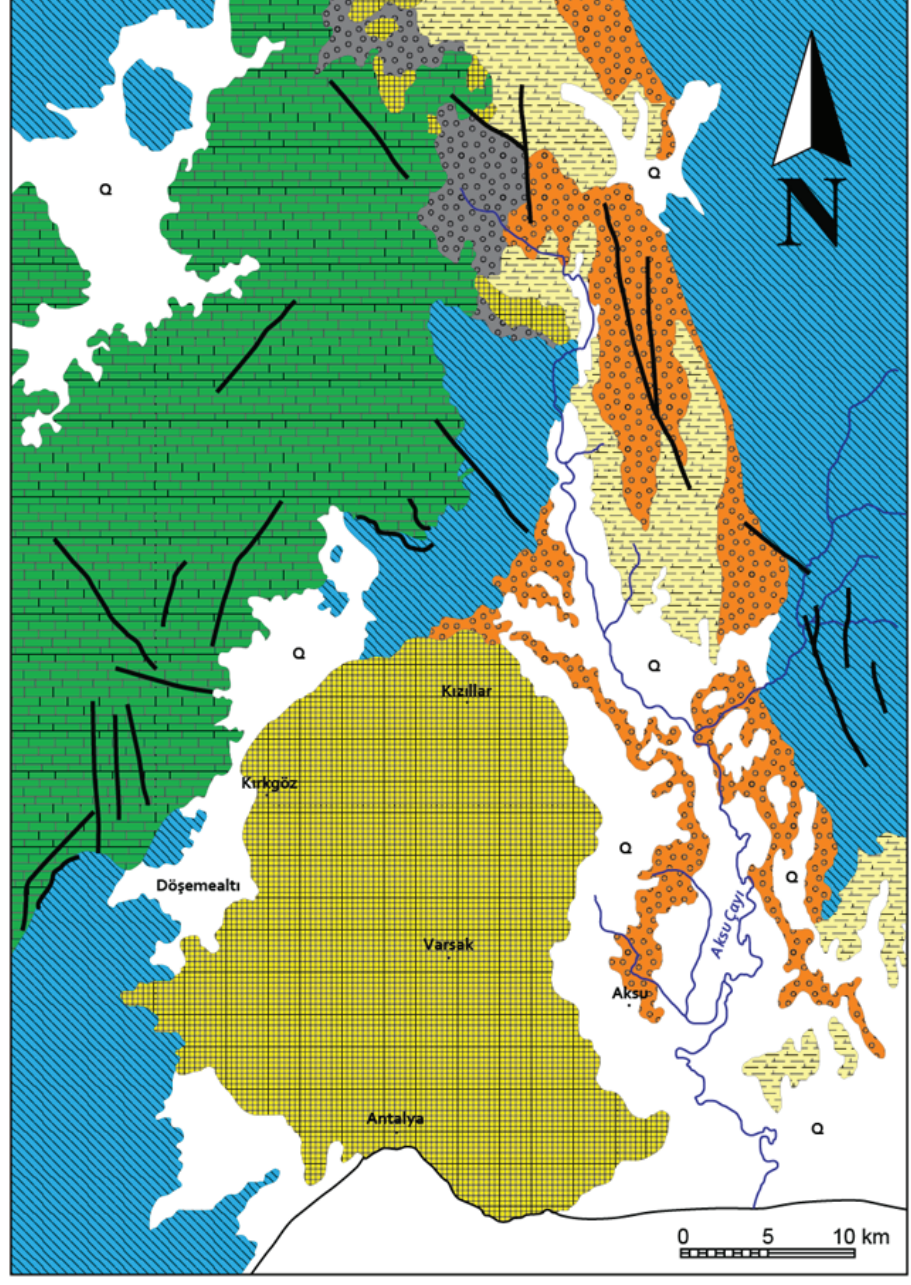


Laminalı Tufalarda Sedimentoloji Çalışmaları

Mustafa Selman Arsay^a, Mehmet Özkul^b, Concha Arenas^c

^aMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı
^bPamukkale Üniv. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı Kampüsü, 20070 Denizli
^cDivision of Stratigraphy, Dept. of Earth Science, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain



Şekil 1: MSA-20 örnek numaralı karot örneği

Antalya bölgesi jeolojik haritası (Koşun, 2012 ve MTA'nın jeolojik haritasından basitleştirilerek alınmıştır)

laminalı tufaların çapı 10 cm, boyu 35 cm olan iki ayrı karot örneği alınmıştır (Şekil 1).

