Buda Tepeleri (Buda Hills) traverten sahalarının jeolojik haritası. (SCHEUER ve Schweitzer 1980'den değiştirilmiştir).



Şekil 21. Gerecse Dağı Pliyosen-Pleistosen fosil traverten sahalarının jeoloji haritası (Kele, 2009 tarafından Scheuer ve Schweitzer 1981'den değiştirilmiştir).



Şekil 22. Gellert-hegy Ifjusagi parkı kaynak konisi.

Gerecse Dağı travertenleri, dağın batı, kuzey ve doğu taraflarında yoğunlaşmıştır (Şekil 21). Bu travertenler de Pliyo-Pleyistosen yaşlı olup, çoğunlukla göl ortamlarında depolanmışlardır, ancak bazı yerlerde (Ör. Alsóvadács'da) kaynak konileri ortaya çıkmıştır. Aktif ılık

kaynaklara (=lukewarm springs, 20–22°C) yalnızca Tata'daki Fényes kaynakları ile Dunaalmás'taki H₂S'ce zengin Csokonai kaynağı örnek gösterilebilir, ancak günümüzde bu kaynaklarda kayda değer bir traverten çökeli mi yoktur. Gerecse'nin en önemli traverten çökelleri Mogyorósbánya, Kő-hegy (Gerecse doğusu), Süttö, Haraszthegy (Gerecse kuzeyi), Dunaszentmiklós ve Új-hegy-Öreg-hegy (Gerecse batısı)'da gözlenir. Batı Gerecse, özellikle Tata ve Dunaalmás, traverten çökelleri bakımından en zengin bölgelerdir. Proje çalışmaları sırasında Tata Bölgesi'ndeki Porhanyó ocağı, Öreg Gölü ve Angol-kert (İngiliz Bahçesi) gibi başlıca traverten sahaları ziyaret edilmiş ve incelenmiştir. Porhanyó Ocağı'nda ve Öreg Gölü kıyılarında kaynak konileri, bitki fosilleri ve arkeolojik kalıntılar görmek mümkündür (Şekil 21).

Yaptığımız arazi çalışmalarına ve daha önceki yayımlara göre (KELE vd., 2006), traverten ocağında gözlenen travertenler silisiklastik taşkın düzlüğünde yer alan ve termal kaynaklarca beslenen bir göl ortamında depolanmıştır. Alg, diğer fitoklastik ve fitohermal tanetaşı, bağlamtaşı ve yüzertaş (floatstone) en sık karşılaşılan mikrofasiyeslerdir. Arazi çalışmaları sırasında ocak aynalarında karbonat bacaları ve koniler keşfedilmiştir. Bu şekiller, sığ göl tabanındaki eski kaynak aktivitesinin belirteçleridir.

Bunların dışında, Tata'daki Angol-kert'de (İngiliz bahçesi) Holosen traverten çökelleri çalışılmış ve deniz seviyesinden yüksekliği 128–140 m arasında değişen Öreg Gölü çevresinde (Şekil 21) kaynak konileri ve teras kalıntıları belirlenmiştir. Tata yakınlarındaki Vértesszőlös'de, V.-V. teraslarında en önemli Macar paleolitik (erken insan) lokalitesinin de yer aldığı (Ör. VÉRTES, 1964; DOBOSI, 2003) Által-ér'in I, orta Pleistosen traverten kütlesi 8-10m kalınlıkta ve deniz seviyesinden 175-190 m yüksektir (Şekil 21). Bu yer, bitki kalıntıları bakımından zengin olup, teras ve teras gölleri içeren bir yamaç ortamında oluşmuştur. Bu sahadan alınan traverten örneklerinde algal ve fitoklastik tanetaşı, bağlamtaşı, ve yüzertaş (*floatstone*) mikrofasiyesleri belirlenmiştir (KORPÁS 2003).

Orta Gerecse'nin kuzeyinde, Süttö yakınlarında, halen işletilmekte olan en büyük traverten oluşumlarından birisi yaklaşık 1 km² den fazla bir alan kaplar. Bizim çalışmalarımız Új Haraszt-, Hegyháti ve Diósvölgyi ocağı oluşumları üzerine yoğunlaşmıştır (Şekil 21). Süttö traverten istifi, büyük ihtimalle ılık (*lukewarm*) kaynaklar tarafından beslenen geniş havuz, göl ya da bataklık ortamlarında çökelmiştir (SCHEUER ve Schweitzer 1988).

Farklı yüksekliklerde konuşlanmış olan bu havuz ve göller yamaç ve teras çökelleri ile birbirlerine bağlantılıydılar (SCHEUER ve Schweitzer 1988). Haraszt Tepesi'nde travertenler

geniş yayılıma sahiptir ve yaklaşık 40 m kalınlığında bir istif oluşturmuşlardır, ancak bu ocakların sadece üstten 20-25 m'lik kısımları görülebilmektedir. Süttö travertenleri üzerinde ayrıntılı sedimantolojik çalışmalar BAKACSI (1993), BAKACSI vd. (1994) ve Korpás (2003) tarafından Hegyháti ve Diósvölgyi ocaklarında yapılmıştır.

Süttö traverten istifinin en yakın güncel benzerleri Orta İtalya'daki Tivoli termal kaynaklarının travertenleridir (BAKACSI vd., 1994; BAKACSI ve Mindszenty, 2004).

Depolanma ortamının hidrolik bakımdan açık, iyi havalanmış olması, nispeten yüksek su sıcaklığına bağlı yüksek miktardaki alg ve bakteri üremesi, biyolojik olarak çökelmiş karbonat birikimine yol açmıştır (BAKACSI ve Mindszenty 2004). Göllerin derinlikleri 3-10 m arasındadır.

5. TRAVERTEN OLUŞTURAN SULARIN HİDROJEOKİMYASI

Bu proje kapsamında, Denizli il sınırları içindeki sekiz sahada, traverten çökeltten suların hidrokimyasal özellikleri incelenmiştir. Bu bölümde, çalışma alanları için genelleştirilmiş su bütçesi hesaplamaları, sahaların hidrojeolojik özellikleri ile traverten çökeltten suların kimyasal ve izotopik özellikleri verilmiştir.

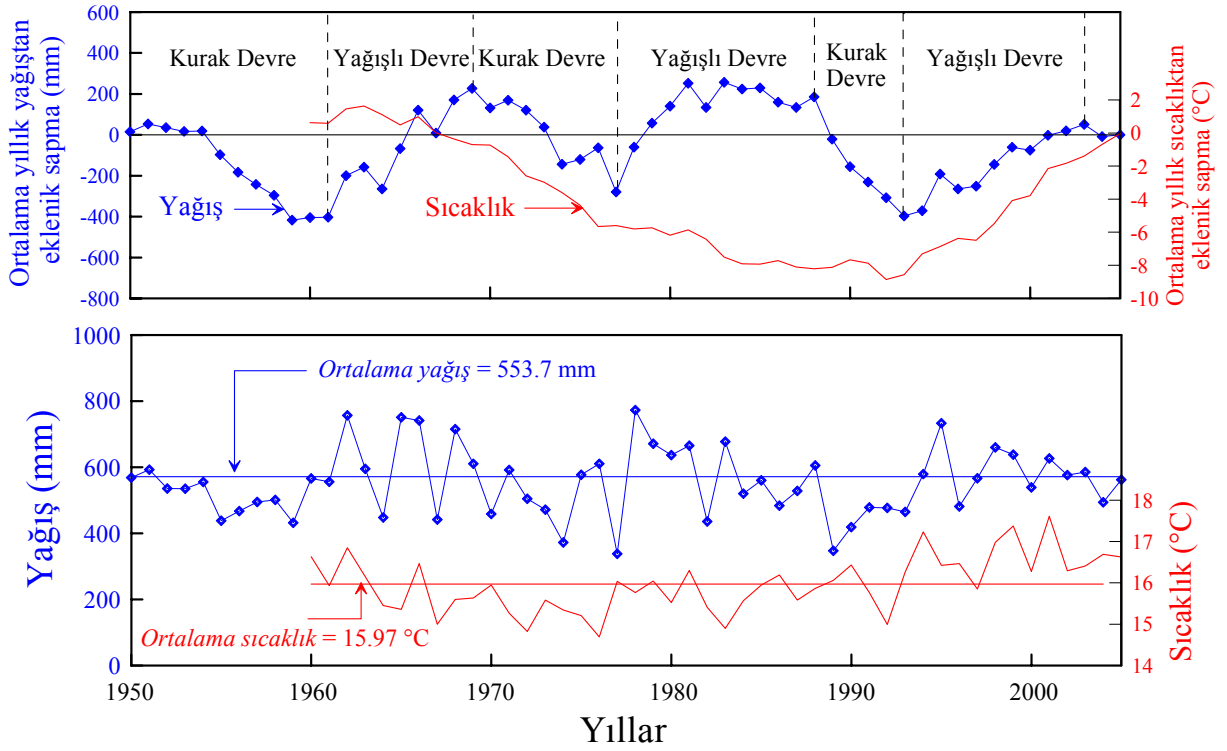
5.1. Hidroloji

Bu bölümde inceleme alanının iklim özellikleri incelenmiş, ayrıca 1960–2005 ortalaması meteorolojik verilerden yararlanarak hazırlanan su bilançosu sonuçları yorumlanmıştır. Değerlendirmelerde, incelenen sahalara yakın mesafede olan ve uzun süreli ve güvenilir ölçümlerin yapıldığı Denizli Devlet Meteoroloji İstasyonu'nun meteorolojik verileri kullanılmıştır.

İnceleme alanı, coğrafi konumu nedeniyle Ege, Akdeniz ve İç Anadolu iklim kuşaklarının kesişim bölgesinde bulunduğu için iklim özellikleri de bu iklim kuşaklarının bir karışımını yansıtmaktadır. Denizli Devlet Meteoroloji İstasyonu'nda 1931 yılından beri ölçümler yapılmaktadır. Ancak bu ölçümlerin süreklilik sunması önemli olduğu için, yapılan değerlendirmelerde yağış için 1950-2005 ve hava sıcaklığı için 1960-2005 dönemine ait ortalama değerler kullanılmıştır.

Denizli'de yıllık toplam yağış ortalaması 557.5 mm'dir. En az yağış Ağustos (8.6 mm), en fazla yağış ise 93.4 mm ile Aralık ayında olmuştur. Yıllık ortalama hava sıcaklığı 15.97°C'dir. Temmuz ayı en sıcak (27.11°C), Ocak ayı en soğuk (5.73°C) aylardır. En yüksek sıcaklık 42.4°C ile 13 Temmuz 2000 ve en düşük sıcaklık -11.4°C ile 09 Şubat 1965 tarihinde kaydedilmiştir.

Denizli il merkezinde yapılan yağış ve sıcaklık ölçümlerinden, yağış ve sıcaklığın yıllara göre dağılımı ile 1950-2005 yılları için ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma ve 1960-2005 yılları için ortalama yıllık sıcaklıktan eklenik sapma grafikleri çizilmiştir (Şekil 23). Yağış ve sıcaklık dağılımı incelendiğinde yağışın son 10 yılda ortalama değer civarında olduğu, sıcaklığın ise ortalama değer üzerinde seyrettiği görülmektedir. Eklenik sapma grafiğinden, yağışın periyodik bir salınım yaptığı, 5 ile 10 yıl arasında değişen yağışlı ve kurak dönemlerin birbirini izlediği söylenebilir. Yine bu grafik, 1990 yılına kadar sürekli azalan sıcaklığın bu tarihten sonra günümüze değin giderek arttığını göstermektedir.



Şekil 23. Denizli il merkezindeki sıcaklık ve yağış dağılımları, yıllık sıcaklık ve yağış ortalamalarından eklenik sapma eğrileri.

Denizli il merkezi için 1960–2005 dönemi ortalaması potansiyel ve gerçek buharlaşma-terleme değerleri Thornthwait yöntemi ile hesaplanmıştır.

Thornthwaite'in aylık potansiyel buharlaşma-terlemeyi (Etp) veren formülü

$$Etp = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a$$

$$I = \sum i \quad i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad \text{şeklindedir. Formülde}$$

i : Sıcaklık indisi

t : Aylık sıcaklık ortalaması (°C)

Etp : Aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (mm)

a : $6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,492$ dir.

Bu yöntemle, 1960-2005 yılları için yıllık potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 874.7 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 370.0 mm hesaplanmıştır (Tablo 1). Nisan ayı sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr'ye eşit olur. Yağış fazlası 180.01 mm'dir. Yağışın bir kısmı yüzeysel akışa geçer, bir kısmı da yeraltına süzülür. Nisan ayı

sonundan Haziran ayı ortalarına kadar zemin rezervi olan ve teorik olarak 100 mm kabul edilen su kullanılır. Haziran ayı ortasından Ekim ayı ortalarına dek su noksanı, başka bir deyişle tarım su açığı vardır. Etp'nin yağıştan fazla olduğu kurak dönemde Etp 737.96 mm ve yağış 133.28 mm'dir. Buna göre su noksanı:

$$737.96 - (133.28 + 100) = 504.68 \text{ mm}$$

olur.

Kasım ayı ortasından sonra yağış Etp'den fazladır. Aralık ayı ortalarında fazla yağış zemin rezervini tamamlar. Bu hesaplamalara göre yıllık ortalama yağışın %65,7'sine karşılık gelen 370.0 mm, buharlaşma-terleme ile atmosfere geri dönmektedir. Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Aralık aylarında görülen yağış fazlası toplam yağışın %34,3'üdür. Bu durumda Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında tarımsal sulamaya ihtiyaç vardır.

5.2. Hidrojeoloji

Denizli ilinin tektonik haritasına bakıldığında (Şekil 24) ana fayların doğrultularının kuzeydoğu-güneybatı olduğu görülmektedir (HENDEN, 1981; ÖZPINAR ve Gökğöz, 1993). Ancak ilin kuzeybatı kesiminde fayların yoğunluğu fazladır ve doğrultuları değişiktir. Neotektonik dönemde gelişen açılma tektoniğine bağlı olarak oluşan Büyük Menderes ve Gediz grabenleri bu kesimde bulunur. Büyük Menderes grabeni sınır fayları ve sentetik fayların doğrultuları genellikle BKB-DGD iken Gediz grabeni sınır ve sentetik faylarının doğrultuları KB-GD'dur. İki graben Pamukkale-Karahayıt yörelerinde kesişirler. Bu noktadan Honaz'a doğru uzanan graben Çürüksu grabeni olarak adlandırılır.

Denizli ilinde yüksek, orta ve düşük entalpiye sahip dokuz jeotermal saha vardır. Bu jeotermal sahalar (Beylerli jeotermal sahası hariç) Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinde, bu iki grabenin kesişim alanında ve Büyük Menderes grabeninin doğu uzantısı olan Çürüksu grabeninde yer alırlar (Şekil 1). Bu sahalardaki maksimum akışkan sıcaklıkları ve yararlanma şekilleri şöyledir:

Tablo 1. Denizli il merkezi meteoroloji verilerine göre 1960-2005 dönemine ait su bilançosu (Thorthwait yöntemi kullanılmıştır).

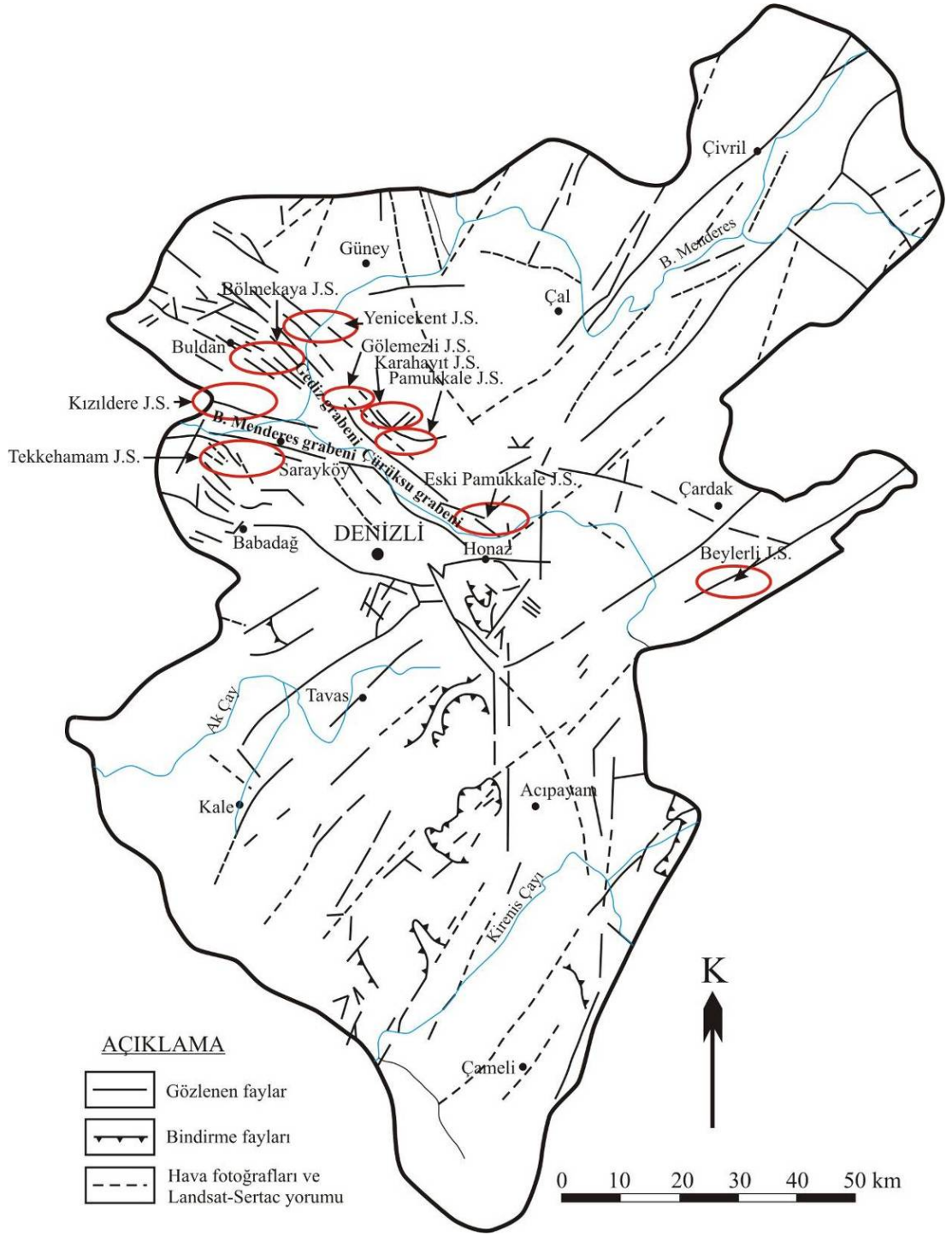
METEOROLOJİK ELEMENLAR	AYLAR (1960-2005, 46 yıl)												YILLIK
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Aylık ortalama sıcaklık (°C)	5.73	6.75	9.85	14.41	19.58	24.43	27.11	26.44	22.13	16.68	11.22	7.36	15.97
Aylık endeks (i)	1.229	1.574	2.791	4.966	7.900	11.041	12.928	12.449	9.507	6.197	3.398	1.794	75.78
Etp (mm)	9.95	13.13	25.00	47.77	80.51	117.29	140.06	134.24	99.15	61.28	31.19	15.21	774.80
Düzeltilme katsayısı	0.8525	0.84	1.03	1.1	1.2275	1.2375	1.25	1.17	1.0375	0.9625	0.8425	0.83	
Düzeltilmiş Etp.	8.48	11.03	25.75	52.55	98.83	145.16	175.07	157.06	102.86	58.98	26.28	12.63	874.69
Yağış (P, mm)	82.14	75.064	65.114	55.52	40.54	21.57	15.72	9.32	13.42	32.71	57.06	94.59	562.78
Zemin rezerv değişimi (mm)					58.29	41.71							
Zemin rezervi (mm)	100	100	100	100	41.71	0	0	0	0	0	30.78	100	
Etr (mm)	8.48	11.03	25.75	52.55	98.83	63.28	15.72	9.32	13.42	32.71	26.28	12.62	370.01
Tarım su açığı (mm)						81.88	159.358	147.748	89.448	26.27			504.68
Su fazlası (mm)	73.66	64.03	39.36	2.96	0	0	0	0	0	0	0	12.75	192.77

1. Kızıldere sahası (242°C), doğrudan ve binary sistemle elektrik üretimi, kuru buz ve sıvı CO₂ üretimi, Sarayköy ısıtması, sera ısıtması ve termal banyo olarak,
2. Tekkehamam sahası (125°C), sera ısıtması ve termal kür ve termal banyo olarak,
3. Yenicekent sahası (77°C), sera ısıtması ve termal banyo olarak,
4. Bölmekaya sahası (36°C), Bölmekaya Köyü'nde evsel kullanımda,
5. Gölemezli sahası (88°C), sera ısıtması ve termal banyo olarak,
6. Karahayıt sahası (61°C), termal kür ve termal banyo olarak,
7. Pamukkale sahası (35°C),
8. Eski Pamukkale sahası (24°C) ve
9. Beylerli sahası (41°C), termal banyo olarak.

Denizli ili jeotermal sahaları devirli bir hidrotermal sistemin ürünü olarak oluşmuşlardır. Devirli bir hidrotermal sistemin gelişebilmesi için ısı kaynağı, hazne ve örtü kayalar ile hazne kayaya akışkan sağlayan bir beslenmenin o bölgede bulunması gerekir.

Hazne kaya derinlere süzülen yağış ve olası yeraltı sularının içinde biriktiği, kalınlığı ve yayılımı yeterli, gözenekli, geçirgen ve atmosferle hidrolik bağlantıda olan kayalardır. Yenicekent, Gölemezli ve Karahayıt sahalarında hazne kaya, maruz kaldıkları yoğun tektonizma nedeniyle yüksek oranda ikincil gözeneklik ve geçirgenlik kazanmış olan Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi'ne ait mermer, kalkşist ve kuvarsitlerdir. Bu sahalarda açılan sondajlardan da termal su bu birimlerden alınmaktadır. Pamukkale sahasında ise hazne kaya olasılıkla, Menderes Masifi üzerine bindirme ile gelen ve çok kırıklı ve çatlaklı olan Mesozoyik yaşlı Çökelez kireçtaşlarıdır. Ballık, Kelkaya ve Honaz sahalarında da Menderes Masifi üzerine bindirme ile gelen Mesozoyik yaşlı çok kırıklı ve karstik karbonatlı kayalar akiferi oluşturmaktadır.

Örtü kaya, hazne kayanın üzerinde yer alan ve hazne kayadan ısı ve akışkan kaybını önleyen ya da azaltan geçirimsiz kayalardır. Çalışma alanlarında Neojen yaşlı geçirimsiz birimler örtü kayayı oluştururlar.



Şekil 24. Denizli ilinin sismotektonik haritası (HENDEN, 1981; ÖZPINAR ve GÖKGÖZ, 1993) ve jeotermal alanlar.

Isı kaynağı, hazne kayada toplanan suların ısınmasını sağlar. Denizli jeotermal sahalarının yakınlarında genç volkanik aktivite yoktur. Türkiye için öngörülen plaka tektoniği modellerinde özellikle Mendere masifi altında bir manto yükselmesi vurgulanır. Bölgenin ısı akışı haritası, grabenler boyunca yüksek ısı akışı anomalilerini gösterir (TEZCAN, 1967). Yörede jeotermal gradyan yüksektir ve bazı kesimlerde 10 metrenin oldukça altına

düşmektedir. (ÜRGÜN, 1976). FİLİZ (1982), Pamukkale sıcak ve mineralli su kaynaklarına ortamın izotoplarından C¹³'ü uygulayarak, kaynaktan yayılan CO₂ gazının magma kökenli olduğunu ortaya koymuştur. GÜLEÇ (1988), yöredeki termal suların yüksek helyum-3 içeriğinin manto kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Bu verilere göre, derinlere süzülen meteorik suların magmatik intrüzyonlardan ve magmatik emanasyonlardan aldıkları ısı ile ısındıkları anlaşılmaktadır.

Beslenme, hazne kayaya düzenli olarak su temin eder. Beslenme alanı ne kadar geniş, yıllık toplam yağış ne kadar fazla ve düzenli, beslenme alanına düşen yağışın hazne kayaya ulaşmasını sağlayan koşullar (geçirgenlik, topoğrafya, bitki örtüsü vb) ne kadar uygunsa hazne kayanın beslenmesi de o denli fazladır.

Geçirimli birimler üzerine düşerek yeraltına süzülen ve hazne kayaya erişen ve burada ısınan basınç altındaki meteorik sular kendilerine hidrotermal oluk ödevi gören faylar ve çatlaklar boyunca yüzeye çıkarak sıcak ve mineralli su kaynaklarını oluştururlar. Bu süreçte hazne kaya ile kimyasal reaksiyona giren meteorik suların iyon derişimleri artar ve CO₂, H₂S gibi bazı gazlarca zenginleşirler.

Gediz grabeninde bulunan Yenicekent sahasında termal sular KB-GD doğrultulu Tripolis fayına verev doğrultudaki faylar boyunca yüzeye doğru yükselir. Çizmeli ve kuruyan Kamara termal kaynakları KD-GB doğrultulu faylardan yüzeye çıkmışlardır. Sahada bu faylara paralel veya dik doğrultuda birçok açılma çatlağı vardır (Şekil 2). Yaz döneminde Kamara Çizmeli hattı boyunca, Büyük Menderes nehir tabanından, akarsu seviyesi altındaki birçok noktada termal su çıkışları gözlenmiştir. Bu alana komşu olan Bölmekaya sahasında bulunan 35°C sıcaklığındaki termal kaynak, Yenicekent ovasındaki yeraltı sularının yer yer 20°C sıcaklığa kadar çıkması ve Tosunlar civarındaki sondajdan alınan 100°C sıcaklığındaki termal su, sahadaki jeotermal aktiviteyi ve jeotermal sistemin sadece Yenicekent sahası ile sınırlı olmadığını göstermektedir.

Gölemezli, Pamukkale ve Karahayıt sahaları Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesişim alanında bulunurlar. Gölemezli sahasında açılan derin sondajlar Paleozoyik mermer, kuvarsit ve şistleri kesmiş ve termal su mermer, kuvarsit, kalkşist seviyelerinden alınmıştır (MTA, 2004). Bu sahadaki resmi kurumlarca açılan derin sondajlar dışında çok sayıda şahıs kuyusu vardır. Şahıs kuyularının derinlikleri 200 metreyi geçmez ve Neojen birimleri içinde kalırlar. Bu birimler içinde termal su taşıyan fayları kesen sondajlardan

sıcak su alınmıştır. Sondajların bir kısmı kuru çıkmış, bir kısmından da kötü kaliteli soğuk su alınmıştır. Termal su elde edilen şahıs sondajlarının (termal suyu kaplıca tesisinde kullanan ve termal kür belgesi almak için başvuruda bulunan bir işletme dışında) tamamı İl Özel İdaresi tarafından kapatılmıştır. Yöredeki seralara termal su İl Özel İdaresi'ne ait Göl-1 kuyusundan verilmektedir. Geçmişte, Gölemezli beldesi içindeki evlerin bahçelerinde kullanma suyu amacıyla açılan 7-8 metre derinlikteki kuyulardan bile 30°C'nin üzerinde sıcaklığa sahip termal sular alınırken ve beldenin yaklaşık 1 km güneybatısında sıcaklığı 50°C'nin üstünde çok sayıda kaynak bulunurken, bu sondajların açılması ve termal suyun işletilmeye başlanmasıyla termal kaynak ve sığ sondajların tümü kurumuştur. Gölemezli sahasını diğer sahalardan ayıran belirgin bir özellik, bu sahadaki termal sularda yoğun şekilde hissedilen çürük yumurta (H₂S) kokusudur.

Karahayıt sahasında termal sular, ana graben fayı olan KB-GD doğrultulu Pamukkale Fayı, bu faya sentetik faylar ve yaklaşık aynı doğrultuda uzanan açılma kırıklarından yüzeye yükselmektedir. Önceki bölümlerde değinilen nedenlerle (çok dar bir alanda 200 civarında sondaj ve aşırı termal su işletimi) yöredeki termal kaynakların tamamı kurumuştur. Karahayıt yöresinde de kayaçlar çok çatlaklı ve kırıklı bir yapıya sahiptir. Çok dar alanlarda birden fazla fay görmek mümkündür. Bu kırıklar oldukça derinlere inmektedir. Ayrıca, açıklığı 4-5 metreyi bulan (antik dönemde traverten işletmesi nedeniyle genişletilmiş) derin açılma çatlaklarına, geçmişten beri çevre belediyeler tarafından dökülen evsel atıklar, bu atıkların yağmur suları ile yıkanmasının bir sonucu olarak yeraltı suları için potansiyel bir kirlilik kaynağı oluşturmaktadır.

Yılda yaklaşık 1.500.000 yerli ve yabancı turistin ziyaret ettiği Pamukkale jeotermal sahasında başlıca 4 sıcak su kaynağı (Özel İdare, İnciraltı, Jandarma ve Beltes kaynakları) bulunmaktadır. Kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu listrik ana graben fayıyla ilişkili sentetik fay ve açılma çatlaklarından çıkan bu suların sıcaklığı 35°C olup, toplam debileri yaklaşık 300 l/s'dir. Bunların dışında sahada sayısı 20'ye yakın sulu ya da susuz obruk yer almaktadır. Bu kaynakların içinde yerli ve yabancı ziyaretçiler tarafından en bilineni eski Pamukkale Motel'deki antik kalıntıların bulunduğu havuzu besleyen Özel İdare kaynağıdır. Pamukkale'deki termal kaynakların tümü karstik kaynaklardır ve kaynakların çıkış noktaları incelendiğinde suların birbiriyle bağlantılı ve ileri derecede karstlaşmanın neden olduğu derin ve geniş çatlaklardan yüzeye çıktığı görülür. Pamukkale termal alanı, jeolojik yapısından dolayı bir süngere benzetilebilir ve bu nedenle kirlenmeye son derece

açıktır. Bundan 10-15 yıl önce Pamukkale travertenleri üzerindeki otel ve motellerin fosseptiklerinden, atık sularından ve ziyaretçilerin kullanımından doğan ve hem termal suları hem de travertenleri etkileyen organik ve inorganik kirlilik otel ve motellerin yıkılmasıyla en alt düzeye inmiştir. Ancak sadece eski otel ve motel alanları değil tüm Pamukkale sit alanı, birbirine çok yakın, değişik doğrultularda, çoğunlukla birbirini kesen yoğun çatlak sistemleri içerir. Dolayısıyla termal suların korunması, korumanın tüm sit alanına yaygınlaştırılması ile mümkündür.

