



**MADEN TETKİK VE ARAMA
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**MTA
DOĞAL KAYNAKLAR
VE
EKONOMİ BÜLTENİ**

YIL : 2012

SAYI : 14

MAĞARA ÇÖKELLERİNDEN GEÇMİŞ İKLİM VE GEÇMİŞ ORTAM BİLGİLERİNİN ÜRETİLMESİ

C. Serdar BAYARI*

Giriş

Jeolojik zaman boyunca sürekli değişim gösteren yerküre ikliminin gelecekte izleyeceği seyir insanlığın geleceği açısından büyük önem içermektedir. Aslında, jeolojik dönem ve/veya bölümlerin başlangıç ve/veya bitişleri de paleoiklim ya da ortam koşullarındaki ani değişimler sonucu gerçekleşen toplu canlı yok oluş zamanlarına bağlı olarak belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında yerkürede, hava sıcaklığının Kretase-Tersiyer sınırından itibaren sürekli bir azalma eğiliminde olduğu izlenmektedir. Yerküre iklimi, yerkürenin güneş etrafındaki yörüngesel hareketlerindeki periyodik salınımlar, çeşitli nedenlerle atmosfer gaz bileşiminin değişmesi ve okyanus akıntılarının yörüngelerindeki değişimler tarafından belirlenmektedir.

Anılan faktörler arasındaki etkileşim ve geribesleme mekanizmaları ise çoğunlukla doğrusal olmayan ve kaotik karaktere sahiptirler. Bu nedenle, iklim değişimine etkiyen süreçlerin daha iyi anlaşılabilmesi ve geleceğe dönük kestirimlerin yapılabilmesi için yerkürenin farklı bölümlerine ait yüksek zamansal çözünürlüklü paleoiklim (geçmiş iklim) kayıtlarının üretilmesine gerek duyulmaktadır. Yaygın olarak kullanılan paleoiklim kayıt arşivleri deniz ve göl çökellerinden, buzul örtülerinden ve mağara çökellerinden oluşmaktadır. Bu çökellerin kimyasal ve izotopik içeriklerinde gözlenen zamana bağlı değişimlerden hareketle geçmiş iklim değişimleri hakkında bilgiler üretilmektedir. Bununla birlikte, deniz ve göl çökelleri ile buzul örtülerine ait kayıtların hassas biçimde tarihlendirilmesi pek çok durumda oldukça güç olmaktadır. Diğer yandan, karbonatlı minerallerin uranyum -234/toryum- 230 radyometrik yaş tayininde son 25 yıl içinde gerçekleştirilen ilerleme sonucunda günümüzden 500.000 yıl geçmişe değin oluşmuş çökellerde +/-3 yıl (mercanlar) ile +/- 15 yıl (mağara çökelleri) hata ile yaş tayini mümkün hale gelmiştir. Bu durum, karasal alanlardaki yaygın dağılımlarının da etkisiyle mağara çökellerinin paleoiklim araştırmalarında öncelikli role sahip olmasını sağlamıştır. Bu yazıda sunulan bilgiler Bayarı (2012)'dan derlenmiştir. Türkiye paleoiklimine ilişkin ülkemizde yürütülen bazı çalışmaların ayrıntıları Özbakır (2010) ve Şenoğlu (2006)'nda verilmektedir.

Mağaraların ve Mağara Çökellerinin Oluşumu

İnsanların girebileceği büyüklükteki doğal yer altı boşlukları mağara olarak adlandırılmaktadır. Lavlar içindeki gaz boşlukları ya da moloz gibi kaya yığılımlarındaki boşluklar ve benzerleri de bu tanıma uymakla birlikte mağaraların oluşumu büyük oranda karbonat ya da evaporit minerallerinin yüzeyden kaynaklanan (epijenik) ya da derinlerden kaynaklanan (hipojenik) çözeltilerle çözünmesi sonucunda oluşurlar. Günümüze değin keşfedilen mağaraların çoğunluğu karbonatlı kayalar içinde yer alan epijenik kökenli karstik boşluklardır.

Epijenik karstik mağaraların oluşumu ile sonuçlanan karbonat minerali çözünmesi toprak zonundan derinlere doğru süzülen suyun içerdiği karbonik asit (H_2CO_3) tarafından sağlanmaktadır (Eşitlik 1). Bu asit, kısmen atmosfer, büyük oranda da süzülme zonundaki organik faaliyetler sonucu suya geçen karbondioksit gazının çözünmesi sonucunda oluşmaktadır.