Laminalı tufaların oluştuğu dönemlerdeki mevsimselliği belirlemek amacıyla birbirini izleyen açık ve koyu renkli laminaların duraylı karbon ($\delta^{13}C$) ve oksijen ($\delta^{18}O$) bileşimleri tayin edilir (Özku vd., 2010, Arenas vd., 2014).

Elde edilen laminalı tufa örneklerinin karbon ($\delta^{13}C$) ve oksijen ($\delta^{18}O$) duraylı izotop analizleri, Arizona Üniversitesi (A.B.D.) Yerbilimleri Bölümü Duraylı İzotop Karbonat Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

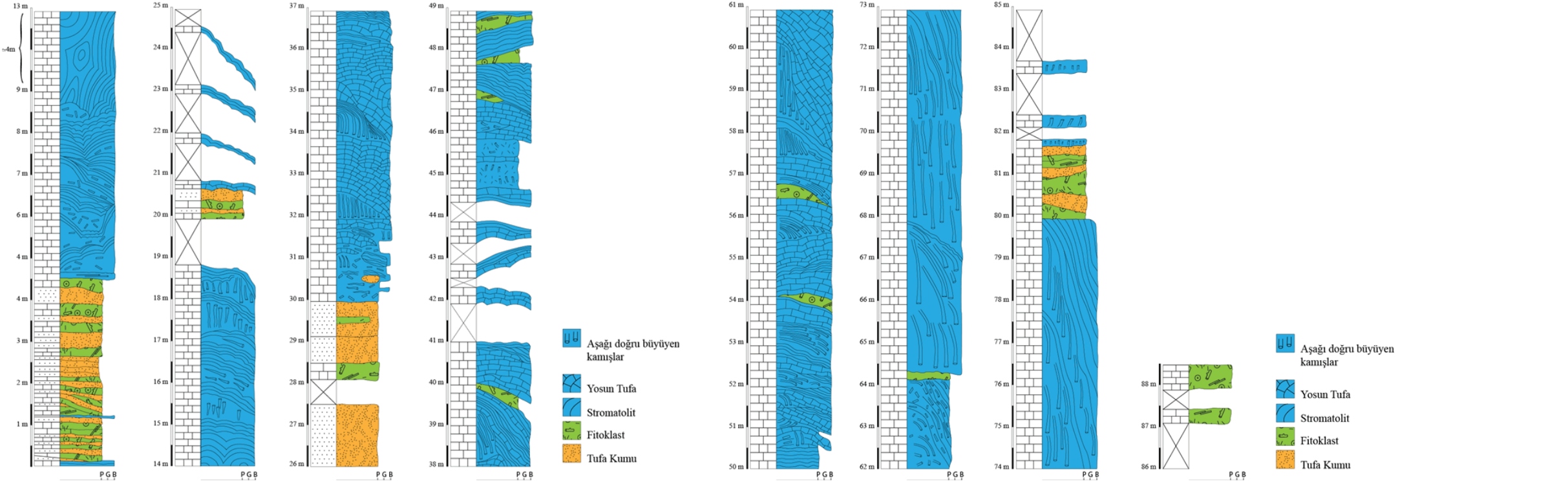
Paramanyetik merkezlerin yoğunluğu radyoaktif doz ile artıyorsa, bu yoğunluğu gösteren ESR sinyali şiddeti radyoaktif doz ve ışınlama zamanı (yaş) ile orantılıdır. Bu yolla ESR tekniği kullanılarak paramanyetik örneğin aldığı radyasyon miktarına bağlı yoğunluğu tespit edilerek fit ve ekstrapolasyonla örneğin yaşı tespit edilebilir. Ayrıca örneklerin yapısında oluşmuş paramanyetik merkez ve radikallerin türünün tespit edilmesi, örneklerin bulunduğu çevre ve geçmişte maruz kaldığı bazı etkilerin (iklim koşullarının) belirlenmesine yardımcı olabilir. Çalışmada örneklerin yapısında bulunan paramanyetik merkezler ESR tekniği ile belirlenmiş ve bu merkezlerin türü ve özellikleri yardımıyla incelenen örneğin paleortamı hakkında bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca örneklerin yapısında kararlı ve radyasyona duyarlı paramanyetik merkezler kullanılarak ESR tarihlendirme çalışmaları yapılmış ve örneklerin jeolojik yaşı tespit edilmiştir.