Pamukkale'de yukarıda anılan özelliklerdeki termal kaynaklar dışında Çukurbağ Mevkii'nde daha derinden gelen bir kaynak daha vardır (Şekil 13). Çukurbağ kaynağı olarak adlandırılan bu kaynağın debisi 0.4 l/s ve sıcaklığı 57°C'dir. Kaynak çevresinde kırmızı traverten çökeliği vardır. Bu kaynağın kimyasal özellikleri Karahayit yöresi termal sularınıninkine benzemektedir (Tablo 2 ve 3).

Kaklık, Kelkaya ve Honaz sahalarında geniş yayılıma sahip ve bir kısmı işletilen traverten oluşumları vardır. Bu travertenler yörede geçmişte kalsiyum ve bikarbonat iyonlarınca doygun yüksek debili kaynakların varlığına işaret etmektedir. Günümüzde de bu sahalarda debileri 20 ile 1200 l/s arasında değişen çok sayıda soğuk su kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynaklar Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayalardan boşalmaktadır. Kaklık Mağarası kaynağı ve civar yeraltı suları, sahanın kuzeyinde yer alan Mesozoyik kireçtaşlarından beslenmektedir. Kelkaya kaynağının beslenimi ise Aşağıdağdere Köyü güneyindeki Mesozoyik kireçtaşlarıdır. Çalışma alanlarında en yüksek debiye sahip olan kaynak Honaz ilçe merkezi yakınındaki Pınarbaşı kaynağıdır. Yöredeki su kaynakları, genellikle Honaz ilçesi güneyindeki Honaz dağından beslenen ve Honaz fayı boyunca boşalan karstik kaynaklardır. Bunun dışında inceleme alanında yer alan çok sayıda sondajdan çekilen yer altı sularıyla çevre yerleşim alanlarının içme ve sulama suyu ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu kaynak ve sondaj sularının önemli miktarı kimyasal özellikleri nedeniyle içmeye uygun değildir. Bu durum, yeraltı suyu potansiyeli çok yüksek olan yörede bu suların içme suyu olarak kullanılabilme olanaklarını sınırlamaktadır. Pınarbaşı Kaynağı yanında açılan bir sondajdan alınan suyun sıcaklığı (23.7°C), sudaki çürük yumurta kokusu (H₂S gazının varlığı), yüksek elektriksel iletkenlik değeri bu suyun aktif Honaz fayı boyunca derinden gelen bir su olduğunun göstergesi olabilir ve bu da jeotermal bir sistemi işaret edebilir.

5.3. Su Kimyası

5.3.1. Genel kimyasal özellikler

İnceleme alanında traverten çökelen sulardan alınan suların kimyasal analiz sonuçları Tablo 2 ve 3’de verilmiştir. Tablolardaki su numaraları Şekil 1’de verilen noktalara karşılık gelmektedir. İlk dört su Pamukkale, 5 nolu su Çukurbağ, 6 ve 7 numaralı sular Karahayıt, 8 numaralı su Gölemezli, 9-12 numaralar arasındaki sular Yenicekent, 13-15 arası sular Honaz, 16 numaralı su Kelkaya ve 17 numaralı su Kaklık sahasından alınan sulardır.

Pamukkale termal suları: Pamukkale traverten alanından çıkan ve beyaz traverten çökeltten termal suların kimyasal özellikleri hemen hemen aynıdır (Tablo 2 ve 3). Jandarma kaynağı hariç, suların sıcaklıkları 34.4–33.7°C ve pH değerleri 6.01–6.09 arasında değişmektedir. Serbest CO₂ miktarları 488–502 mg/l arasında, elektriksel iletkenlik değerleri 2400 µS/cm civarındadır. Jandarma kaynağında sıcaklık 32.9°C ve serbest CO₂ değeri 400 mg/l’ye düşmüştür. Bunun nedeni Jandarma kaynağının hemen batısındaki sazlık alanı temizlemek için kazı yapılması, bu kazı ile Jandarma kaynağına su ileten fayın ortaya çıkarılması sonucu faydan boşalan termal suyun kazı alanında yapay bir havuz oluşturması, bu havuzdan Jandarma kaynağına gelen suyun kısa süreli de olsa atmosferle temas halinde olmasıdır. Böylece, suyun sıcaklık ve serbest CO₂ değeri düşmüş ve pH değeri 6.21’e yükselmiştir. Hazne kayaları Paleozoyik yaşlı metamorfikler ve Mesozoyik yaşlı allokton kireçtaşları olan Pamukkale termal suları Ca-HCO₃-SO₄ tipindedir.

Pamukkale sularında Ba, Mn ve Rb değerleri benzerdir ve 20–25 µg/l civarındadır. Br değerleri 78-90 µg/l, Al ise 41-46 µg/l arasındadır. Bor, 1 mg/l civarındadır. Bu değer Pamukkale termal sularının tarımsal sulamada kullanılabilirliğini sınırlar. Buna rağmen, Pamukkale sularının bir kısmı yaz aylarında (gece saatlerinde), travertenler üzerinden akmadan Pamukkale ve Develi köylerine sulama suyu olarak verilmektedir. Termal suların ilksel işlevinin traverten beyazlatması olması gerektiği göz önüne alındığında, tarımsal sulama için kullanımın durdurulması gerekir. Çevrede sulama suyu temini için yeterli derecede yüzey ve yeraltı suyu kaynağı vardır.

Tablo 2. İnceleme alanındaki suların kimyasal ve izotop analizleri ve su tipleri.

No	Adı	Kot (m)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH	İyonlar (ppm)								İzotoplar (‰)		Su Tipi	
						CO ₂	Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	δ ¹⁸ O		δ ² H
1	Beltes Kaynağı	360	34,4	2360	6,05	502	39	5,2	446	86	945	9,6	660	1,48	-9,01	-58,7	Ca-HCO ₃ -SO ₄
2	İnciraltı Kaynağı	366	34,2	2380	6,09	488	42	5,5	450	94	940	9,6	677	1,47	-8,84	-58,0	Ca-HCO ₃ -SO ₄
3	Özel İdare Kaynağı	360	33,7	2400	6,01	486	42	5,7	452	88	945	9,9	682	1,76	-8,91	-58,5	Ca-HCO ₃ -SO ₄
4	Jandarma Kaynağı	360	32,9	2370	6,21	400	41	5,6	462	89	955	10,0	682	1,42	-8,91	-58,7	Ca-HCO ₃ -SO ₄
5	Çukurbağ Kaynağı	290	57,1	3090	6,53	548	128	25,5	527	114	1235	26,5	980	2,78	-8,32	-58,9	Ca- SO ₄ -HCO ₃
6	Belediye kuyusu	338	53,0	2770	6,69	384	115	23,0	449	114	947	26,9	961	2,68	-8,07	-51,8	Ca- SO ₄ -HCO ₃
7	KH-3 kuyusu	338	58,2	3050	6,52	480	121	25,3	512	119	1155	22,2	946	2,94	-8,24	-53,0	Ca- SO ₄ -HCO ₃
8	ŞAN kuyusu		54,8	4410	6,48	460	523	60,3	434	138	1256	45,3	1544	3,08	-7,72	-55,2	Na-SO ₄
9	YK-2 kuyusu	163	63,5	3530	6,57	400	499	80,9	293	41	1490	51,6	763	5,14	-7,93	-56,1	Na-HCO ₃
10	Ç-1 kuyusu	187	37,2	3220	6,27	430	501	83,9	226	57	1380	48,9	751	5,58	-7,72	-54,7	Na-HCO ₃
11	Ç-2 kuyusu	187	51,1	3570	6,52	408	545	90,2	294	40	1570	51,5	784	5,24	-7,75	-56,6	Na-HCO ₃
12	KAM kuyusu	163	55,7	3780	6,38	420	546	91,3	300	36	1580	45,3	820	5,40	-8,00	-58,1	Na-HCO ₃
13	Pınarbaşı Kaynağı	503	18,7	685	7,03	36	10	1,0	98	30	272	4,0	136	0,55	-8,78	-55,8	Ca-HCO ₃
14	Pınarbaşı soğuk kuyu	503	19,8	833	6,86	32	9	1,5	127	34	342	4,0	178	0,58	-8,94	-56,8	Ca-HCO ₃
15	Pınarbaşı termal kuyu	503	23,7	1147	6,53	96	17	2,2	180	45	468	7,0	243	0,80	-8,79	-55,8	Ca-HCO ₃
16	Kelkaya Kaynağı	561	18,7	1932	7,39	82	11	2,0	337	91	556	12,1	720	1,93	-8,46	-53,2	Ca-SO ₄
17	Kaklık Mağ. Kaynağı	528	22,8	1769	6,55	66	28	3,3	285	80	432	34,0	705	1,57	-8,08	-52,9	Ca-SO ₄

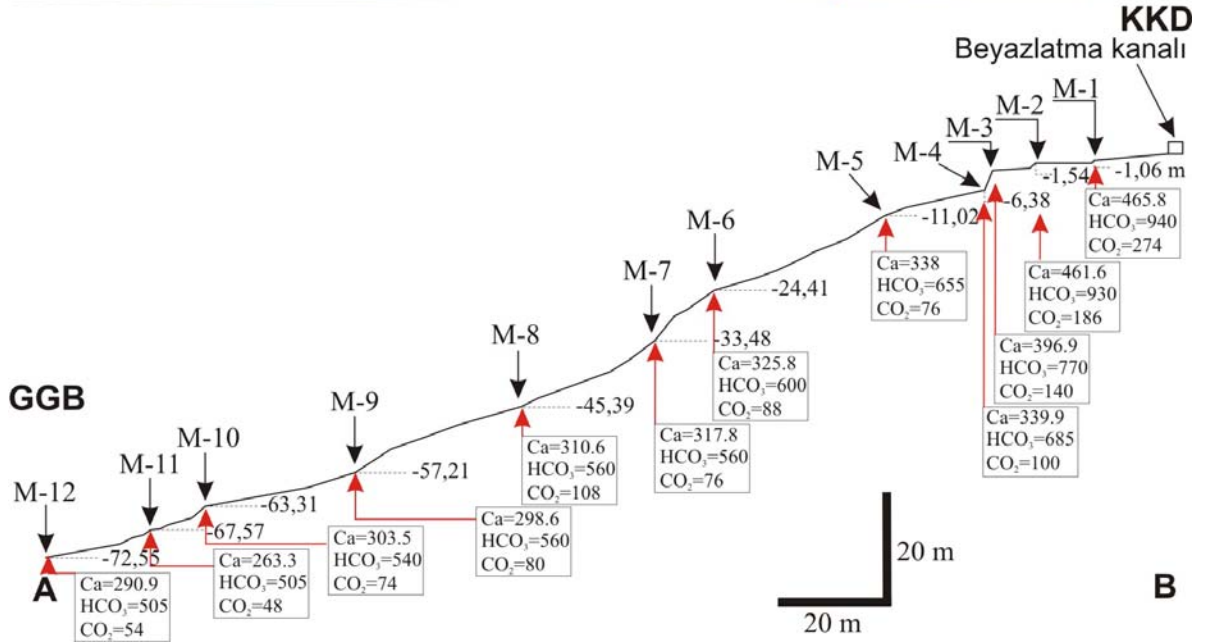
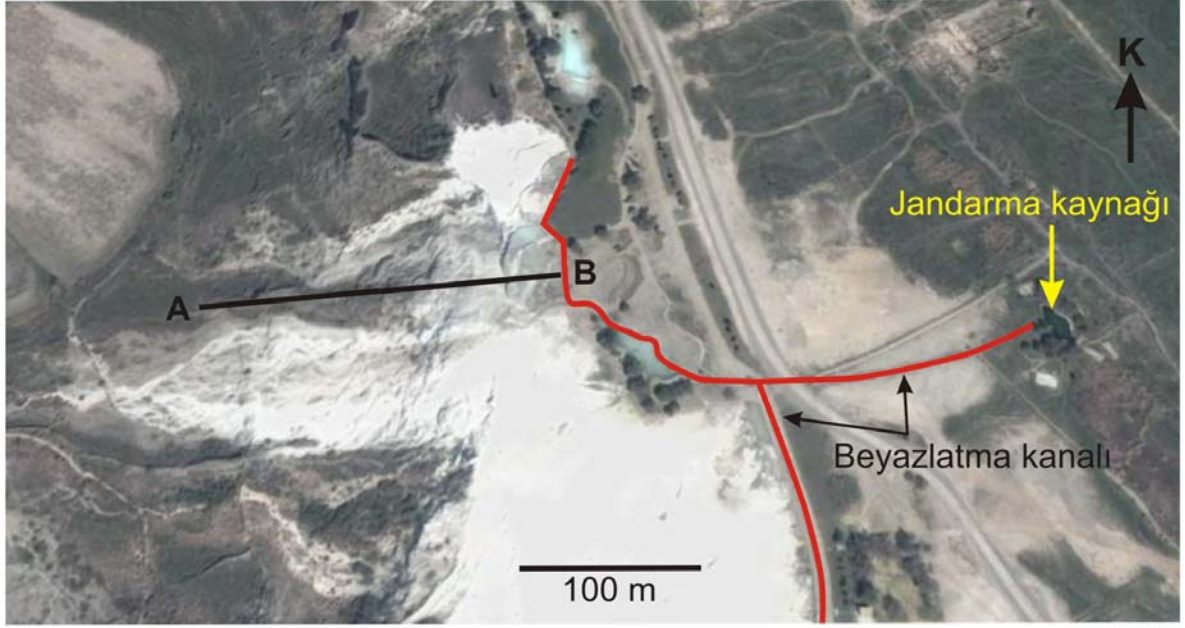
Tablo 3. İnceleme alanındaki suların bazı element analizleri, kalsit doyma indisleri, kısmi CO₂ gazı basınçları ve çözülmüş inorganik karbon (DIC) değerleri

No	Adı	Al	As	B	Ba	Br	Cs	Cu	Fe	Li	Mn	Rb	Si	Sr	Sc	PCO ₂	DIC (ppmC)
		(ppb)															
1	Beltes Kaynağı	46	<5	1043	24	78	13	2,8	26	141	23	23	22293	6371	-0.12	0.015	514.9
2	İnciraltı Kaynağı	41	<5	1011	25	81	13	3,3	41	135	23	25	23687	6492	-0.09	-0.028	484.0
3	Özel İdare Kaynağı	43	<5	940	28	90	12	3,2	131	130	28	25	22786	6092	-0.17	0.050	549.3
4	Jandarma Kaynağı	42	<5	941	23	84	12	2,8	35	129	21	23	21650	6069	0.03	-0.150	421.7
5	Çukurbağ Kaynağı	84	<5	2724	61	167	37	3,6	780	323	51	100	20544	7619	0.74	-0.175	371.9
6	Belediye kuyusu	41	<5	1845	47	211	25	4,4	331	323	33	86	28738	9096	0.69	-0.484	254.7
7	KH-3 kuyusu	73	6	1948	60	167	33	3,6	2706	324	68	110	23345	10701	0.71	-0.184	350.8
8	ŞAN kuyusu	72	59	7427	41	557	99	4,5	125	1748	55	231	73718	13088	0.52	-0.137	393.9
9	YK-2 kuyusu	44	22	4887	70				751	838	61				0.72	-0.077	437.7
10	Ç-1 kuyusu	45	23	4610	55	283	70	2,4	27	874	87	396	36369	6454	-0.01	-0.021	553.5
11	Ç-2 kuyusu	61	194	5338	57	278	83	2,9	1503	979	69	422	29133	6976	0.55	-0.110	476.7
12	KAM kuyusu	60	222	5116	55	316	83	2,5	1597	1060	53	424	26113	7145	0.46	0.070	543.3
13	Pınarbaşı Kaynağı	3	21	43	24	41	0,7	2,9	110	8	0,3	2	8078	1155	-0.26	-1.602	65.9
14	Pınarbaşı soğuk kuyu	4	26	70	23	41	1,3	1,9	73	13	0,4	3	8192	1298	-0.24	-1.326	89.9
15	Pınarbaşı termal kuyu	5	67	171	34	34	3,7	2,5	57	33	19	7	9813	1640	-0.29	-0.838	154.1
16	Kelkaya Kaynağı	9	<5	456	16	72	9	3,1	133	94	3	11	13005	4987	0.69	-1.651	120.6
17	Kaklık Mağ. Kaynağı	3	<5	314	20	92	4	2,7	<10	73	1,38	10	14916	5150	-0.25	-0.897	140.4

Pamukkale sularında arsenik, içme sularında sınır değeri olan 10 µg/l'nin altındadır. Demir değerleri ise 26-131 µg/l arasındadır.

Bu çalışma kapsamında, Jandarma kaynağından eski Koru Motel alanına kapalı kanalla iletilen ve buradan da Çukurbağ Mevkii'ne yamaç aşağı akıtılarak traverten çökeltmesi sağlanan termal suyun kimyasal kompozisyonunda akım yönünde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Bu amaçla lokasyonları Şekil 25'de verilen noktalardan örnekleme, ölçüm ve analizler yapılmıştır. Kanal çıkışında 32.5°C olan su sıcaklığı M-6 noktasında 16.0°C'ye düşmüş, M-7'de 16.9°C'ye yükselmiş, daha sonra son noktaya kadar giderek azalmış ve son noktada küçük bir artışla 14.1°C'ye çıkmıştır. EC değerleri ilk nokta olan kanal çıkışında 2400 µS/cm iken bu değer yamaç aşağı giderek azalmış ve M-11 noktasında 1832 µS/cm'ye düşmüş, son noktada ise 1844 µS/cm'ye çıkmıştır. Serbest CO₂ değerleri genellikle yamaç aşağı genellikle azalmış, ancak M-6, M-8 ve son noktada artış göstermiştir. İlk noktadaki değer 330 mg/l, son noktadaki ise 54 mg/l'dir. Bikarbonat yamaç aşağı giderek azalarak ilk noktada 940 mg/l iken son noktada 505 mg/l'ye düşmüştür. Kalsiyum değerleri yamaç aşağı 465.4 mg/l iken son noktada 290.9 mg/l'ye düşerken son üç noktada salınım göstermiştir. pH değerleri ilk noktada 6.46, son noktada 7.68 olarak ölçülmüştür. Diğer iyonların miktarlarında yamaç aşağı önemli değişiklik olmamıştır. Sıcaklık, EC, pH, CO₂ ve Ca değerlerinde son noktalarda görülen artış ve salınımların nedeni, termal suyun yamaç aşağı bir kanal boyunca akmaması, değişik yollar izleyerek akan suların yamaç aşağı kesimlerde karışmasıdır. Seçilen ölçüm hattı bu karışımın en az olacağı kesim olarak öngörülmüştür. Yamaç aşağı su tipleri M-3 noktasına kadar Ca-HCO₃-SO₄ iken, M-3, M-4 ve M-5'de Ca-SO₄-HCO₃ ve M-6'dan son noktaya kadar Ca-SO₄ tipine dönmüştür.

Çukurbağ termal kaynağı: Çukurbağ termal kaynağı Şekil 25'de verilen M-12 noktasına yakın bir lokasyonda, Pamukkale termal sularından yaklaşık 70 m daha aşağı kotta bulunmaktadır. Pamukkale termal sularına bu kadar yakın noktada bulunmasına karşın fiziksel ve kimyasal özellikleri onlardan oldukça farklıdır. Sıcaklığı 57.1°C olan kaynağın pH değeri zayıf asidik karakterdedir ve Pamukkale sularına göre nötre daha yakındır (pH=6.53). Termal suyun iletkenliği 3090 µS/cm'dir ve majör iyonların tamamında iyon miktarları Pamukkale sularından fazladır. Demir miktarı (0.78 mg/l) Pamukkale sularından 6 ila 30 kat daha fazladır. Bu nedenle kaynaktan çökelen güncel travertenlerde kırmızı renk hakimdir. Arsenik ve silisyum dışında, Tablo 3'de verilen tüm elementlerin miktarları Pamukkale suları ile kıyaslandığında önemli oranda fazladır. Çukurbağ kaynağından boşalan termal suyun tipi Ca-SO₄-HCO₃'dür.



Şekil 25. Eski Kuru Motel alanının güneyindeki yamaç boyunca akan termal suların CO₂, HCO₃ ve Ca miktarlarında akım yönünde gözlenen değişimler.

Karahayit termal suları: Pamukkale termal kaynak alanından 20-30 m daha düşük kotta bulunan Karahayit beldesinde açılan sondajlardan değişik sıcaklıklarda termal sular alınmıştır. Genel olarak su sıcaklıkları 50–55°C arasındadır. Maksimum sıcaklık 61°C'dir. Örneklenen suların sıcaklıkları Belediye'nin sığ sondajında 53.0°C, derin KH-3 kuyusunda 58.2°C olarak ölçülmüştür. Karahayit termal suları ile Çukurbağ termal kaynağının kimyasal özellikleri, aynı rezervuardan gelmeleri nedeniyle birbirine çok yakındır (Tablo 2). KH-3 kuyusunda demir miktarı 2.7 mg/l'dir. Suyun yüksek demir içeriğinden dolayı sondajlardan boşalan termal sulardan çökelen güncel travertenlerin

kırmızı renkte olması, Karahayıt termal sularının “kırmızı su” olarak anılmasına neden olmuştur. Genellikle, Karahayıt termal suları Ca-SO₄-HCO₃ tipindedir.

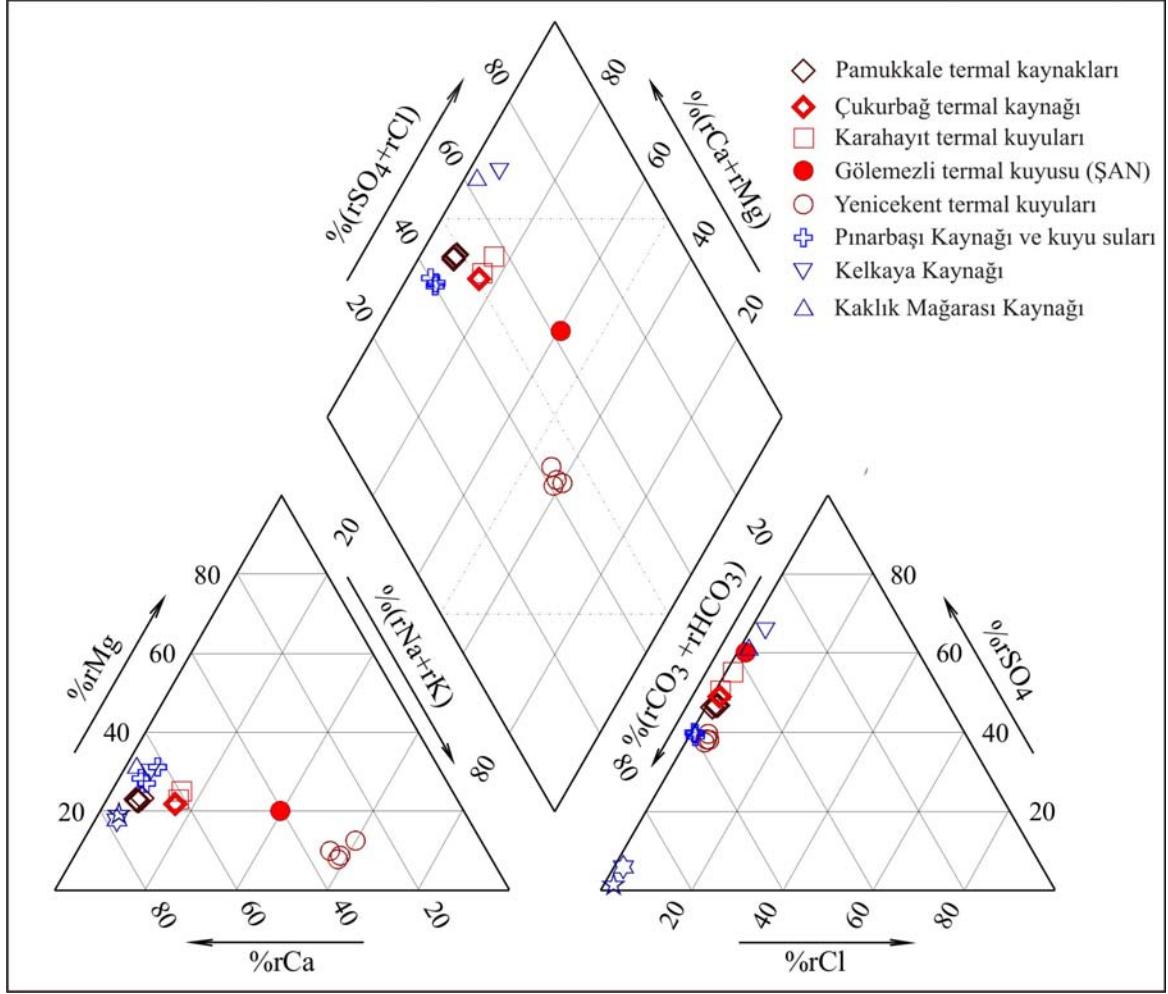
Gölemezli termal suları: Gölemezli sahasında örneklenen tek kuyu Şanlıalp Jeotermal kaplıca işletmesine ait ŞAN kuyusudur. Bu kuyudan alınan suyun sıcaklığı 54,8°C’dir. İncelenen sular içinde EC (4410 µS/cm) ve sülfat değerleri (1544 mg/l) en yüksek olan su ile ŞAN kuyusuna aittir. Aynı şekilde en yüksek B, Li, Si ve Sr değerleri bu suda bulunur (Tablo 3). H₂S gazı varlığı çürük yumurta kokusu ile belirgin olan suyun tipi Na-SO₄’dır.

Yenicekent termal suları: Yenicekent sahasında örneklenen termal suların sıcaklıkları 37.2-63.5°C ve EC değerleri 3220-3780 µS/cm arasında değişmektedir. Çalışılan sahalarda en yüksek Na, K, F, As ve HCO₃ değerine sahip sular Yenicekent sularıdır (Tablo 2 ve 3). Bor değerlerinde Gölemezli, Fe değerlerinde ise Karahayıt sularından sonra ikinci sırayı alır. Kalsiyum değerleri diğer sahalardaki termal sulara göre önemli oranda düşüktür. Yenicekent sularının tipi Na-HCO₃’dir.

Honaz suları: Honaz’da kaynak, sığ ve derin sondajlardan boşalan suları temsil ettikleri için seçilen üç su için sıcaklıklar Pınarbaşı kaynağında 18,7°C, sığ sondajda 19,8°C ve derin sondajda 23,7°C olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık değerlerine göre derin sondajdan alınan su termal su sınıfına girmektedir. Sondajlardan alınan suların pH’ı hafif asidik, Pınarbaşı kaynağının ise nötre yakındır. En yüksek EC değeri 1147 µS/cm ile derin sondaj suyunda ölçülmüştür (Tablo 2). İyon miktarları kaynaktan, sığ ve derin sondaj sıralaması ile giderek artmaktadır. Yenicekent sularından sonra en yüksek arsenik değerleri bu sulara belirlenmiştir. Honaz sularının tamamı Ca-HCO₃ tipindedir,

Kelkaya ve Kaklık Mağarası kaynaklarının sıcaklık, EC ve pH değerleri sırasıyla 18.7 ve 22.8°C, 1932 ve 1769 µS/cm, 7.39 ve 6.55’dir (Tablo 2). Bu suların sülfat ve stronsiyum değerleri Honaz sularından oldukça yüksektir. Kimyasal özellikleri benzer olan bu iki kaynak Ca-SO₄ tipindedir.

Örneklenen suların Piper diyagramındaki dağılımları Şekil 26’da verilmiştir. Bu diyagramda suların gruplandığı, Yenicekent sularından, Gölemezli, Pamukkale-Karahayıt-Çukurbağ-Honaz suları ve Kaklık Mağarası-Kelkaya kaynağına doğru % miliekiyalan/l olarak suların sülfat ve kalsiyum miktarlarının arttığı, bikarbonat ve sodyum değerlerinin ise azaldığı görülmektedir.



Şekil 26. İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı

Macar termal suları: Macaristan'ın kuzeydoğusundaki *Egerszalók* (Hungarian Pamukkale) sahasında açılan sondajdan alınan 67°C sıcaklığındaki termal suyun yamaç aşağı akması sonucu, zaman içinde, Pamukkale'ye benzer beyaz traverten çökelişi gerçekleşmiştir. Bu suyun pH değeri 6.1'dir. Toplam çözülmüş madde miktarı 1000 mg/l'den az, CO₂ miktarı ise 1000 mg/l'dir (Horváth *et al.* 1990). Termal su nispeten yüksek Ca, Na, Mg ve HCO₃⁻ değerlerine sahiptir. Kalsiyum değeri 150 mg/l, klorür 40 mg/l ve sülfat 65 mg/l olarak belirlenmiştir (Szekér, 2001; Dobos *et al.*, 2005). Sudaki magnezyum ve stronsiyum miktarları ise sırasıyla 25 mg/l ve 1.97 mg/l'dir. Bu saha ve diğer Macar sahaları ile ilgili hidrojeolojik bilgi Bölüm 4.2'de verilmiştir.

5.3.2. Suların kalsit doyma indisleri (Sc)

Suların CaCO₃'e göre doygunlukları ve kısmi CO₂ gazı basınçları Tablo 3'de verilmiştir. Jandarma kaynağı dışında Pamukkale sularının Sc değerleri negatiftir. Kaynak çıkışlarında kalsitçe doygun olmayan bu sular, gerek kanaldan gerek kanala en yakın travertenler üzerinden akışları sırasında sudan CO₂ gazının atmosfere kaçıışı sonucu bazik hale geçerler ve kalsitçe doygun hale gelirler. Pamukkale sularının kısmi CO₂ gazı basınçları atmosferinkinden (10^{-3.5} atm) çok daha yüksek olduğundan basınçlar dengeleninceye kadar sudan atmosfere CO₂ gazı kaçıışı devam edecektir.