Süzülme zonundaki organik faaliyet yoğunluğuna bağlı olarak oluşan karbondioksit miktarı ($10^{-0.5}$ ila $10^{-2.5}$ atm) soluduğumuz atmosferdeki düzeyin ($10^{-3.5}$ atm) on ila bin katı daha yüksek düzeye ula-

* Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe 06800 Ankara, serdar@hacettepe.edu.tr

şabilmektedir. Anılan yolla oluşan karbonik asit iki adımda hidrojen iyonu (H⁺) üretmekte, üretilen asit de karbonat mineralinin (örğ. kalsit) çözünmesini sağlamaktadır (Eşitlik 2 ve 3).



Yukarıdaki tepkimeler sonucu çözünebilecek kalsit miktarını çözeltinin başlangıçta içerdiği karbonik asit miktarı belirlemektedir. Karbonat minerallerini çözerek derinlere sızan ve mağaraya ulaşan yer altı suyunun bünyesindeki kalsiyum (Ca²⁺) ve karbonat (CO₃²⁻) iyonlarından itibaren kalsit çökeltmesi (Eşitlik 4) mağara atmosferindeki karbondioksit basıncının (~10^{-3.5} atm) suyun dengede bulunduğu süzülme zonu karbondioksit içeriğinden (>10^{-3.5} atm, örn. 10^{-2.5} atm) daha düşük olmasıdır.



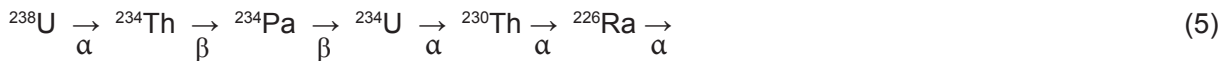
Bu durumda, çözelti sahip olduğu karbondioksit kısmi basıncını temasta olduğu atmosferik karbondioksit kısmi basıncı ile eşitlemek için bünyesindeki fazla karbondioksiti mağara atmosferine salmaktadır. Bu süreç içinde yukarıda 1-3 no.lu eşitlikle gösterilen sağ yönlü çözünme tepkimeleri bu kez sola doğru hareket etmekte, çözeltilen ayrılan her bir birim de karbondioksit gazı ile orantılı miktarda karbonat minerali çökelmektedir.