Bulgular

Çalışma kapsamında Antalya tufalarında fasiyes tanımlamaları yapılmıştır.

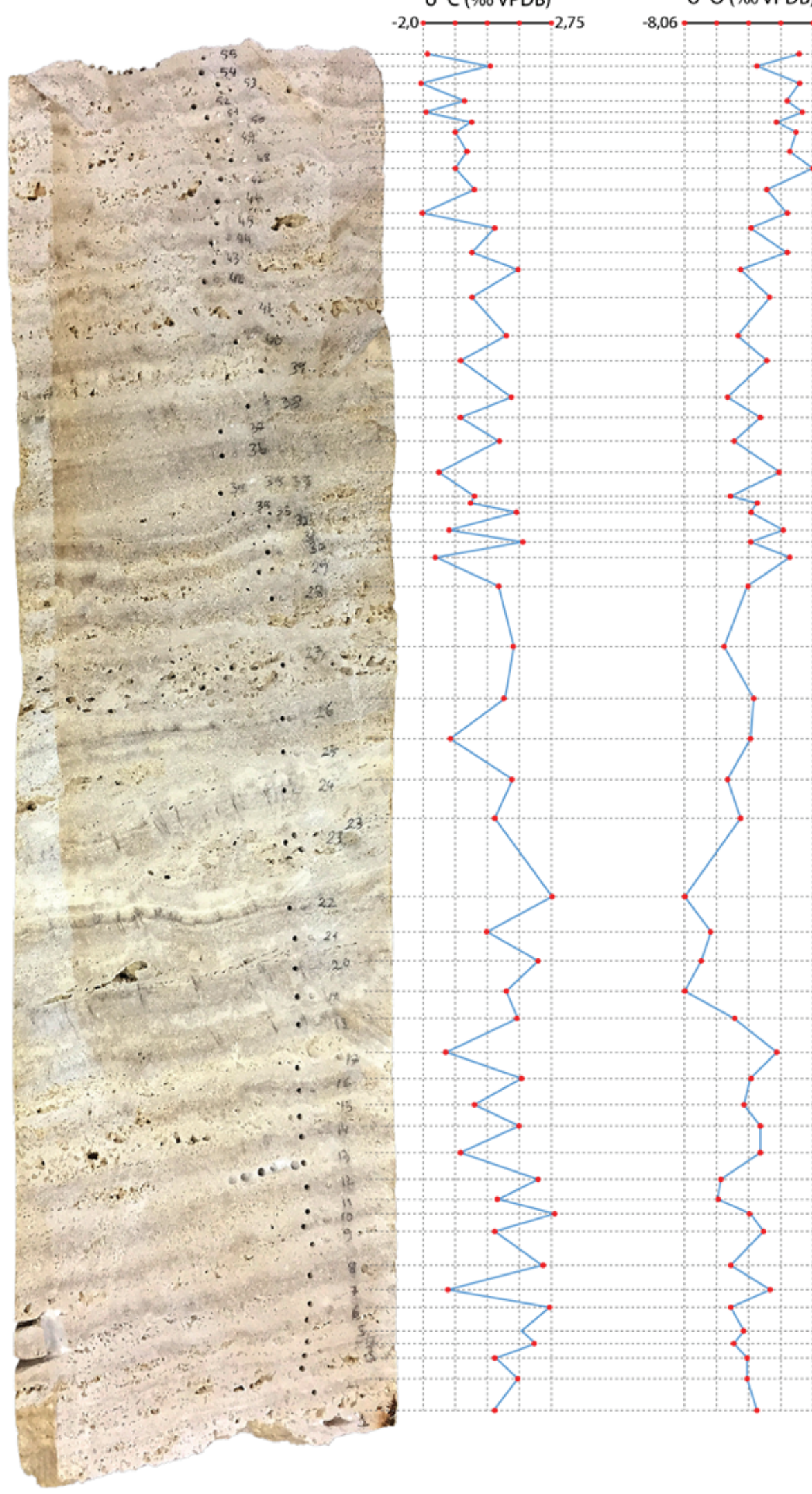
Fasiyes	Depolanma Geometrisi	Dokusal Karakteristiği ve Bileşenleri	Sedimentolojik Yapılar	Ayrıntı Biyolojik Bileşen	İlişkili Fasiyesler	Sedimentolojik Çevre Şartları
Laminal / Stromatolitik Tufa	Düzensiz, hafif basamaklı ve hemidomik depolanmalar, birkaç cm ile m kalınlığında ve m ile birkaç metre yanal yayılımı ya da düzensiz ve dalgalı katmanlar, çok değişken kalınlık ve yanal yayılım	Mikrobiyal toplulukların oluşturduğu, mm ile cm arasında değişen kalınlıklarda, farklı renk, kalınlık, gözeneklilik, kristal büyüklüğü (mikrit ve sparit) ve / veya mikrobiyal bileşenler içerir. Düzensiz, dalgalı, kubbeli ve stünlü büyüme yapıları gösterir.	Yatay ve dalgalı laminasyon.	Siyanobakteriler, bakteriler ve algler.	Yosun ve fitoklastik fasiyesler.	Dere yataklarında hızlı akan bölgeler (alçak eğimli bölgeler ve basamaklar). Sakin fluvial ve lakustrin alanlar ile Şelalelerin ve mağaraların aktif olmayan alanları.
Yosun Tufa	Merceksi, dişli veya domsu, cm ile m arasında değişen kalınlıklarda, metrelere yanal yayılımı.	Mikrit ve sparit ile kaplanmış, birikim yüzeyine dik veya eğik oluşmuş, santimetre kalınlığında yosun bitki katmanları. İç boşluklar boş veya spar veya mikrit kalsite dolu; mikrit veya sparit çimento.	Çm kalınlığındaki paralel istiflenme.	Yosunlar, diatomlar, nadiren kızyaprak otu, siyanobakteriler ve alg filamentleri.	Fitoklast fasiyesi	Baraj alanları, şelaleler, mağaraların şık alan yerleri.
Fitoherm Çatıtaşı	Merceksi, dişli veya domsu, cm ile m arasında değişen kalınlıklarda, düzensiz, metrelere yanal yayılımı. Aslı bitki saplarının bulunduğu yerlerde metrelere kalınlıkta ancak daha dar yayılımı.	Mikrit veya spar kalsitler kaplanmış bitki olarak gelişmiş, açık veya koyu laminalar. Biriki boşlukları bazı yerlerde ikincil kristalleme ile dolmuş bazı yerlerde boş.	Çm ile m arası değişen kalınlıklarda ve farklı büyüklüklerde yatay yayımlı istiflenme.	Karotifler, yosunlar, diatomlar, alg filamentleri, siyanobakteriler, bitki sapları, yaprak parçaları.	Diğer tüm fasiyesler ile bir arada olabilir.	Yavaş akan ve sakın fluvial bölgeler. Taşkın yatakları, kanallar arası alanlar ve göl kıyısındaki bataklık alanları. Dik şelaleler ve basamaklar. Baraj alanları, şelaleler, mağaraların şık alan yerleri.