Çukurbağ kaynağı ve Karahayıt termal sularının Sc değerleri benzer olarak pozitifdir. Bu sular kalsitçe doygunlardır. Bu durum Çukurbağ kaynak çıkışında gözlenen CaCO₃ suları, Karahayıt'ta ise termal suların sondajlardan boşaldığı anda hızla CaCO₃ çökelmeleri ile görülebilir.

Yenicekent termal suları da, belirsiz doygunluk sınırında bulunan Ç-1 kuyusu dışında kalsitçe doygundur. Bu sahada özellikle KAM kuyusunda kabuklaşma belirgindir ve sondaj boruları 7-8 yıl gibi bir süre zarfında kabuklaşma nedeniyle tıkanmaktadır.

Honaz suları ve Kaklık Mağarası kaynağı kalsitçe doygun değildir. Bu sulara kaynak başı ve civarında CaCO₃ çökmesi izlenmez. Kelkaya kaynağı ise kalsitçe doygundur ve kaynak civarında aktif CaCO₃ çökelişi gözlenir.

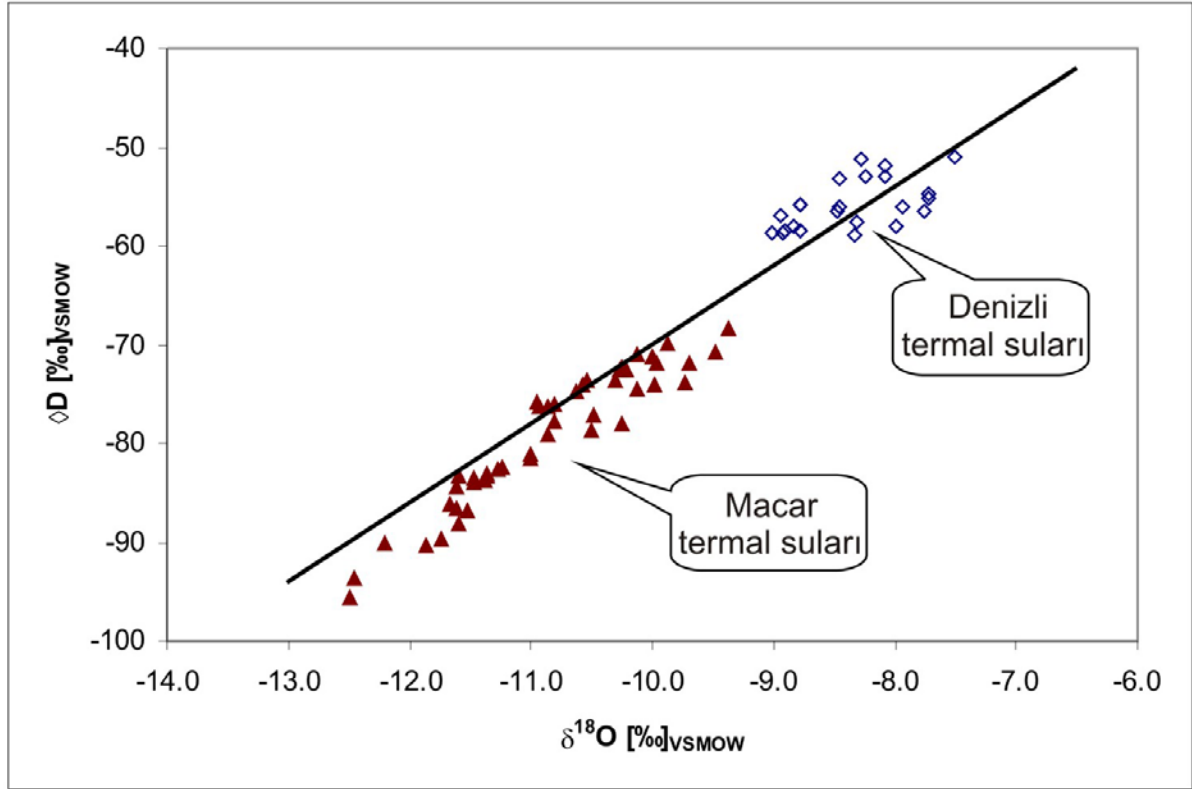
5.3.3. İzotop verilerinin değerlendirilmesi

Proje kapsamında Türkiye ve Macaristan'dan (Buda termal karst sistemi) birçok su örneğinin duraylı hidrojen (²H) ve oksijen (¹⁸O) izotop kompozisyonları belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır (Şekil 27). Bu çalışmalar sonunda her iki ülkede araştırılan sahalardaki suların kökeni ve su dolaşım sistemlerinin dağılımı hakkında bilgiler elde edilmiştir.

İzotopik araştırmalara göre, Budapest ve civarındaki sahalarda yer alan termal sular buzul çağı boyunca süzülen sulardan beslenmiştir ve dolayısıyla 10 000 yıldan daha yaşlı sulardır (BABIDORICS vd., 1988; DEÁK, 1980).

Daha sonra, bu yaşlı sular boşalma alanına doğru drene olurken Holosen boyunca süzölmüş daha genç sularla karışırlar. Macar sahalarının sıcak ve ılık sularının izotop kompozisyonları, Global Meteorik Su Çizgisi (GMWL) boyunca geniş bir aralıkta yayılım

gösterir (Şekil 27). Bu, Buzul Çağı ve Holosen boyunca yıllık ortalama hava sıcaklığındaki önemli değişimi yansıtır. Buna karşın Denizli yöresi termal suları Holosen’de infiltre olmuş, yeraltında kalış zamanları daha kısa olan genç sulardır. Denizli sularının izotopik kompozisyonlarının dağılımı nispeten daha dar aralıktadır (Şekil 27) ve suların beslenmesi hemen hemen aynı iklim koşulları altında gerçekleşmiştir.



Şekil 27. Denizli ve Macar saharındaki termal suların δD (‰)-δ¹⁸O (‰) diyagramı.

6. TRAVERTEN TİPLERİ

Traverten tipleri, öncelikle arazide tanınabilen ve ayırt edilebilen, çökeltme ortamında farklı fizikokimyasal ve biyolojik koşulların ürünleri olarak ortaya çıkarlar. Daha önce yapılan çalışmalardan bazılarında bunlara “Litotip” adı verilmiştir (GUO ve Riding, 1998, ÖZKUL vd., 2002). Proje çalışmaları sırasında rastlanan ve yer yer örnek alınan belli başlı traverten tipleri aşağıda ana hatları ile verilmiştir.

6.1. Bantlı Traverten

Traverten sırtlarında açılma çatlakları boyunca çıkan sıcak suların çatlak duvarları boyunca çöktüğü düşey ya da yüksek eğimli, bantlı yapıda, tamamen kristalin travertenlerdir. Bantlı travertenler, Denizli Havzası’nda Yenice sahasında, Büyük Menderes vadisinin her iki tarafında, Karahayıt’ta, Pamukkale’de ve Kocabaş çevresindeki traverten sırtlarında gözlenir (Şekil 28). Bantlar, U-serisi yaş verilerine göre çatlak açıklığının kenarlarından merkeze doğru gençleşir (ALTUNEL, 1996; UYSAL vd., 2007, 2009).

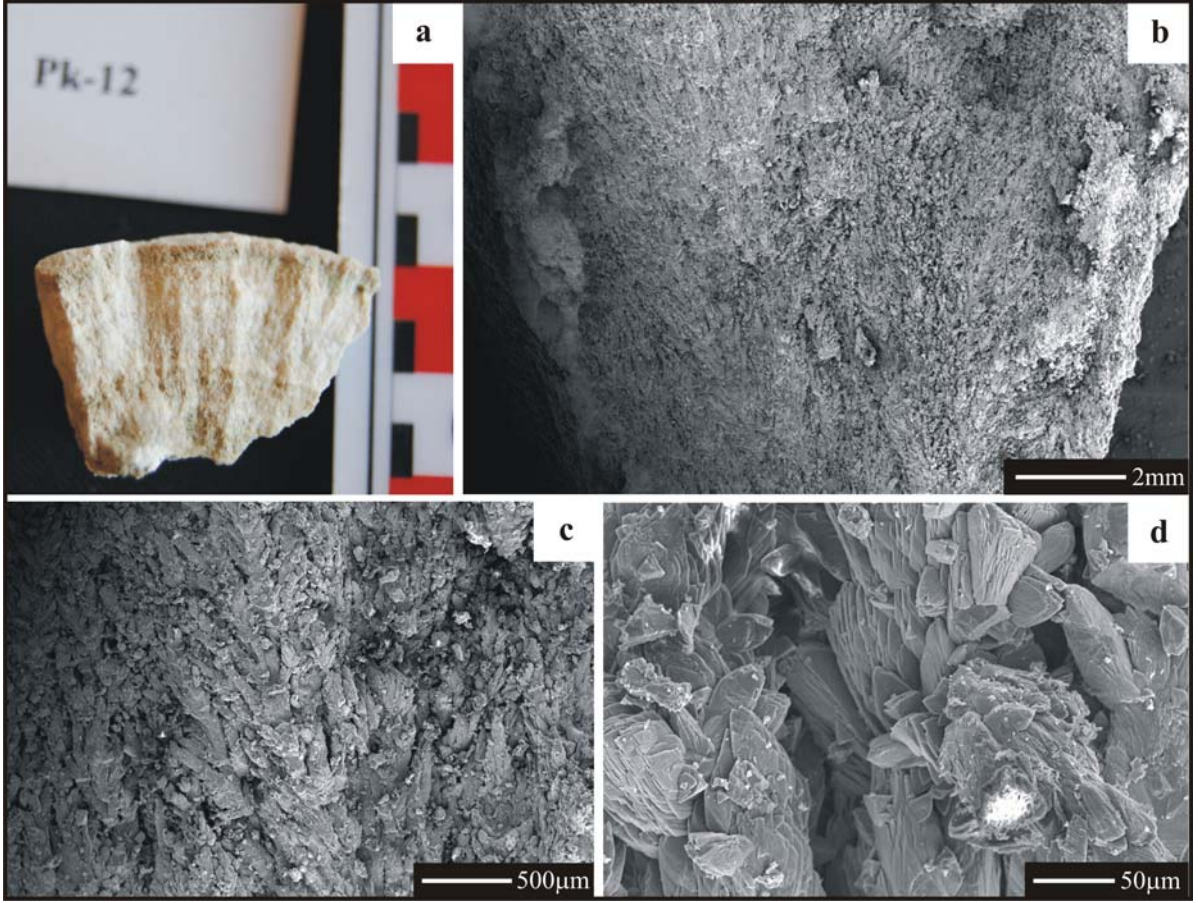


Şekil 28. Bantlı travertenlerden görünüm. (a) Pamukkale’de bir açılma çatlakını doldurmuş düşey bantlı traverten (bt) ve her iki taraftaki eğimli tabakalı travertenlerle (tt) keskin dokanaklı. 213 cm genişliğindeki açılma çatlakının 128 cm’lik sol tarafını düşey bantlı traverten kaplamışken, sağ taraftaki 85cm’lik açıklık döküntülerle doldurulmuştur. (b) D-B uzanımlı Çukurbağ traverten sırtının ana açılma çatlakı içinde gelişmiş düşey bantlı travertenler. (c) Gölemezli sahasındaki yüksek eğimli bantlı travertenler ve (d) bunların yakından görünümü.

Bu terim ilk defa Pamukkale’de yapılan çalışmalar sırasında Altunel ve arkadaşları tarafından kullanılmıştır (ALTUNEL, 1994; 1996; ALTUNEL ve Hancock, 1993a,b). Daha sonraki çalışmalarda da terimin kullanımına devam edilmiştir (ÖZKUL ve Alçiçek 2000; ÖZKUL vd., 2002; UYSAL vd., 2007, 2009). Kamara hamamı ve Karahayıt’ta olduğu gibi, demir oranı yüksek sıcak sulardan oluşan bantlı travertenlerde ise beyaz rengin yanı sıra ardışıklı olarak değişik renk tonları da gözlenir. Traverten sırtlarında merkezi açılma çatlaklarını dolduran düşey bantların kalınlıkları cm ile birkaç metre arasında değişir. En fazla kalınlığa 7 m ile Kocabaş yakınlarındaki Kuşgölü traverten sırtında rastlanmıştır (ÖZKUL ve Alçiçek, 2000; ÖZKUL vd., 2002).

6.2. Kristalin Kabuk

Eğimli düz yamaçlar üzerinde, teras havuzlarının kordonları ile havuz duvarlarında, şelale ortamının dik yüzeylerinde ve bazan açılma çatlakları boyunca oluşmuş traverten tipidir. Ayrıca sırtlarının kanatlarında yer alan tabakalı travertenler içinde ara düzeyler veya damarlar halinde ve kendiliğinden oluşmuş kanal travertenlerinde de gözlenir (Şekil 25) (ÖZKUL ve Alçiçek, 2002; GUO ve Riding, 1998; JONES ve Renaut, 2008). Jandarma kaynağı önünde yer alan yamaçta incelenen kristalin kabuklar, depolanma yüzeyine dik büyümüş yukarı doğru genişleyen kalsit kristal demetlerinden kuruludur (Şekil 25a, b ve c). Eğimli düz yamaçlarda oluşmuş kristalin kabukların kalınlığı cm mertebesinde birkaç 10 cm’ye kadar çıkar. Bunlar kaynak ağızlarında ve kaynağa yakın alanlarda hızlı akan termal suların ürünleridir. Kaynak ağızları ile kristalin kabukların oluştuğu yamaç ortamları arasındaki mesafe için kesin bir rakam belirtmek mümkün değildir. Rapolano Terme’de (İtalya) termal kaynak ile yamaç üzerinde kabuk oluşumunun başladığı nokta arasındaki uzaklık yaklaşık 270 m’dir (GUO ve Riding, 1992; Şekil 2). Pamukkale’de ise sıcak su kaynakları ile kristalin kabuk oluşumlarının gözlendiği, eğimleri 15°-33° arasında değişen düz-ve teraslı yamaçlar arasındaki bu uzaklık 250-300 m’dir. Pamukkale’deki kaynak ağızlarında su sıcaklığı: 35-36°C, pH: 6.3-6.4 iken (GÖKGÖZ ve Filiz, 1998), kabuk çökelişiminin başladığı alanlarda sıcaklık 29-31°C’a düşmekte, pH ise 7-7.5’a çıkmaktadır.



Şekil 29. Kristalin kabuk tipi travertenin el örneği ve SEM görüntüleri. (a) Kristalin kabuk tipi traverten el örneği, Jandarma kaynağı önu yamaç, (b) Depolanma yüzeyine dik gelişmiş, yukarı doğru genişleyen kalsit kristal demetleri, (c) dendritik kalsit kristal demetlerinin yakından görünümü, (d) Mızrak uçlu kalsit kristal demetleri.

Kristalin kabuklar açık-ve koyu renkli düzeylerin ardalanmasından meydana gelmiştir. Açık ya da beyaz renkli düzeyler çökeltme yüzeyine dik gelişmiş yoğun, kaba lifsi, uzunlamasına kalsit kristallerinden meydana gelmiştir (Şekil 29a). Koyu renkli ara düzeyler ise mikritik laminalara karşılık gelir. Mikritik laminalar aynı zamanda çökeltme yüzeyini temsil ederler. Kabuk oluşumunda mikritik düzeylerin oranı daha düşüktür. Bazı yazarlar çökeltme yüzeyine dik gelişmiş kalsit kristalleri için '*ışın kristaller (ray crystals; CHAFETZ ve Folk, 1984; FOLK vd., 1985)*, ve '*kalsit tüy kristalleri (calcite feather crystals; GUO ve Riding, 1992)* gibi adlar kullanmışlardır. Işınsal kalsit kristalleri bireysel olarak rombohedral ve şevron şekilli olup, merkezi bir eksenin her iki tarafında dallanma gösterirler ve eksenin bir tarafında daha iyi geliştiklerinde, bir sedir ağacı görünümü (FOLK vd., 1985) kazanırlar (Şekil 29c). İnce kesitlerde açık renkli ışınsal kalsit kristalleri, koyu renkli mikritik laminalar ile ardalanır (Şekil 29). Orta İtalya'da Rapolano Terme sahasında koyu renkli, düzensiz mikritik laminalar orijinal olarak aragonit kümelerinden oluşmuştur. (GUO ve Riding, 1992). Bu araştırmacılar elde ettikleri SEM görüntülerinde

aragonit kristal kümelerinin merkezinde organik kökenli boşlukların bulunduğunu ve bu boşlukların fungal sporlar, polenler veya bakteri kolonilerinden arta kalan boşluklar olabileceğini belirtmişlerdir. Düzenli, küçük ölçekli laminasyonlar muhtemelen ortamdaki sıcaklık ve ışığın günlük değişimleri sonucu gerçekleşmiş olabilir. Bu ortamsal değişimler mikrobiyolojik aktiviyeyi artırır ve abiyotik olarak çökelmiş ışımsal kalsit katı üzerinde mikroorganizma yoğunlaşması olur. Aragonit oluşumu sıcaklığın yükselmesinden ve aynı zamanda kalsiyum karbonatın aşırı doygunluğundan etkilenir. Organik çekirdekle mineraloji üzerinde özel bir biyolojik etkiyi ifade eden aragonit kristal kümeleri arasında uyumlu bir korelasyon vardır (GUO ve Riding, 1992). Eski/yaşlı kabuklarda aragonit laminaları oluşumlarından kısa bir süre sonra çoğunlukla mikrite dönüşür. Mikritleşmiş aragonit laminalarında erime sonucu yer yer boşluklar ortaya çıkmıştır.

6.3. Çalı Tipi Traverten

Çalı tipi traverten, depolanma yüzeylerine dik, yukarı doğru genişleyen, dendritik ya da minyatür çalı formunda gelişmiş traverten tipidir (GUO ve RIDING, 1998; ÖZKUL vd., 2002). (CHAFETZ ve GUIDRY, 1999). Bu nedenle tufalarda çalı şekilleri gözlenmez. Çalı şekillerinin abiyotik kökenli olanlarından da söz edilmiştir (PENTECOST, 1990). Alttan ve üstten mikritik ara seviyelerle sınırlandırılmıştır. Denizli travertenlerinde en fazla gözlenen traverten tiplerinden birisidir. Çalı şekilleri arazide, ocak aynalarında ve el örneklerinde açık renkli, birkaç mm'den birkaç cm'ye değişen kalınlıklarda, düzensiz-kaba bantlar ya da laminalar şeklinde izlenirler. Spar ve mikrit kristallerinin bir arada, değişik biçimlerde düzenlenmesi ile meydana gelmişlerdir. Genellikle bu iki farklı kristallenme türü arasında kesin bir sınır yoktur. Yukarı doğru genişleyen koyu renkli, mikritik çalı şekillerinin arasındaki boşluklar ikincil spar kalsitle doldurulmuştur. Yüzey görünümünde ise koyu renkli mikritik zeminler içerisinde adacıklar veya yamalar şeklinde benekli bir doku oluşturur.

Teras havuzlarının olağan bileşeni olan çalı şekilleri, özellikle çöküntü alanlarının sığ, geniş havuz ve bataklık benzeri ortamları ile düşük eğimli yamaç depolanma ortamlarının en yaygın ve kalın traverten litotipidir (GUO ve Riding, 1998). Bu traverten tipine, Ballık sahasındaki istiflerin alt ve orta kesimlerinde daha sık rastlanır. Yer yer kristalin kabuk, kamaş, sal ve bakteriyel kökenli düzensiz ve ışımsal pizoidlerle yanal ve düşey ilişkilidir. Çalı düzeyleri bakterilerin çiçeklendiği, büyüdüğü bahar ve yaz mevsimlerini, buna

karşılık mikritik düzeyler ise büyümenin durduğu kış mevsimini temsil eder (CHAFETZ ve Folk, 1984). Bu yazarlara göre, bakteriyel kökenli çalı travertenleri sıcaklığı günlük sıcaklık değerlerinin üzerinde olan sulardan çökelmiştir.

6.4. Pizolitik Traverten

Çalışmalarımız sırasında Çukurbağ termal kaynağı çevresinde çapları birkaç mm ile 1cm'ye kadar çıkan, beyaz parlak küresel-elipsoidal tane toplulukları gözlenmiştir (Şekil 30). Yapılan XRD analiz sonuçlarına göre bu tanelerin mineralojik bileşimleri yaklaşık olarak % 78 aragonit, % 22 kalsittir. Buna karşılık taneleri bağlayan matriks ise % 82 kalsit, % 18 aragonittir (Şekil 35).

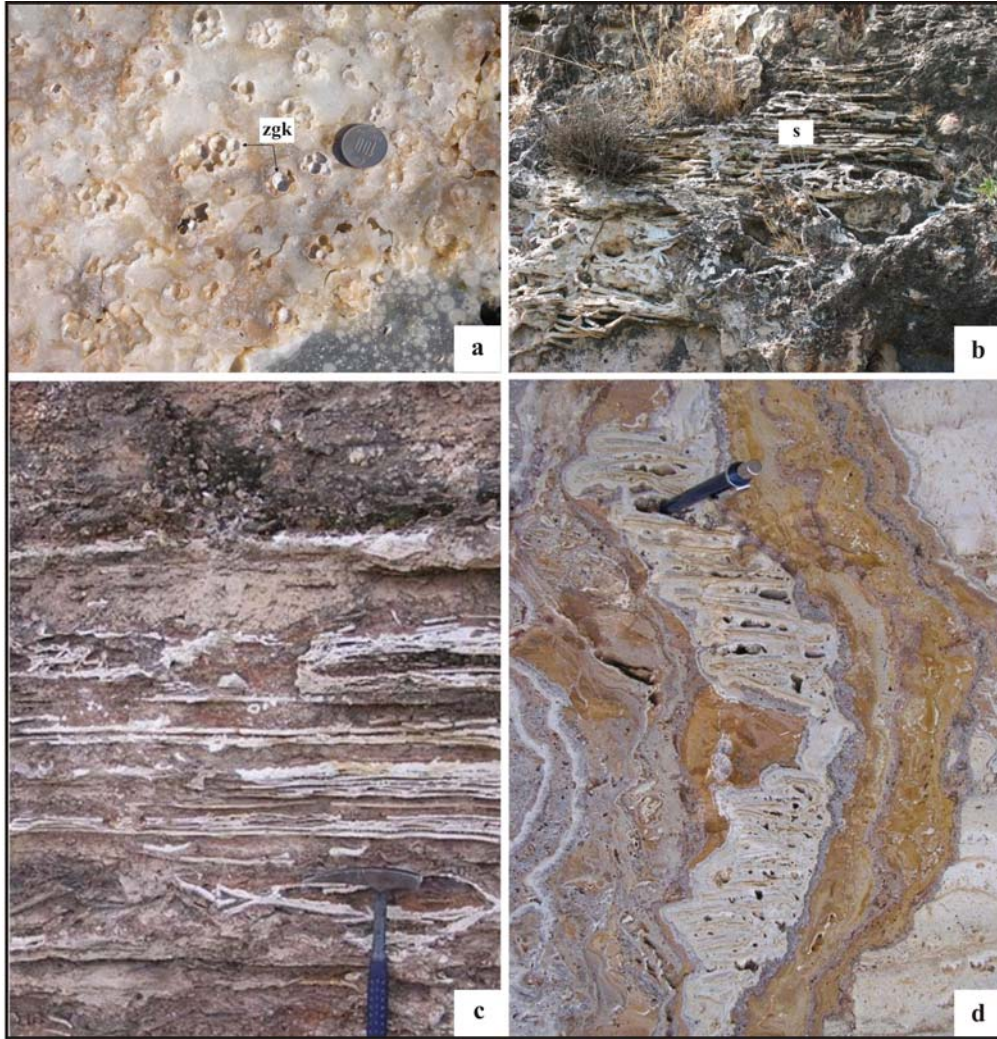


Şekil 30. Pizolitik traverten, pizolit taneleri mineralojik olarak aragonit, taneleri birbirine bağlayan çimento ise kalsit bileşimlidir. Çukurbağ kaynağı, Pamukkale.

6.5. Sal Tipi Traverten

Sal tipi travertenler su yüzeyinde oluşmuş, kırılğan ya da gevrek, kağıt inceliğinde, yapraksı kristalin düzeylerdir. Bazı araştırmacılar bunlara '*sıcak su buzu*', '*kalsit buzu*'

(BARGAR, 1978) ve ‘kâğıt inceliğinde sal (*paper-thin raft*)’ (GUO ve Riding, 1998) gibi adlar vermişlerdir. Bunlar sıcak kaynak çıkışlarında oluşan küçük havuzları dolduran suların üst yüzeylerinde kalsit ve/veya aragonitten oluşan bir kristal filmidir. Bu kristal filmlerinin güncel örnekleri Pamukkale’deki teras havuzlarında ve Çukurbağ kaynağı çevresinde görülmektedir (Şekil 31). Yer yer sal oluşumları parçalanmış halde görülürler ve yanal devamlılıkları birkaç metre ile sınırlıdır. Sallar zarflı hava kabarcıkları ile sıkça birarada bulunur (Şekil 31a). Eski sal oluşumları, Akköy alt sahasındaki açılma çatlaklarında düşey bantlı ve breşik travertenlerle birlikte gözlenmiştir (Şekil 31b,c ve d). Çökelmeyi izleyen erken diyajenetik evrede meydana gelen kabuklaşma nedeniyle eski ya da fosil sallar bir miktar kalınlaşmış olarak izlenirler (Şekil 31b ve d).



Şekil 31. Sal tipi travertenler. (a) güncel traverten sallar ve onlara eşlik eden zarflı gaz kabarcıkları, Çukurbağ termal kaynağı, Pamukkale. Ölçek: Madeni para=12?mm, (b) eski (fosil) traverten sallar, eski sallar biraz kalınlaşmış olarak izlenir. (c) Akköy GD’sundaki traverten sırtında eski sal oluşumları, Ölçek: Jeolog çekiçi=32 cm, (d) Bir açılma çatlakını doldurmuş sal parçaları, Ölçek: kalem=14.5 cm, Akköy traverten sırtı

Kocabaş yakınlarındaki Kuşgölü traverten sırtının ana açılma çatlağında eski sal oluşumları, düşey bantlı traverten ve litoklastlarla birarada bulunur (Özkul vd., 2002). Bu tür açılma çatlakları aktif oldukları dönemde sıcak kaynak suları tarafından doldurulmuş olmalıdır. Benzer oluşumların mağara içlerindeki soğuk su havuzlarında da geliştiği bildirilmiştir (BAKER ve Frostick, 1951; BLACK, 1953).

6.6. Zarflı Gaz Kabarcıkları

Traverten çökeltme ortamlarında kalsiyum karbonatla sarılmış gaz kabarcıkları yaygındır. Gaz kabarcıklarının, su yüzeyi altında, tabanda bulunan çökellerdeki mikrobiyolojik faaliyetler sonucu ortaya çıktığı öne sürülmüştür (CHAFETZ vd., 1991). Bunlar en çok teras havuzlarında, sıcak su kaynakları çevresinde ve benzeri su birikintilerinde sal yüzeyi altında gelişirler. Gaz kabarcıkları, çoğu zaman bir arada bulunan sal, alg yaygıları ya da bitki kırıntıları arasında kapanlanmaktadır. Bu nedenle zarflı gaz kabarcıkları yaygın olarak sal ve kamış tipi travertenlerle birlikte bulunabilir. Denizli travertenlerinde yer yer güncel ve eski zarflı gaz kabarcıkları örneklerine rastlanmıştır. Çukurbağ kaynağında kalsit salları arasına korunmuş gaz kabarcıklarının boyutları 1-10 mm arasında değişir (Şekil 31a). Travertenler üzerinde yapılan çalışmalarda, bazı gaz kabarcıklarının düşey yönde birbiriyle birleşerek tüpsü bir yapı kazandıklarından söz edilir (GUO ve Riding, 1998). Önceki bazı çalışmalarda zarflı gaz kabarcıkları için '*taşlaşmış kabarcıklar (= lithified bubble)*' , '*köpük taşı (= foam rock)*' gibi adlar kullanılmıştır. CHAFETZ ve Folk (1984). Zarflı gaz kabarcıkları sal oluşumlarına benzer bir içyapıya sahiptirler. İçte mikritik bir zar, dışta (su tarafında) ise esas olarak öz şekilli kalsit ya da aragonit kristallerinden oluşmuştur.

6.7. Kamış Tipi Traverten

Bitki ve kamış saplarının fazla olduğu travertenler genel olarak ve 'kamış tipi travertenler' adı altında incelenmiştir (GUO ve Riding, 1998; ÖZKUL vd., 2002). Sıcak suyun yağmur suyu ile seyreltildiği ve soğuduğu sığ çöküntü alanlarında bol miktarda kamış, saz ve değişik su bitkileri yetişir. Bitki saplarının yoğunlaşması su akışını engeller. Söz konusu alanlarda bitkilerden arta kalan boşluklar kısmen ya da tamamen mikrit ya da spari kalsit ile doldurulmuştur. Bazı traverten ocaklarının üst seviyelerinde bitki saplarından arta kalan boşluklar yeşilimsi gri, krem renkli kil ve marnlarla doldurulmuştur. Bitki sapları ve köklerinin bıraktığı kalıpların çapları en fazla 2-3 cm'dir. Bu tip traverten boşlukları,

boşluk duvarlarından merkeze doğru gelişen 15–20 µm boyutundaki kalsit kristalleri ile belirgindir. Kamış sapları arasında kalmış boşluklara yer yer ince sal tipi traverten düzeyleri yerleşmiştir. Kamış tipi traverten, bataklık gibi çok sığ, zaman zaman kuruyan düzlüklerin ve kamışlı tümseklerin yaygın bileşenidir. Koyu renkli kamışlı travertenlerde diğer traverten tiplerine göre organik madde miktarı ve boşluk oranı daha fazladır. Mevcut boşluklardan bir kısmı da kille doldurulmuştur. Bu traverten tipi, Ballık sahasının güneybatı kenarında yer alan traverten ocaklarının üst seviyelerinde yaygındır.