Mağara Çökellerinin İçerdiği Paleoiklim-Ortam Bilgilerinin Kaynağı

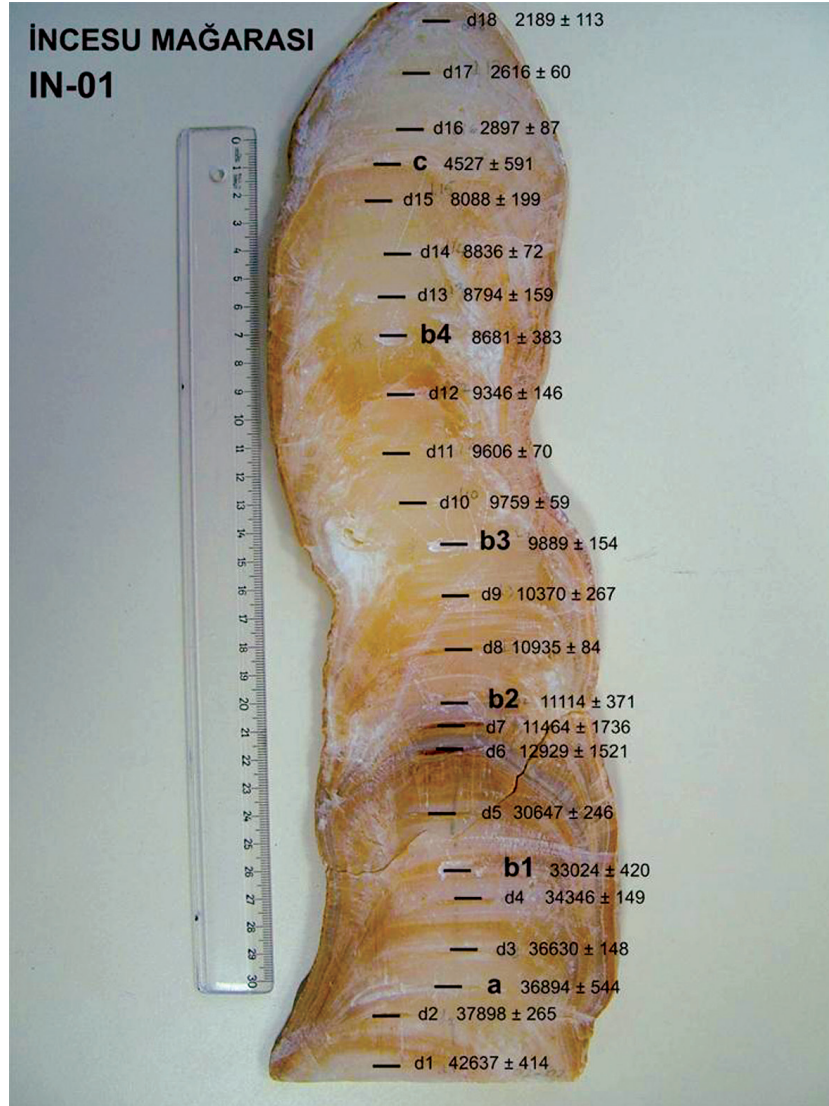
Oluşan çökel çoğunlukla kütlece % 99.9 oranında karbonat mineralinden oluşmakla birlikte yer altı suyunun içerdiği diğer elementleri de (örn. Sr, Ba, Mg, U, Th) iz miktarda içermektedir. Mağara çökellerinin oksijen-18 (¹⁸O) ve karbon-13 (¹³C) izotop içerikleri ile iz element (örn. Sr, Mg) içeriklerindeki değişimler paleoiklim-ortam hakkında bilgi içermektedirler. Çökelin ¹⁸O içeriği oluşum dönemindeki hava sıcaklığı ile yağışın kökeni hakkında bilgi sunmakta, ¹³C içeriği ise dış ortamdaki bitki örtüsü tipi ve yoğunluğu ile bunları belirleyen iklim/ortam koşulları hakkında gösterge oluşturmaktadır. Ayrıca, çökelin iz element içeriğindeki değişimler de ortam ve atmosfer koşullarında hakkında bilgi sunmaktadır.

Çökel Boyunca Lamina Oluşum Yaşlarının Belirlenmesi

Mağara çökellerinde yaş tayini dışçı matkabı ile çökel üzerinden aşındırılarak alınan 10-20 mg lık toz örnekler üzerinde Toryum-230 yaş belirleme tekniği ile gerçekleştirilmektedir. Uranyum-234 izotopunun toryum-230 izotopuna bozunması (Eşitlik 5) için geçen süreye dayanan bu teknikte örneğin ²³⁰Th ve ²³⁴U izotop içerikleri kullanılmaktadır. Bu yöntem ile günümüzden 500.000 yıl öncesine uzanan yaş değerleri (oluşum ya da çökelim zamanları) güvenilir biçimde belirlenebilmektedir.



Örneklerin ^{230}Th ve ^{234}U içerikleri MC-SF-ICP-MS (Multi Collector - Sector Field - Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer; Çok Dedektörlü-Elektromıknatis Bobinli-Endüktif Eşlenik Plazma-Kütle Spektrometresi) cihazları ile ölçülmekte olup, bir adet yaş tayininin bedeli 500 ABD Doları düzeyindedir. Şekil 1’de bir dikit örneği üzerinde gelişim eksenini boyunca belirlenen ^{230}Th yaşları gösterilmektedir.



Şekil 1- İncesu mağarası dikit örneğine ait yaş değerleri (değerler 1950’den önce yıl olarak verilmiştir. Özbakır, 2010’dan).