Pizolitik Tufa	Merceksi.	Merceksiz bir parça etrafında dairesel olarak gelişmiş, açık veya koyu laminalar. Lamina kalınlıkları μm -mm arasında değişir.	Nohut büyüklüğünde bir arada veya ayrı ayrı duran dairesel taneler.	Siyanobakteriler, bakteriler ve algler.	Suyun hızlı akışı bölgeler, kanallar.	Suyun hızlı akışı bölgeler, kanallar.
Onkolitik Tufa	Merceksi, Kanalı benzeri yerlerde düzensiz, genellikle birkaç cm ile m kalınlıkta, yanal uzantıda onlara metre.	Onkolitler, silindirik, eliptik veya küresel şekilli, mm ile birkaç m uzunluğunda. Çekirdekleri genellikle bitki sapları ve tuf parçalarıdır. Açık ve koyu renkli kaplamalar, mikrit ve spar kalsit laminalarıdır. Lamina kalınlıkları μm -mm arasında değişir.	Organize olmayan ve düzensiz veya çapraz tabakalı.	Siyanobakteriler, algler ve larva delikleri.	Fitoklast fasiyesi, Stromatolit fasiyesi.	Kanal dolguluları, göl kıyıları.
Fitoklastik Tufa	Düzensiz ve merceksi, birkaç metreye kalınlığa kadar ve değişken yanal yayılımı.	Kaplanmış gövdeler, cm ile dm, istisnai olarak m uzunluğunda, uzun ve en çok 20-25 cm çapta ve yaprak izleri barındırır, aralarında sparit çimento bulunur, iç boşluklar boş veya spar veya mikrit kalsite dolu. Sapların uzun eksenleri tabakalaşmaya veya paleo akışa paralel olabilir.	Düzensiz ve çapraz tabakalanma.	Bitki parçaları ve yaprak izleri.	Hemen Hemen her fasiyes ile.	Her yerde, yavaş akan alanlar, barajlar ve bataklık alanları.
Intraklastik Tufa	Merceksi ve düzensiz, cm-dm kalınlığında ve metrelere yatay yayılımı.	Yuvarlaklı köşeli, çoğunlukla karbonat parçaları, mm ile dm çapında. Boyut gelişimi olmadan, kaba tır veya yukarı doğru düzenli.	Düzensiz veya düzensiz, Ya da çapraz tabakalanmalı.	Fitoklast fasiyesi.	Hemen Hemen her fasiyes ile.	Nadiren gelen taşkınlar ile gelen diğer tufa parçaları.