7. TRAVERTEN MİNERALOGİSİ ve JEOKİMYASI

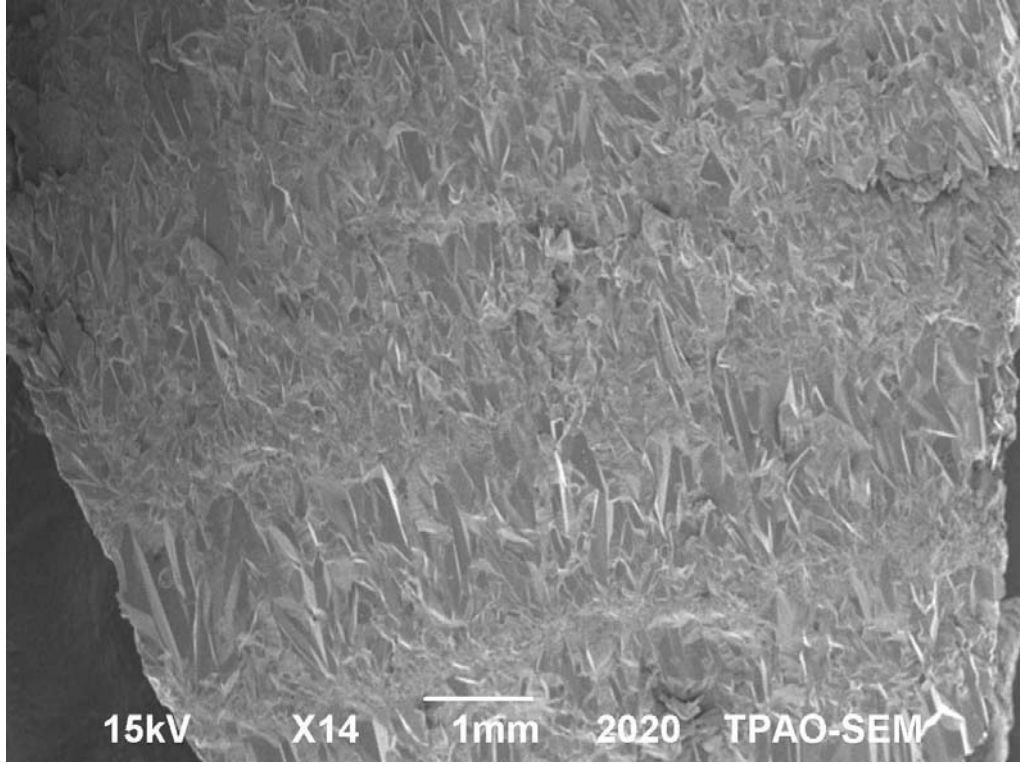
7.1. Mineraloji

XRD çalışmalarına göre, Egerszalók (Macaristan) sahasında su sıcaklığının (T) $\approx 67^{\circ}\text{C}$ olduğu çıkış ağzında çökelen güncel travertenler çoğunlukla (% 98–100) kalsittir. Buna karşılık akış aşağıda, çıkış ağzından uzak noktalarda % 1–35 arasında değişen miktarlarda aragonit ve terrijen kuvars ortaya çıkmaktadır. Sondaj çıkış ağzı çevresinde elementer kükürt oluşumu da gözlenmiştir (KELE vd., 2008a).

Denizli havzası traverten örneklerinde, geleneksel petrografi teknikleri ve XRD analiz sonuçlarına göre, beklendiği gibi en sık rastlanan mineral kalsittir (Şekil 39). Ancak düşey bantlı traverten, kristalin kabuk, zarflı gaz kabarcığı ve sal tipi traverten örneklerinin bazılarında değişik oranlarda aragonit ve dolomit minerali gözlenmiştir. Yine örneklerin bir kısmı az (\sim % 1) ya da eser miktarda kuvars, jips, mika, götit, smektit ve kaolinit gibi mineraller içerir. Aşağıda, başlıca sahalardan alınan traverten örneklerinin XRD analiz sonuçlarına göre mineral bileşimleri verilmiştir (Şekil 33, 34, 35, 36 ve 37).

Yenice sahası travertenleri renk ve doku özellikleri açısından Karahayıt ve Çukurbağ travertenlerine benzer. Bantlı travertenler yer yer beyaz, kırmızı, kahve, mor v.b. renk bantlarından oluşmuştur. Kamara Hamamı traverten örneklerinde kalsit oranı % 97-100 arasındadır (Şekil 33a). Hemen hemen tamamen kalsitten oluşan örneklerde eser miktarda bulunan aragonit, en fazla % 3 bolluكتadır. Kırmızımsı, kahve ve mor renklerin, muhtemelen mangan ve demir elementlerinin amorf haldeki oksit ve hidroksitlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kamara Hamamı'nda odalara su dağıtımı yapılan plastik borularda kabuklaşma olmaktadır. Bu kabuklaşma nedeniyle, birkaç aylık bir sürede borular hemen hemen tıkanmaktadır. Yapılan XRD analiz sonucuna göre, borudaki kabuk % 100 kalsit ve eser miktarda kuvarstan oluşmaktadır. Kırmızı-kahve renkli güncel kabuk örneklerinden birisinde % 70 kalsit, % 30 aragonit bulunmuştur.

Gölemezli sahasından alınan düşey bantlı traverten örnekleri gevrek, boşluksuz ve tamamen kristal yapıdadır (Şekil 28c ve d). Bantlı yapı içinde sarı, beyaz, açık yeşil ve bal rengi araldanmaları belirgindir. GM-15 nolu örnekte beyaz, sarı ve koyu renkli bantlar % 100 kalsit olup (Şekil 32), birbirini izleyen farklı renkteki bantlar arasında mineralojik bir farklılık yoktur (Şekil 33b). Baskın mineral kalsittir (Şekil 39a.b). Ancak bazı örneklerde (GM-20 nolu örnek) kalsitle birlikte oranları % 14'e kadar çıkan dolomit minerali

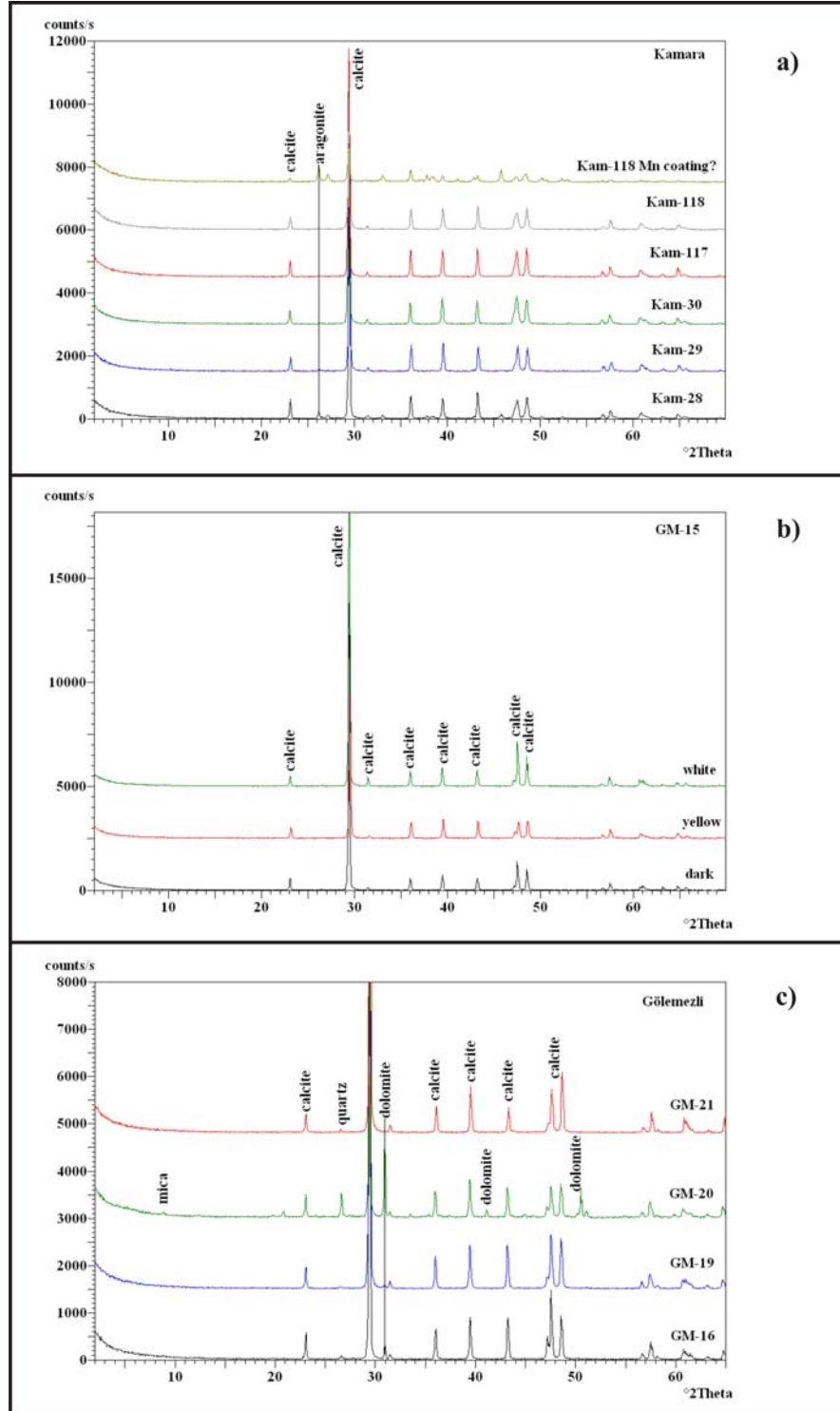


Şekil 32. Gölemezli sahasında kalsit minerallerinden oluşan bantlı traverten örneğinin SEM görüntüsü (GM-15 nolu örnek). Kristal büyüme yönü yukarı doğrudur.

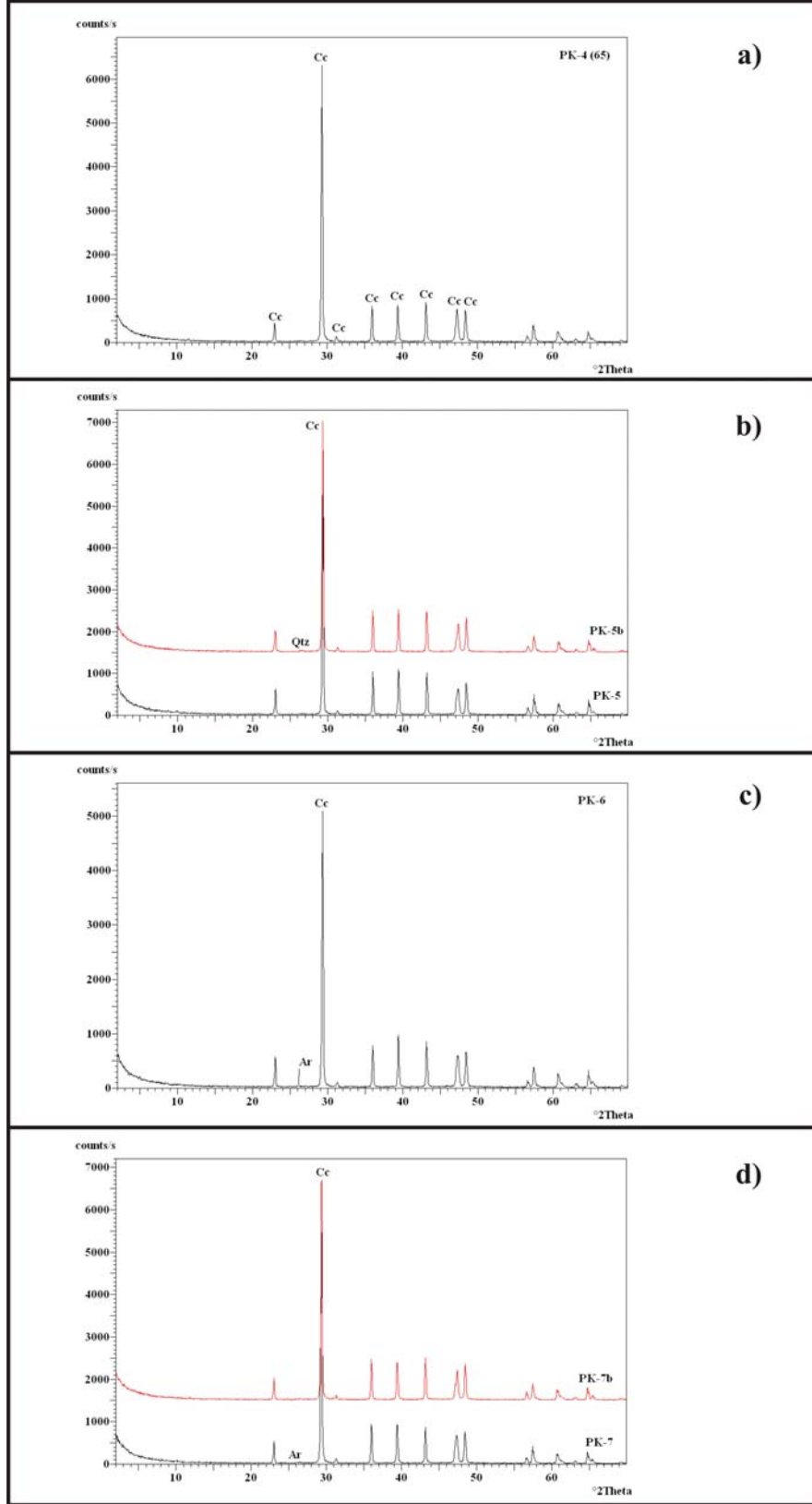
gözlenmiştir (Şekil 33c). Ayrıca, Gölemezli örneklerinde eser miktarda kuvars, klorit ve/veya kaolinit ve plajiyoklaz tayin edilmiştir.

Pamukkale sahasında, Jandarma kaynağı önündeki yamaç yüzeyinde yukarıdan aşağı alınan beyaz renkli güncel kristalin kabuk örnekleri mineralojik olarak % 99-100 kalsit bileşimlidir (Şekil 29, 34). Yamaç örneklerinin 2 tanesinde, %1'den az ya da eser miktarda aragonite rastlanmıştır. Yine bu örneklerde eser miktarda kuvars ve jips kaydedilmiştir.

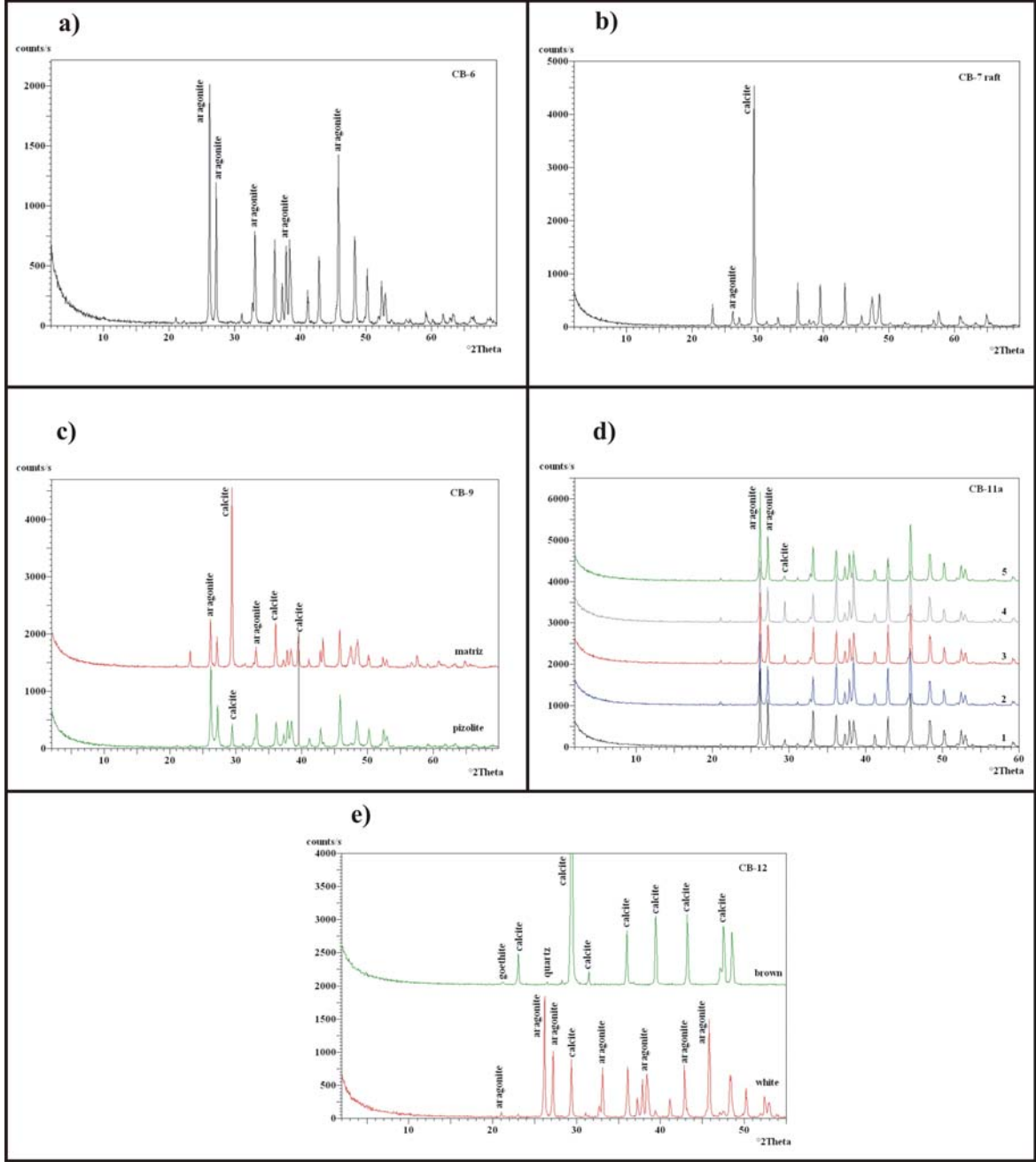
Çukurbağ sahası traverten örnekleri farklı mineralojik bileşime sahiptir. Kaynak çevresinden alınan beyaz, çok ince taneli kompakt örnek (ÇB-6) % 100 aragonit bileşimindedir (Şekil 35). Yine kaynak çevresinden alınan CB-7 nolu gaz kabarcıklı güncel sal örneği % 95 kalsit, % 5 aragonittir (Şekil 35). Kaynak çıkışına yakın alınan laminali (=stromatolitik) örnek ise tamamen kalsit bileşimlidir. D-B uzanımlı Çukurbağ traverten sırtının orta kesiminden alınan düşey bantlı traverten örneği (ÇB-11a) beyaz ve açık renk bantlarının aradalanmasından oluşmuştur. Açık renkli bantlar % 91-93 aragonit, % 7-9 kalsit; koyu renkli bantlar ise % 77-100 aragonit, % 23-0 kalsitten ibarettir (Şekil 35).



Şekil 33. Yenice (Kamara Hamamı) ve Gölemezli sahalarından alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi. (a) Kamara Hamamı örnekleri, KAM-28: % 97 kalsit, % 3 aragonit; KAM-29: % 100 kalsit + eser miktarda aragonit ve kuvars; KAM-30: % 100 kalsit; KAM-117: % 100 kalsit + eser miktarda kuvars ve KAM-118: % 100 kalsit + eser miktarda aragonitten meydana gelmiştir. (b) ve (c) Gölemezli örnekleri: GM-15 nolu örneğin beyaz, koyu ve sarı renk bantları % 100 kalsit ve eser miktarda kuvarstan oluşmuştur. GM-16: % 95 kalsit, % 3 dolomit, 1% kuvars + mika, eser miktarda klorit ve/veya kaolinit, plajiyoklaz. GM-19: % 100 kalsit ve eser miktarda dolomit, kuvars. GM-20: % 80 kalsit, % 14 dolomit, % 5 kuvars, %1 mika + eser miktarda klorit ve/veya kaolinit. GM-21: % 100 kalsit, eser miktarda kuvars.



Şekil 34. Pamukkale sahasında, Jandarma kaynağı önündeki yamaç yüzeyinden alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi. (a) Beyaz renkli kristalin kabuk örneği (PK-4): % 99 kalsit + eser miktarda kuvars ve jips, (b) PK-5: % 100 kalsit oluşan örneklerden PK-5b eser miktarda kuvars, (c) PK-6: % 99 kalsit, <1% aragonit, (d) PK-7: % 99 kalsit + eser miktarda aragonit mineralinden oluşmuştur. PK-7b ise % 100 kalsittir.



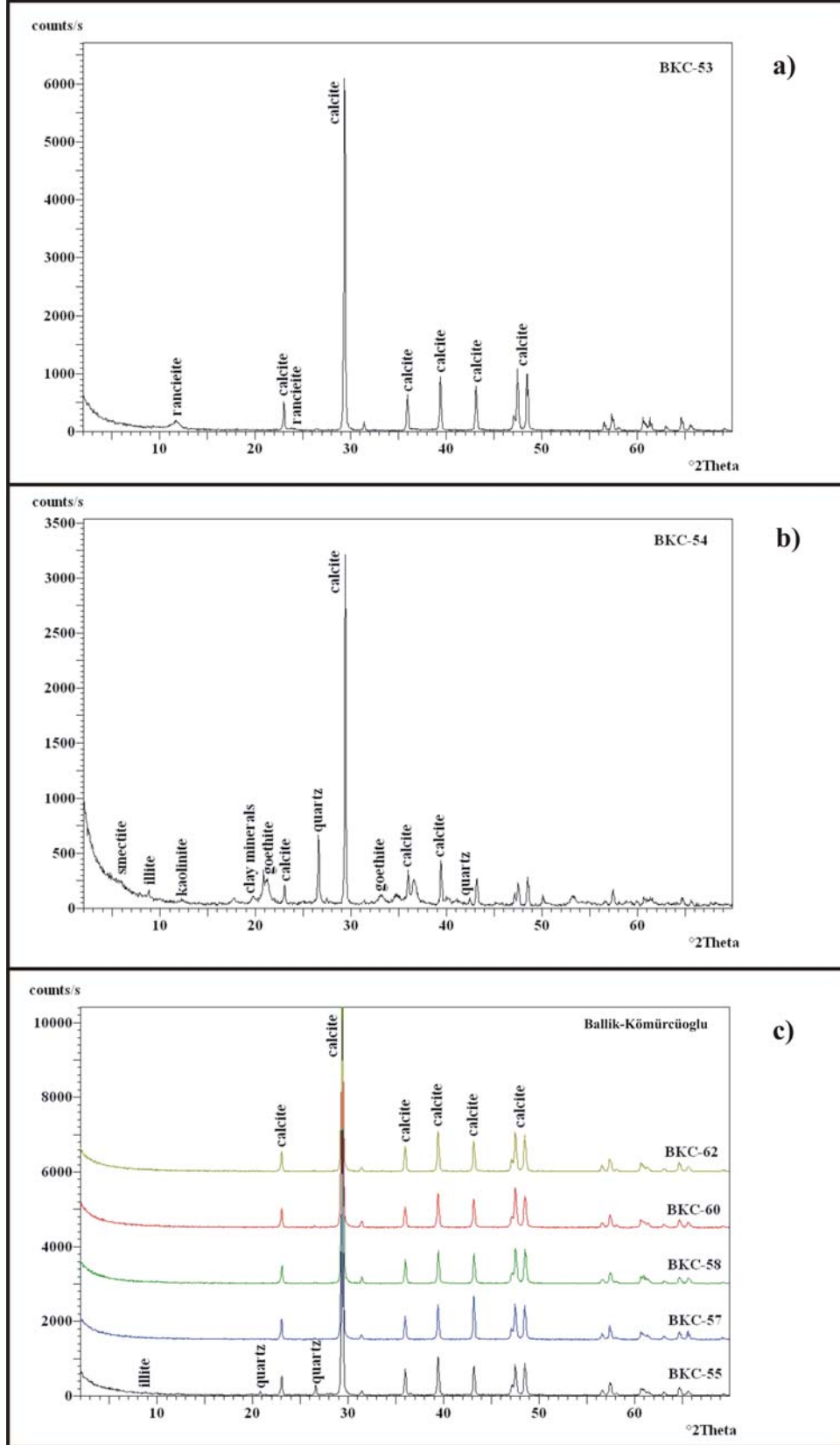
Şekil 35. Çukurbağ (Pamukkale) sahasından alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi. (a) ÇB-6: % 100 aragonit, (b) ÇB-7 nolu sal örneği: % 95 kalsit, % 5 aragonit, (c) ÇB-9 nolu beyaz pizolit tanelerinin mineralojik bileşimi: % 78 aragonit, 22% kalsit, taneleri bağlayan çimento % 82 kalsit, % 18 aragonitten oluşmuştur, (d) ÇB-11a nolu örneğin tabanındaki 1. Nokta (açık renkli düzey) % 93 aragonit, % 7 kalsit; onu izleyen 2. Nokta (kahve renkli seviye) % 100 aragonit; 3. Nokta (beyaz seviye) % 91 aragonit, % 9 kalsit; 4. Nokta (kahve renkli seviye) % 77 aragonit, % 23 kalsit ve 5. Nokta (beyaz seviye) % 93 aragonit, % 23 kalsitten oluşmuştur. (e) ÇB-12 örneğinin tabanındaki 1. Noktada (açık renkli düzey) % 70 aragonit, % 30 kalsit; 2. Noktada (kahverengi seviye) % 99 kalsit, % 1 götüt ve eser miktarda kuvars belirlenmiştir.

Kaklık kuzeybatısındaki Ballık sahasında, Kömürcüoğlu traverten ocağında, ocak tabanından üste doğru alınan örneklerde açık krem renkli, iyi pekişmiş BKC 55, 57, 58, 60 ve 62 nolu örneklerde % 95-100 kalsit, % 1 ile eser miktar kuvars, eser miktarlarda bazı kil mineralleri (illit, smektit) ve feldispat tayin edilmiştir (Şekil 36a).

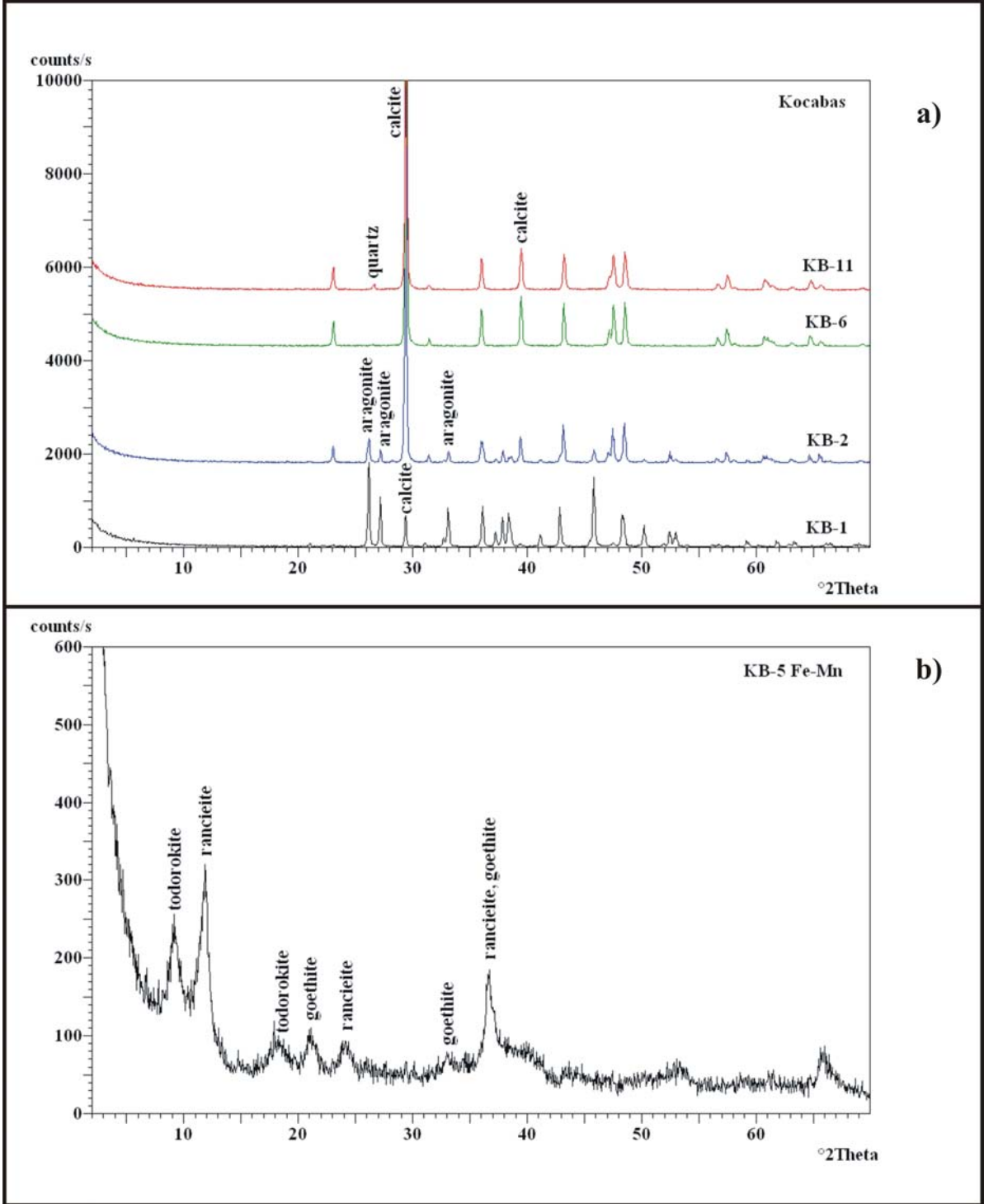
Aynı ocağının kuzey kesiminde, traverten istifinin en üst seviyelerinde yer yer kahverengi manganlı cepler ve mercerler gözlenir. Bu oluşumlardan alınan örneklerde % 90 kalsitin yanında %10 oranında bir mangan minerali olan rancieit tayin belirlenmiştir (Şekil 36b BKC-53 nolu  rnek). BKC-53' n 4-5 metre altındaki bir seviyeden alınan kırmızımsı kahverengi diğer bir örnekte ise % 65 kalsit, % 15 kuvars, % 10 götit, % 4 smektit, % 3 illit ve % 3 kaolinit minerali belirlenmiştir (Şekil 36c, BKC-54 nolu  rnek).