^{18}O ve ^{13}C İçeriklerinin Belirlenmesi

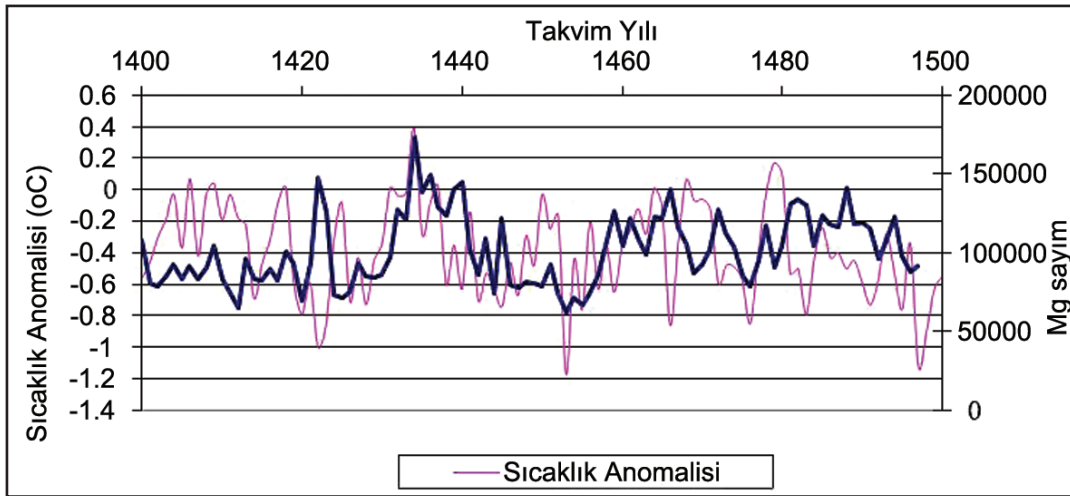
Yaş tayini sonucunda daha ayrıntılı biçimde incelenecek örneklerin ^{18}O ve ^{13}C içerikleri dışı matkabı ideal olarak 0.5 ya da 1 mm de bir alınan 0.2 mg lık toz örnekler üzerinde belirlenmektedir. Dikit gelişim eksenini boyunca alınan toz örneklerin ^{18}O ve ^{13}O içerikleri IRMS (Isotope Ratio Mass Spectrometer; İzotop Oranı Kütle Spektrometresi) ile ölçülmektedir. Analiz maliyeti bir örnekte ^{18}O ve ^{13}C ölçümü için 20 ABD Doları düzeyindedir.

İz element içeriğinin belirlenmesi

Mağara çökellerinin iz element içerikleri çökelin oluşum anındaki dış ortam koşulları hakkında bilgiler sağlamaktadır. Çökellerin iz element içerikleri çoğunlukla LA-ICP-MS (Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer; Lazer Aşındırma - Endüktif Eşlenik Plazma - Kütle Spektrometresi) tekniği ile belirlenmektedir. Örneğin, gelişim eksenini boyunca hazırlanan kalın 2 mm kalınlığındaki kesitler üzerinde 10 mikron ya da daha büyük aralıklarda iz element içeriği (örn. Mg), yarı-niceliksel olarak ya da bağıl bolluk değişimi açısından ölçülmektedir. Bu teknik ile iz element içeriğinin belirlenme maliyeti 10 cm lik bir örnekte 10 mikron/saniye hızındaki ölçümler için 500 ABD Doları düzeyindedir.

Örnek uygulamalar

Bu bölümde Türkiye’de gerçekleştirilen bazı çalışmalardan elde edilen tipik bulgulara değinilmiştir. Şenoğlu (2006) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Eskişehir’deki Yelini mağarasından alınan bir dikit örneğinin gelişim eksenini boyunca iz element içeriğinin değişimi LA-ICP-MS tekniği ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda gelişim eksenini boyunca Mg bolluk değişiminin dikitin gelişim dönemindeki dış ortam sıcaklığı ile orantılı olduğu belirlenmiştir (Bayarı, 2012). Genel olarak dikit magnezyum içeriğindeki değişim kuzey yarı küre için öngörülen sıcaklık anomalisi (ortalamadan sapma) ile uyumlu bir seyir izlemektedir (Şekil 2).