Ayrıca Arazi çalışmaları kapsamında, tufaların içinde yer bazı noktalardan kesit ölçümleri yapılmıştır.



Tufa çökellerinin duraylı izotop bileşimleri, depolanma ortamındaki sıcaklık, nemlilik, toprak ve bitki örtüsü, CO2 kaynağı ve beslenme alanının yorumlamasında önemli ipuçları sağlar (Andrews, 2006; Deocampo, 2009). Özel bazı sedimanter ve diyajenetik koşullar dışında, çoğu fluvial ve bunlara eşlik eden karbonatların $\delta^{13}C$ değerleri geniş bir aralıkta dağılım gösterir. Buna karşılık, $\delta^{18}O$ değerleri daha dar bir

Şekil 2: MSA-20 karot örneğinden alınan sonuçlar



aralıkta dağılır. Bu nedenle, $\delta^{13}C$ ve $\delta^{18}O$ değerleri arasındaki kovaryans düşüktür. Daha yüksek kovaryasyon değerleri, suyun sığ göl ve benzeri su birikintilerinde daha uzun süreli kalması nedeniyle ortaya çıkan buharlaşma etkisinin belirtileridir. Bu çalışmada incelenen MSA - 20 nolu karotta ise kovaryasyon yüksektir ($r=0.77$).