Kocabaş sahasında düşey bantlı traverten örneklerinde aragonit oranı % 7-75 arasında değişmektedir (Şekil 37). Bu sahadan alınan diğer örnekler ise %93 ile % 100 arasında değişen oranlarda kalsitten oluşmaktadır (Şekil 37a). Traverten  rneklerinin alındığı ocağın üst kesimlerinde, cep şeklinde kırmızımsı kahve renkli demirli-manganlı oluşumlara rastlanmıştır. Bu oluşumlar alınan KB-5 nolu örnek, % 50 rancieite, % 30 todorokite ve % 20 kötü kristallenmiş götit içermektedir (Şekil 37b).

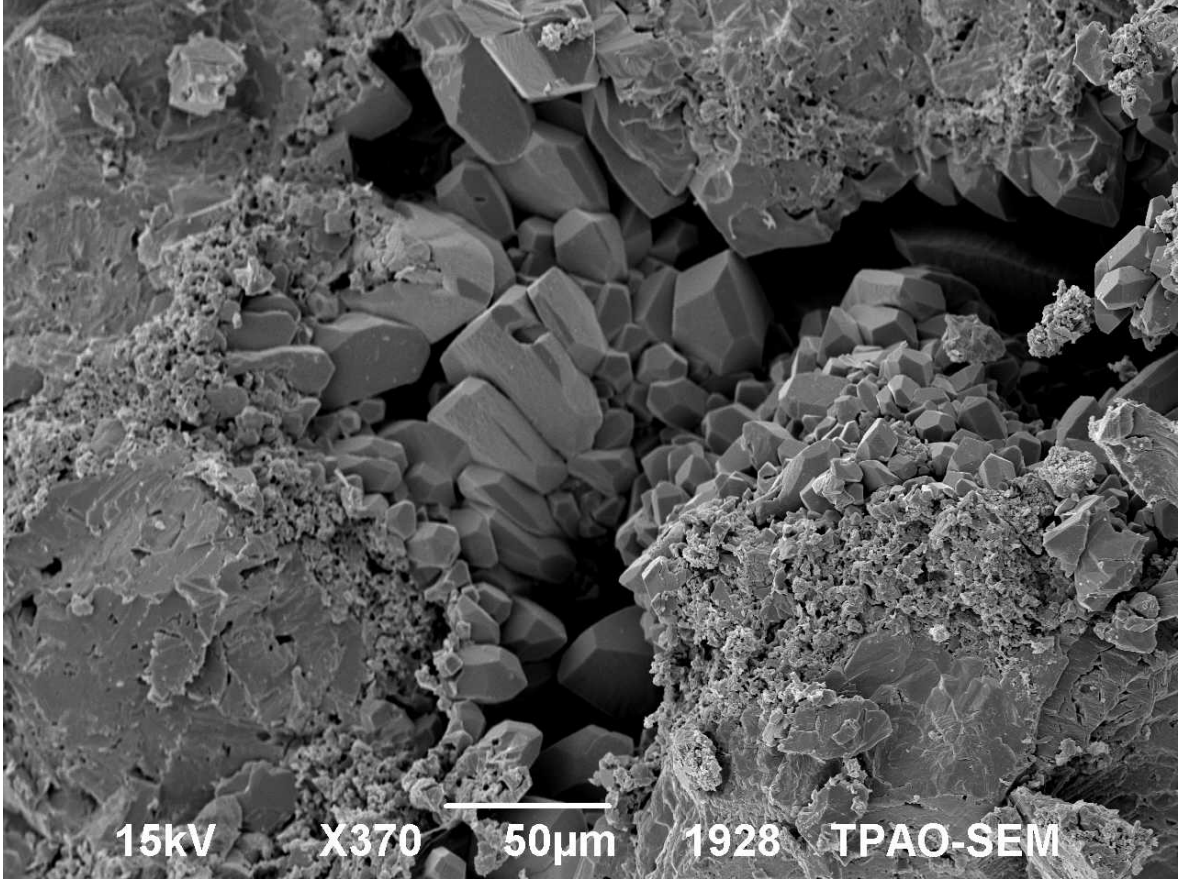
Traverten örneklerindeki kalsit genellikle mikrokristalin kalsit (=mikrit) tir. Sparikalsit daha çok ikincil oluşumlar şeklinde olup, traverten bünyesindeki boşlukları tamamen ya da kısmen doldurmuştur (Şekil 38).



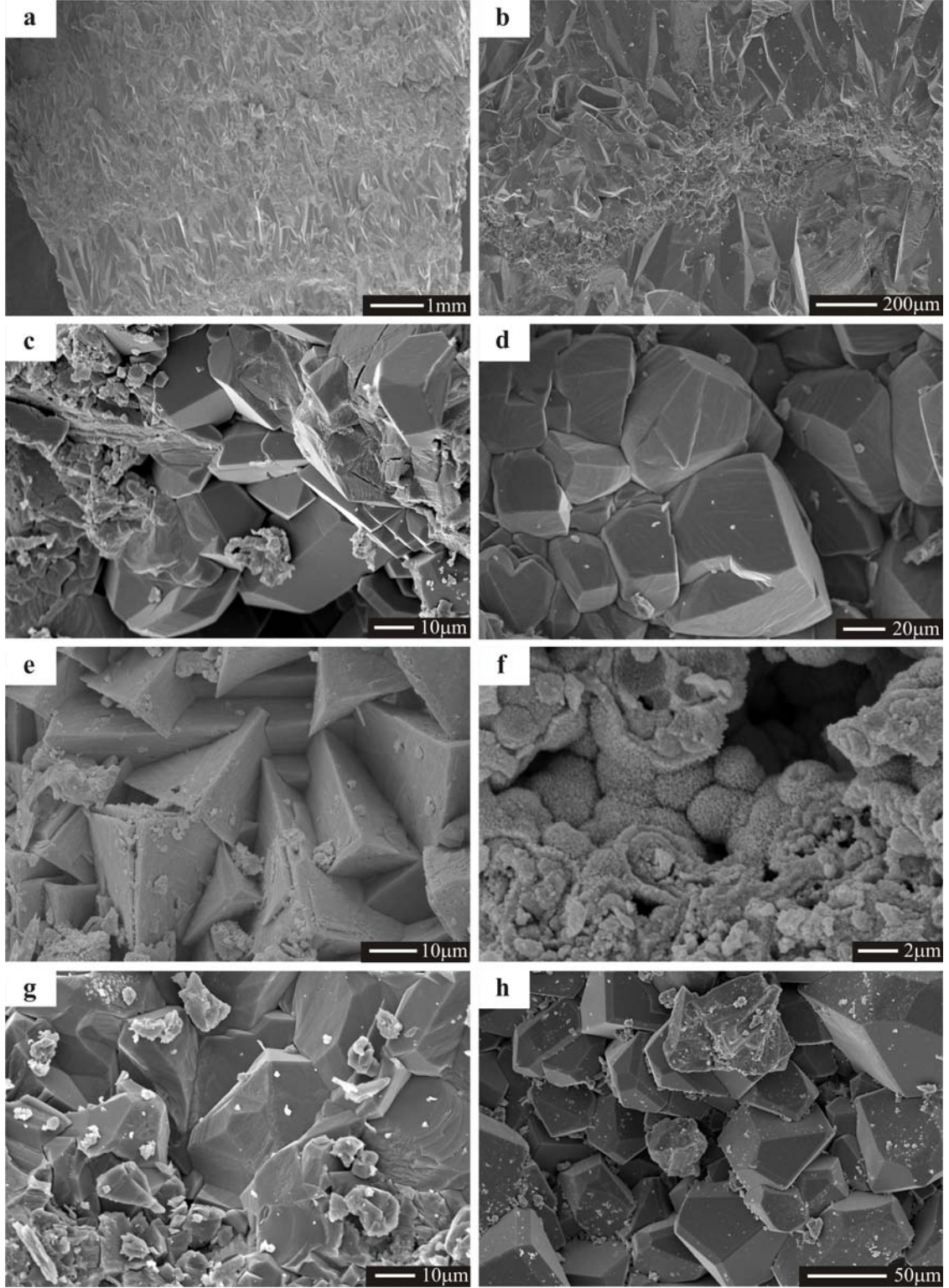
Şekil 36. Ballık sahasında bulunan Kömrüçüoğlu traverten ocağından alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi. (a) BKC 53: Kahverengi, manganlı örnek, % 90 kalsit ve % 10 rancieite, (b) BKC 54: % 65 kalsit, % 15 kuvars, % 10 götit, % 4 smektit, % 3 illit ve % 3 kaolinit, BKC-55: % 95 kalsit, 4% kuvars, 1% kil mineralleri (illit, smektit) ve eser miktarda feldispat, (c) BKC-57, 58, 60, 62: % 100 kalsit, eser miktarda kuvars.



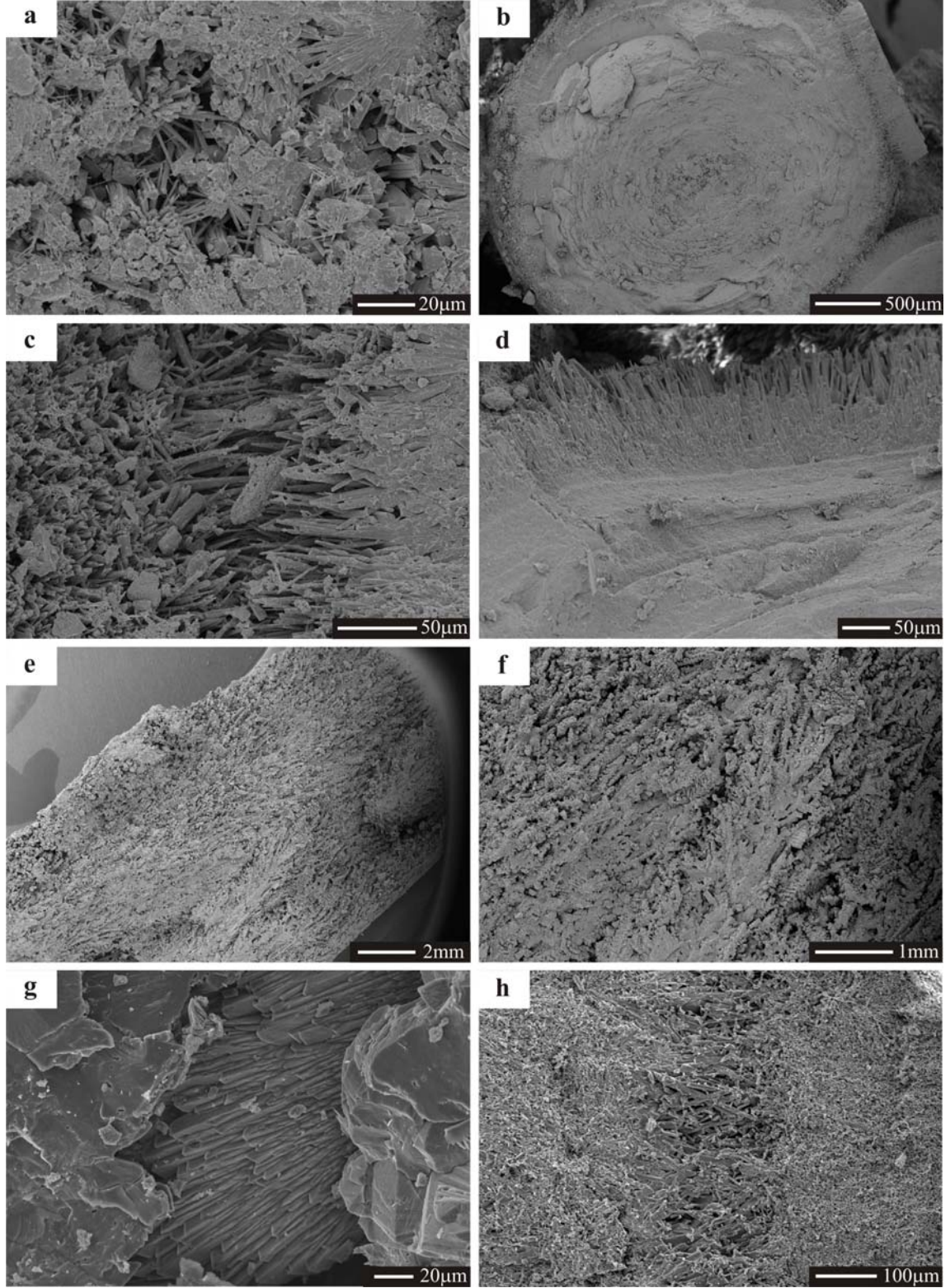
Şekil 37. Kocabaş sahasından alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi. (a) KB-1: % 75 aragonit, % 25 kalsit; KB-2: % 93 kalsit, % 7 aragonit; KB-6: % 100 kalsit + eser miktarda kuvars; KB-11: % 98 kalsit, % 2 kuvars. (b) KB-5 Fe-Mn: % 50 rancieit, % 30 todorokit, % 20 götit, kötü kristalleşmiş.



Şekil 38. Mikritik traverten dokusu içinde yer alan bir boşlukta ikincil olarak gelişmiş kaba sparikalsit kristallerinin taramalı elektron mikroskopi (SEM) görüntüsü.



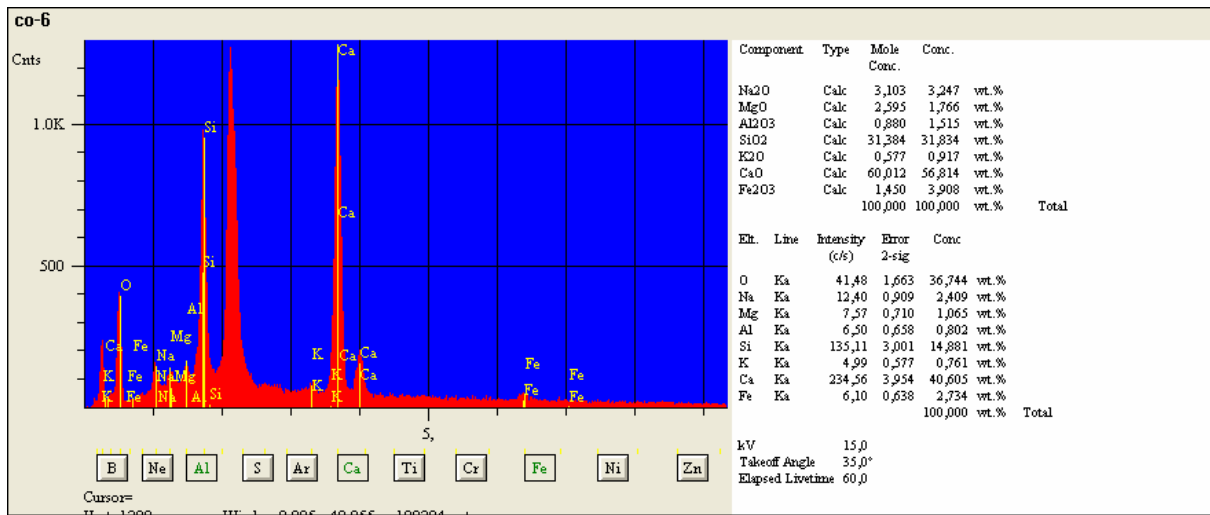
Şekil 39. Traverten örneklerinde incelenen kalsit minerallerinin SEM görüntüleri. (a) tamamen kalsit kristallerinden kurulu bantlı traverten, kristal büyümesi aşağıdan yukarı doğrudur, Gölemezli Sahası'ndan alınan 15 nolu örnek, (b) 15 nolu bantlı traverten örneğinde, bantları oluşturan ince ve kaba kalsit düzeyleri, (c=4b), (d=60c) boşlukta gelişen spari kalsit kristalleri, Kömürcüoğlu traverten ocağı, Ballık sahası. g, (h=58c) , (e=8c) birkaç mm çapındaki bir boşluk çeperinde gelişmiş piramidal kristal büyümeleri, (f) Mikritik düzeyler içeren sal ve gaz kabarcıklı bir traverten örneğinde kalsit kabukla kaplanmış küresel şekilli mikrobiyolojik beleşenler, kalsit kabuk dışta pütürlü /dikenli bir görünüme sahiptir. Akköy sırtı.



Şekil 40. Bazı traverten örneklerinden elde edilen SEM görüntüleri. (a) pizolit tanelerini birbirine bağlayan çimento, Çukurbağ kaynağı, (b) konsantrik iç yapılı bir pizolit tanesi, Çukurbağ kaynağı (c) Çukurbağ kaynağı'nda beyaz pizolit taneleri ile birlikte bulunan sallarda iğnemsî kristal büyümeleri (d) bir pizolit tanesinin en dış tarafında çökeltme yüzeyine dik gelişmiş iğnemsî aragonit kristalleri, (e) laminalı (stromatolitik) bir traverten örneğinde sol alttan sağ üste doğru dendritik kristal büyümesi, Çukurbağ kaynağı, (f) e'deki dendritik kristal büyümelerinin yakından görünümü, (g) beyaz pizolit tanelerinin merkezi kısmında ışınsal aragonit büyümeleri, (h,) düşey bantlı travertenlerde bantları oluşturan ince ve kaba kristalli düzeyler, Çukurbağ sırtı

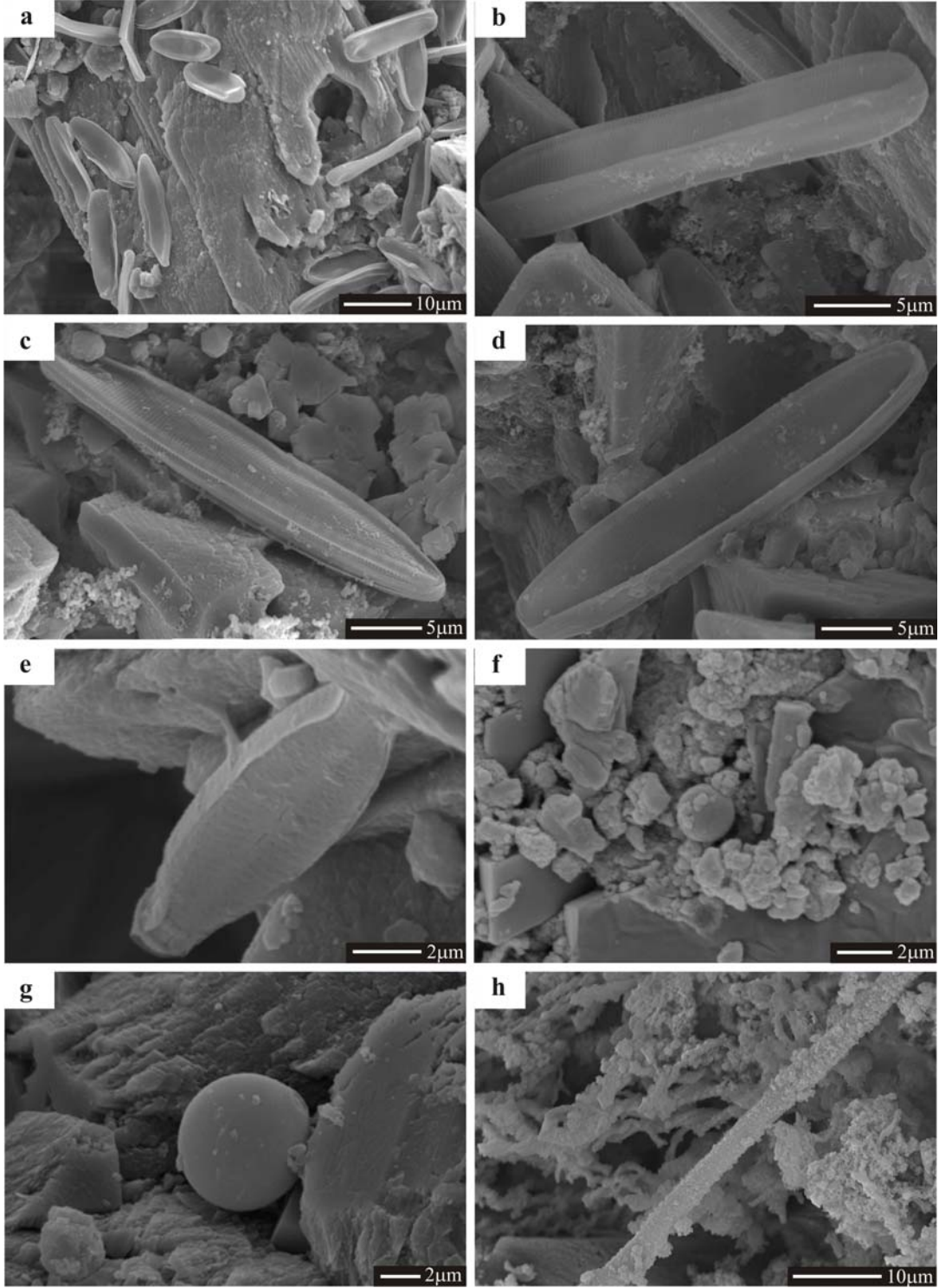
7.2. Mikrobiyal Bileşenler

SEM ve optik mikroskop incelemeleri sırasında özellikle güncel traverten örneklerinde lifsi, çubuk ve disk şekilli bakteri, alg ve diyatom v.b. mikroorganizmalara rastlanmıştır (Şekil 42). Yenice kuzeyinde Büyük Menderes vadisi içinde kurulmuş Çimenoğlu Sera Tesisleri'nde sondajdan akan sıcak suyun önünde çökelmiş taze traverten örneklerinde bol miktarda diyatom kavkuları belirlenmiştir (Şekil 42a,b,c,d). Yine Pamukkale Jandarma kaynağı önündeki yamaçtan alınan güncel kristalin kabuklarda seyrek te olsa bir örnekte diyatom kavkısı belirlenmiştir (Şekil 42e). SEM çalışmaları sırasında diyatom kavkularına EDS uygulaması yapılmış ve bazı EDS nokta analizlerinde kavkıdan kalsiyumun yanı sıra, oldukça belirgin silisyum pikleri (%32) elde edilmiştir (Şekil 41).

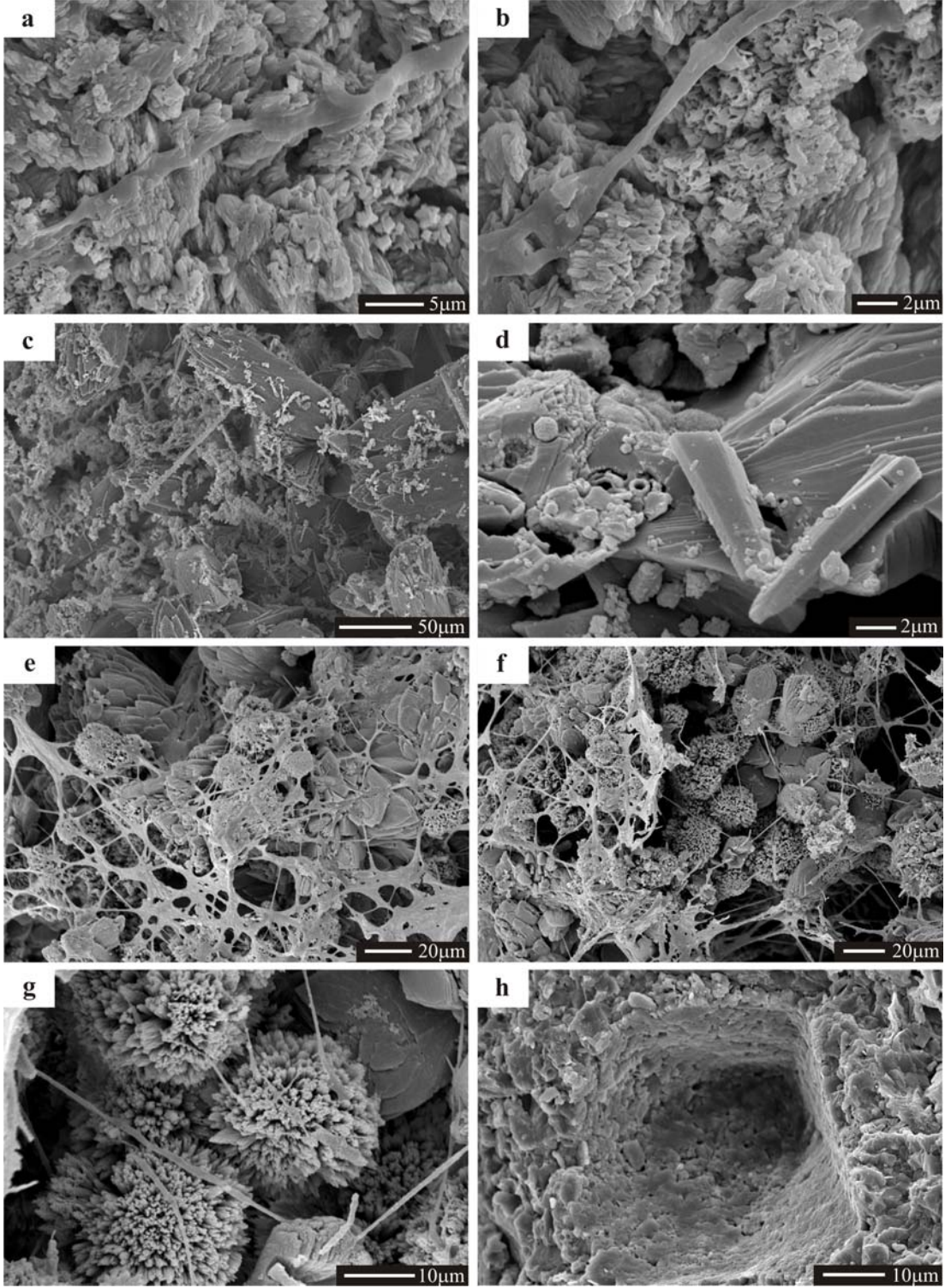


Şekil 41. Yenice kuzeyinde Büyük Menderes vadisinde sıcak sondaj suyundan çökelmiş taze traverten örneklerinde gözlenen diyatom kavkularına uygulanan EDS analiz sonuçları. Çimenoğlu Sera Tesisleri.

Diyatom kavkuları dışında travertenlerde en sık rastlanan mikroorganizmalardan birisi de hücre dışı polimerik maddelerdir (=extracellular polymeric substance=EPS). Bu tür maddeler, traverten örneklerinin SEM görüntülerinde kristaller arasında şerit ve ağ şeklinde görülmektedirler (Şekil 43).



Şekil 42. Traverten örneklerinde mikrobiyal bileşenler. Diatom kavkaları: (a, b, c ve d) güncel traverten örneklerinde diatom kavkaları, diatom görüntüleri Yenice kuzeyinde Büyük Menderes vadisinde kurulu Çimenoğlu sera tesislerine bitişik yol kenarındaki güncel traverten oluşumlarından elde edilmiştir. (e) Güncel kristalin kabuk tipi traverten örneğinde diatom kavkısı, Jandarma kaynağı önü yamaç, PK-13 nolu örnek, Pamukkale, (f) Açılma çatlakları içinde gelişmiş sal tipi traverten lerde disk ve tüp şekilli mikrobiyal bileşenler, Örnek No: 1, Akköy traverten sırtı, (g) (f)'deki disk şekilli mikrobiyal bileşenin yakından görünümü, (h) Düz, çubuk şekilli mikrobiyal bileşenler, Kelkaya sahasında traverten kütlesinde açılmış bir su kanalının duvarından alınmıştır.



Şekil 43. (a, b) Onkolitli travertenlerde kalsit kristal demetleri ile birlikte bulunan mikrobiyal filamentler. Örnek No: 22, Karateke, Honaz sahası, (c=119b), (d) fisür boşluğunda gelişmiş sal tipi traverten örneğinde mikrobiyal bileşenler, Örnek No: 1, Akköy traverten sırtı, (e) yer yer gaz kabakcıkları ile birlikte bulunan güncel bir sal tipi traverten örneğinde ağ ve şerit şekilli mikrobiyal filamentler ve mızrak ucuna benzeyen kalsit kristal demetleri (sol üst köşede) Örnek No: 7, Çukurbağ kaynağı, Pamukkale, (f) gaz kabakcıklı güncel sallarda ağ şekilli EPS ile birlikte küresel taneler, tane yüzeyine dik gelişmiş mızrak uçlu kristal büyümeleri Örnek No: 7, Çukurbağ kaynağı, Pamukkale, (g) f'teki küresel tanelerin yakın görünümü, (h) mikroorganizmanın ortadan kalkması sonucu geriye kalan bir kalıp boşluğu.

7.3. Jeokimya

7.3.1. Ana ve iz element jeokimyası

Egerszalók sahası (Macaristan) güncel traverten çekellerinin ana ve iz element bollukları ve mineralojik bileşimleri, KELE vd. (2008)'de Tablo 2 ve Şekil 11'de verilmiştir. Egerszalók güncel travertenlerinde Ca element bolluğu en yüksek olup, 363300 ile 386000 ppm arasındadır. Buna karşılık Mg daha düşüktür (1300–6833 ppm). Sr miktarı akış aşağı yönde 338'den 4698 ppm'e artarken, Mg azalmaktadır. Sr miktarı ile mineraloji arasında yakın bir ilişki vardır. Aragonit içeren örnekler daha yüksek Sr oranına sahipken, kalsit bileşimli traverten örneklerinde Sr değerleri daha düşüktür. Çıkış ağızı çevresinde yüksek olan Mn değerleri (205–260 ppm) akış aşağı giderek azalır (56–62 ppm).

Denizli havzası travertenlerinin ana ve iz element dağılımları Tablo 4'de verilmiştir. Buna göre Ca değerleri 276286 ppm ile en az Kaklık örneklerinde, en fazla 405214 ppm ile Gölemezli sahasından elde edilmiştir.

Sr oranı, 184 ppm ile en az Ballık sahasında, 7392 ppm ile en fazla Çukurbağ sahasında belirlenmiştir. Çukurbağ sahasında elde edilen maksimum Sr değeri %100 aragonit bileşimli ÇB-6 nolu kristalin kabuk örneğine aittir (Tablo 4). Mg ise Çukurbağ'da 120 ppm, Gölemezli'de 20940 ppm bolluktadır. Fe, en az Pamukkale'de Jandarma kaynağı önündeki yamaçtan alınan beyaz kristalin kabuk tipi traverten örneklerinde (280 ppm), en fazla Akköy sırtı (16786) ve Kamara'dadır (15597 ppm).