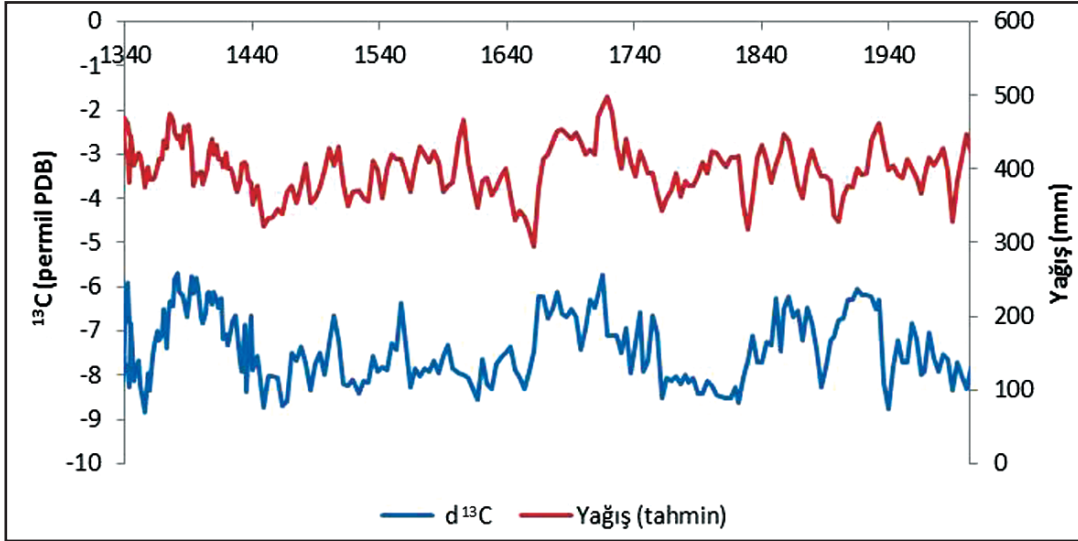
Şekil 2- Yelini mağarası dikit örneği Mg içeriği ile kuzey yarı küre sıcaklık anomalisi ilişkisi (Bayarı, 2012'den).

Orta-Batı Anadolu'da son 700 yıldaki yağış rejimi

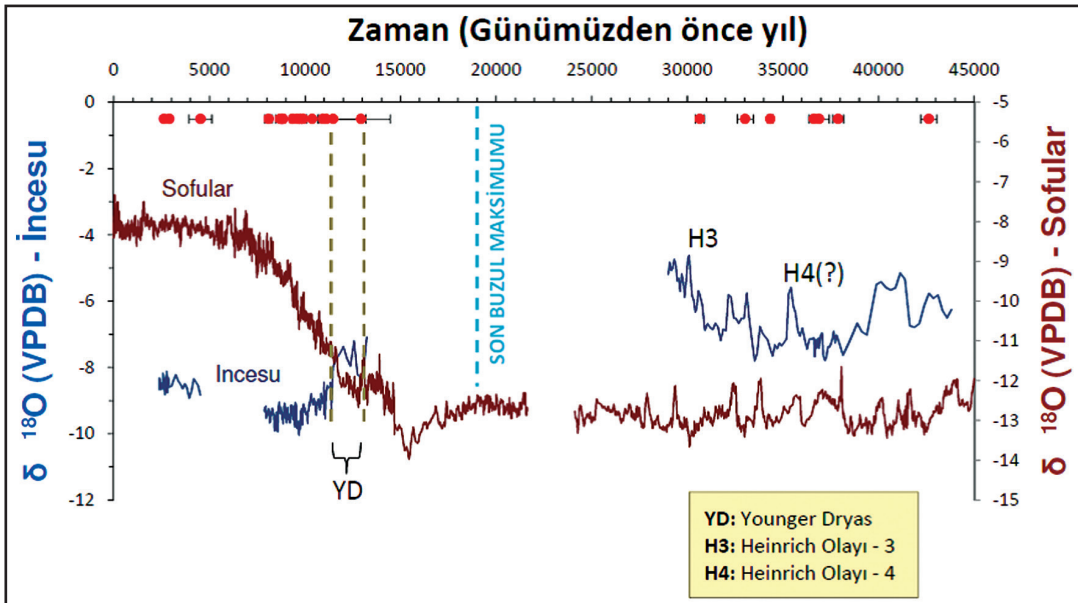
Eskişehir’deki Yelini mağarasından alınan dikit örneği üzerinde gerçekleştirilen bir diğer çalışmada gelişim eksenini boyunca belirlenen ^{18}O içeriği mağara yakınlarındaki Sivrihisar meteoroloji istasyonu aletsel yağış gözlemleri ile kalibre edilmiş; sonuçta kabaca 1350-2000 yıllarını kapsayan döneme ait yağış serisi oluşturulmuştur. Tahmini yağış serisi ile dikitin ^{13}C içeriği karşılaştırıldığı Şekil 3'te kök zonu ^{13}C içeriğinin yağış bolluğuna paralel bir seyir izlediği görülmektedir (Bayarı, 2012).