Örnek	Eşdeğer Doz (ED) (Gy)	Yıllık Doz (D) (mGy/yıl)	ESR yaşı (T) (kyıl)	MIS	Lokalite	Sonuçlar ve Tartışma
MSA1	187.51 ± 19.09	0.488	384.353 ± 39.119	11	Çöp sahası	Tufalarda $\delta^{18}O$ değerleri yaygın olarak -8 ile -5 (‰ PDB) arasındadır. Buna karşılık, $\delta^{13}C$ değerleri genellikle -4 ile -12 (‰PDB) arasındadır (Andrews vd., 1997; Pentecost, 2005). Koşun (2012) Antalya tufalarında yaptığı çalışmada -9.42 - +3.14 arasında değişen $\delta^{13}C$ değerleri, -9.51 ile -4.82 arasında değişen $\delta^{18}O$ değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada ise MSA -16 nolu karotta $\delta^{13}C$ değerleri 2.38 ile 1.57 arasında $\delta^{18}O$ değerleri -5.29 ile -7.01 arasında, MSA-20 nolu karotta $\delta^{13}C$ 2.75 ile -2.04 arasında $\delta^{18}O$ -6.29 ile -8.06 arasında bulunmuştur. Koşun'un (2012) elde ettiği duraylı izotop değerleri ile bu çalışmadan elde edilen değerler benzerdir.
MSA2	198.93 ± 20.07	0.439	453.579 ± 45.718	11 (12) 13	Çöp sahası	Yine çalışmada MSA-1, MSA-2, MSA-3, MSA-5 ve MSA-9 numuneleri ESR tekniği ile analiz edilerek tarihlendirilmiştir. ESR ölçümleri için Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan X-band JEOL JES-Fa300 ESR spektrometresi kullanılmıştır. Doğal ve ışınlanmış örneklerdeki paramanyetik merkezlerin g spektroskopik yarılma çarpanı değerleri Mn^{2+} standardı kullanılarak belirlenmiştir. Işınlama işlemleri tüm örnekler için Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Çekmece Nükleer Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde bulunan ^{60}Co nokta kaynağı kullanılarak 0.5-1100 Gy arasında 15 farklı dozda gerçekleştirilmiştir.
MSA3	209.65 ± 24.67	0.412	508.443 ± 59.879	14	Çöp sahası	Yine elde edilen ESR yaş verilerine göre MSA-1 MIS (Marine Isotope Stage: Denizel İzotop Katı) 11.döneme, MSA-2 MIS 12.döneme, MSA-3 MIS 13.döneme, MSA-5 MIS 8.döneme ve MSA-9 9.döneme karşılık gelmektedir.
MSA5	102.87 ± 10.38	0.394	261.252 ± 26.345	8		
MSA9	97.72 ± 7.83	0.340	287.307 ± 23.029	9	Varsak yolu batısındaki taş ocağı	

değerleri 2.75 ile -2.04 arasında $\delta^{18}O$ değerleri -6.29 ile -8.06 arasında bulunmuştur. Koşun'un (2012) elde ettiği duraylı izotop değerleri ile bu çalışmadan elde edilen değerler benzerdir.

Stromatolitler ve tufalar sedimentolojik kayıtları, iklim ile ilgili parametreleri hassas bir şekilde korumakta olup erozyon ve benzeri süreçler bu kayıtlara zarar vermektedir (Arenas vd, 2014). Yoğunluğu yüksek laminaların birçoğu sıcak dönemlerde (Nisan-Eylül) oluşurken, gözenekli laminaların birçoğu ise serin dönemlerde (Ekim-Mart) gelişmektedir. Her yoğun ve gözenekli lamina, altı ayda veya biraz daha uzun bir sürede oluşurken, lamina ardalanamaları sıcaklıktaki mevsimsel değişikliklere paralel olarak gelişmektedir (Arenas vd, 2017).

Antalya tufalarında yer alan stromatolitik fasiyesler içindeki laminalar birbirini takip eden sıcak-serin dönem döngüsü içerisinde oluşmuşlardır. MSA-20 nolu karotta ölçülen lamina kalınlıkları, lamina renkleri ve sertlikleri bu durumu göstermektedir.

Kosun (2012) çalışmasında Antalya tufalarında yaptığı U-Th çalışması ile orta terasın alt kısımlarında çökmenin 380 kyıl önce başladığını, elde edilen izotop verileri ile tufa çökeliğini sağlayan suyun izotopik değişiminin mevsimsel döngülerle ilişkili olduğunu belirtmiştir (Koşun, 2012). Glover ve Robertson (2003) çalışmasında Antalya tufalarının radyometrik yaşının 600 kyıl'dan büyük olduğunu, tufa oluşumunun mevsimsel döngü içerisinde gerçekleştiğini belirtmiştir (Glover ve Robertson, 2003).