7.3.2. Duraylı izotoplar

Macaristan'ın Egerszalók sahasında karbon ($\delta^{13}\text{C}$) ve oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) izotop bileşimleri KELE vd. (2008) Tablo 3'de listelenmiştir. Buna göre, $\delta^{13}\text{C}$ değerleri V-PDB cinsinden Şubat 2004'de +2.3 ile +4.2‰ arasında, Ağustos 2004'de +2.7 ile +4.3‰ arasında ve Ekim 2006'da +0.5 ile +2.9‰ arasında değişmiştir. Aynı ölçüm tarihlerinde, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri V-SMOW cinsinden sırasıyla +11.4 ve +14.7‰, +10.5 ve +14.1‰, ve +11.5 ve +14.6‰ arasında olmuştur. Hem $\delta^{13}\text{C}$ hem de $\delta^{18}\text{O}$ değerleri akış aşağı çıkış ağızından yamaç tabanına doğru genel bir artış gösterir. Denizli traverten sahalarını temsil eden örnek gruplarının karbon ($\delta^{13}\text{C}$) ve oksijen ($\delta^{18}\text{O}$) izotop bileşimleri Tablo 5 ve Şekil 44'de topluca verilmiştir. Duraylı karbon izotop bileşimlerine bakıldığında, havzanın KB ve GD kesimleri arasında belirgin farklılık gözlenir.

Tablo 4. Denizli havzası travertenlerinin ana ve iz element değerlerinin sahalara göre dağılımı (elementler ppm cinsinden verilmiştir).

Lokalite ve örnek No	Ca	Si	Al	Fe	Mg	P	Mn	MgCO ₃	As	Ba	Ni	Sr	Zr	TotC(%)	TotS(%)	B
Yenice																
Y-1 (28)	364143	1447	212	6435	5280		77	2,35	302.7	53	2.2	4667	1.6	12.00	0.48	14
Y-2 (30)	369286	1633	318		5880	44		2,58	32.7	53	0.6	4790	3.8	11.65	0.39	6
Gölemezli																
G-1 (14)	398214	840	371		5040	87	232	2,06	1.0	10	5.2	1073	2.6	12.57	0.25	<3
G-2 (15)	397857	187		350	5040	131	387	2,06	1.0	9	0.8	1156	2.5	12.19	0.31	<3
G-3 (17)	396571	280	159	1679	4560	44	542	1,88	0.6	4	2.6	660	2.0	11.77	0.17	<3
G-4 (18)	368429	18945	5718	2868	6960	131	155	3,05	22.1	19	12.0	751	19.2	11.43	0.14	4
G-6 (21)	392214	327		629	8160	87	155	3,35	1.0	15	1.8	1756	0.8	12.11	0.35	<3
G-8 (19)	405214	1867	371	769	2640	44	77	1,07	5.5	14	5.6	769	3.0	12.25	<0.02	<3
G-9 (20)	329857	36164	7676	4896	20940	44	155	9,56	17.1	29	34.8	586	21.7	11.07	<0.02	8
G-10 (16)	340929	34484	13553	6365	5940	87	155	2,82	86.8	49	32.2	484	31.7	11.07	0.06	8
Pamukkale																
PK-4	401000	3360	159	560	3240			1,32	0.7	19	7.9	2991	2.2	11.90	0.84	<3
PK-5b	394429	3033	476	280	4080			1,69	1.2	22	7.6	1971	3.1	11.75	0.66	6
PK-7b	396643	1913	371		4440			1,83	<0.5	21	7.5	1973	2.0	12.64	0.66	<3
PK-8	402571	513			3240	44		1,32	<0.5	19	6.5	2219	2.4	11.90	0.82	<3
PK-9	349214	47783	8259	2098	3840	131		1,79	1.8	69	10	1920	23.2	10.56	0.67	49
PK-10	400786	4620	794		3060	44		1,25	<0.5	22	4.6	2346	2.4	11.91	0.81	7
PK-12	396214	2240	371		3840	131		1,58	<0.5	18	8	3028	3.6	12.11	0.60	4
PK-13	398643	1120	159	839	3720	87		1,53	<0.5	15	5	2715	1.1	12.15	0.79	<3

Tablo 4. Devam

Lokalite ve örnek No	Ca	Si	Al	Fe	Mg	P	Mn	MgCO ₃	As	Ba	Ni	Sr	Zr	TotC(%)	TotS(%)	B
Çukurbağ																
ÇB-1 (1)	401571	793	106	2308	4980		155	2,02	4.6	36	6.7	1540	2.9	12.38	0.37	<3
ÇB-2 (2)	399143	887	159	490	2160			0,89	1.0	16	4.2	1069	2.7	12.83	0.05	<3
ÇB-3 (3)	392214	1027	106	7204	1980		155	0,83	31.9	14	4.0	803	2.0	12.09	0.02	<3
ÇB-4 (4)	389500	840		16157	960		542	0,40	87.6	23	7.6	410	1.4	11.73	<0.02	<3
ÇB-5 (5)	386500	1587		16786	1740		310	0,74	77.9	20	10.2	549	5.7	12.09	0.05	<3
ÇB-6 (6)	396429	93			120			0,05	0.7	30	0.8	7392	0.7	12.21	0.11	<3
ÇB-7	392000	1353	158,82	2308	4320		77	1,80	2.8	50	2.3	3771	2.0	12.00	0.73	9
ÇB-8 (8)	393214	3033		1678	5760		77	2,38	2.2	42	2.4	3113	1.7	12.33	0.80	5
ÇB-9 (9)	390571	3826	794,1	2378	2940		77	1,23	3.8	44	2.1	2306	3.7	12.10	0.37	<3
ÇB-10 (10)	398500	607			2280	262	1162	0,94	<0.5	44	16.6	1285	0.9	12.28	0.12	<3
ÇB-11 (11b)	396714	327			180			0,07	1.1	32	<0.1	6822	0.9	12.27	0.13	<3
ÇB-12a (12a)	396000	700		2238	780			0,32	3.9	25	1.7	5692	1.1	12.40	0.09	<3
ÇB-13 (13)	398214	467		560	1740		77	0,72	0.7	40	3.6	2215	1.6	12.45	0.06	<3
Akköy																
AK-1 (32)	332286	32105	20329	13009	6120	349	232	2,97	22.3	88	19.2	1677	62.7	10.51	0.16	4
AK-2 (33)	335143	20205	14135	47980	2520	305	387	1,23	242.8	54	25.7	645	48.2	9.47	0.03	5
AK-4 (34)	367000	3593	1747	37209	1860	262	232	0,83	224.4	16	8.5	705	8.3	10.98	0.06	4
AK-5 (35)	367786	6020	1588	31823	1740	262	232	0,78	301.4	17	7.9	434	6.7	11.59	0.02	<3
AK-6 (36)	388929	1820	476	7414	1920	175	542	0,81	9.1	31	5.5	615	2.8	12.23	0.04	<3
AK-7 (38)	380786	6393	1800	10911	1920	175	232	0,83	32.5	18	7.9	660	9.4	11.78	0.03	12
AK-8 (39)	391714	1913	582	6085	2280	131	232	0,96	45.1	24	4.4	548	2.7	11.68	0.04	<3
AK-9 (41)	386857	653		15317	1800	131	310	0,76	82.1	29	5.0	621	0.7	12.16	0.06	3
AK-10 (44)	391286	3033	1059	3007	1860	175	77	0,78	5.4	13	4.0	564	6.4	12.10	0.03	<3

Tablo 4. Devam

Lokalite ve örnek No	Ca	Si	Al	Fe	Mg	P	Mn	MgCO ₃	As	Ba	Ni	Sr	Zr	TotC(%)	TotS(%)	B
Ballık																
BA-1 (52)	358000	840	212		4080	131		1,86	1.2	25	2.6	1590	2.6	10.57	2.58	<3
BA-2 (53)	382714	1213	688	2238	1560	44	27647	0,67	8.2	731	173.8	190	4.6	11.63	0.15	<3
BA-3 (54)	276286	52216	13606	75327	3960	1964	1471	2,33	534.2	133	63.0	250	51.8	8.56	0.05	10
BA-4 (55)	350071	28418	7941	6225	4920	349	774	2,28	3.4	89	30.3	796	25.9	10.26	0.09	7
BA-5 (56)	401857	420	53	769	1500	131	155	0,61	1.3	13	3.6	184	2.6	12.39	0.02	<3
BA-6 (57)	384786	8213	3123	3497	2760	44		1,18	15.2	18	14.4	274	7.8	11.83	0.05	<3
BA-7 (58)	395000	1307	371		3240			1,34	2.0	20	7.6	398	2.5	12.05	0.05	<3
BA-8 (59)	394214	1493	476		3540		77	1,47	1.6	16	12.5	457	1.3	12.56	0.05	<3
BA-9 (60)	396643	607	106		3240			1,34	1.0	13	7.6	458	0.4	12.63	0.07	<3
BA-10 (61)	397929	747	159		2640			1,09	<0.5	7	9.1	329	0.8	12.49	<0.02	<3
BA-11 (62)	396000	2100	529	490	2280			0,95	2.4	82	21.4	296	2.0	12.42	0.03	3
Kelkaya																
KL-1 (25)	355071	3173	424		6060	131		2,76	<0.5	24	4.4	2103	2.4	11.97	1.01	16
KL-2 (26)	361214	47			3300			1,49	0.6	29	1.6	2181	2.6	11.94	0.80	<3
KL-3 (27)	361643	2660	476	2098	3540			1,60	4.9	36	10.5	2330	2.3	11.75	0.71	6
Honaz																
103	397071	700			3360			1,39	8.4	26	5.7	462	0.2	12.36	0.14	<3
105	398643	747			2400			0,99	5.0	33	4.0	644	0.2	12.54	0.16	<3
23	387000	5086	1218	1748	5640	785		2,37	1.3	87	13.5	856	4.0	11.87	0.14	<3
24	397571	280		699	3420	174		1,41	6.0	30	6.4	439	1.5	12.42	0.09	<3

Havzanın kuzey-kuzeybatısındaki sahalarda karbon izotop değerleri ($\delta^{13}\text{C}$) V-PDB cinsinden Yenice sahasında +2.18 ile +6.11, Gölemezli'de +3.7 ile +5.0, Pamukkale'de +5.7 ile +11.7, Çukurbağ'da +4.3 ile +7.2, Akköy'ün GD'sundaki traverten sırtında +3.5 ile +8.0, Irlıganlı'da +2.3 ile +5.9 arasında değişir. Doğu-kuzeydoğuda Ballık sahası Kömürcüoğlu traverten ocağından alınan örneklerde -3.3 ile +2.1, Kocabaş'da +4.4 ile +5.6'dür. Ballık güneyinde Kelkaya sahasında +3.2 ile +5.8, güney kenardaki Honaz'da (Karateke, Kayaaltı ve Değirmenler alt sahalarında) -4.0 ile +2.6 arasındadır.

Pamukkale-Karahayıt ve Yenice (Kamara Hamamı) sahalarında KB-GD gidişli normal faylara bağlı olarak gelişen sırt tipi travertenler ve güncel Pamukkale travertenleri ile Gölemezli yöresindeki fosil travertenler bir grup oluştururlar. Bu grup, havzanın doğu-güneydoğusuna kıyasla belirgin şekilde daha pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine sahiptir. Havzanın güney-güneydoğu kesiminde yer alan Honaz traverten ve tufaları hem negatif (-4) hem daha az pozitif (+2.6) $\delta^{13}\text{C}$ değerleri sunarlar. Kaklık kuzeybatısında yoğun bir şekilde işletilen Ballık yöresi travertenlerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, Antalya tufalarının $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine (-5‰ ile +3 ‰) benzerlik gösterir. En yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değeri (+11 ile +12) Pamukkale Jandarma Kaynağı önündeki 400 m lik yamacın en alt kısmında çökelmiş güncel kabuk tipi travertenlerden ölçülmüştür. Bu yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerinin nedeni, termal suyun yamaç aşağı akışı sırasında gerçekleşen CO_2 kaybı ve buharlaşma olduğu düşünülmektedir.

Oksijen değerleri ise V-SMOW cinsinden kuzeybatıda Yenice'de +13.51 ile +21.2, Gölemezli'de +13.8 ile +17.4, Pamukkale'de +19.4 ile +21.6, Çukurbağ'da +13.8 ile +26, Akköy'de +18.3 ile +22.1, Irlıganlı'da +17.2 ile +22.2'dir. Doğu-kuzeydoğuda Ballık sahasında +19.2 ile +22.8, Kocabaş sahasında +15.3 ile +17.0, Güney-güneydoğu'da Honaz (Karateke, Kayaaltı ve Değirmenler alt sahaları) traverten ve tufalarında ile +20.3 ile +22.4, Kelkaya'da ise +21.7 ile +22.6 arasındadır. Denizli havzası traverten sahalarından alınan örneklerin duraylı izotop bileşimleri ($\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$) Şekil 44'de karşılaştırılmıştır.

Denizli Havzası'nın KB'sındaki travertenlerin $\delta^{18}\text{O}$ değerleri daha geniş bir aralıkta dağılım gösterir ($12\text{‰} < \delta^{18}\text{O} < 24\text{‰}$, V-SMOW), ancak karakteristik olarak 22‰ 'den düşüktür. Bu travertenler normal faylar ve açılma çatlaklarından çıkan yüksek-orta sıcaklıktaki termal sulardan çökelmişlerdir. Havzanın GD kesimindeki traverten ve tufalar yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine sahiptir ($19\text{‰} < \delta^{18}\text{O} < 24\text{‰}$, V-SMOW). Bu değerler, muhtemelen düşük sıcaklıktaki karstik kökenli suları işaret eder.

Tablo 5. Denizli havzası travertenlerinin sahalara göre duraylı izotop bileşimleri.

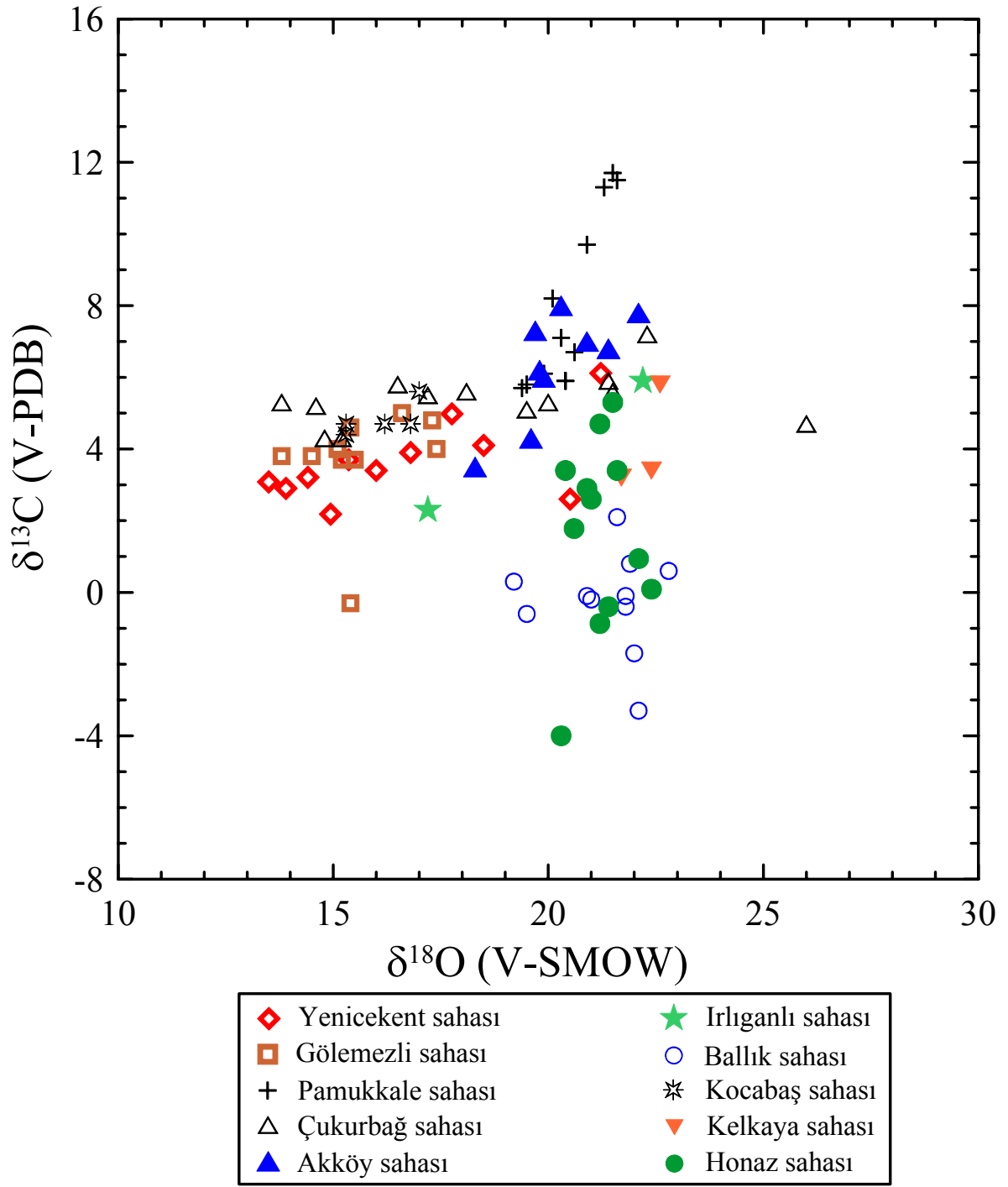
Lokalite ve örnek No	Traverten tipi	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)
Yenice				
Y-1 (28)	Kamara çatlak sırtı	3,90	-13,7	16,8
Y-2 (30)	Kamara çatlak sırtı	4,10	-12,0	18,5
Y-3 118	Kamara çatlak sırtı	3,40	-14,5	16,0
Y-4YT2		2,90	-16,49	13,91
Y-5 YT3		3,08	-16,88	13,51
Y-6 YT4		3,21	-16,01	14,41
Y-7 YT8		2,18	-15,49	14,94
Y-8 YT10		2,60	-10,09	20,51
Y-9 YT14		4,98	-12,76	17,76
Y-10 YT18		3,70	-15,08	15,36
Y-11YT22		6,11	-9,40	21,22
Gölemezli				
G-1 (14)	Düşey bantlı traverten	3,8	-16,0	14,5
G-2 (15)	Düşey bantlı traverten	3,8	-16,6	13,8
G-3 (17)	Düşey bantlı traverten	4,0	-13,1	17,4
G-4 (18)	Düşey bantlı traverten	3,7	-15,2	15,2
G-5 (18b)	Düşey bantlı traverten	-0,3	-15,1	15,4
G-6 (21)	Düşey bantlı traverten	3,7	-15,0	15,5
G-7 (109)	Düşey bantlı traverten	4,6	-15,0	15,4
G-8 (19)	Açık renkli, boşluklu traverten	5,0	-13,9	16,6
G-9 (20)	Açık renkli, sütlü kahve, iri boşlu traverten	4,8	-13,2	17,3
G-10 (16)	Sal	4,0	-15,4	15,1
Pamukkale				
PK-4		11.3		21.3
PK-5	Beyaz, ince kabuk	6.1		19.9
PK-5b	Pizolit	6.6		
PK-6	Beyaz kabuk	5.9		20.4
PK-7	Beyaz kabuk	5.9		20.4
PK-7b	Beyaz-kirli beyaz pizolit, düzensiz yumrular şeklinde	6.4		
PK-8		5.8		19.5
PK-9	Beyaz-kirli beyaz kristalin kabuk	7.1		20.3
PK-10	Kristalin kabuk	8.2		20.1
PK-11		9.7		20.9
PK-12		11.5		21.6
PK-13		11.7		21.5
PK-10* (D8)*	Güncel kris. kabuk	6.7	-9.99	20.61
PK-11*	Güncel kristalin kabuk	5.7	-11.18	19.39

Tablo 5. Devam

Lokalite ve örnek No	Açıklama	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)
Çukurbağ				
ÇB-1 (1)	Sal	5,6	-12,4	18,1
ÇB-2 (2)	Çalı	7,2	-8,3	22,3
ÇB-3 (3)	?	5,3	-10,6	20,0
ÇB-4 (4)	Tabakalı tr.	5,6	-9,1	21,5
ÇB-5 (5)	Sal ve mikritik seviye	5,9	-9,2	21,4
ÇB-6 (6)	Kristalin kabuk	4,3	15,6	14,8
ÇB-7	Sal	5,8	-14,0	16,5
ÇB-8 (8)	Sal ve gaz kabarcığı	5,5	-13,3	17,2
ÇB-9 (9)	Pizolit benzeri beyaz küresel taneler, sal ve gaz kabarcığı	4,3	-15,2	15,2
ÇB-10 (10)	Laminalı (=stromatolitik) traverten	4,7	-4,8	26,0
ÇB-11 (11b)		5,2	-15,8	14,6
ÇB-12a (12a)	Düşey bantlı traverten, Çukurbağ çatlak sırtının orta kesimi	5,3	-16,6	13,8
ÇB-13 (13)	Düşey bantlı traverten, Çukurbağ çatlak sırtının orta kesimi,	5,1	-11,1	19,5
Akköy				
AK-1 (32)	Akköy çatlak sırtı	4,3	-10,9	19,6
AK-2 (33)	Akköy çatlak sırtı	3,5	-12,2	18,3
AK-4 (34)	Akköy çatlak sırtı	8,0	-10,3	20,3
AK-5 (35)	Akköy çatlak sırtı	6,0	-10,7	19,9
AK-6 (36)	Akköy çatlak sırtı	6,2	-10,8	19,8
AK-7 (38)	Akköy çatlak sırtı	7,0	-9,7	20,9
AK-8 (39)	Sal ve mikritik seviye	7,3	-10,8	19,7
AK-9 (41)	Akköy çatlak sırtı	6,8	-9,2	21,4
AK-10 (44)	Akköy çatlak sırtı	7,8	-8,6	22,1
Irhanlı				
IR-2	Açık krem renkli traverten	5,9	-8,4	22,2
IR-3	Açık krem renkli traverten	2,3	-13,3	17,2
Ballık				
BA-1 (52)	Kaklık mağarası	2,1	-9,1	21,6
BA-2 (53)	Kömürcüoğlu	-1,7	-8,7	22,0
BA-3 (54)	Kömürcüoğlu	-0,4	-8,9	21,8
BA-4 (55)	Kömürcüoğlu	-3,3	-8,5	22,1
BA-5 (56)	Kömürcüoğlu	0,6	-7,8	22,8
BA-6 (57)	Kömürcüoğlu	-0,1	-8,8	21,8
BA-7 (58)	Kömürcüoğlu	-0,6	-11,1	19,5
BA-8 (59)	Kömürcüoğlu	0,3	-11,4	19,2
BA-9 (60)	Kömürcüoğlu	-0,2	-9,6	21,0
BA-10 (61)	Kömürcüoğlu	0,8	-8,7	21,9
BA-11 (62)	Kömürcüoğlu	-0,1	-9,8	20,9

Tablo 5. Devam

Lokalite ve örnek No	Traverten tipi	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)
Kocabaş				
KB-1		5,6	-13,5	17,0
KB-2		4,4	-15,2	15,3
KB-3		4,7	-13,7	16,8
KB-4		4,7	-14,3	16,2
107	Düşey bantlı traverten Bozkir trv. ocağı	4,7	-15,2	15,3
Kelkaya				
KL-1 (25)	Kelkaya	3,4	-8,2	22,4
KL-2 (26)	Kelkaya	5,8	-8,1	22,6
KL-3 (27)	Kelkaya	3,2	-8,9	21,7
Honaz				
103	Karateke, Honaz	2,9	-9,7	20,9
104	Karateke, Obruk T., Işık Tr. Ocağı, Denizli	5,3	-9,1	21,5
105	Karateke, Işık Tr. Ocağı, Denizli	4,7	-9,4	21,2
106	Karateke, Işık Tr. Ocağı, Denizli	3,4	-9,0	21,6
108	Karateke, Işık Tr Ocağı	3,4	-10,2	20,4
DE-1	Güncel tufa Değirmenler 1,	-0,87	-9,38	21,2
Güncel	Güncel	-0,40	-9,23	21,4
KA-1	Fosil tufa Kayaaltı 1, Honaz,	1,78	-10,0	20,6
KA-2	Fosil tufa Kayaaltı 2, Honaz,	0,09	-8,25	22,4
KA-3	Fosil tufa Kayaaltı 3, Honaz,	0,94	-8,53	22,1
23	Honaz	-4,0	-10,3	20,3
24	Honaz	2,6	-9,6	21,0



Şekil 44. Denizli havzası travertenlerinin duraylı izotop değerlerinin sahalara göre dağılımı.

8. TRAVERTENLERİN KRONOLOJİSİ

Denizli havzasında ilk traverten çökeliminin ne zaman başladığı tam olarak bilinmemektedir. ENGİN ve Güven (1997, 1999) ile ENGİN vd. (1999), Termolüminesans (TL) ve Electron Spin Rezonans (ESR) yöntemleri ile 0.828 ± 0.093 ve 1.11 ± 0.11 milyon yıllık yaş bulguları elde etmişlerdir. Ancak yaşlandırılan örneklerin yerleri ve stratigrafik konumlarından tam olarak söz edilmemiştir. ÖZKUL vd. (2004), yine Termolüminesans (TL) yöntemini kullanarak, havzanın kuzeydoğusunda Belevi'den Kocabaş'a doğru, deniz seviyesinden itibaren 1000, 600 ve 450 m yükseklikteki noktalardan alınan traverten örneklerinden sırasıyla 510 ± 50 , 490 ± 50 , 390 ± 40 ve 330 ± 30 bin yıllık yaşlar elde etmişlerdir. Bu yaş bulgularına göre, fosil travertenlerin kuzeyden güneye doğru (Belevi'den Kocabaş'a) gençleştikleri düşünülmektedir.

Denizli travertenlerinde yukarıda sözü edilen aletsel yaş bulgularının yanı sıra, Kuvaterner dönemine ait bazı omurgalı fosil bulgularına da rastlanmıştır (ÖZKUL vd., 2004; ERTEN vd., 2004; KAPPELMAN vd., 2008). Bu fosil bulguları arasında en sık rastlananlar hemionine atlara ait olan Equid kalıntılarıdır. Söz konusu bulgular Orta ve Güney Avrupa orta Pleistosen'inde iyi bilinmektedir (ÖZKUL vd., 2004; ERTEN vd., 2004).

U-Th yöntemi, traverten, sarkıt, dikit gibi karbonatlarda en güvenilir yaşlandırma yöntemlerinden birisidir. Pamukkale travertenlerinde bu yöntemle ilk yaşlandırma çalışması Altunel (1996) tarafından yapılmıştır (Tablo 6). U-Th yöntemi ile yapılan bu yaşlandırma sonuçlarına göre, Pamukkale'de en azından 400.000 yıldan bu yana traverten çökelmekte olduğu belirtilmiştir. Ancak bu ifade U-Th yönteminin alt sınırı düşünülerek kullanılmıştır. Son zamanlarda daha gelişmiş bir yöntem olan TIMS (*Thermal Ionization Mass Spectrometre*) yöntemi ile Pamukkale'deki bantlı travertenlerden daha hassas yeni yaş bulguları elde edilmiştir (Tablo 6) (UYSAL vd., 2007, 2009). Bu yeni bulgularının çoğu 20-25 bin yıl arasında toplanmaktadır.

Bu proje kapsamında sınırlı sayıda (15 kadar) örneğin U-Th yaşlandırılması mümkün olmuştur (Tablo 7). Gölemezli sahasında metamorfik temele dayalı, $60-70^\circ$ güneye eğimli bantlı travertenlerden 611.230 yıl, Çukurbağ sahasında bir adet bantlı traverten örneğinden 25.321 yıl, Akköy GD'sundaki Karakaya traverten sırtı (veya Akköy sırtı)'nda açılmış ocakta yukarıdan aşağı alınan bir seri örnekten 18.188 yıl ile 252.828 yıl arasında değişen yaşlar elde edilmiştir. Kelkaya sahasından alınan bir örnek 2291 yıllık bir yaş vermiştir.

Ancak bu örnek sahanın üst kesimlerinde yüzeydeki bir fosil travertenden alınmıştır. Bugünlerde adı geçen sahada açılan traverten ocağında da görüldüğü gibi, altta daha yaşlı traverten seviyeleri de bulunmaktadır.

Kaklık KB'sındaki Ballık sahasında bulunan Kömürcüoğlu ocağında alınan örnekler, U-Th yaşlandırma yönteminin sınırları dışında kalmıştır. Dolayısı ile bu sahadaki travertenlerin en azından 500.000 yıldan daha yaşlı oldukları söylenebilir. Bu sonuç daha önce Özkul vd. (2004)'de elde edilen termolüminesans (TL) yaş bulguları ile uyumludur.

Tablo 6. Pamukkale-Karahayit sahalarında önceki çalışmalarda düşey bantlı travertenlerden elde edilmiş U-Th yaşları.

Örnek Yeri, Örnek No	Yaşx(10 ³ yıl)	Örnek Yeri, Örnek No	Yaşx(10 ³ yıl)
Altunel (1996)		Uysal vd. (2007)	
19 Aşınmış örtü traverteni	>400	Çukurbağ	
Karakaya sırtı		PI-1	24.67
20.1	24	PI-2	24.55
20.5	32.9	PI-3	24.76
20.9	34.9	Karakaya sırtı	
Karahayit		PII-1	58.31
20.15	57.4	PII-2	58.56
20.16	33.2	PII-3	61.71
Çukurbağ		Hanife sırtı (Çukurbağ)	
21.7	97.5	PIII-1	72.05
21.8	124.3	PIII-2	75.01
21.9	188.3	PIV-1	103.8
21.10	97.1	PIV-2	107.9
Hanife sırtı		PIV-3	101.6
21.1	71.1	PIV-4a	94.6
21.2	54.8	PIV-4b	95.3
		PIV-5	109.9
Uysal vd. (2009)		PIV-6	98.7
Akköy sırtı		PIV-7	121.0
KL	25.24	PIV-8a	105.3
KR	25.61	PIV-8b	107.2
YK	54.30	PIV-9	105.3
AK-1A	49.78	PIV-10	117.4
AK-1B	73.60	Pamukkale fayı	
AK-1C	48.74	HB-1	55.4
AK-2	21.73		
AK-3	21.40		
AK-4	21.07		
Çukurbağ			
CB-1A	24.90		
CB-1B	25.20		
CB-2	25.00		
CB-II	151.19		

Tablo 7. Denizli traverten sahalarında bu çalışmada elde edilen U-Th yaşları.