Özbakır (2010) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada Orta Toroslardaki İncesu mağarasından elde edilen ^{18}O ve ^{13}C verileri ile Göktürk ve diğerleri (2011) tarafından Zonguldak dolayında Sofular mağarasından elde edilen ^{18}O ve ^{13}C verileri karşılaştırılmıştır (Şekil 4a ve b). Her iki mağaraya ait eş zamanlı ^{18}O verileri anılan bölgelerde Son Buzul Maksimumu (SBM, Last Glacial Maximum) öncesinde ve sonrasında yağışlara kaynak oluşturan hava akımlarının yörüngelerinde önemli değişimler ol-

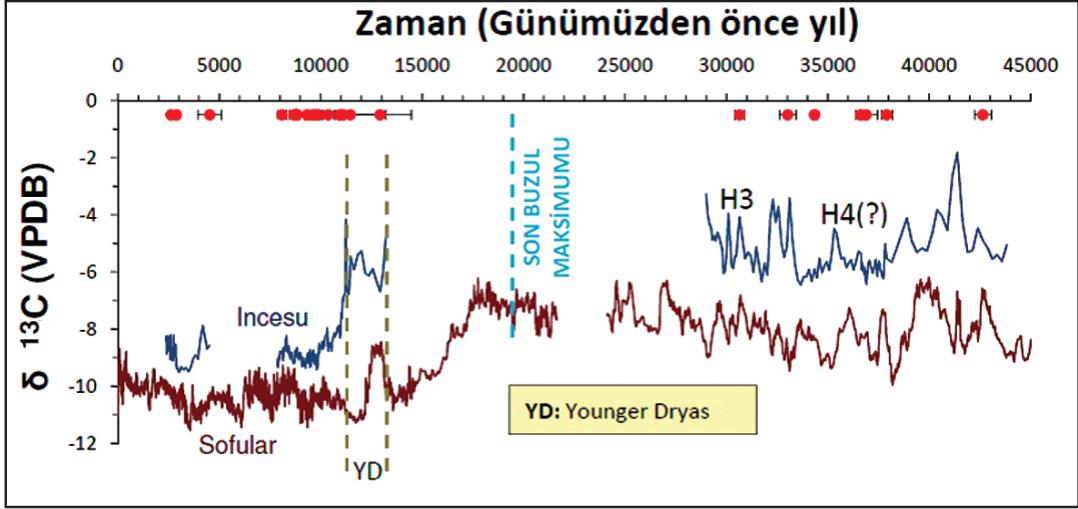
duğunu göstermektedir (Bayarı, 2012). Benzer bir sonuç, Bayarı ve diğerleri (2009) tarafından Konya Kapalı Havzası'nda gerçekleştirilen başka bir çalışmada da saptanmıştır. Bayarı (2012)'ya göre her iki mağaraya ait ^{13}C kayıtları SBM öncesinde ve sonrasında birbirine paralel seyir izlemekte olup, Sofular kayıtları İncesu kayıtlarına göre daha negatiftir. Bu durum, Sofular mağarası beslenme alanında – günümüzde de olduğu gibi- bitki örtüsünün daha yoğun olduğunu göstermektedir.



Şekil 3- Yelini mağarası dikit örneğinden tahmin edilen geçmiş yağışların dikit ^{13}C içeriği ile karşılaştırılması (Bayarı, 2012'den).