Yapılan arazi çalışması ile Laminalı / Stromatolitik Tufa, Yosun Tufa, Fitoherm Çatıtaşı, Pizolitik Tufa, Onkolitik Tufa, Fitoklastik Tufa ve İntraklastik Tufa olmak üzere toplam 7 adet tufa fasiyesi tanımlanmıştır. Bu fasiyeslerin sedimentolojik yapıları ve birbirleri ile ilişkileri ortaya konmuştur.

Yapılan arazi çalışması sonucu hazırlanan 7 adet ölçülü kesit ve tanımlanan tufa fasiyesleri bir arada değerlendirilerek Gölsel-palustrin fasiyes topluluğu ve Şelale fasiyes topluluğu olmak üzere 2 adet fasiyes topluluğu tespit edilmiştir.

MSA-20 kodlu örnekte $\delta^{18}O$ değeri -8.06 ile -6.29 arasında $\delta^{13}C$ değeri -2.04 ile 2.75 arasında kovaryasyon değeri ise 0.77 olarak bulunmuştur. Elde edilen izotop değerleri tufalar için tipiktir ve Akdeniz çevresinde oluşmuş diğer tufalar ile benzerlik göstermektedir.

İzotop değerlerindeki salınımlar, izotop analizi için örnek alınan laminaların renkleri ve sertlikleri birlikte değerlendirildiğinde sonuçlar laminaların birbirini izleyen mevsimsel/iklimsel döngüler ile oluştuğunu göstermektedir.

ESR çalışması sonucu elde edilen yaş verilerine göre MSA-1 MIS 11.döneme, MSA-2 MIS 12.döneme, MSA-3 MIS 13.döneme, MSA-5 MIS 8.döneme ve MSA-9 9.döneme karşılık gelmektedir.

Teşekkür

Yazarlar 5 adet tufa örneğinin ESR tekniği ile yaşlandırılmasında destek olan Prof. Dr. Ülkü Sayın'a teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Andrews, J. E., "Palaeoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: Synthesis and review," Earth-Science Reviews, 75(1-4), 85-104, (2006).
- Arenas, C., Jones, B., "Insights from Recent fluvial stromatolites in the River Piedra, Spain," Sedimentology, 64(6), 1597-1629, (2017).
- Arenas-Abad, C., Vázquez-Urbez, M., Pardo-Tirapu, G., Sancho-Marcén, C., "Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes" 133-175, (2010).
- Arenas, C., Vázquez-Urbez, M., Aqueú, L., Sancho, C., Osácar, C., Pardo, G., Sedimentology, 61(1), 90-132, (2014).
- Glover, C., & Robertson, A. H. F., "Origin of tufa (cool-water carbonate) and related terraces in the Antalya area, SW Turkey," Geological Journal, 38(3-4), 329-358, (2003).
- Grün R., "Electron Spin Resonance (ESR) Dating," Quaternary International, 1, 65-109, (1989).
- Koşun, E., "Facies characteristics and depositional environments of Quaternary tufa deposits, Antalya, SW Turkey," Carbonates and Evaporites, 27(3-4), 269-289, (2012).
- Özkul, M., Gökçöz, A., Horvatinić, N., "Depositional properties and geochemistry of Holocene perched springline tufa deposits and associated spring waters: a case study from the Denizli Province, Western Turkey" Geological Society, London, Special Publications, 336(1), 245-262, (2010).
- Özüt, S., "Antalya Travertines, Hydrology and Geochemistry," PhD thesis, University of Çukurova, Adana, Turkey, (1992).
- Pentecost, A., Spiro, B., "Stable carbon and oxygen isotope composition of calcites associated with modern freshwater cyanobacteria and algae," Geomicrobiology Journal, 8, 17226, (1990).
- Pentecost, A., Terry, C., "Inability to demonstrate calcite precipitation by bacterial isolates from travertine," Geomicrobiology Journal, 6, 185-194, (1988).
- Riding, R., "Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms," Sedimentology, 47, 179-214, (2000).