Örnek No	Örnek yeri	Traverten tipi	Yaşx(10 ³ yıl)
Gölemezli			
G-14		Düşey bantlı traverten	611.230
Pamukkale-Karahayıt			
Çukurbağ		Düşey bantlı traverten	25.321
ÇB-12a			
Akköy			
31			22.017
34			18.188
35			27.146
36			23.970
38			33.110
41			34.232
42			49.514
44			46.895
45			43.197
47			42.935
49			45.262
50			252.828
Kelkaya			
26			2291

9. PALEOORTAMSAL VE İKLİMSEL DEĞERLENDİRMELER

Son yıllarda karasal karbonatlardan mağara çökelleri (sarkıt, dikit ve akmataşı), travertenler ve tufalar, Geç Kuvaterner iklim ve ortam araştırmalarında giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır (MCDERMOT, 2004; ANDREWS, 2006; FACCENNA vd., 2008). Mağaralardaki dikitler göreceli olarak kapalı ortamlarda oluştuklarından, çok az (ya da hiç) diyajenetik etkilere uğradıklarından, özellikle dar zaman aralıkları için daha hassas sonuçlar vermektedir.

UYSAL vd. (2009) Pamukkale’de düşey bantlı travertenlerden elde ettikleri U-serisi yaş bulgularını Grönland buzul karotlarından ve Çin ve İsrail spelotemlerinden sağlanan küresel ve bölgesel paleoiklim kayıtları ile karşılaştırmışlardır. Benzer bir karşılaştırmayı, FLEITMANN vd.’nin (2008) Batı Karadeniz’deki Sofular mağarasından elde ettikleri bulgular ile yapmışlardır. Ayrıca yazarlar yaş bulgularını, Türkiye’den ve İsrail’den iyi yaşlandırılmış yerel ve bölgesel göl seviyesi kayıtları ile de kontrol etmişlerdir.

UYSAL vd. (2009), Pamukkale’deki düşey bantlı travertenlerden ürettikleri U-serisi yaşların çoğunun 21.000–25.000 yıl arasında kümelandiklerini belirtmiştir. Bu zaman aralığı, sırasıyla Grönland buzul karotlarından ve Uzak Doğu’daki Hulu Mağarası dikitlerinden kaydedilmış düşük ve yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ile belirgindir. Ayrıca bu dönem, 40°K enleminde, yaz mevsimi en az güneş ışığı yayılmasının olduğu bir zaman dilimi olmuştur. Tüm bu özellikler, kuzey yarı kürede süreklilik arzeden soğuk ve kuru bir döneme karşılık gelmektedir. Bu durum, nispeten nemli ve ılık dönemlerde oluşan sarkıt, dikit gibi mağara oluşumları ile tezat teşkil etmektedir.

10. TARTIŞMA

10.1. Türkiye’de ve Macaristan’da İncelenen Travertenlerin Depolanma Ortamları Arasındaki Farklılıklar

Denizli havzası travertenleri ile Macaristan’da dikkate alınan bazı traverten oluşumları (Gerecse ve Buda Tepeleri travertenleri) arasındaki en önemli fark, Denizli havzası tektonik aktivite nedeniyle, traverten depolanması açısından daha zengindir. Buna karşılık Macaristan’da aktif saha olarak sadece halk arasında ”Macar Pamukkalesi” olarak da söz edilen Egerszalók’taki küçük çaplı ve doğal olmayan güncel traverten oluşumu gösterilebilir (KELE vd., 2008).

Fosil travertenler açısından baktığımızda, Denizli travertenlerinden bir kısmı Kamara, Akköy ve Kocabaş yörelerinde olduğu gibi, çatlaklara (fisür) bağlı traverten sırtları şeklinde izlenirken (ALTUNEL, 1996, UYSAL vd., 2007, 2009), bir kısmı da sığ göl ortamında depolanmışlardır (ÖZKUL vd., 2002). Bazı sahalarda da (Güney, Honaz gibi) tufa oluşumları yaygındır (HORVATINČIĆ vd., 2005; ÖZKUL vd., 2009).

Macaristan’da Gerecse ve Buda Tepeleri’nin incelenen travertenlerin (Ör. Süttö, Budaklász ve Buda Kale Tepe) çoğu göl ortamında, bazılarında (Ör. Gellért Tepesi, Ifjúsági Parkı) depolanmışlardır.

Her ne kadar Macar travertenleri Denizli havzasındakiler kadar tektonikle doğrudan ilişkili olmasalar da traverten çökelten eski kaynaklar, az çok derin bir termal karsttan, fay sistemelerini kullanarak yüzeye çıkmışlardır. Gerecse ve Buda Tepeleri’nde karşılaşılan travertenler, Tuna Nehri’nin eski terasları ve yaşlı jeomorfolojik düzeyler üzerinde depolanmışlar ve iklim olayları ile yakından ilişkili olduklarının izlerini taşırlar.

10.2. Duraylı İzotop Bileşimleri Arasındaki Farklılıklar

10.2.1. Macaristan travertenleri (Gerecse ve Buda Tepeleri)

Yapılan analizlere göre, Gerecse ve Buda Tepeleri traverten çökellerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri arasında önemli farklılıklar vardır. Gözlenen $\delta^{13}\text{C}$ değerleri öncelikle yanal ve düşey yönde değişim gösterir. Bu değişimler GB-KD doğrultusunda olmuştur. Bununla birlikte, adı geçen sahalarda farklı mikrofasiyes tiplerinin yanısıra iklimle ilgili ipuçları da sunarlar.

Gerecse ve Buda Tepeleri travertenlerinde karşılaşılan $\delta^{13}\text{C}$ değerlerindeki farklılıklar, kaynak aktivitesinin doğasından kaynaklanmaktadır.

Ayrıca, suyun yeraltında geçtiği yollarda denizel kireçtaşı türünde bir ana kaya ile daha uzun süre temasta kalmış olması da travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerini artırmış olabilir. Gerecse ve Tata sahalarındaki travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin düşük olması, muhtemelen organik kökenli CO_2 katılımı ile açıklanabilir, ancak magmatik kökenli CO_2 katkısı göz ardı edilemez. Tata'da yeryüzüne yükselen sular, organik maddece zengin ana kayalardan süzülüş ve ^{12}C bakımından zengin çözünmüş karbon taşımış olabilir. Buda Dağı'nda $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri en başta travertenlerin kökeni ve yaşı ile bağlantılıdır. Szabadság Tepe yakınlarındaki Üst Pannoniyen travertenleri, deniz seviyesine göre daha alçak konumda bulunan Buda Dağı'nın Pleistosen ve Holosen travertenlerine göre, daha pozitif $\delta^{18}\text{O}$ ve daha negatif $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine sahiptirler (KELE, 2009). ^{13}C bakımından zengin denizel kireçtaşlarının çözünmüşünden kaynaklanan karbonun baskın olması nedeniyle Pleistosen ve Holocene travertenlerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, Üst Pannoniyen travertenlerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinden daha az negatiftir. Bireysel dağlar ve onların alt sahaları özgün izotop değerleri ile karakterize edildiklerinden, duraylı izotop ölçümleri traverten oluşumlarının coğrafik konumunu tanımlamada da yararlı olmaktadır.

10.2.2. Türkiye ve Macaristan travertenlerinin duraylı izotop bileşimleri arasındaki farklılıklar

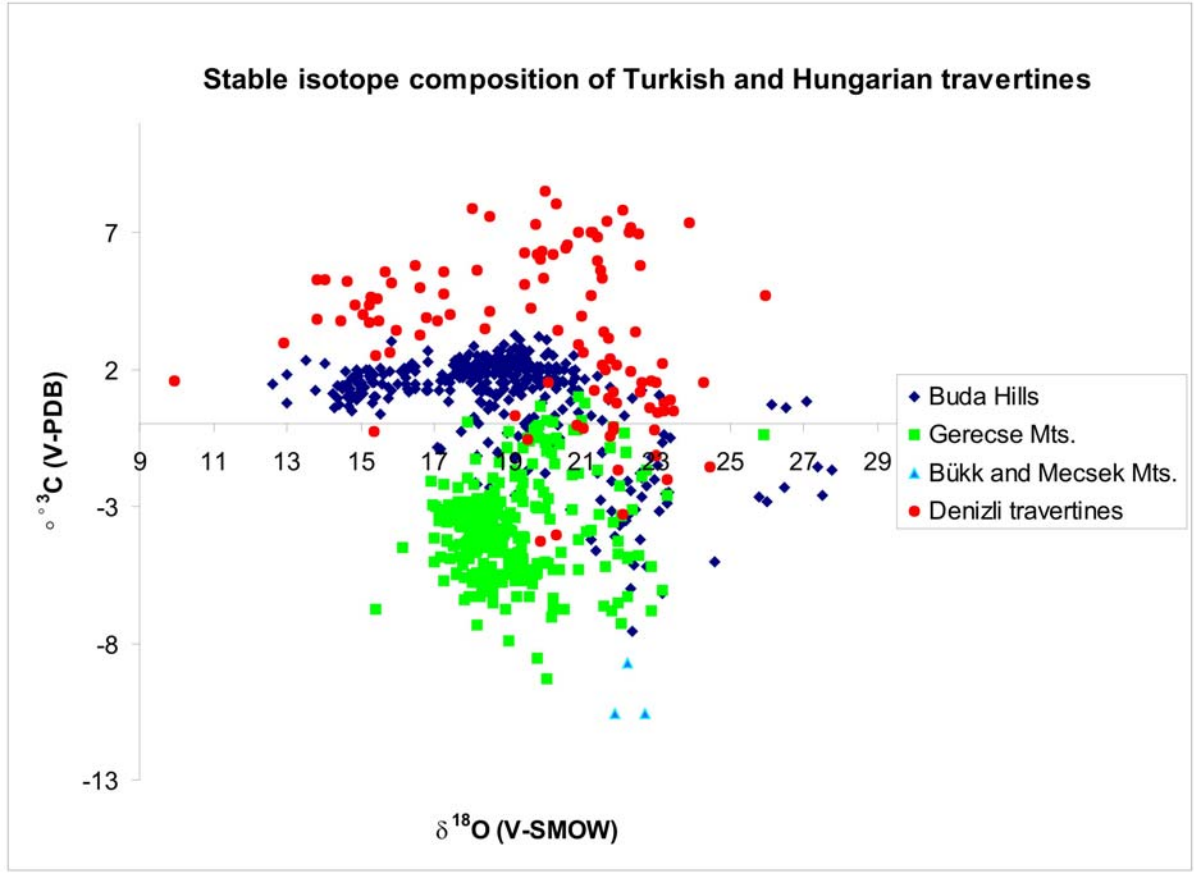
Travertenlerin duraylı izotop bileşimleri tektonizma, CO_2 kaynağı, anakaya türü, karstik hazne kaya, yerel iklim koşulları gibi pekçok faktöre bağlıdır ve bir yerden bir yere farklılık gösterebilir. Bu özellik duraylı izotop jeokimyasının, Denizli havzası ile Macaristan travertenleri arasında ve paleoklimatolojik ve paleoortamsal farklılıkların belirlenmesinde bir araç olarak kullanılabilmesini gösterir. Yine benzer şekilde, Denizli Havzası'nın KB ve GD kesimleri arasındaki ortamsal farklılıkların ortaya konmasında iyi bir araç olabileceği anlaşılmıştır (Fig. 6). Havzanın KKB'sında açılma çatlakları ve faylara bağlı olarak ortaya çıkmış Yenice, Kamara hamamı ve Akköy yakınlarındaki sırt tipi travertenler ile Pamukkale'deki diğer güncel teraslı yamaç çökelileri ve Gölemezli sahasındaki fosil travertenler ayrı bir grup (KD-grubu) oluşturur. Bu grup karakteristik olarak havzanın GD kesimine kıyasla daha yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine ($-2,0\text{‰} < \delta^{13}\text{C} < 12\text{‰}$, V-PDB) sahiptirler. Havzanın DGD'sunda yer alan sahaların (Ballık sahasında Kaklık

Mağarası ve Kömürcüoğlu traverten ocağı, Kelkaya (Aşağıdağdere) ile Honaz sahasının Değirmenler, Kayaaltı, Karateke ve Ovacık alt sahaları) traverten ve tufalarından elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, Antalya tufalarından elde edilen $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine (-5 ile +3) benzer. Ancak, sadece izotop değerleri açısından gözlenen bu benzerlik, ana ve iz element jeokimyası v.b. çalışmalarla test edilmelidir.

En yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerleri (‰ 11-12), Pamukkale Jandarma kaynağı önündeki 400 m uzunluğundaki yamaç tabanından alınan güncel traverten örneğinde ölçülmüştür. Yamaç tabanında $\delta^{13}\text{C}$ değerinin yüksek çıkması, yamaç boyunca meydana gelen CO_2 kaçıışı ile ilgili olduğu düşünülmektedir (KELE vd., 2008a,b).

Denizli havzasının KB'sındaki traverten sahaları, ‰12 ile ‰ 24 (V-SMOW) arasında değişen geniş bir $\delta^{18}\text{O}$ dağılımı gösterir, ancak belirgin şekilde ‰ 22'den daha düşüktür. Bu travertenler fay ve açılma çatlaklarından yükselen, yüksek-orta sıcaklıktaki suların oluşmuştur. Havzanın GD'da traverten ve tufalar (meteojen çökeller) yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine (‰ 19-24, V-SMOW) sahiptir. Bu yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerleri muhtemelen karstik orijinli düşük sıcaklıktaki suları işaret eder.

Şekil 45, çalışılan Türk ve Macar travertenlerinin duraylı izotop bileşimlerini göstermektedir. Denizli travertenlerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri, belirgin bir şekilde Macar travertenlerinin değerlerinden daha yüksektir. Bu farklılığın, CO_2 'nin değişik kaynaklardan gelmiş olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Denizli travertenlerinin KD grubu en yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine sahiptir. Buna karşılık havzanın GD'sunda yer alan traverten grubunun duraylı izotop değerleri, Macar travertenlerinde ölçülen değerlerle örtüşür (Şekil 6). KD-grubunun nispeten yüksek değerleri, Pentecost (2005) tarafından tanımlanan "termojen traverten"lerin özelliklerini yansıtır. Termojen travertenler genellikle ‰ -1 ile +10 arasında $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine sahiptir ve CO_2 'nin kaynağı çoğunlukla kireçtaşlarının dekarbonasyonu (Turi 1986) ve mağmadan olan gaz kaçışları (Yoshimura vd. 2004) vb. süreçlerdir. He ve C izotop analizlerine göre, Pamukkale sahasında kaynak sularındaki yüksek basınçlı CO_2 büyük oranda magma kökenlidir (Gülec vd., 2002, 2005). Uysal vd. (2007)'de Pamukkale jeotermal alanında traverten sırtlarının bantlı travertenlerinde oldukça pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri (‰+4.7 ve 5.8 V-PDB) ölçülmüştür. Uysal vd. (2009)'a göre, ağır karbon izotop bileşimleri, jeotermal sudan hızlı CO_2 kaçıışı sırasında dengede olmayan gaz transfer izotop paylaşımını işaret eder.



Şekil 45. Denizli havzası ve bazı Macar traverten sahalarının duraylı izotop dağılımları.

Sadece bantlı travertenlerde değil, çok sayıda değişik tipte traverten örneğinde yaptığımız duraylı izotop analizlerine göre, Denizli havzasının KB kesimine ait travertenlerin pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri (Şekil 45) ana kayanın (Triyas-Jura mermerleri ve Miyo-Pliyosen göl sel kireçtaşları) termometamorfik dekarbonasyonu ve denizel karbonat kayaçların çözünmesi sonucu açığa çıkmış ağır CO_2 den (^{13}C izotopu açısından zengin) türemiş olmalıdır. Traverten sırtlarının bantlı travertenlerinde, Uysal vd. (2009) tarafından belirtilen dengede olmayan izotop paylaşımı, pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri için geçerli bir açıklama olabilirdi.

10.2.3. Pamukkale ve Egerszalók'ta dengesizlik koşullarındaki traverten çökmesi

Pamukkale ve Egerszalók aktif traverten sahalarının jeokimyasal özelliklerinin karşılaştırılması, paleosıcaklık hesaplamalarında da önemli olan pek çok genel sonuca ulaşılmasını sağlamıştır. Bu iki sıcak su traverten depolanma sistemi köken olarak birbirine benzer ve farklı sıcaklık aralıklarında (Pamukkale'de 35–13 °C, Egerszalók'ta 67- 41 °C), yüzey şartlarında depolanmış kalsit ve su arasındaki duraylı karbon ve oksijen izotop paylaşımlarını incelemek için iyi bir fırsat sunarlar. Gerek Pamukkale'de ve gerekse

Egerszalók'ta, traverten ve birlikte bulunan sıcak sular kaynaklardan itibaren yamaç aşağı birer hat boyunca akış yönünde örneklenmişlerdir. Pamukkale Jandarma kaynağı önündeki yamaçta güncel travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, V-PDB cinsinden ‰ 6,1'den ‰ 11,7 'ye, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri V-SMOW cinsinden ‰ 19,9'dan ‰ 21,5'a değişir. Benzer şekilde Egerszalók'ta da $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotoplarının en düşük değerleri kuyu ağzında ölçülmüştür.

10.3. Traverten çökeli mi iklim ilişkisi

Traverten, tufa ve speleotem gibi karasal karbonatlardan Kuvaterner dönemine ilişkin iklimsel ve ortamsal değerlendirmeler yapmak, son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir (ANDREWS, 2006). Bu tür çökellerden, zaman içindeki palinolojik, duraylı izotopik ve iz element değişimlere göre, uzun ve ayrıntılı eski iklim kayıtları çıkartılabilmektedir (BAR-MATTHEWS vd., 1997; VERMORE vd., 1999; HORVATINČIĆ vd., 2000; IHLENFELD vd., 2003; MİNİSSALE vd., 2002; FLEİTMANN vd., 2004; GARNETT vd., 2004; MCDERMOTT, 2004; UYSAL vd., 2009).

Traverten, tektonik bakımdan aktif bölgelerde hidrotermal kökenli kaynak sularından depolanır (CHAFETZ ve Folk, 1984; ALTUNEL, 1996; GUO ve Riding, 1998; ÖZKUL vd., 2002). Buna karşılık, düşük magnezyumlu bir kalsiyum karbonat olan tufa, günlük sıcaklık koşulları altında, sığ dolaşımli karstik suların boşalımı ve birlikte meydana gelen fizikokimyasal ve biyolojik süreçler sonucu çökeler (PEDLEY vd., 2003; LOJEN vd., 2004; PEDLEY, 2008; ÖZKUL vd., 2009). Bu çökeller (traverten ve tufa), oluştukları dönemlerin ve bölgelerin eski iklim ve ortam kayıtlarını içlerinde barındırırlar. Şimdiye kadar yapılan eski iklim araştırmalarında, tufalar (meteojen traverten; PENTECOST, 2005), travertenlere göre daha çok tercih edilmiştir (ANDREWS vd.,1997; GARNETT vd., 2004; ANDREWS, 2006).

Pamukkale'de açılma çatlaklarını dolduran bantlı travertenlerden , yaşları 20-25 bin yıl arasında olanların küresel iklim değişimleri açısından kurak/soğuk bir periyoda rastladıkları, bu nedenle, göreceli olarak daha yağışlı ve nemli olan buzullararası

dönemlerle ilişkili olmadıkları öne sürülmüştür (UYSAL vd., 2009). Buna karşılık Roma'nın 20 km kadar doğusunda yer alan Tivoli'de yer alan travertenlerin gelişimi ile iklim belirteçleri arasında yapılan kronolojik karşılaştırmalar göstermiştir ki, traverten depolanması az çok iklim koşullarından etkilenmiştir (MINISSALE vd., 2002; FACCENNA vd., 2008).

Buna karşılık Orta İtalya'nın Serre di Rapolano ve Tivoli sahalarında Pleistosen yaşlı travertenlerin duraylı izotop bileşimleri ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$) ve palinolojik profilleri üzerinde sürdürülen paralel çalışmalar, yaklaşık son 120.000 yılda meydana gelen iklim değişimlerini anlamamızı sağlamıştır. Hassas yaşlandırılmış traverten istiflerinde, pollen analizleri ve izotop değişimleri birlikte değerlendirildiğinde, daha doyurucu sonuçlara ulaşılabileceği vurgulanmıştır (BERTINI vd., 2008). Diğer küresel temsilcilerle birlikte (ör. buzul karotları, foraminifer v.b.) polen ve izotoplarda gözlenen ortamsal değişimler ve aralarındaki uyum, travertenlerin Geç Kuvaterner iklimlerini incelemeye kullanılabileceğini göstermiştir. Bu durum, Orta İtalya'da yaşları bilinen travertenlerin çoğunun buzullar arası dönemlerde kümelenmesi ile uyumludur. Çünkü 1) Traverten depolanması yağış miktarına bağlıdır, 2) Buzul dönemlerinde okyanus ve karstik dolaşım seviyeleri düşmektedir (BERTINI vd., 2008).

İsrail'deki Soreq Mağarası spelotemleri üzerinde yapılan petrografik, duraylı izotopik ve yaşlandırma çalışmalarına göre son 25.000 boyunca doğu Akdeniz paleoiklimleri yeniden inşa edilmiştir (BAR-MATTHEWS vd., 1997). Yazarlara göre Doğu Akdeniz'in doğu kıyıları, 25.000 öncesinden 17.000 öncesine kadar olan sürede, bugünkünden yaklaşık 6°C daha düşük hava sıcaklıkları ile karakterize edilmiştir ve yıllık yağış günümüzden %20–50 daha düşüktü. Jerusalem'de ve Köyceğiz'de (Sandıras Dağı'nın 15 km güneybatısı) yıllık ortalama sıcaklıklar sırasıyla 17.0 ve 18.3 °C'dir (SARIKAYA vd., 2008)

Her ne kadar her iki bölgenin yağış oranları farklı ise de (İsrail kıyıları güneybatı kıyılarına göre daha kuraktır), mevsimlik değişimler benzerdir (STEVENS vd., 2001). Jerusalem'de yağışın %67'si kışın Aralık'tan Şubat'a kadar olup, bu oran Köyceğiz'de %57 oranında karşılır. Üstelik bu iki bölge için yağış kaynağı Akdeniz'dir (STEVENS vd., 2001). VAKS vd. (2006) kuzey Negev çölündeki mağaraların spelotemlerinde $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop ölçümleri yapmışlar ve son 200.000 yıl boyunca kuzey Negev bölgesinde yağışların

kaynağının Doğu Akdeniz olduğunu belirtmişlerdir. Zira günümüzde Soreq Mağarası'nın bulunduğu bölge güneybatı Türkiye'dekine benzer bir iklime sahiptir.

Geç Buzul Dönemi (*Last Glacial Maximum, LGM*) sırasında, Anadolu'nun kıyı kesimleri ile iç kesimlerindeki nemlilik düzeylerine ilişkin bir fikir birliği yoktur (SARIKAYA vd., 2008). Bazı araştırmacılar Geç Buzul Dönemi'ni daha kuru bir dönem olarak düşünürlerken (ROBINSON vd., 2006; JONES vd., 2007)), diğer bir grup araştırmacı tam tersini düşünür (GVIRTZMAN ve WIEDER, 2001; MUDIE vd., 2002; HUGHES vd., 2006). Bundan başka, paleoyağış değerleri bölgeden bölgeye, örneğin kıyı alanlarından iç kesimlere doğru değişir (JONES vd., 2007), dolayısı ile yerel iklim faktörleri önemli bir rol oynamaktadır.

UYSAL vd. (2009) Denizli havzası'na ilişkin iklim yorumları yaparken, küresel ya da kıtasal kabullerden yola çıkarak, günümüzden önce 20.000 ile 25.000 bin yıl arasında çökelen bantlı travertenlerin kurak/soğuk bir periyoda karşılık geldiklerini belirtmiş, ancak yerel iklim farklılıklarını ve Anadolu'da yapılan diğer iklim çalışmalarını yeteri kadar tartışmamıştır.

10. SONUÇLAR

1) Denizli Havzası travertenleri mineralojik olarak çoğunlukla kalsit bileşimlidir. Ancak bazı düşey bantlı ve pizolitik traverten örnekleri değişik oranlarda aragonit içerir. Aragonit oranı yüksek travertenler daha sıcak sulardan çökelmiştir.

2) Sr elementi, en fazla mineralojik olarak aragonit bileşimli örneklerde gözlenmiştir. Aragonit bileşimli travertenler göreceli olarak daha yüksek sıcaklık koşullarında depolanmışlardır.

3) Havzanın KD'sunda yer alan travertenler daha yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine ($-2,0\text{‰} < \delta^{13}\text{C} < 12\text{‰}$, V-PDB) sahiptirler. En yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerleri (‰ 11-12), Pamukkale Jandarma kaynağı önündeki yamaçta ölçülmüştür. $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin yüksek olması, yamaç boyunca meydana gelen CO_2 kaçıışı ve buharlaşma nedeniyle olmalıdır.

4) $\delta^{18}\text{O}$ değerleri, havzasının KB'sındaki traverten sahalarında, ‰ 12 ile ‰ 24 (V-SMOW) arasında değişen geniş bir dağılım sunar, ancak belirgin şekilde ‰ 22'den daha düşüktür. GD'da bulunan sahalarda traverten ve tufalar yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine (‰ 19-24, V-SMOW) sahiptir. Bu yüksek $\delta^{18}\text{O}$ değerleri muhtemelen karstik kökenli ve düşük sıcaklıktaki suları işaret eder.

5) Türk ve Macar travertenlerinin duraylı izotop bileşimlerine bakıldığında, Denizli travertenlerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri, belirgin bir şekilde Macar travertenlerinin değerlerinden daha yüksektir. Bu farklılığın, CO_2 'nin değişik kaynaklardan gelmiş olmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Denizli travertenlerinin KD grubu en yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine sahiptir. Buna karşılık Denizli Havzası'nın GD'sunda yer alan travertenlerin duraylı izotop değerleri, Macar travertenlerinde ölçülen değerlerle örtüşmektedir.

6) Bu çalışma sırasında bazı yeni U-serisi yaş bulguları elde edilmiştir: Buna göre, Gölemezli'de 611.230, Çukurbağ'da 25.321, Akköy sırtında 18.188 ile 252.828 ve

Kelkaya'da 2291 yıllık yeni yaş bulguları elde edilmiştir. Günümüzden 21.000 ile 25.000 yıl önceki bir zaman diliminde oluşmuş travertenler, kuzey yarıküredeki soğuk/ kuru bir iklime rastlansa da, tüm travertenlerin benzer iklim koşullarında oluştukları söylenemez.

7) Denizli travertenlerinde bundan sonra yapılacak çalışmalarda havzanın tamamı yerine, farklı sahalarda daha ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır. Geç Pleistosen-Holosen zaman aralıkları için iklim ve ortamla ilgili değerlendirmelerde bulunmak için alınacak sistematik örneklerden daha sık aralıklarla duraylı izotop analizleri ve yaşlandırmalar yapılmalıdır. Yaşlandırmada U-serisi yaş aralığında kalan sahalara öncelik verilmelidir. İklim çalışmalarında polen analizlerine de yer verilmesi yararlı olacaktır. Ayrıca iklim amaçlı değerlendirmelerde spelotem çalışmalarının sonuçları da dikkate alınmalıdır. Mümkün olan durumlarda traverten, tufa ve spelotemler birlikte çalışılmalıdır.

12. KATKI BELİRTME

Bu proje, ikili bilimsel işbirliği anlaşması çerçevesinde Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK, Proje No: 106 Y 207) ve Macar Bilimler Akademisi (NTKH, Proje No: TR-10/2006) tarafından sağlanan desteklerle gerçekleştirilmiştir. Az sayıda traverten örneklerinin U-Th yaşlandırmaları National Taiwan Üniversitesi Yerbilimleri Bölümü'den Chuan-Chou (River) SHEN tarafından yapılmıştır. Çalışmaların her aşamasında yer alan Mehmet Oruç Baykara'ya ve XRD analizlerini büyük bir titizlik içinde yapan Macar Bilimler Akademisi Jeokimya Araştırma Enstitüsü'nden Nemet Tibor'a teşekkür ederiz.

13. KAYNAKLAR

- ALÇIÇEK, H., Sedimentological Investigations of Neogene Deposits of the Denizli Basin (Buldan-Sarayköy Area, SW Turkey). Unpubl. Ph. D. Thesis, Ankara University, pp. 304. (2007).
- ALÇIÇEK, H., Varol, B. and Özkul, M., 2005. Pisolith formation in self-built channel travertine, Pamukkale, Denizli, Western Turkey. Proceedings of 1st International Symposium on Travertine (Eds. M. Özkul, S. Yağız and B. Jones), Sedimentology session, p. 120–127, 21-25 Sept. 2005, Denizli, Türkiye.
- ALÇIÇEK, H., Varol, B., Özkul, M., Sedimentary facies, depositional environments and palaeogeographic evolution of the Neogene Denizli Basin of SW Anatolia, Turkey. *Sedimentary Geology* 202, 596–637, (2007).
- ALÇIÇEK, M.C., Ten Veen, J.H. 2008. The late Early Miocene Acıpayam piggy back-basin: refining the last stages of Lycian nappe emplacement in SW Turkey. *Sedimentary Geology* 208, 101–113. (2008).
- ALTUNEL, E., Active tectonics and the evolution of Quaternary travertines at Pamukkale, Western Turkey. University of Bristol, (Doktora Tezi), (1994), 236 sy.
- ALTUNEL, E., Pamukkale travertenlerinin morfolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik önemleri. *MTA Dergisi* 118, 47–64, (1996).
- ALTUNEL, E., Hierapolis ve Yakın Çevresinde Tarihsel Deprem Aktivitesi, (Editörler: Francesco D’Andria e Francesca Silvestrelli.), *Ricerche Archeologiche Nella Valle Del Lykos - Lykos Vadisi Türk Arkeoloji Araştırmaları*, Università Di Lecce, Scuola Di Specializzazione in Archeologia Classica e Medioevale, Congedo Editore, 299-314 (İtalyancası), 315-325 (Türkçesi), (2000).
- ALTUNEL, E., Hancock, P.L., Morphology and structural setting of Quaternary travertines at Pamukkale, Turkey, *Geological Journal*, 28, 335-46, (1993a).
- ALTUNEL, E., Hancock, P.L., Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey, *Z.Geomorph. N.E.*, 285-302, (1993b).
- ALTUNEL, E., ve Barka, A., Hierapolis’teki arkeosismik hasarların değerlendirilmesi. *TJK Bülteni* 39, 65 – 74, (1996).
- ALTUNEL, E., Active Tectonics and the Evolution of Quaternary Travertines at Pamukkale, Western Turkey, PhD thesis, University of Bristol, 236p, (1994).
- ALTUNEL, E., Hancock, P.L., Morphology and structural setting of Quaternary Travertines at Pamukkale, Turkey. *Geological Journal*, 28, 335 – 346, (1993a).