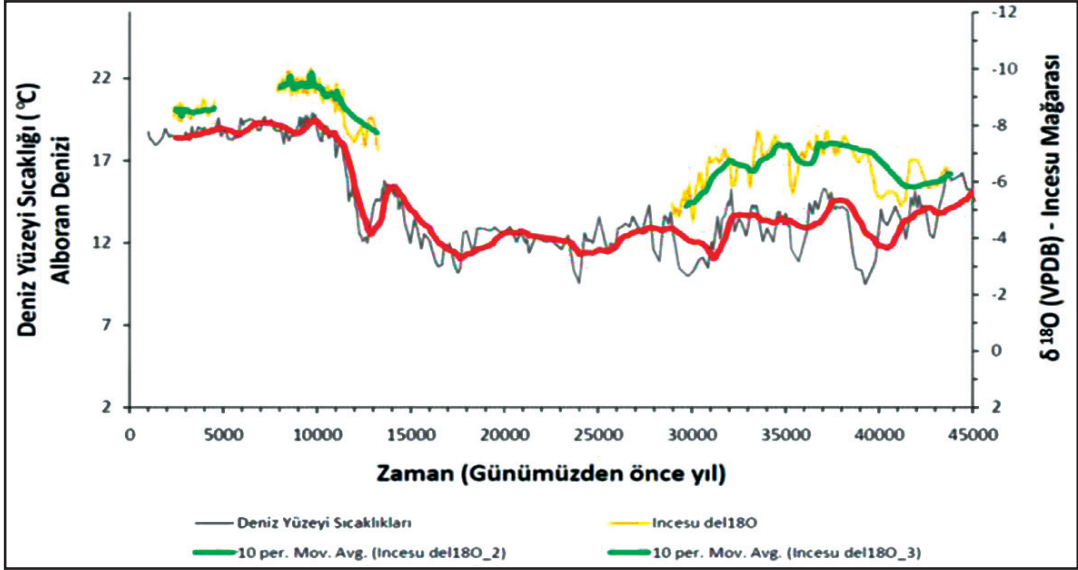


Şekil 4a- İncesu ve Sofular mağaralarına ait ^{18}O kayıtları (Özbakır 2010'dan, Bayarı, 2012).



Şekil 4b- İncesu ve Sofular mağaralarına ait ¹³C kayıtları (Özbakır 2010'dan, Bayarı, 2012).

Özbakır (2010) tarafından Orta Toroslardaki İncesu mağarasından elde edilen ¹⁸O zaman serisi ile Batı Akdeniz'deki Alboran bölgesindeki derin deniz Globigerina kavkılarında belirlenen deniz suyu sıcaklık değişimi dikkate değer bir paralellik göstermektedir (Şekil 5). Bu durum İncesu Mağarası dolayındaki hava sıcaklığı ile Doğu Akdeniz'deki deniz suyu sıcaklığının küresel iklim değişimine bağlı benzer bir değişim geçirdiklerini göstermektedir.



Şekil 5- Akdeniz'in son 45000 yıllık deniz suyu sıcaklık değişimi ile İncesu mağarası dikit örneği ¹⁸O içeriği değişiminin karşılaştırılması (Özbakır, 2012'den).

Sonuçlar

Mağara çökelleri, paleoiklim ve paleoortam koşulları hakkında oldukça yüksek zamansal çözünürlüklü bilgiler sunmaktadırlar. Mağaraların yerküre üzerindeki yaygın dağılımı paleoiklimin yersel değişiminin belirlenmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Türkiye'de gerçekleştirilen öncül çalışmalarda da önemli bulgulara ulaşılmıştır. Diğer yandan, çökellerin sayıca sınırlılığı ve estetik değerleri dikkate alındığında gelecekteki benzeri çalışmaların ilgili kurumlarca onay verilen mağaralar/örnekler ile sınırlandırılmasının yerinde olacağı düşünülmektedir.

DEĞİNİLEN BELGELER

Bayarı, C.S., 2012, Speleoloji ve Paleoiklim, Kuvaterner Bilimi (Ed: Nizamettin Kazancı, Alper Gürbüz), Ankara Üniversitesi Yayınları no. 350 (ISBN 978-605-136-056-0), 411-436.

_____, Özyurt, N.N. ve Kilani, S., 2009, Radiocarbonagedistribution of groundwater in the Konya Closed Basin, central Anatolia, Turkey, Hydrogeology Journal, 17: 347-365.

Göktürk, O.M., Fleitmann, D., Badertscher, S., Cheng, H., Edwards, R.L., Leuenberger, M. Fankhauser , A., Tüysüz, O. ve Kramers, J., 2011, Climate on the southern Black Sea coast during the Holocene: implications from the Sofular Cave record, Quaternary Science Reviews 30, 2433-2445.

Özbakır, M., 2010, Orta-Kuzey Toroslar'da Geç Kuvaterner Paleoikliminin İncesu Mağarası Dikit Kaydı İle Kurgulanması, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 73 s.

Şenoğlu, G., 2006, Mağara Çökellerinin İz Element İçeriğinden Paleoiklim Koşullarının Belirlenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 106 s.