- ALTUNEL, E., Hancock, P.L., Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey, *Z. Geomorph. N. E.* 285 – 302, (1993b).
- ALTUNEL, E., Hancock, P.L., Structural attributes of travertine - filled extensional fissures in the Pamukkale plateau, western Turkey, *Int. Geology Review*, 38, 768 – 777, (1996).
- ALTUNEL, E., HANCOCK, P.L., Faulted Archaeological Relics at Hierapolis (Pamukkale), Turkey. *J. Geodynamics*, 24, 1–4, 21–36, (1997).
- ALTUNEL, E., Karabacak, V., Determination of horizontal extension from fissure-ridge travertines: a case study from the Denizli Basin, southwestern Turkey, *Geodin. Acta* 18, 333–342, (2005).
- ANDREWS, J. E., Paleoclimatic record from stable isotopes in riverine tufas: Synthesis and review. *Earth-Science Review*, 75, 85–104, (2006).
- ANDREWS, J.E., Riding, R. and 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.
- ARENAS, C., Gutierrez, F., Osácar, C. Sancho, C., Sedimentology and geochemistry of fluvio-lacustrine tufa deposits controlled by evaporate solution subsidence in the central Ebro Depression, NE Spain. *Sedimentology*, 47, 883-909, (2000).
- BABIDORICS, J., Fórizs, I., Papp, S., Isotope hydrogeological study of the thermal karst system in the Buda Mountains, Hungary. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, 45 (1-2): 8-12, (1998).
- BAR-MATTHEWS, M., Ayalon, A., Kaufman, A., Late Quaternary paleoclimate in the Eastern Mediterranean region from stable isotope analysis of speleothems at Soreq Cave, Israel. *Quaternary Research* 47, 155–168, (1997).
- BERTINI, A., Minissale, A., Ricci, M., Use of Quaternary travertine of central-southern Italy as archives of paleoclimate, paleohydrology and neotectonic, *II Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences*, 21(1B), 99-112, (2008).
- DEÁK, J., Radiocarbon dating of the thermal waters in the Budapest area. *Zentralinstitut für Isotopen, Leipzig, Mitteilungen Nr. 30.*, pp. 257-266, (1980).
- BOZKURT, E., Neotectonic of Turkey a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14, 3-30, (2001).
- BROGI, A., Faults linkage, damage rocks and hydrothermal fluid circulation: tectonic interpretation of the Rapolano Terme travertines (southern Tuscany, Italy) in the context of Northern Apennines Neogene–Quaternary extension. *Eclogae Geol. Helv.* 97, 307–320, (2004).
- BROGI, A., Capezzuoli, E., Travertine deposition and faulting: the fault-related travertine fissure ridge at Terme S. Giovanni, Rapolano Terme (Italy). *Int. J. Earth Sci.* doi:10.1007/s00531–007–0290-z, (baskıda).

- BOZKURT, E. and Oberhänsli, R. 2001. Menderes masif (Western Turkey): structural, metamorphic and magmatic evolution – a synthesis. *International Earth Sciences*, **89**, 679-708.
- BOZKUŞ, C., Kumsar, H., Özkul, Hançer, M., Seismicity of Active Honaz fault under an extensional tectonic regime. In Dora, O. Özgenç, İ. and Sözbilir, H. (eds), *International Earth Science Colloquium on the Aegean Region*, Dokuz Eylül Univ., Dept. of. Geology, İzmir-Turkey. Proceedings, p. 7-16, (2000).
- CANİK, B., Denizli - Pamukkale sıcak su kaynaklarının sorunları. *Jeoloji Mühendisliği Derg.*, 5, 29 -33, (1978).
- ÇAKIR, Z., Along - Strike Discontinuity of Active Normal Faults and Its Influence on Quaternary Travertine Deposition: Examples From Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 8, 67 – 80, (1999).
- CHAFETZ, H.S., Folk, R.L., Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 289–316, (1984).
- COLLINS, A., Robertson, A.H.F., Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episodic thrust-sheet translations in the Lycian Taurides, SW Turkey, *J. Geol. Soc. London*, 155, 759-772, (1998).
- COLLINS, A., Robertson A.H.F., Kinematic evidence for Late Mesozoic-Miocene emplacement of the Lycian Allochthon over the Western Anatolide Belt, SW Turkey. *Geological Journal*, 38, 295-310, (2003).
- DOBOS, A., Pelyhe, T., Murányi, Z., Antal, P., A Maklányi-völgy geomorfológiai térképezése, az Egerszalóki hőforrás természeti értékei (Geomorphological mapping of the Maklány-Valley and natural value of the Egerszalók thermal well). In: Dobos, A., Illyés, Z. (Eds.), *Földtani és felszínalaktani értékek védelme (Protection of geological and geomorphological values)*, EKF Department of Geography, Department of Environmental Sciences, Eger, Hungary. 382 pp., (2005).
- FORD, T.D. ve Pedley, H.M., A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth Science Reviews*, 41, 117-175, (1996).
- EKMEKÇİ, M., Günay, G., Şimşek, Ş., Morphology of rimstone pools, Pamukkale, western Turkey: *Cave Karst Sci.*, 22, 103-106, (1995).
- ERCAN, T., Dinçel, A.S., Günay, E., Türkecan, A., Uşak yöresinin jeolojisi ve volkanitlerinin petrolojisi, MTA Rapor no: 6354, Ankara, (1977).
- ERDOĞAN, B. and Güngör, T. 2004. The problem of the core-cover 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.
- ERTEN, H., Sen, S. Özkul, M., Pleistocene mammals from travertine deposits of the Denizli basin (SW Turkey). *Annales de Paléontologie*, 91, 3, 267-278, (2005).

- EŞDER, T., Yilmazer, S., Pamukkale jeotermal kaynakları ve travertenlerin oluşumu: (Editör: N. Özer) Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Dergisi, Özel sayı. (1991).
- FACCENNA, C., Soligo, M., Bili, A., De Filippis, L., Funicello, R., Rossetti, C., Tuccimei, P., Late Pleistocene depositional cycles of the Lapis Tiburtinus travertine (Tivoli, Central Italy): Possible influence of climate and fault activity. *Global and Planetary Change*, 63, 299–308, (2008).
- FLECKER, R., Poisson A., Robertson A.H.F., Facies and palaeogeographic evidence for the Miocene evolution of the Isparta Angle in its regional Eastern Mediterranean context, *Sedimentary Geology*, 173, , 277-314, (2005).
- FLEITMANN, D., Badertscher, S., Göktürk, O.M., Pickering, R., Cheng, H., Edwards, R.L., Tüysüz, O., Kramers, J., 2008. A 50,000-year high-resolution stalagmite record from Northern Turkey. *Geophysical Research Abstracts* 10 EGU2008-A-05618.
- GARNETT, E.A., Andrews, J.E., Preece, R.C. and Dennis, P.F., Climatic change recorded by stable isotopes and trace elements in a British Holocene tufa. *Journal of Quaternary Science*, 19, 251–262, (2004).
- GÖKGÖZ, A., Pamukkale - Karahayıt - Gölemezli Hidrotermal Karstının Hidrojeolojisi: Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bil. Enst. 263s., Isparta, (1994).
- GÖKGÖZ, A. Filiz, Ş., Pamukkale – Karahayıt dolayındaki sıcak ve mineralli sularla travertenleri kirleten etkilerin değerlendirilmesi ve bunların önlenmesi: *Yerbilimleri (Geosound)*, 32, 29–43, (1998).
- GVIRTZMAN, G., Wieder, M., Climate of the last 53,000 years in the Eastern Mediterranean based on soil-sequence stratigraphy in the coastal plain of Israel. *Quaternary Science Reviews*, 20, 1827–1849, (2001).
- GUO, L., Riding, R., Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene Rapolano Terme, Italy; *Sedimentology*, 45, 163-180, (1998).
- GÜLEÇ, N., Hilton, D.R., Mutlu, H., 2002. Helium isotope variations in Turkey: relationship to tectonics, volcanism and recent seismic activities. *Chem. Geol.*, 187, pp. 129–142.
- GÜLEÇ, N., Hilton, D.R., De Leew, G.A.M., Mutlu, H., Süer, S., Çifter, C. Isotope composition of geothermal fluids along the North Anatolian Fault zone: Spatial and temporal variations in relation to seismic activities, *World Geothermal Congress, Antalya, Turkey*, (2005).
- GÜNDOĞAN, İ., Helvacı C., Sözbilir H., 2008. Gypsiferous carbonates at Honaz Dağı (Denizli): First documentation of Triassic gypsum in western Turkey and its tectonic significance. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32, 49–65.
- HANCOCK, P.L., Chalmers, R.M.L., Altunel, E., Çakır, Z., Travertines: using travertines in active fault studies. *Journal of Structural Geology*, 21 903-916, (1999).

- HAYWARD, A.B., Sedimentation and basin formation related to ophiolite emplacement, Miocene, SW Turkey, *Sedimentary Geology*, 40, 105-129, (1984).
- HORVÁTH, J., Fánctzi, A., Scheuer, Gy. Az Egerszalóki De.42 és a De.42/a jelű hévízkutak vízföldtani és vízkémiai vizsgálata (Hydrogeological and hydrogeochemical study of the De.42 and De.42/a thermal wells of Egerszalók). *Hidrol. Táj.* 26–28, (1990).
- HORVATINČIĆ, N., Čalić, R., Geyh, M., Interglacial growth of tufa in Croatia. *Quaternary Research*, 53, 185-195, (2000).
- HORVATINČIĆ, N., Bronić I.K., Obelić, B., Differences in the C-14 age, delta C-13 and delta O-18 of Holocene tufa and speleothem in the Dinaric Karst. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 193,1, 139-157, (2003).
- HORVATINČIĆ, N., Özkul, M., Gökgöz, A., Barešić, J., Isotopic and geochemical investigation of tufa in Denizli province, Turkey. In: Özkul, M., Yağız, S. and Jones, B. (eds), *Proceedings of International Symposium on Travertine, sedimentology session*, 21-25 September, Denizli, Türkiye, 162-170, (2005).
- HUGHES, P.D., Woodward, J.C., Gibbard, P.L., Late Pleistocene glaciers and climate in the Mediterranean. *Global and Planetary Change* 50 (1–2), 83–98, (2006).
- IHLENFELD, C., Norman, M.D., Gagan, M.K., Drysdale, R.N., Maas, R. and Webb, J.A., Climatic significance of seasonal trace element and stable isotope variations in a modern freshwater tufa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, 2341–2357, (2003).
- JACKSON, J. A., Active tectonics of the Aegean region, *Annu Rev. Earth and Planet Sciences* 22, 239–271, (1994).
- JONES, M.D., Roberts, N.C., Leng, M.J., Quantifying climatic change through the last glacial-interglacial transition based on lake isotope paleohydrology from central Turkey. *Quaternary Research*, 67, 463–473., (2007).
- JONES, B. Renaut, R.W., Cyclic development of large, complex, calcite dendrite crystals in the Clinton travertine, Interior British Columbia, Canada. *Sedimentary Geology*, 203, 17–35, (2008).
- KAPPELMAN, J. Alçiçek, M.C., Kazancı, N., Schultz, M., Özkul, M., Şen, Ş., Brief Communication: First *Homo erectus* from Turkey and implications for migrations into temperate Eurasia. *American Journal of Physical Anthropology*, 135, 110–116, (2008).
- KAYMAKÇI, N., Kinematic development and paleostress analysis of the Denizli Basin (Western Turkish): implications of spatial variation of relative paleostress magnitudes and orientations, *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 207-22, (2006).
- KELE, S., Orlando, V., Szabó, C., Minissale, A., Stable isotope geochemistry of Pleistocene travertine from Budakalász (Buda Mts., Hungary). *Acta Geologica Hungarica*, 46, 2, 161–175, (2003).

- KELE, S., Korpás, L., Demény, A., Kovács-Pálffy, P., Bajnóczi, B., Medzihradzky, Zs., .
Paleoenvironmental evaluation of the Tata Travertine Complex (Hungary), based on
stable isotopic and petrographic studies. *Acta Geologica Hungarica*, 49,1, 1-31, (2006).
- KELE, S., Édesvízi mészkövek vizsgálata a Kárpát-medencéből: paleoklimatológiai és
szedimentológiai vizsgálatok (Study of freshwater limestones from the Carpathian basin:
paleoclimatological and sedimentological implications). Ph.D. thesis, Eötvös University,
Budapest (in Hungarian), (2009).
- KELE, S., Demény, A., Siklósy, Z., Németh, T., Mária, T.B., Kovács, M., Chemical and
stable isotope compositions of recent hot-water travertines and associated thermal waters,
from Egerszalók, Hungary: depositional facies and non-equilibrium fractionations.
Sedimentary Geology, 211, 53-72, (2008b).
- KELE, S., Demény, A., Özkul, M., Gökgöz, A., Alçiçek, M.C., Siklósy, Z., Fórizs, I.,
Non-equilibrium fractionations during travertine deposition, or a new equilibrium line ?
European Geosciences Union, General Assembly, Vienna, 13-18 April, (2008a).
- KELE, S, Demény A., Özkul, M., Gökgöz, A., Alçiçek, M.C., Siklósy, Z., Fórizs, I.,. Non-
equilibrium fractionations during travertine deposition, or a new equilibrium line? –
European Geosciences Union, General Assembly, Vienna, 13-18 April, (poster
presentation), (2008).
- KOÇYIĞIT, A., Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişimi.
TJK Bülteni 27, 1 – 16, (1984).
- KOÇYIĞIT, A., Yusufoglu, H., Bozkurt, E., Evidence from the Gediz graben for episodic
two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society*, London 156,
605–16, (1999).
- KOÇYIĞIT, A., The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western
Anatolian continental extension: basin-fill, structure, deformational mode, throw amount
and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18 (3/4), 167-208,
(2005).
- KONAK, N., Akdeniz, N., ve Çakır, M. H., Çal-Çivril-Karahallı dolaylarının jeolojisi,
M.T.A. Derleme No. 8945, Ankara, (1990).
- KORPÁS, L., P. Kovács-Pálffy, M. Lantos, M. Földvári, L. Kordos, E. Krolopp, D.
Stüben, Zs. Berner. Sedimentology, geochemistry, chronology and palaeokarst evolution
of Quaternary thermal lacustrine travertine. An integrated case study from Vár-hegy,
Budapest, Hungary. – *Földtani Közlöny*, 134/4; pp. 541–562, (2004).
- LOJEN, S., Dolenc, T., Vokal, B., Cukrov, N., Mihelčić, G. and Papesch, W., C and O
stable isotope variability in recent freshwater carbonates (River Krka, Croatia).
Sedimentology, 51, 361-375, (2004).
- MCDERMOTT, F., Palaeo-climate reconstruction from stable isotope variations in
speleothems: a review. *Quaternary Science Reviews* 23, 901–918, (2004).

- MCKENZIE, D. P., Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 55, 217-254, (1978).
- MÖLLER, P., Dulski, P., Savascin, Y., Conrad, M., Rare earth elements, yttrium and Pb isotope ratios in thermal spring and well waters of West Anatolia, Turkey: a hydrochemical study of their origin, *Chem. Geol.* 206, 97–118, (2004).
- M.T.A., 1/500 000 ölçekli jeoloji haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1964.
- M.T.A., Türkiye Jeotermal Envanteri, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 2005.
- MUDIE, P.J., Rochon, A., Aksu, A.E., Pollen stratigraphy of Late Quaternary cores from Marmara Sea: land-sea correlation and paleoclimatic history. *Marine Geology*, 190, 233–260, (2002).
- OKAY, İ. A., Denizli'nin güneyinde Menderes masifi ve Likya naplarının jeolojisi. *MTA Dergisi*, 109, 45 -58, (1989).
- OKAY, I.A., Tansel, I., Tüysüz, O., Obduction, subduction and collision as reflected in the Upper Cretaceous-Lower Tertiary sedimentary record of western Turkey. *Geological Magazine*, 138, 117–142, (2001).
- ÖZGUR, N., Geochemical signature of the Kizildere geothermal field, western Anatolia, Turkey, *Int. Geol. Rev.* 44, 153–163, (2002).
- ÖZKUL, M., Alçiçek, M.C., Denizli Travertenleri'nin Jeolojik-Sedimentolojik İncelenmesi. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu. Yer, Deniz ve Atmosfer Bilimleri Araştırma Grubu, Proje No. YDABÇAG-198Y100, 78p., (2002).
- ÖZKUL, M., Varol, B., Alçiçek, M.C., Denizli travertenlerinin petrografik özellikleri ve depolanma ortamları, *MTA Derg.*, 125, 13-29, (2002a).
- ÖZKUL, M., Varol, B., Alçiçek, M.C., Depositional environments and Petrography of Denizli Travertines, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 125, 13-29, IV Plates, (2002b).
- ÖZKUL, M., Engin, B., Alçiçek, M.C., Koralay, T., Demirtaş, H., Thermoluminescence dating of Quaternary hot spring travertines and some implications on graben evolution, Denizli, Western Turkey. 32nd International Geological Congress, August 20-28, 2004, Florence, Italy, (2004).
- ÖZKUL, M., Travertine Deposits of Denizli Extensional Basin in Western Turkey: A General Review. *Proceedings of 1st International Symposium on Travertine* (Eds. M. Özkul, S. Yağız and B. Jones), Sedimentology session, p. 18-24, 21-25 Sept. 2005, Denizli, Türkiye, (2005).
- ÖZKUL, M., Yağız, S. and Jones, B. (Eds.), 2005, *Proceedings of 1st International Symposium on Travertine*, 21-25 September 2005, Denizli-Türkiye, 420pp.

- ÖZKUL, M., Gökgöz, A., Horvatinčić, N., 2009 (in press). Depositional properties and geochemistry of Holocene perched springline tufa deposits and associated spring waters: A case study from the Denizli province, Western Turkey. In: Pedley, H.M. (ed.) Tufas and Speleothems: Unravelling the Microbial and Physical Controls. The Geological Society of London.
- ÖZKUL, M. Kele, S., Gökgöz, A., Förizs, I. and Alçiçek, M. C., 2009. Geochemical Comparison of Different Travertine Localities in the Denizli Basin, Western Turkey, Abstracts of 62nd Geological Kurultai of Turkey, 13–17 April 2009, MTA-Ankara, Türkiye, p.120-121.
- ÖZLER, H.M, 2000. Hydrogeology and geochemistry in the Curuksu (Denizli) hydrothermal Field, western Turkey. *Environmental Geology*, 39, 10, 1169–1180.
- PATON, S., Active normal faulting, drainage patterns and sedimentation in southwestern Turkey, *Journal of the Geological Society, London* 149, 1031-1044, (1992).
- PEDLEY, H.M., 2008. Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology*, doi: 10.1111/j.1365–3091.2008.01012.
- PEDLEY, H.M., Ordonez, S., Gonzales-Martin, J. A., and Garcia del Cura, M. A., 2003. Sedimentology of Quaternary perched springline and paludal tufas: criteria for recognition, with examples from Guadalajara Province, Spain. *Sedimentology*, 50, 1, 23–44
- PENTACOST, A., 2005, Travertine. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 445 pp.
- PENTECOST, A., Bayari, S. and Yesertener, C., 1997. Phototrophic microorganisms of the Pamukkale Travertine, Turkey: Their distribution and influence on travertine deposition. *Geomicrobiology Jour.*, 14, 269-283.
- POISSON, A., Yagmurlu, F., Bozcu, M., Şentürk, M., New insights on the tectonic setting and evolution around the apex of the Isparta Angle (SW Turkey), *Geological Journal*, 38, 257–282, (2003).
- PRICE, S. P. and SCOTT, B., Fault-block rotations at the edge of a zone of continental extension; southwest Turkey, *Journal of Structural Geology*, Vol. xx, No.xx, 1-12, (1993).
- PRICE, S.P., Scott, B.C., A revised lithostratigraphy of the Burdur Formation, SW Turkey, *Bull. Tech. Univ. İstanbul*, 42, 1–27, (1989).
- ROBINSON, S.A., Black, S., Sellwood, B.W., Valdes, P.J., A review of paleoclimates and paleoenvironments in the Levant and Eastern Mediterranean from 25 000 to 5 000 years BP: setting the environmental background for the evolution of human civilization. *Quaternary Science Reviews* 25, 1517–1541., (2006).

- SCHEUER, Gy., Schweitzer, F.. A Gerecse- és a Budai-hegység édesvízi mészkőösszletei (Travertines of the Gerecse and Buda Hills). – Földrajzi tanulmányok 20, Akadémia Kiadó Budapest, 129 p. (In Hungarian), (1988).
- SARAÇ, G., Türkiye omurgalı fosil yatakları, MTA Rapor no: 10609, (2003), Ankara, 218 sy.
- SARIKAYA, M.A., Zreda, M., Çiner, A., Zweck, C., Cold and wet Last Glacial Maximum on Mount Sandıras, SW Turkey, inferred from cosmogenic dating and glacier modeling. Quaternary Science Reviews, 27, 769–780, (2008).
- SEYİTOĞLU, G., Scott, B.C., Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey: Gördes basin; tectonics and sedimentation, Geogical Magazine 128, 155-166, (1991).
- SEYİTOĞLU, G., Scott, B.C., The age of the Büyük Menderes graben (west Turkey) and its tectonic implications, Geogical Magazine 129 (2), 239-42, (1992).
- SÖZBİLİR, H., Oligo-Miocene extension in the Lycian orogen: evidence from the Lycian mollase basin, SW Turkey. Geodinamica Acta 18, 255–282. (2005).
- SÖZBİLİR, H., Revised stratigraphy and facies analysis of Palaeocene-Eocene supra-allocthonous sediments (Denizli, SW Turkey) and their tectonic significance, Turkish Journal of Earth Sciences, 11, 87-112, (2002).
- SÖZBİLİR, H., Stratigraphy and sedimentology of the Tertiary sequences in the northeastern Denizli province (Southwest Turkey), (Doktora Tezi), Dokuz Eylül University, İzmir, (1997), 195 s.
- STEVENS, L.R., Wright Jr., H.E., Ito, E., Proposed changes in seasonality of climate during the Lateglacial and Holocene at Lake Zeribar, Iran. Holocene, 11 (6), 747–755, (2001).
- SUN, S., Denizli-Uşak Arasının Jeolojisi ve Linyit Olanakları, MTA Rapor no: 9985, Ankara, 92 sy., (1990).
- ŞENGÖR, A.M.C., Yılmaz, Y., Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241, (1981).
- ŞENTÜRK, F., Sayman, Y; Yalçın, H. ve Ağacık, G., Pamukkale sıcak suları ve travertenleri üzerinde araştırma, DSİ Araştırma Dairesi Başkanlığı Ara rapor. Rapor No: Ki - 507, Ankara. (1971).
- ŞİMŞEK, Ş., Denizli-Kızıldere-Tekkehamam-Tosunlar-Buldan-Yenice alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, MTA Rapor no: 7846, Ankara, 85 sy., (1984).
- ŞİMŞEK, Ş., Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Büyük Menderes graben, Turkey. *Geothermics*, 32, 669-678, (2003).

- ŞİMŞEK, Ş., Günay, G., Elhatip, H., Ekmekci, M., Environmental protection of geothermal waters and travertines at Pamukkale, Turkey. *Geothermics*, 29, 557-572, (2000).
- TEN VEEN J.H. Boulton S.J. Alçiçek M.C. From palaeotectonics to neotectonics in the Neotethys realm: the importance of kinematic decoupling and inherited structural grain in SW Anatolia (Turkey). In: Robertson A.H.F. Parlak O. Koller F. (Eds.); Tethyan tectonics of the Mediterranean region: Some recent advances, *Tectonophysics* 473, 261–281 (2009).
- TURI, B. Stable isotope geochemistry of travertines. In Fritz, B.P., Fontes, J.C. (Eds.) *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Elsevier, Amsterdam, V. 2/B, pp. 207-238 (1986).
- UKAM, 1994, Pamukkale Koruma Amaçlı İmar Planında Öngörülen Travertenlerin Korunması ve Geliştirilmesi İçin Proje Hizmetleri, Hacettepe Üniv. Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi, 124 s., Ankara.
- UYYSAL, I. T., Feng, Y., Zhao, J., Altunel E., Weatherley D., Karabacak, V., Cengiz, O., Golding S. D., Lawrence M. G., 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.
- UYYSAL, I. T., Feng, Y., Zhao, J., Işık, V., Nuriel, P., Golding, S.D., 2009. Hydrothermal CO₂ degassing in seismically active zones during the late Quaternary. *Chemical Geology*, 265, 442–454.
- VAKS, A., Matthews, M.B., Ayalon, A., Matthews, A., Frumkin, A., Dayan, U., Halicz, L., Almogi-Labin, A., Schilman, B., Paleoclimate and location of the border between Mediterranean climate region and the Saharo-Arabian Desert as revealed by speleothems from the northern Negev Desert, Israel. *Earth and Planetary Science Letters* 249 (3–4), 384–399, (2006).
- VASI, I., 2002. Az egerszalóki termálkutak hasznosítása (Utilization of the thermal wells of Egerszalók). *Előzetes Környezeti Hatástanulmány*, PRO TERRA Urbanisztikai Ügynökség, Budapest, Hungary.
- VENGOSH, A., Helvacı, C., Karamandereci, I.H., Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey. *Appl. Geochem.*, 17, 163-183, (2002).
- VERMORE, M. Degryse, P., Vanhecke, L. et al., 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, (1999).
- VERTES, L. (Ed.), *Tata, eine mittelpaläolithische Travertin-Siedlung in Ungarn – Akadémiai Kiadó*, Budapest, 253 p., (1964).

- WESSELINGH, F.P., Alçiçek, H., Magyar, I., A Late Miocene Paratethyan mollusc fauna from the Denizli Basin (southwestern Anatolia, Turkey) and its regional palaeobiogeographic implications. *Geobios* 41, 861–879, (2008).
- WESTAWAY, R., Guillou, H., Yurtmen, S., Demir, T., Scaillet, S., Rowbotham, G., 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, 209-38, (2005).
- WESTAWAY, R., Neogene evolution of the Denizli region of western Turkey, *Journal of Structural Geology*, 15, 37-53, (1993).
- WESTAWAY, R., Block rotation in western Turkey. 1. Observational evidence: *Journal of Geophysical Research*, 95, 19857–19884, (1990).
- YILMAZ, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., and Elmas, A., When did the western Anatolian grabens begin to develop? *Geological Society of London* 173, 353-84, (2000).
- YOSHIMURA, K., Liu, Z., Cao, J., Yuan, D., Inokura, Y. and Noto, M. Deep source CO₂ in natural waters and its role in extensive tufa deposition in the Huanglong ravines, Sichuan, China. *Chem. Geol.*, 205, 141-153, (2004).

TÜBİTAK

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 106Y207
Proje Başlığı: Stable isotopic studies on travertines for paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction: A comparative study on the genesis of occurrences in Turkey and Hungary
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: M. Özkul (yürütücü), S. Kele, Istvan Forizs, A. Gökgöz, M.C. Alçıçek, Anita Eros
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 20070 Denizli
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.07.2007 – 01.07.2009
Öz (en çok 70 kelime) Bu çalışmada, Denizli havzası'ndaki (Batı Türkiye) ve Macaristan'daki traverten depolayan sular ile bazı traverten oluşumları jeokimyasal ve duraylı izotop bileşimleri açısından karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Denizli havzası travertenlerinin $\delta^{13}\text{C}$ bileşimleri, havzanın KB ve GD kesimlerinde belirgin farklılık gösterir. Havzanın kuzey-kuzeybatısında yer alan travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri daha yüksektir. Türk ve Macar travertenlerinin duraylı izotop bileşimlerine bakıldığında, Denizli travertenlerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri, belirgin bir şekilde Macar travertenlerinin değerlerinden daha yüksektir.
Anahtar Kelimeler: Traverten, sıcak su, duraylı izotop, Denizli havzası, Türkiye, Macaristan
<u>Fikri Ürün Bildirim Formu</u> Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: Kele S, Demény A, Özkul, M, Gökgöz, A, Alçıçek M C, Siklósy, Z, Fórizs, I Non-equilibrium fractionations during travertine deposition, or a new equilibrium line? – European Geosciences Union, General Assembly, Vienna, 13-18 April, 2008. Özkul M, Kele S, Gökgöz A, Fórizs I, Alçıçek M C Geochemical comparison of different travertine localities in the Denizli extensional basin, Western Turkey (Denizli Havzası'nda (Batı Türkiye) Farklı Traverten Sahalarının Jeokimyasal Karşılaştırılması). 62 th Geological Congress of Türkiye, 13-17 April 2009. Fórizs, I., Gökgöz, A., Kele, S., Özkul, M., Alçıçek, M C Stable isotope characteristics of karst and thermal waters in the Denizli Basin, Turkey. X. Isotope Workshop, 22 nd -26 th June 2009, Zlotniki Lubanskie, Poland, Abstract Book, pp. 31-32. Kele S, Özkul M, Gökgöz A, Fórizs I, Alçıçek M C Sedimentological and geochemical comparison of two hot-water travertine sites: Pamukkale (Turkey) and Egerszalók (Hungary). 27 th IAS Meeting of sedimentologists, Alghero, Italy 20-23 September 2009.